

# Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: **Proyecciones al año 2030 en la Región Ancash Reporte ejecutivo**

## Reporte ejecutivo

**Autor: SENAMHI-PERÚ**

Acuña D., Ávalos G., Cubas F., Llacza A., Jácome G., Barreto C.

**Tecnología de Información y computación de alto rendimiento:**

Huiman O.

Dirección General de Meteorología  
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI  
Año: 2013

La presente publicación forma parte del Proyecto “Proyecto PET 1194: Fortalecimiento de Capacidades Regionales en la Gestión del cambio climático”, implementado en el Perú por el Ministerio del Ambiente – MINAM, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo - BID.

**Ministerio del Ambiente – MINAM**

Av. Javier Prado Oeste 1440, San Isidro, Lima.  
Teléfono (51-1) 611600 <http://www.minam.gob.pe>

**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI**

Jr. Cahuide 785 Jesús María  
Teléfonos: (51 – 1) 6141414 (central) y 6141408 (CPN)  
<http://www.senamhi.gob.pe>

El contenido de este documento puede ser reproducido mencionando la fuente o con autorización de los autores y del SENAMHI.

# **Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la Región Ancash**

## **Reporte ejecutivo**

**Ministro del Ambiente**

**Manuel Pulgar Vidal Otálora**

Viceministro de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

**Gabriel Quijandría Acosta**

Director General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos

**Eduardo Durand López-Hurtado**

Directora Alternativa del Proyecto

**Laura Avellaneda Huamán**

Coordinador de Proyectos de Adaptación al Cambio Climático-BID-MINAM

**Josefa Rojas Pérez**

**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI**

Presidenta Ejecutiva del SENAMHI

**Amelia Díaz Pabló**

Director Científico

**Esequiel Villegas Paredes**

Director General de Meteorología

**Luis Alfaro Lozano**

Directora de Meteorología Aplicada

**Gabriela Rosas Benancio**

Directora de Climatología

**Grinia Ávalos Roldan**

## **Agradecimientos**

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, expresa su agradecimiento al Ministerio del Ambiente como institución implementadora del “Proyecto PET 1194: Fortalecimiento de Capacidades Regionales en la Gestión del cambio climático” en el Perú. Asimismo, al Fondo Nacional del Ambiente como unidad administradora de los fondos del Banco Interamericano de Desarrollo. Al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, por la disponibilidad de las salidas numéricas de los Modelos Globales del Proyecto CMIP5.

A los colaboradores: Gabriela Rosas, Clara Oria, Orlando Quispe, Sayuri Ramírez.

## INDICE

- RESUMEN EJECUTIVO**
- I. INTRODUCCIÓN**
- II. LA REGIÓN ANCASH**
  - 2.1 Marco geográfico
  - 2.2 Controladores Climáticos
  - 2.3 Clima y Meteorología
    - 2.3.1 Clima
    - 2.3.2 Meteorología
  - 2.4 Caracterización Climática
    - 2.4.1 Precipitación
    - 2.4.2 Temperatura máxima
    - 2.4.3 Temperatura mínima
  - 2.5 Tendencias e Índices de eventos extremos
    - 2.5.1 Tendencias de la Precipitación e indicadores
    - 2.5.2 Tendencias de Temperatura del aire e indicadores
- III. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**
  - 3.1 Modelos Climáticos Globales y Escenarios de Emisión
  - 3.2 Calculo de proyecciones climáticas
- IV. PROYECCIONES DEL CLIMA EN LA REGIÓN ANCASH**
  - 4.1 Proyecciones de la Precipitación
  - 4.2 Proyecciones de la Temperatura del aire
- V. INCERTIDUMBRE DEL CAMBIO CLIMÁTICO**
- VI. RECOMENDACIONES**
- VII. CONCLUSIONES**
- VIII. REFERENCIAS**
- IX. ANEXOS MAPAS**

## **Siglas**

**CMIP5** – Coupled Model Inter Comparison Project Phase 5

**ENOS** – El Niño – Oscilación Sur **GEI**– Gases de Efecto Invernadero

**IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change

**MINAM** – Ministerio del Ambiente del Perú

**MCG** – Modelo Climático Global

**MCGAOA** – Modelo de Circulación General Acoplados Atmósfera/Océano/Hielo marino

**NCAR** – National Center for Atmospheric Research

**NCEP** – National Center for Environmental Prediction

**PRAA** - Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales

**SENAMHI** – Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

**SCNCC** – Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático

## RESUMEN EJECUTIVO

- El cambio climático es un hecho calificado por el IPCC (2007a) como “inequívoco”, y sus impactos son ya relevantes.
- Según los resultados del Grupo de Trabajo II del Cuarto informe Científico AR4 del IPCC para América Latina (IPCC, 2007b), el Perú, como parte de la región andina tropical, es uno de los países que se verá más afectado por las consecuencias del cambio climático.
- Para realizar estudios de impactos de los posibles cambios del clima en el futuro en la Región Ancash, se requiere de modelos climáticos. Estos modelos requieren como entrada los escenarios futuros de emisiones de GEI los que a su vez se basan en modelos socio-económicos globales.
- En el presente estudio se ha considerado la evaluación de los últimos modelos globales CMIP5 del IPCC para Perú, con miras a implementar técnicas combinadas de regionalización, en un futuro próximo, para generar escenarios con mayor detalle para la Región Ancash. El horizonte de evaluación corresponde al time-slice 2016-2045 centrado en el año 2030, bajo el contexto del nuevo escenario pesimista de emisiones RCP8.5, habiéndose considerado como periodo de línea de base climática 1971-2000.
- Los modelos globales utilizados son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR. **Los principales cambios proyectados en la Región Ancash**, considerando el promedio de los modelos globales son:

**1,3 °C a 1,6 °C**

Incremento de la temperatura del aire promedio anual 2030.



**0 % a 12%**

Sin cambios significativos de la precipitación promedio anual 2030 (cambios dentro de la variabilidad).

- Las proyecciones del clima futuro tienen dosis de **incertidumbre**. Sin embargo, es una herramienta que nos permite conocer los posibles desafíos a los que nos enfrentaremos en el futuro. Es importante conocer las incertidumbres y manejarlas. También hay una necesidad de planificar estrategias sólidas para prepararse para un futuro incierto.

# CAPÍTULO I.

## INTRODUCCIÓN

Según el IPCC (2007) la temperatura del aire global de la Tierra está aumentando desde hace varias décadas. Desde comienzos de siglo XX la temperatura media global se ha incrementado en 0,74 °C, y los últimos doce años 2000-2011 son considerados como los más cálidos de los últimos 100 años, sin embargo, estos valores globales difícilmente explican los cambios del clima regional y local. Y es que diversas investigaciones hacen referencia de evidencias inequívocas de procesos de “cambios en el clima”, unos más acelerados y evidentes que otros, causando problemas críticos como escasez de agua, degradación de los suelos, pérdida de biodiversidad, etc.

En el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático – SCNCC, el SENAMHI (2009) generó dos estudios importantes: “Caracterización del clima en el Perú: periodo 1971-2000” y “Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030”; ambos a una escala de 1/2'000,000. Los resultados dan cuenta de tendencias distintas en el comportamiento de variables como la precipitación, y más bien una tendencia general de calentamiento del orden de 0,2 °C por década, en los últimos cuarenta años (SENAMHI, 2009). No obstante, de los importantes alcances de estos estudios aún es poco lo que conocemos sobre los impactos que tendría el cambio climático en los patrones termopluviométricos de escala nacional y particularmente sobre ámbitos más regionales.

Surge entonces la necesidad de fortalecer la capacidad de respuesta de la población de manera organizada frente a los impactos negativos del cambio climático, orientando sus acciones a nivel regional, para lo cual es necesario diseñar “estrategias” que se constituyan en instrumentos de gestión para enfrentar cambios del clima, expresados en una mayor variabilidad y e impactos diferenciados dada la gran diversidad topoclimática de nuestro territorio. Sin embargo, si en este proceso las regiones presentan dificultades para elaborar dichas estrategias, es poco lo que se puede avanzar, por lo que el MINAM a través del Proyecto “Fortalecimiento de capacidades regionales en la gestión del cambio climático” busca reforzar las capacidades de respuesta ante estos cambios a través del diseño y formulación de las estrategias y planes de acción en nueve regiones del país.

El SENAMHI ha sido identificado como la entidad ejecutora de las actividades relacionadas con el estudio de los escenarios climáticos a nivel regional para el año 2030 en el marco de dicho Proyecto, en razón de sus funciones inherentes como órgano adscrito del Ministerio del Ambiente, su experiencia y conocimiento en la generación y suministro de información científica relacionada a la línea de base climática, así como las estimaciones cuantitativas de los cambios esperados en el clima en todo el territorio nacional, las cuales sirven de referencia para elaborar estudios integrados de impacto y vulnerabilidad, así como para valorar las necesidades de adaptación planificada al cambio climático en diversos sectores y sistemas socioeconómicos.

Esta publicación brinda información relevante sobre el clima actual de la Región Ancash, para el periodo 1965-2012. Generar escenarios regionales implicaría un tiempo de cálculo computacional que se extendería más allá de los tiempos de ejecución del proyecto, por lo que en este estudio se presenta las primeras aproximaciones de los últimos modelos CMIP5 del IPCC para la generación de escenarios climáticos para el año 2030, en base a los escenarios de emisiones RCP8.5, siendo necesario complementar estos resultados con la implementación de metodologías de reducción de escala.

## CAPÍTULO II.

### LA REGIÓN ANCASH

#### 2.1 MARCO GEOGRÁFICO

La Región Ancash se ubica en el sector noroeste del Perú, su territorio está emplazado en la vertiente occidental de la cordillera con predominancia de formación andina, y costera. El relieve es variado y presenta zonas de montaña muy accidentado, zonas de valles y quebradas profundas recorridos por los ríos Santa, Casma, Culebras, y Huarmey. Hacia el este alcanza la cima de la Cordillera Negra, la cual demarca la división de aguas; más al oriente se encuentran las cumbres nevadas y glaciares de la cordillera blanca y el Callejón de Conchucos.

La Región Ancash limita por el norte con la región La Libertad, hacia el este con Huánuco, al sur con Lima y por el oeste con el Océano Pacífico en la figura 1. A lo largo de litoral, encontramos hermosas playas y una franja desértica disectada por los ríos Santa, Casma, Culebras, y Huarmey.

##### **2.1.1 Geomorfología**

Las tierras bajas de la región Ancash presentan planicies sedimentarias, cerros y colinas bajas, que se elevan en dirección este. Estas tierras bajas son cortadas por ríos escasos de agua, cuyas cuencas colectoras están situadas en los altos andes, no recibiendo afluente, en la región costera, y secándose muchos de ellos antes de llegar al mar. Existen además muchos cauces secos, que conducen agua solo cuando en las partes altas caen las lluvias excepcionalmente o cuando llueve en la costa.

Las tierras medias presentan una orografía compleja, con valles estrechos y laderas muy empinadas, y disección en quebradas con pocas planicies.

Las tierras altas presentan relieve variado, zonas onduladas y altamente escarpadas.

La selva alta es muy compleja, con pendientes extremas y valles estrechos entre los 2000 y 3500 msnm. Debajo de los 2000 msnm, los valles se tornan más amplios y el relieve es más moderado.



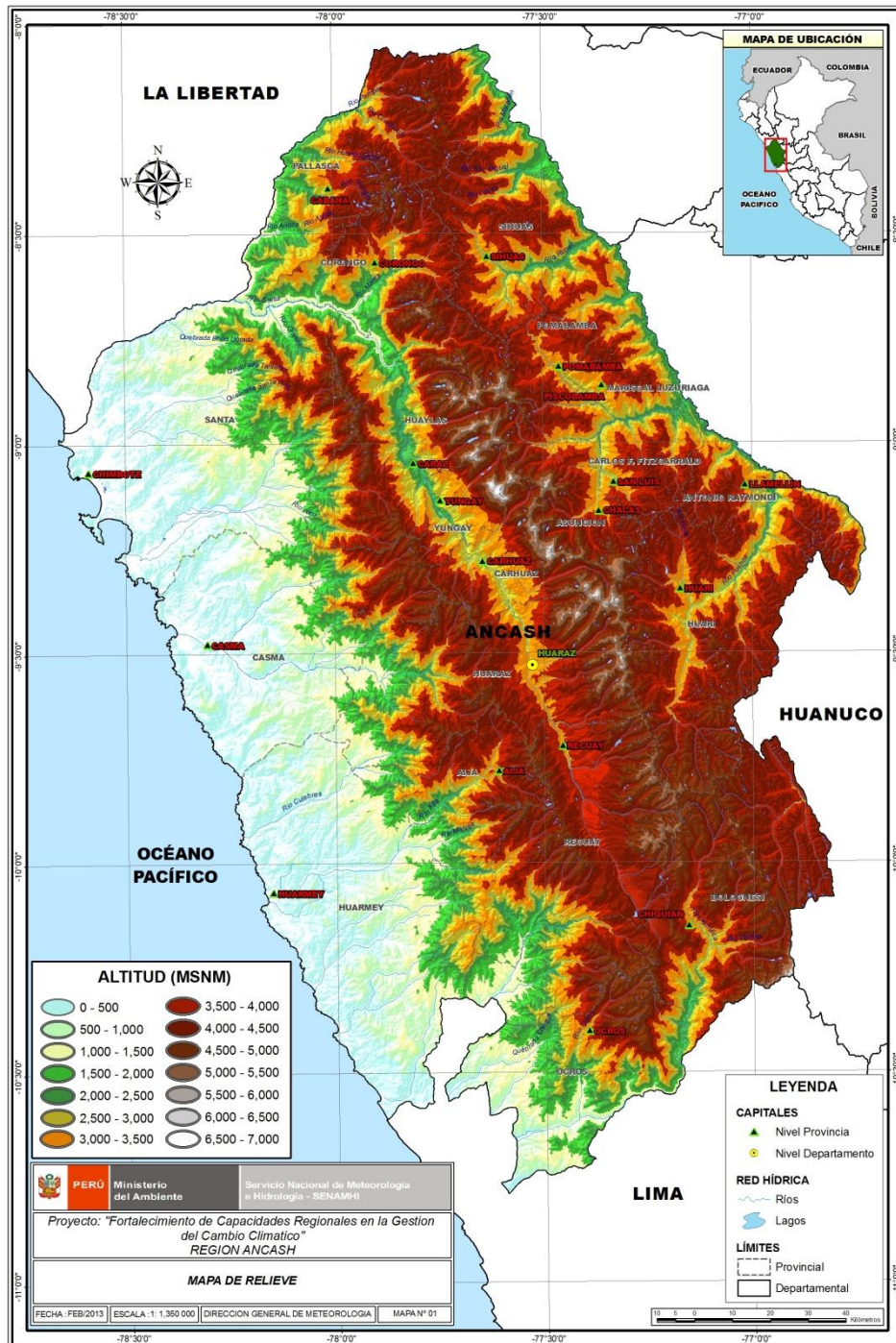


Figura 1: Mapa de relieve de la Región Ancash

### **2.1.2 Hidrología y Glaciar**

El río Santa es el más importante de la vertiente occidental del departamento de Ancash, es el de mayor longitud, es torrentoso de diciembre a marzo donde el caudal supera los 900 m<sup>3</sup>/s cerca de la desembocadura, en los meses de invierno el caudal es mayor a 50 m<sup>3</sup>/s adecuado para la práctica de canotaje.

El Río Santa atraviesa la Región Ancash tiene su origen en las Lagunas Aguashcocha y Conococha, ubicadas en el extremo sur-este del Callejón de Huaylas. Tiene una extensión aproximada de 316 Km desde su nacimiento hasta su desembocadura, presentando una pendiente promedio de 1.4 %, la que se hace más pronunciada en el sector comprendido entre las desembocaduras de las quebradas Cedro y Quitaracsa, denominado "Cañón del Pato", en donde alcanza una pendiente del 4 %. Desde sus nacientes, en gran parte del recorrido se divisa un valle de origen tectónico, encontrándose encajonado por las Cordilleras Blanca y Negra. Estudios realizados por el MINEM (1998), señala que la superficie de la cuenca colectora es de 14 954 Km<sup>2</sup>, y el 83 % de esta área corresponde a la cuenca húmeda (12 412 Km<sup>2</sup>), es decir, el área de la cuenca que se encuentra por sobre los 2000 msnm, y corresponde al área de escurrimiento superficial.

El caudal del Río Santa depende de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta y además del aporte de 23 ríos que provienen de los deshielos de 457 glaciares ubicados en la Cordillera Blanca, los que contribuyen a mantener una considerable descarga, aún en época de estiaje, lo cual hace del Río Santa uno de los ríos más regulares de la Costa peruana. Cuatro centrales hidroeléctricas están situadas a lo largo del río entre la Cordillera Blanca y la franja costera (Mark, 2007).

Entre los impactos severos del calentamiento global, es el retroceso acelerado de los glaciares, y particularmente de los glaciares tropicales andinos por su "poca eficiente" capacidad de recarga. Según el Instituto Andino de Glaciología y Geo-Ambiente en la Cordillera Blanca, el área total de glaciares inventariada es de 724 Km<sup>2</sup>, que almacenan un volumen estimado de 22 600 MMC de agua, pero debido a procesos de ablación (acción erosiva del hielo) en los últimos 50 años se habrían reducido en 22 % de acuerdo al inventario de 1997 obtenido desde imágenes de satélite.

Considerando la recarga de un glaciar depende de las precipitaciones y las temperaturas, y entendiendo que el impacto del calentamiento global está asociado a cambios en las condiciones climáticas expresadas en una mayor variabilidad climática, nos planteamos como previsible que uno de los mayores riesgos que enfrentarían las cuencas andinas del Perú en el mediano y largo plazo, tiene que ver con la inminente reducción de la disponibilidad hídrica en todas sus dimensiones (agua para consumo humano, agua para riego, agua para uso industrial, minería y generación de energía), que podría traer como consecuencia conflictos sociales. Según el MINEM (2008), cerca del 60 % de la energía eléctrica del Perú, proviene de centrales hidroeléctricas, en consecuencia la vulnerabilidad del sector energético frente al cambio climático es aún preocupante.

Según estudios realizados por Pouyaud et al. (2003), las cuencas con glaciares grandes como Parón, Llanganuco, Chancos, Los Cedros, Quillcay y Colcas, han presentado un marcado déficit de escurrimiento, a partir de la segunda mitad de los años 70s, siendo ésta la prueba contundente del rápido retroceso de los glaciares de la Cordillera Blanca. La velocidad de retroceso del glaciar Yanamarey, se ha incrementado de 5 m/año observado entre 1948 y 1977, a 20 m/año entre 1977 y 2003, es decir, cuatro veces más (Mark et al., 2005).

## 2.2 CONTROLADORES CLIMÁTICOS

Los principales sistemas atmosféricos de gran escala que controlan el tiempo y clima sobre Sudamérica, Perú, y Ancash, es la Alta de Bolivia (AB), la Vaguada del Nor Este de Brasil (VNEB), los sistemas semipermanentes como el Anticiclón del Pacífico Sur (APS), Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), la Zona de Convergencia Intertropical. Además de los factores físicos como la latitud, altitud, y la Cordillera de los Andes cuyas altitudes llegan en Ancash hasta los 6768 m.

### 2.2.1 A gran escala

Los patrones de circulación atmosférica sobre Sudamérica presentan variación estacional que obedece a procesos termodinámicos complejos, relacionados con el balance de energía. Aunado a esto, se tiene la presencia de un factor físico que modula el clima: la Cordillera de Los Andes. Los Andes perturban significativamente la circulación atmosférica desde pocos a varios miles de kilómetros (Gurreaud, R. 2009). Esta barrera natural orientada aproximadamente de norte a sur, divide en dos vertientes (occidental y oriental) al continente sudamericano, las cuales presentan climas diferenciados en la región sur tropical; la vertiente oriental se caracteriza por un clima con mayor presencia de humedad y consecuentemente mayor ocurrencia de precipitaciones en especial en los meses de verano, mientras que la vertiente occidental desde 3° S presenta un clima árido, incluso, la franja desértica del sur de Perú y norte de Chile es considerada una de las zonas más áridas del mundo (SENAMHI, 2012).

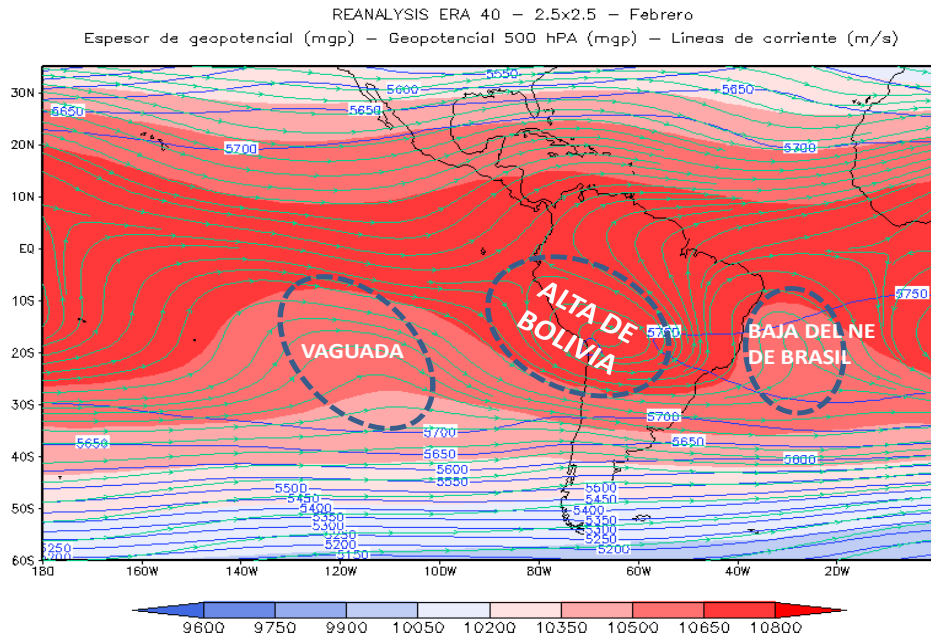
El ciclo anual de las precipitaciones en las regiones tropicales de Sudamérica, está asociado a patrones de circulación sobre Sudamérica y océanos adyacentes (Nishizawa y Tanaka, 1983; Chu, 1985). Las configuraciones atmosféricas típicas de verano e invierno austral, definen la variación estacional de la precipitación y temperaturas, siendo el verano típicamente la estación lluviosa, y el invierno la temporada seca o de estiaje.

El comportamiento físico a escala regional de la circulación atmosférica y su influencia en la variación de la precipitación y temperaturas de la Región Ancash son analizados a continuación.

**En el verano austral (DEF)**, climáticamente los rayos solares caen perpendicularmente sobre el trópico en esta estación del año. La circulación atmosférica sobre Sudamérica a 12 km es de giro antihorario con centro sobre Bolivia, denominada Alta de Bolivia (AB) como respuesta a la presencia de humedad atmosférica y calor sensible sobre la superficie del continente y se proyecta principalmente sobre Perú, Chile y Bolivia, con gran concentración de energía en verano; apoyado por una atmósfera cálida entre 1.5 - 12 km con un mayor espesor de la columna atmosférica que alcanza los 10600 mgp<sup>1</sup> en la figura 2; y aunado a la interacción de la configuración dinámica y termodinámica en la alta tropósfera con la Vaguada del Noreste de Brasil (VNEB) de giro horario con extensión a lo largo del límite del continente y el Atlántico; favorecen el desarrollo de sistemas convectivos importantes, precipitaciones sobre el norte de Chile y Bolivia, así como en el centro y sur de Perú; donde la Región Ancash es directamente afectada, totalizando las mayores precipitaciones y las temperaturas mínimas más altas del año, valores característicos de verano.

---

<sup>1</sup> mgp: metros geopotenciales



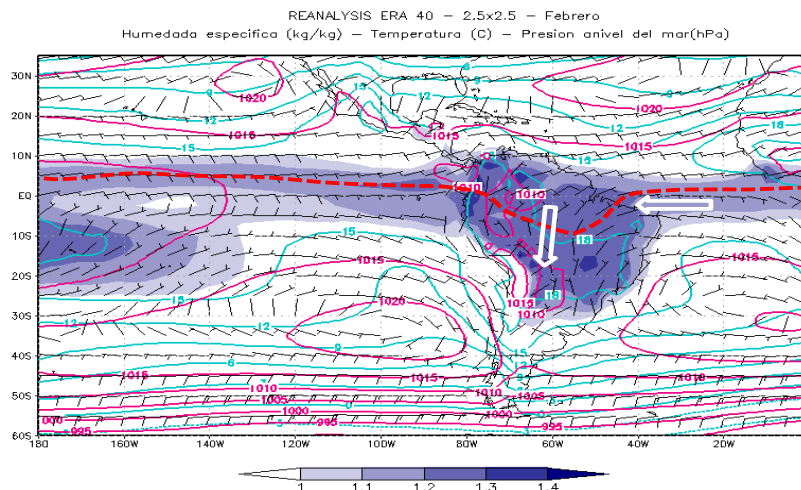
**Figura 2:** Circulación atmosférica de verano (DEF) a 12 Km (200 hPa), geopotencial de 5 km línea entrecortada azul (500 hPa) y espesor de la columna entre 1.5 -12 Km (200 y 850 hPa).

En niveles bajos de la atmósfera a 1.5 Km (850 hPa) los flujos de vientos del este provenientes del Atlántico y de la Amazonia son desviados hacia el sur por efecto de la cordillera; favoreciendo una mejor distribución e incursión de humedad de 1.3 g/kg sobre el norte y centro de Sudamérica; siendo una condición potencial para la ocurrencia de precipitaciones sobre el territorio peruano, especialmente en la zona central, favoreciendo las lluvias principalmente en la zona este de la Región Ancash (ver Anexo 10).

Además, el encuentro de los vientos alisios de los hemisferios sur y norte forman un cinturón de extensas bandas de convección aislada alrededor de toda la región ecuatorial, conocido como la Zona de Convergencia Intertropical – ZCIT en la figura 3, ubicándose entre 2° a 5°N; mientras que sobre continente fluctúa alrededor de 8°S.

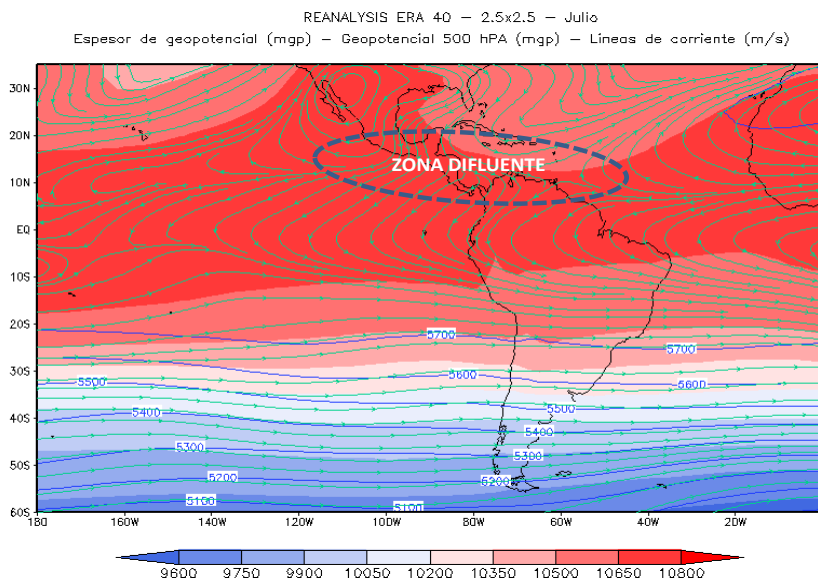
La posición de la ZCIT varía en función de la posición del sol en el cenit (perpendicularidad de los rayos solares), por lo que el ciclo estacional de la ZCIT constituye un factor de suma importancia para el periodo de lluvias en Sudamérica.

Durante el verano, la ZCIT entra en fase con el movimiento cuasiestacional del Anticiclón del Pacífico Sur (APS). El APS migra hacia el sur sobre los 32°S – 90°W apoyando el desplazamiento de la ZCIT en la misma dirección el cual se aproxima a la línea ecuatorial, favoreciendo la actividad convectiva sobre el sector norte de Perú. El APS sistema semipermanente de alta presión, las masas de aire y viento y los andes, son factores importante que actúan sobre el comportamiento de los elementos del clima como la temperatura, precipitación, humedad, entre otros; produciendo en la zona central este del país y de la Región Ancash, un clima cálido húmedo con lluvias fuertes, ver figura 3.



**Figura 3:** Circulación atmosférica invierno sobre Sudamérica. Vientos y humedad específica a 850 hPa, presión reducida a nivel medio del mar (hPa) y ZCIT (línea gruesa roja entrecortada). Fuente de datos: Reanalysis NCEP 1971-2000. Elaboración: SENAMHI.

En el invierno austral (JJA), climáticamente los vientos predominantes sobre Sudamérica son de dirección oeste en la tropósfera alta (12Km) e intensos sobre el sur de Perú y norte de Chile, caracterizados por el escaso transporte de humedad y generan la convergencia y por consiguiente la subsidencia a su paso. La energía en la columna atmosférica entre 1.5 - 12 km disminuye en el sector centro y sur del territorio peruano provocando nulas a escasas lluvias sobre territorio, visualizadas en la figura 4. Esta configuración también favorece se registren las temperaturas mínimas más bajas del año, así como calentamientos diurnos intensos, generando consecuentemente el período de heladas meteorológicas más intensas (debajo de 0° C), principalmente al sur y centro de Perú afectando las zonas altas por encima de los 3000 m en la Región Ancash.

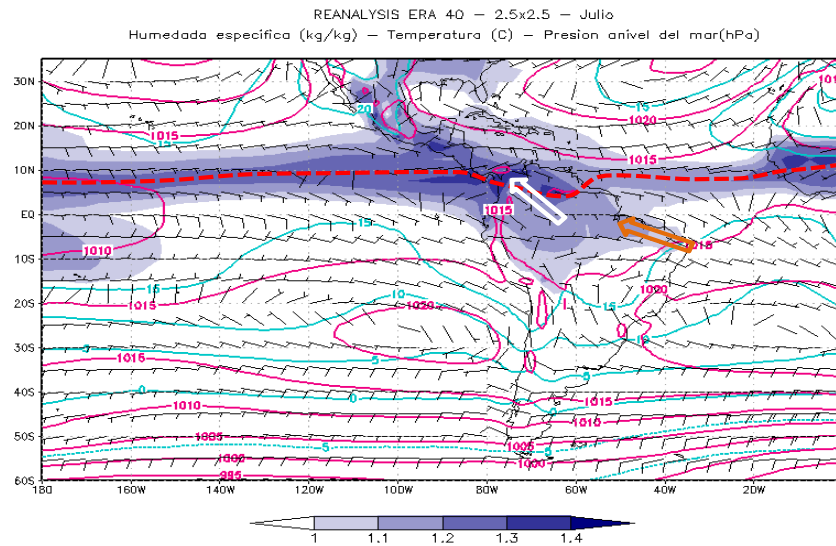


**Figura 4:** Circulación atmosférica de invierno (JJA) a 12 Km (200 hPa), geopotencial de 5 km línea entrecortada azul (500 hPa) y espesor de la columna entre 1.5 -12 Km (200 y 850 hPa).

En los niveles bajos de la atmósfera 1.5 Km (850 hPa) en la figura 5, los vientos provenientes del Atlántico y de la Amazonia confinan la mayor humedad hacia el extremo norte de Sudamérica, dejando menor humedad sobre el Perú; lo que permite menores a escasas precipitaciones en el territorio

principalmente al este sobre la vertiente oriental y nulas a escasas al occidente. En la Región Ancash, la esta condición favorece la ocurrencia de cielos despejados o escasa nubosidad (ver Item 2.5).

La ZCIT se ubica entre 8 a 9°N sobre el Pacífico; mientras que en continente se ubica alrededor de 5°N, ver Figura 5, retirada hacia el norte de Perú, provocando lluvias principalmente en el sector nororiental de Perú.



**Figura 5:** Circulación atmosférica invierno sobre Sudamérica. Vientos y humedad específica a 850 hPa, presión reducida a nivel medio del mar (hPa) y ZCIT (línea gruesa roja entrecortada). Fuente de datos: Reanálisis NCEP 1971-2000. Elaboración: SENAMHI.

### 2.2.1 A escala local

El mecanismo físico local más importante de la precipitación en la región Ancash, ocurre cuando las masas de aire cálido y húmedo procedentes de la Cuenca Amazónica llegan a los Andes orientales y ascienden por efecto orográfico, produciéndose un rápido enfriamiento que reduce gran parte de su capacidad para sostener la humedad inicial, produciéndose la precipitación (Gómez, D. 1978). Este desecamiento parcial de la atmósfera es el causante de la disminución gradual de la precipitación en dirección oeste (Ávalos, 2009). En la localidad de Chiquian a una altitud de 3350 msnm las lluvias totalizan 601.8 lt/m<sup>2</sup> anuales, siguiendo en dirección oeste la localidad de Chimbote ubicado a una altitud de 11 msnm, las lluvias totalizan 6 lt/m<sup>2</sup> anuales, cuando ocurre eventos de El Niño extraordinarios, las lluvias superan esta cantidad.

Los eventos de lluvia intensa ocurren cuando la masa de aire húmeda en niveles medios de la columna atmosférica proveniente de la Cuenca Amazónica, fluye sobre las cadenas montañosas y converge principalmente en horas de la tarde con las brisas de valle-montaña (circulación local) que se desarrollan por el calentamiento diurno de la superficie. Las mayores precipitaciones ocurren en el sector NW de los valles de dirección NW-SE (Avalos, 2012). Estas precipitaciones en la cabecera de cuenca, dan lugar o alimentan a ríos importantes como El Santa, entre otros de la Región Ancash.

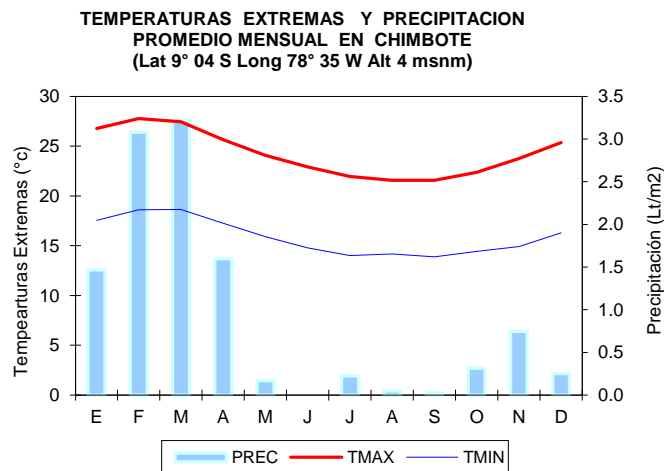
Además, una fuente importante de humedad local para las precipitaciones en la cabecera de cuenca de los ríos principales y menores, son los lagos, los suelos saturados de humedad y la cubierta vegetal, que mediante los mecanismos de evaporación y evapotranspiración constituyen fuente importante de humedad para las precipitaciones.

## 2.3 CLIMA Y METEOROLOGÍA

### 2.4.1 Clima

En la Región Ancash el clima es benigno, el callejón de Huaylas y la cordillera blanca, hacen de esta Región uno de los más importantes destinos turísticos. El clima de Ancash está influenciado por los factores de oceanidad, continentalidad, orientación de la cordillera interandina, exposición a la radiación solar y el flujo de los vientos. Según la clasificación climática de Thornthwaite, Ancash cuenta con los siguientes tipos de Climas:

Clima de tipo: árido, semicálido y seco, con deficiencia de lluvias todo el año y alta humedad del aire debido a la proximidad al mar. Se caracteriza por tener una temperatura promedio anual de 18 °C con esporádicas lloviznas en invierno tal como puede apreciar en la figura 6 correspondiente a la localidad de Chimbote. La variación mensual de las temperaturas diurnas es ligera; igualmente sucede con las variaciones interdiarias, ello se debe al efecto termorregulador de las aguas oceánicas. Este efecto se manifiesta sobre el rango anual de las temperaturas máximas y mínimas las cuales son de 6.5 - 4.5 °C respectivamente; en contraposición a los rangos promedios diarios son de mayor amplitud alcanzando magnitudes de 9.1 °C en verano y 7.3 °C en invierno.



**Figura 6:** Variación mensual de las temperaturas extremas y precipitación en Chimbote.

El brillo solar en la ciudad de Chimbote y en localidades aledañas es permanente, se restringe un poco en invierno en el mediodía y horas posteriores; conforme nos desplazamos hacia el sur el brillo solar disminuye.

En Chimbote y otras ciudades costeras como Santa, Casma, y Huarney, las temperaturas más altas ocurren en el mes de febrero donde la temperatura máxima promedio llega a 28 °C en Chimbote y valores similares en las restantes ciudades; ocasionalmente ocurren temperaturas máximas diarias de 30 °C ó más cuando el mar está caliente y el viento es del norte, entonces se presenta una fuerte estabilidad atmosférica (el viento es muy ligero), o cuando ocurren eventos de El Niño de intensidad moderado o fuerte. Cuando El Niño es débil el clima y tiempo en la Región Ancash es normal o sin mucha variación.

Las temperaturas en las playas del litoral de la Región Ancash son ligeramente mayores a las que ocurren frente a las costas de Ica y Lima, debido a una menor intensidad de los afloramientos; pero su transparencia del agua es baja al igual que en todo el litoral. En verano se tiene temperatura superficial del mar alrededor de 21 °C y a finales de invierno de 15 °C.

Clima del tipo semicálido y templado, con deficiencias de lluvias en otoño, invierno y primavera y lluvias moderadas en verano; comprende este tipo de clima las localidades ubicadas en las zonas bajas de la vertiente occidental entre los 500 a 2500 msnm, con una temperatura promedio anual de 17 °C.

Clima del tipo semiseco y templado con abundantes lluvias en verano, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, corresponde a este tipo las provincias asentadas en el callejón de Huaylas y el callejón de Conchucos. En estas serranías la magnitud de las temperaturas diurnas y nocturnas está en función de la altitud y de la nubosidad, las temperaturas disminuyen con la altura a razón de 0,5 °C por cada 100 metros.

En el Callejón de Huaylas de norte a sur las temperaturas disminuyen gradualmente, en las ciudades de Caráz, Huaraz y Recuay, las temperaturas máximas en la estación de invierno son de 28°, 25° y 21 °C, respectivamente, y las temperaturas mínimas llegan a 9°, 4° y 2 °C, respectivamente, como puede verse en las figuras 7.

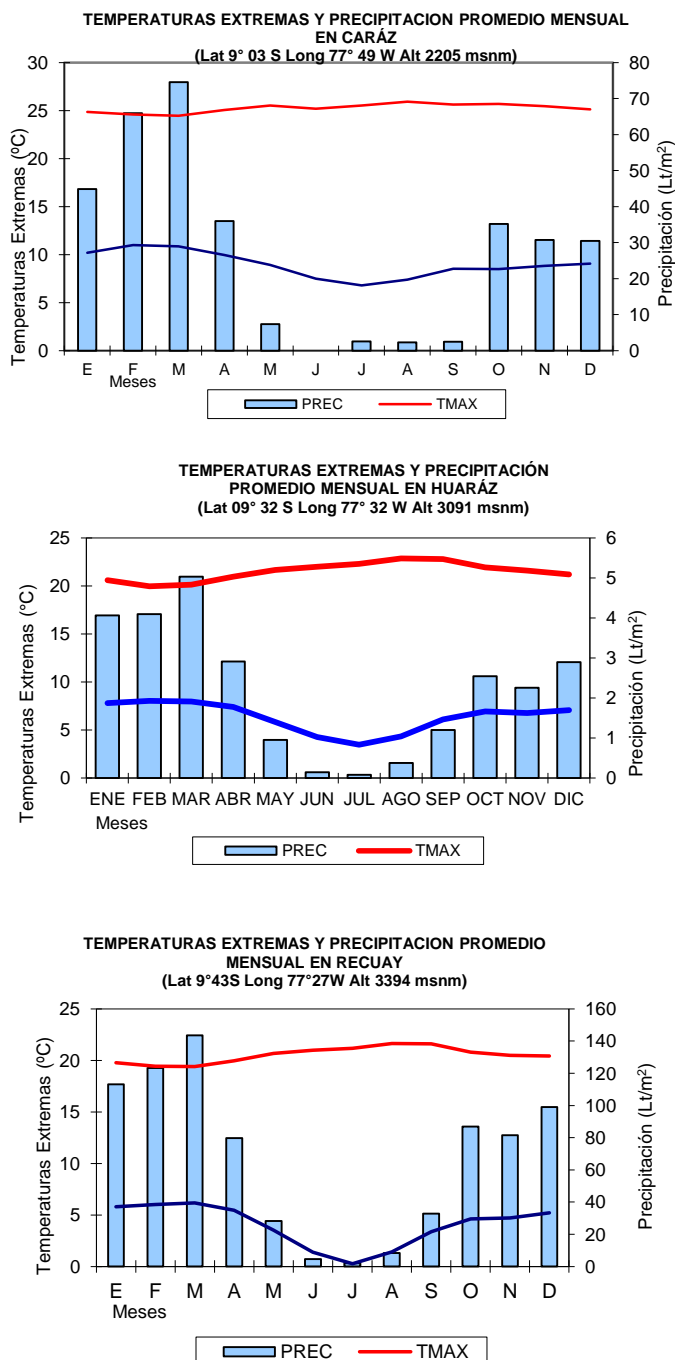


Figura 7: Variación mensual de las temperaturas extremas y precipitación en Caráz, Huaraz y Recuay.



En la vertiente oriental de la cordillera occidental (Callejón de Conchucos) las temperaturas diurnas son similares a las que ocurren en el Callejón de Huaylas ubicadas a alturas similares como puede apreciarse en las localidades de Chavín y Huari, en la figura 8.

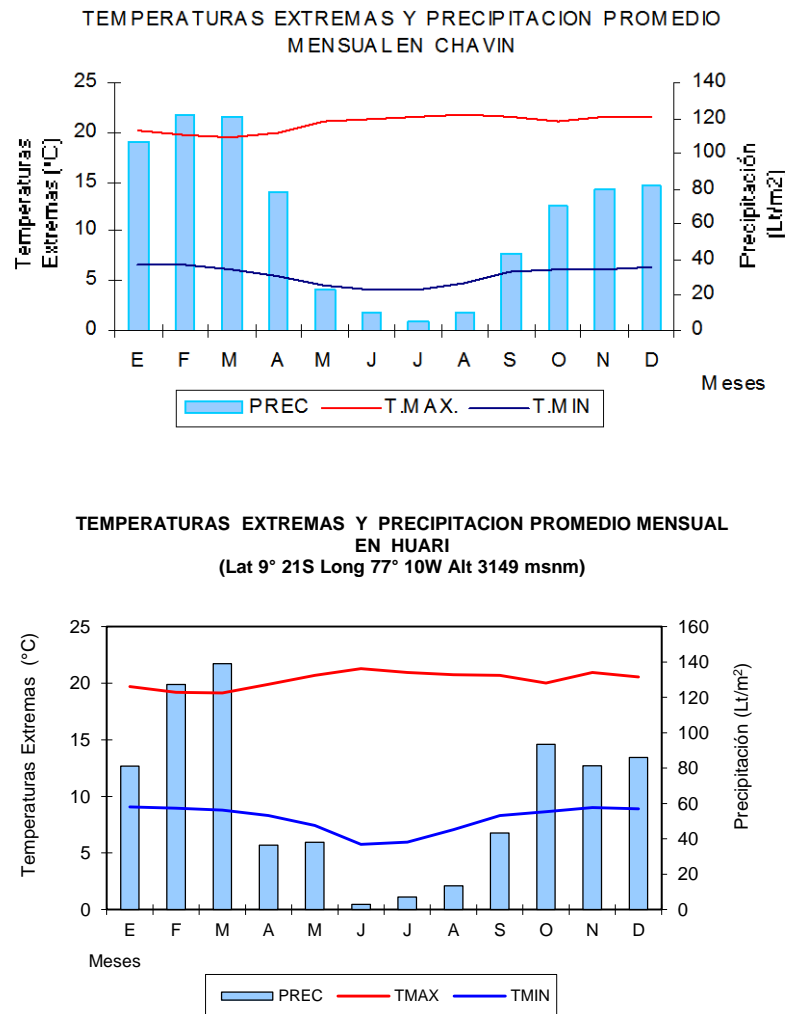


Figura 8: Variación mensual de las temperaturas extremas y precipitación en Caráz, Huaraz y Recuay.

Referente a las lluvias se restringen a la región andina de Ancash, y en general se incrementan en dirección este, totalizando el 80 % de lluvias entre diciembre a marzo en la figura 7 y 8, y ocurren generalmente después del mediodía.

En el Callejón de Huaylas y en toda la Región andina de Ancash de mayo a septiembre el cielo permanece despejado o con escasa nubosidad durante el día y noche; el viento se incrementa en velocidad por las tardes y esporádicamente son fuertes de 40 a 50 Km/h principalmente de julio a septiembre, así mismo la humedad relativa es menor o igual al 30 %.

En las partes altas de la cordillera negra entre los 3 500 a 4 500 msnm el clima es de tipo semiseco, muy frío con temperatura media menor a 10 °C y deficiencia de lluvias en invierno y lluvias intensas en verano que supera hasta en diez veces el mes más seco. De abril a septiembre el cielo presenta nubosidad de día y de noche.

Por encima de los 4 500 msnm se tiene el clima de tipo nieve - frígido comprendido en los glaciares de la cordillera blanca, donde predominan temperaturas promedio anual menor a 0 °C, durante todos los meses del año.

## 2.4.2 Meteorología

La meteorología –estudio del estado del tiempo atmosférico en el corto plazo– en la Región Ancash está determinada por los factores de distribución de tierras y aguas, masas de aire y vientos, los andes, centros semipermanentes de alta y baja presión, las corrientes oceánicas y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el Alta de Bolivia.

En las zonas altas de la Región las temperaturas diurnas más altas ocurren alrededor de las 15 horas y la temperatura mínima alrededor de las 6 horas. Tal como en la localidad de Chavín, en el verano austral la temperatura máxima llega a 26 °C y la temperatura mínima a 12 °C. Durante el período diurno, la humedad es relativamente baja y tiende a presentarse entre 20 - 50%, en tanto el período nocturno está acompañado de alta humedad relativa entre 40 - 70%, tal como puede apreciarse en la figura 9.

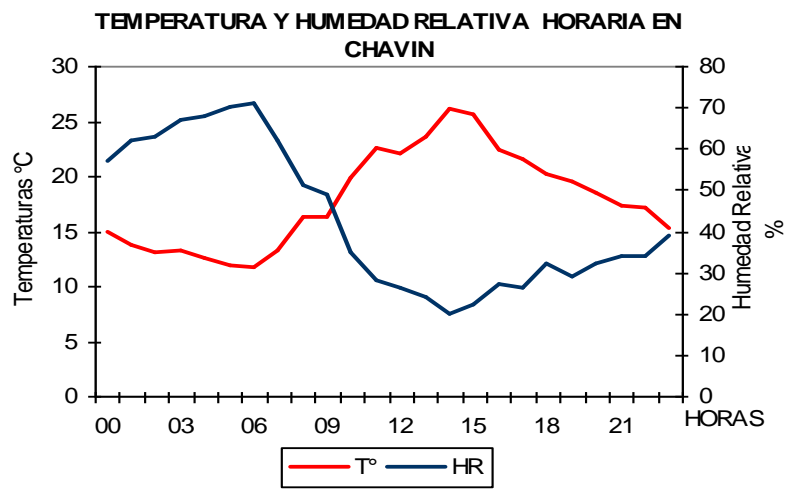


Figura 9: Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en la localidad de Chavín.

En la figura 10 se presenta la variación del comportamiento de la temperatura horaria registrado en la Estación Meteorológica Huascarán instalada a una altitud de 6200 msnm en el nevado del mismo nombre, correspondiente a los meses de marzo y agosto de 1993. En marzo, la temperatura promedio diario oscila de -6 °C a 0 °C y en agosto las temperaturas varían de -10 °C a 6 °C. En general, las temperaturas se registran frecuentemente por debajo de los 0 °C a altas altitudes, acentuándose este comportamiento en agosto.

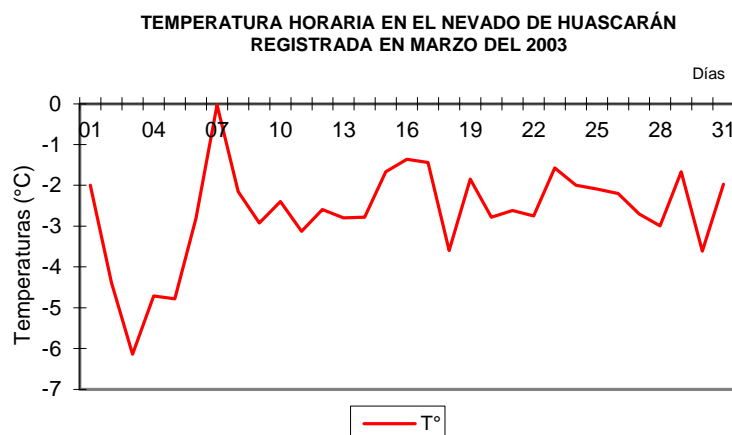
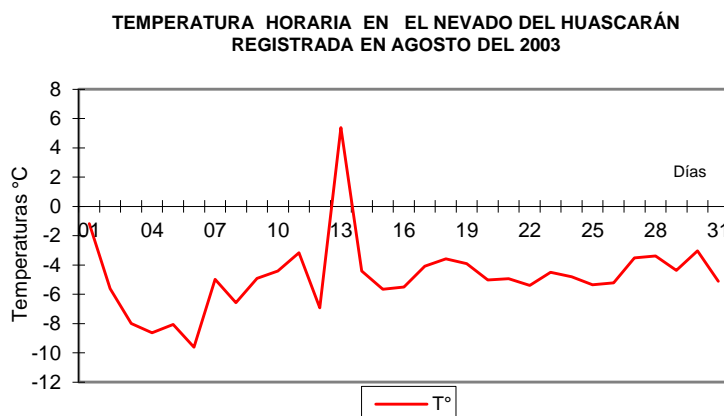


Figura 10: Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en el nevado Huascarán ubicado a 6200 msnm (mes marzo).



**Figura 10:** Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en el nevado Huascarán ubicado a 6200 msnm,(mes agosto).

## 2.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA 1971-2000

### 2.4.1 PRECIPITACIÓN

En la figura 11, las lluvias son mayores en la zona noreste de la Región Ancash y pueden llegar a superar los 700 mm anuales. En dirección oeste, se presentan los menores acumulados de 300 – 700 mm anuales y siguiendo esta dirección; en su vertiente occidental la lluvia totaliza menor a 300 mm, llegando acumular en su zona costera menor a 50 mm anuales.

En cuanto a su régimen estacional (figura 12), en el trimestre diciembre - febrero, la distribución de las lluvias tiene un comportamiento similar al anual pero con menores cantidades de lluvia. La región Ancash recibe sus mayores lluvias en este trimestre del año, totalizando en dirección noreste sus mayores lluvias alrededor de los 700 mm, en dirección oeste tienden a descender hasta los 200 mm y en su zona costera se totaliza menor a 50 mm.

En el trimestre marzo - mayo, las lluvias disminuyen, acumulando en general en su zona andina y en dirección noreste 300 mm; en dirección oeste las lluvias tienden a descender llegando a totalizar menor a 20 mm en su zona costera.

Entre julio - agosto, las lluvias disminuyen notablemente y tienden a ser menores o escasas en relación a todos los trimestres del año, las lluvias se restringen en el sector nor-noreste de la región totalizando 150 mm, en el sector este llegan entre 20 - 50 mm y en dirección oeste las más bajas precipitaciones de nulas a 20 mm.

Finalmente, entre setiembre - noviembre se da el inicio del período lluvioso en la zona andina de la Región Ancash, caracterizándose dos zonas bien diferenciadas en cuanto a lluvias, en dirección este las lluvias totalizan mayor a 50 mm, y en dirección oeste menor a 20 mm.

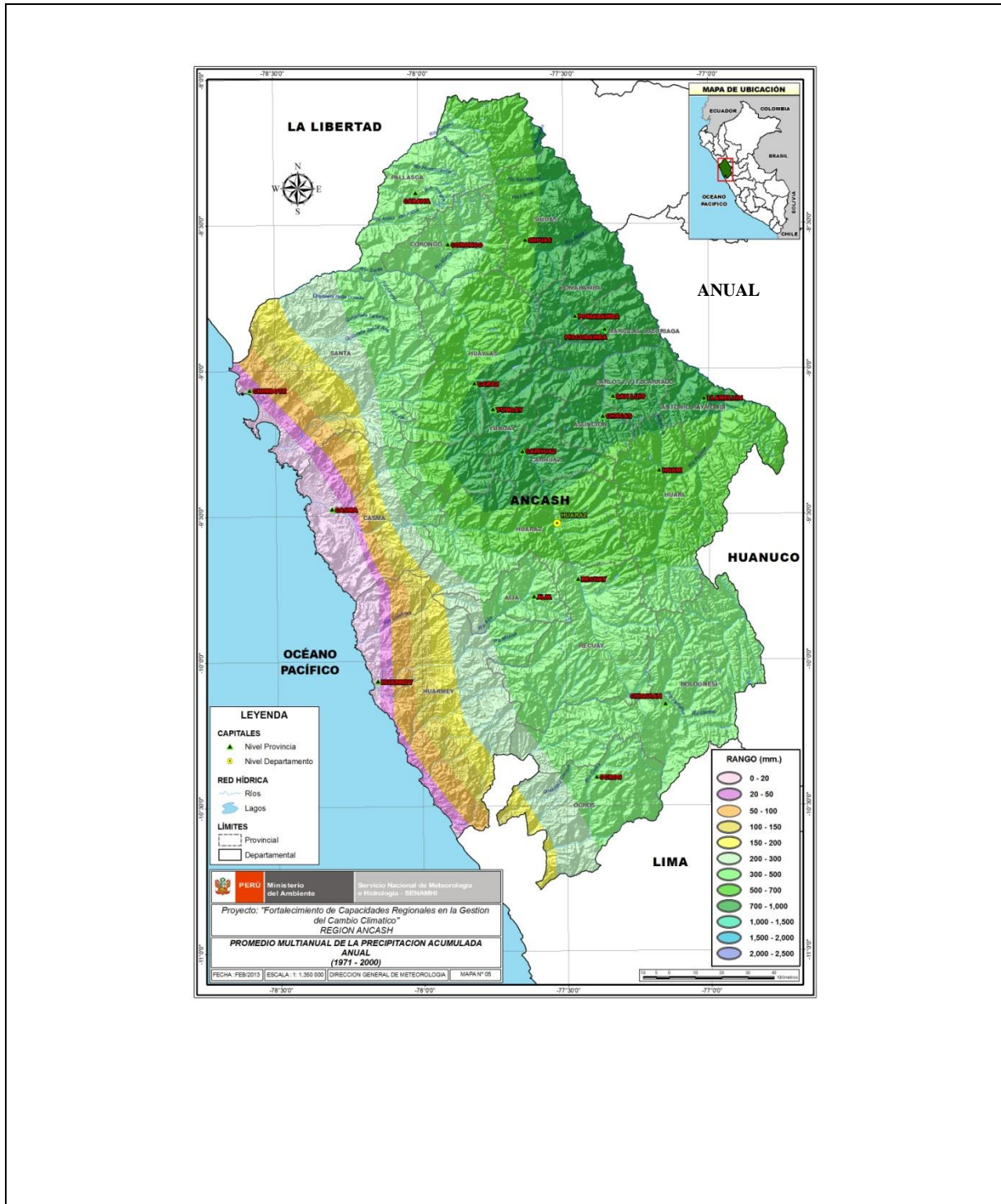


Figura 11: Distribución espacial de la precipitación anual en la Región Ancash a gruesa resolución espacial. Línea de base climática 1971-2000.

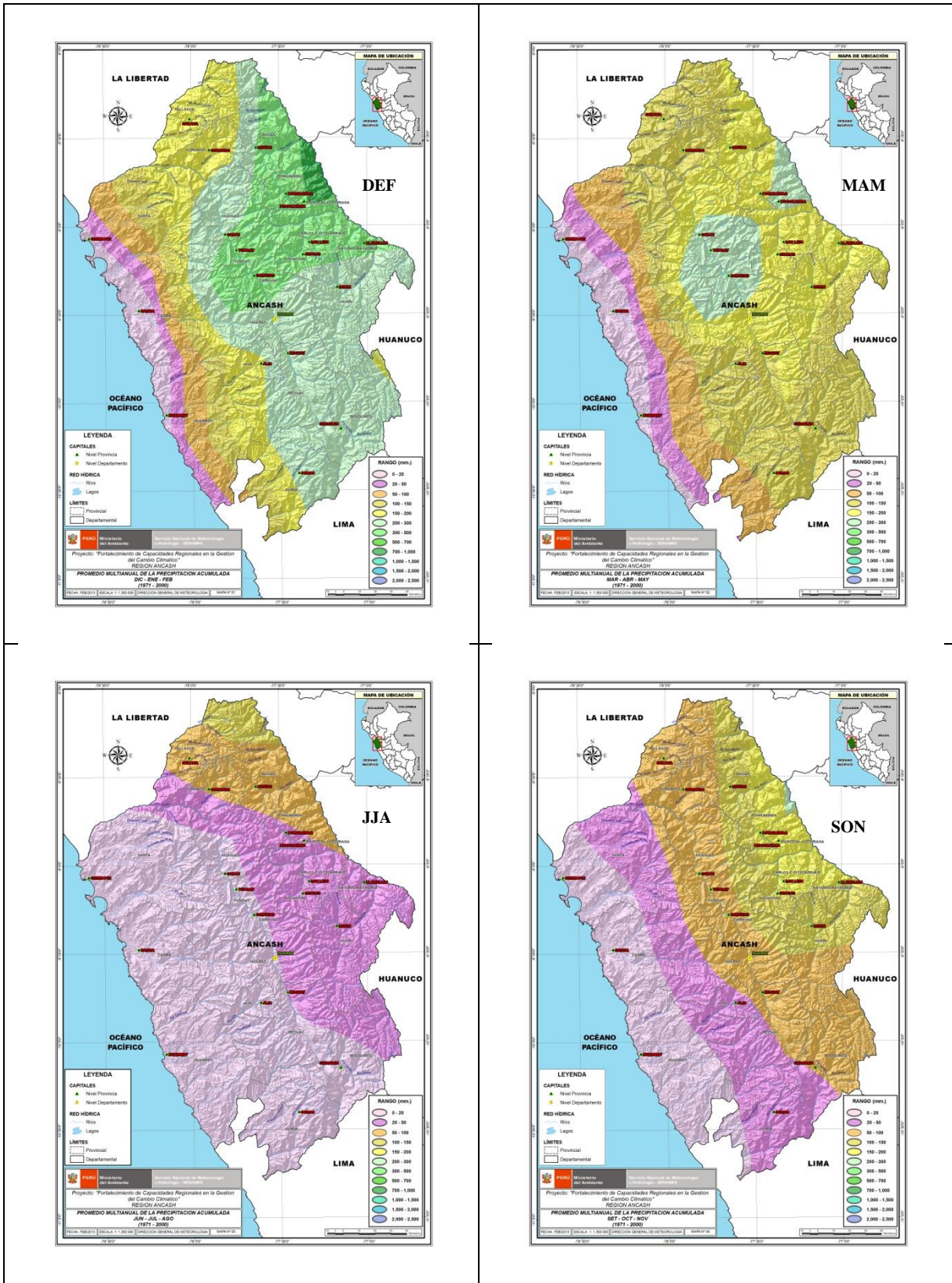


Figura 12: Distribución espacial de la precipitación estacional (DEF, MAM, JJA, SON) en la Región Ancash, a gruesa resolución espacial. Línea de base climática 1971-2000.

## 2.4.2 TEMPERATURA

En las Figuras 13 - 16 se muestra el comportamiento anual y estacional de las temperaturas extremas del aire en la Región Ancash, observándose la clara correspondencia del relieve y la distribución espacial-altitudinal de esta variable, a medida que la altitud aumenta las temperaturas disminuyen.

En la parte altoandina mayor a 4000 msnm en la Región Ancash, la temperatura máxima anual varía de 8 a 14 °C y la temperatura mínima de -4 a -8 °C, en la zona andina menor a los 4000 msnm la máxima varía de 20 - 22°C y la mínima de -4 a 8 °C, en los valles andinos la máxima es de 24 - 28 °C y la mínima de 8 - 14 °C, mientras que en la parte baja o costera de la Región Ancash, la temperatura máxima varía de 24 - 32 °C y la temperatura mínima de 10 - 18 °C.

La temperatura máxima no presenta variación significativa a lo largo del año, a diferencia de la temperatura mínima que presenta un comportamiento estacional con dos períodos bien diferenciados en invierno y verano, principalmente en la zona costera y andina. En invierno, las temperaturas mínimas son las más bajas del año y en verano las más altas del año.

En el trimestre junio-agosto las temperaturas descienden por debajo de los 0 °C en sus zonas altas por encima de los 3 500 msnm presentándose las heladas meteorológicas (temperaturas mínimas por debajo de los 0 °C), llegando hasta -10 ° C en la zona altoandina. En dirección oeste, en las zonas bajas o costera de la Región Ancash, las temperaturas mínimas en general varían de 8 a 16 °C.

En el trimestre diciembre - febrero las temperaturas mínimas se incrementan alcanzado hasta -6 °C en la zona altoandina, 2 a 8 °C en la zona andina, y en su zona costera de 12 - 20 °C.

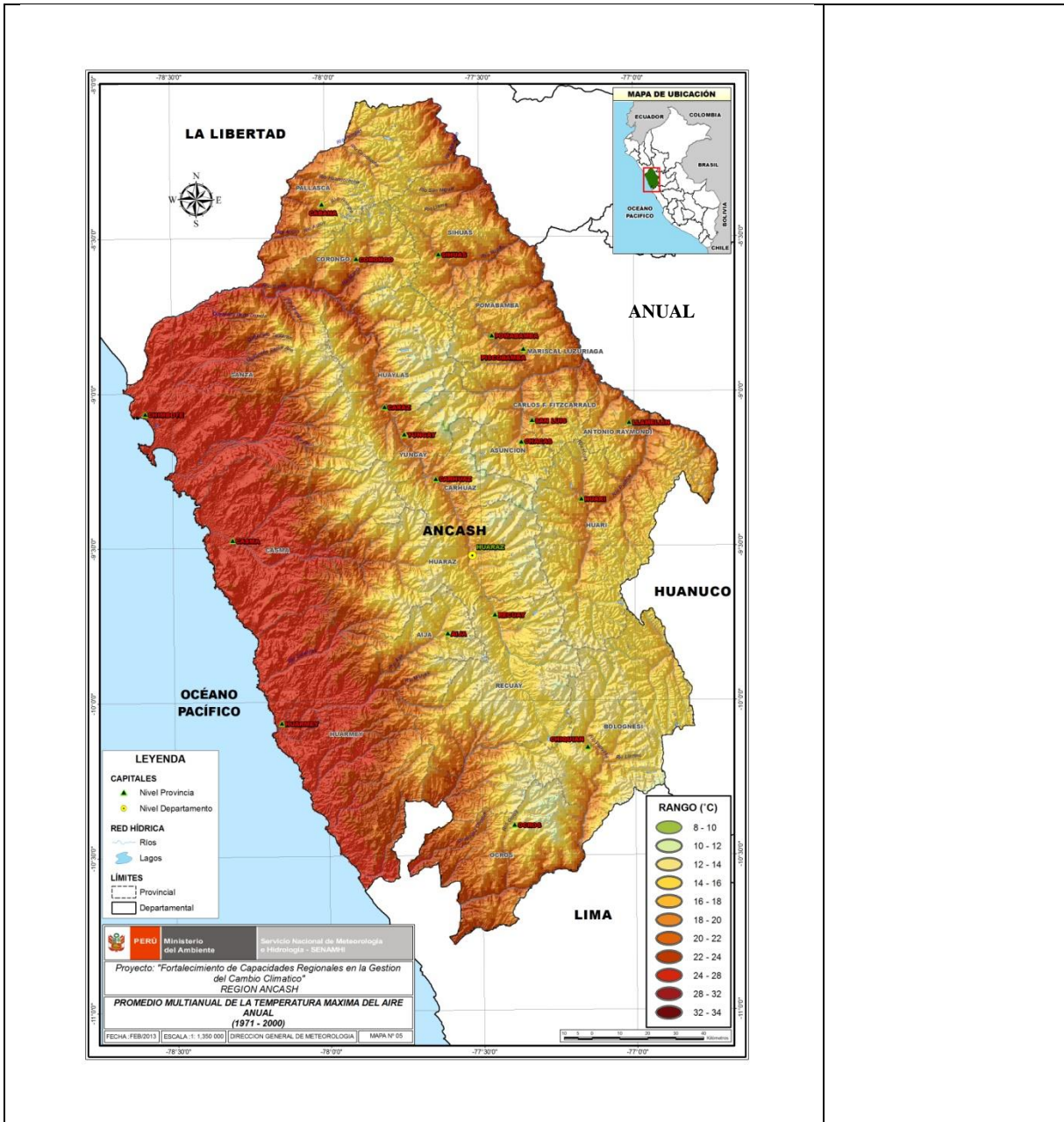


Figura 13: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la Región Ancash. Línea de base 1971-2000.

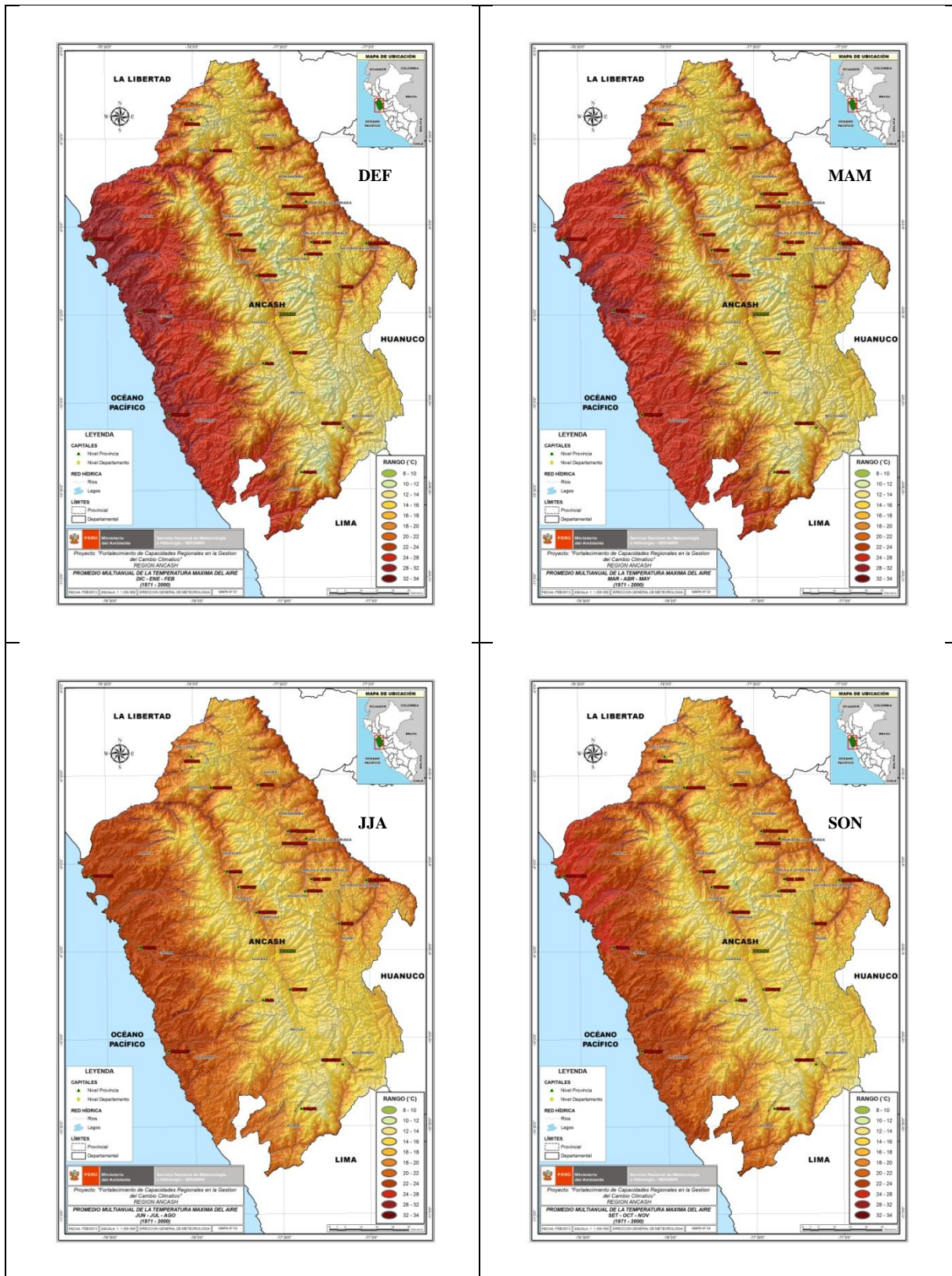


Figura 14: Distribución espacial de la temperatura máxima estacional en la Región Ancash. Línea de base 1971-2000.



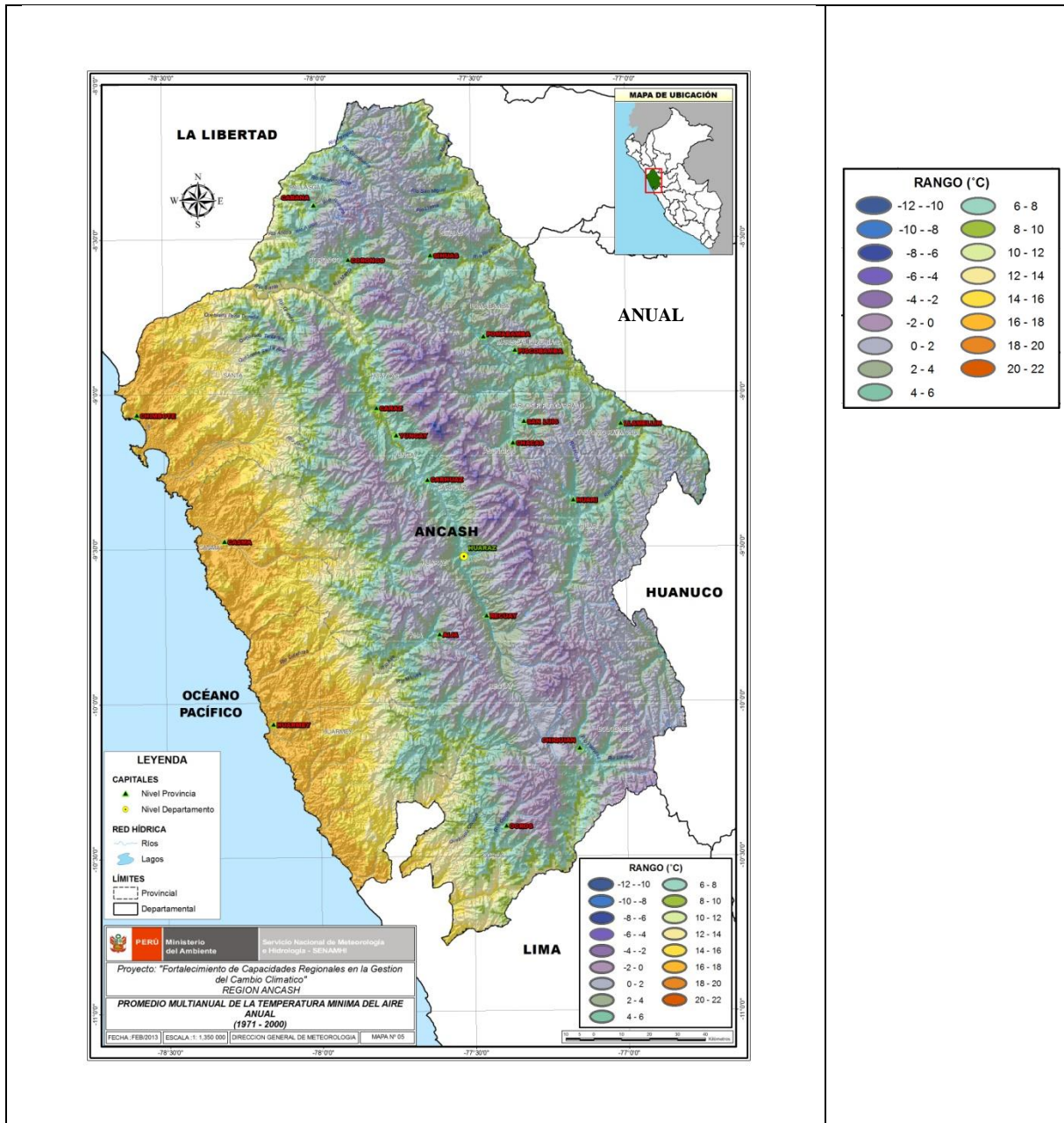


Figura 15: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la Región Ancash. Línea de base 1971-2000.

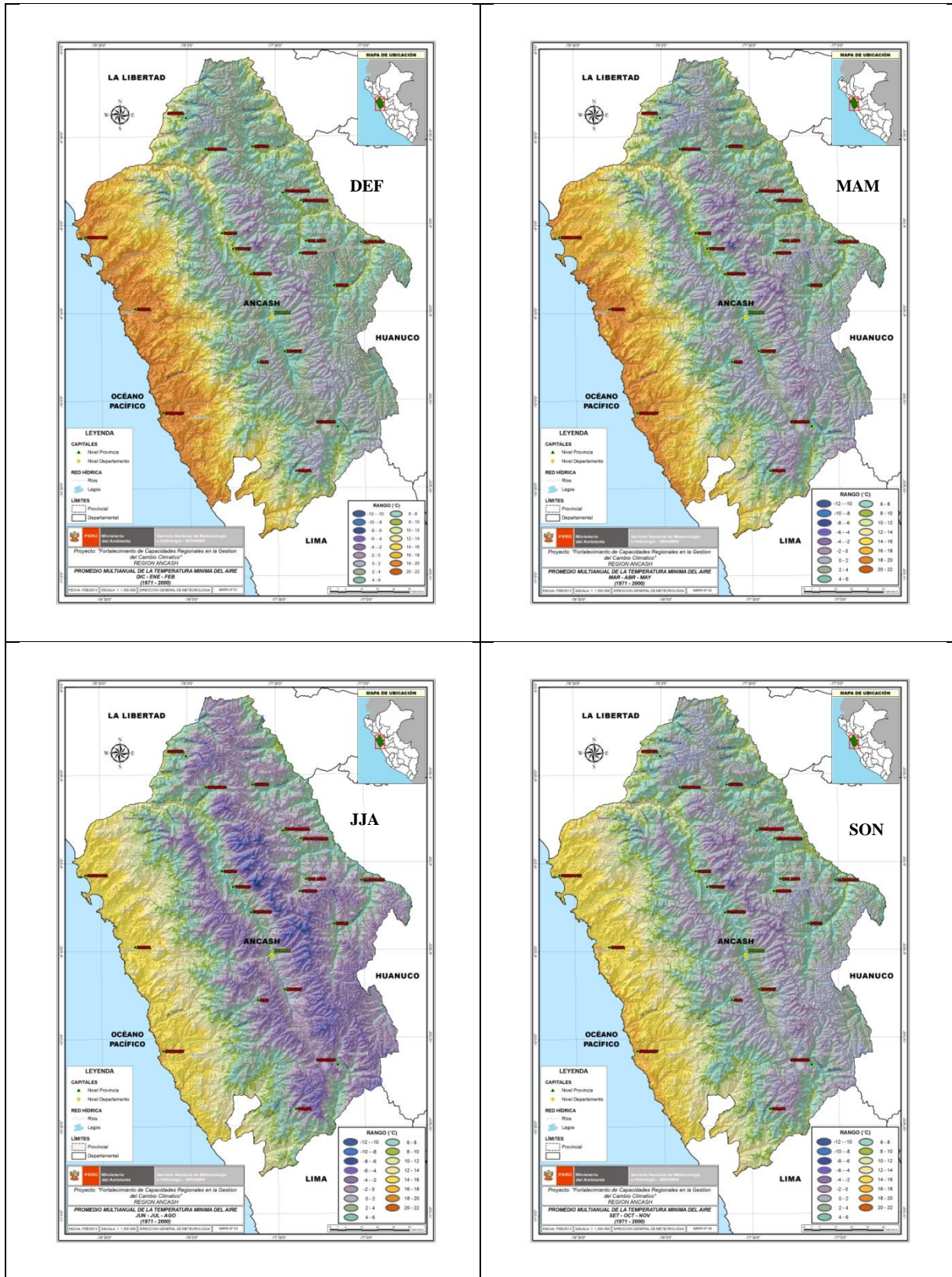


Figura 16: Distribución espacial de la temperatura mínima estacional en la Región Ancash. Línea de base 1971-2000.

## 2.5 TENDENCIAS E INDICADORES DE EVENTOS EXTREMOS

Actualmente es de interés el estudio del comportamiento promedio de los elementos climáticos como la temperatura y precipitación, y se incrementa la preocupación sobre los eventos extremos para detectar los cambios en su intensidad y frecuencia como consecuencia de la influencia del hombre sobre el clima que son percibidos o sentidos a través de la incidencia de sus impactos llevando a grandes pérdidas económicas, así como en el incremento de muertes atribuidos a eventos extremos.

Según el informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) publicado en julio 2013, “el decenio de 2001-2010 catalogado como el más cálido desde que se empezaron a realizar mediciones desde instrumental en 1850; se produjeron fenómenos climáticos extremos de gran impacto y sin precedentes; como las olas de calor en Europa y Rusia, el huracán Katrina en Estados Unidos, el ciclón tropical Nargis en Myanmar, sequías en Australia, África oriental y la cuenca del Amazonas, e inundaciones en Pakistán”.

En este contexto, la evaluación del clima a través de indicadores de extremos climáticos en diferentes localidades geográficas representativas de la Región Ancash es importante y necesaria para detectar los cambios en el clima, a fin de tomar medidas de prevención y aminorar daños en la población humana y su economía.

### 2.5.1 Tendencias de la Precipitación e indicadores

Estudios recientes de tendencias de precipitación del período de 1965-2006, sugieren incrementos en la costa y sierra norte, disminuciones en la Amazonía y en la sierra central de Perú, y son los eventos El Niño Oscilación del Sur más intensos los que modulan esta tendencia (SENAMHI, 2009).

Aunque existe poca coherencia espacial de la señal de la tendencia de la precipitación reflejadas en un patrón no claro de incremento y de disminución de la precipitación (Vuille et al., 2003); las causas asociadas a esta alta variabilidad en la tendencia además de estar afectada por el ENOS son derivadas de la compleja orografía de nuestro territorio que hacen de la distribución espacial y cantidad de las lluvias presenten alta variabilidad, diferenciándose de una estación astronómica a otra, y de un año a otro.

Para determinar la tendencia porcentual de la precipitación y la tendencia de la temperatura en °C/década en las escalas anual y estacional, y su nivel de significancia estadística asociada, en la Región Ancash, se han seleccionado estaciones con series largas, y relativamente completas, teniendo en cuenta la necesidad de detectar cambios del clima en períodos largos mayor a 30 años (1965 – 2012).

Las tendencias se calculan mediante la metodología desarrollada por Sen (1968) para obtener la tasa de cambio de la variable por unidad de tiempo, y la significancia estadística asociada, con el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975).

En la Tabla 1, se presenta las tendencias anuales y estacionales de la precipitación observada en el período 1965 -2012, en dos estaciones representativas de la Región Ancash, Chiquián y Recuay, y dos estaciones vecinas Mollepata y Quiruvilca ubicadas al norte de la Región, en La Libertad. Los valores de significancia de 99 % es resaltada en negrita.

**Tabla 1:** Tendencia anual y estacional de la precipitación (mm/año) y significancia al 99% (en negrita) en algunas localidades de la Región Ancash (1965-2012)

	Estaciones	Coordenadas	Sector	Tendencia Anual	Tendencia Verano DEF	Tendencia Otoño MAM	Tendencia Invierno JJA	Tendencia Primavera SON
<b>Tendencia Precipitación (mm/década)</b>	Quiruvilca	08°00' S, 78°18' W 3950 msnm	Norte	<b>22</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	5	1
	Mollepata	08°11' S, 77°58' W 2726 msnm		4	2	1.5	0.5	NS
	Recuay	09°43' S, 77°27' W 3324 msnm	Sur	5	2	3	NS	NS
	Chiquian	10°09' S, 77°09' W 3350 msnm		NS	NS	1	-1.4	NS

DEF: período de mayores lluvias Diciembre-Enero Febrero, JJA: período de menores lluvias Junio-Julio-Agosto, SON: Setiembre-Octubre-Noviembre

La precipitación anual y estacional (DEF, MAM, JJA, SON) en la localidad de Quiruvilca, localizada al norte de la Región Ancash, muestra aumento significativo de 1 - 22 mm/año, las demás localidades Mollepata, Recuay y Chiquian muestran aumentos inferiores a 5 mm/año principalmente en su comportamiento anual y en los trimestres DEF, MAM.

En JJA las lluvias presentan un aumento no significativo en la zona norte de la Región de 5 mm/año en Mollepata y Quiruvilca, y disminución en el sur en Chiquián.

En SON, las lluvias no presentan señal de tendencia. Estos patrones muestran características de la precipitación dentro de su variabilidad normal, particularmente en las localidades de Mollepata, Chiquian y Recuay.

Actualmente, además de la detección de los cambios en la precipitación media, se detecta los cambios en frecuencia e intensidad de los eventos extremos asociados a lluvias. El cual puede ser percibido o sentido a través de la incidencia y magnitud de estos eventos.

Los tomadores de decisión necesitan una mejor comprensión del uso potencial de estos indicadores de extremos climáticos, así como también de la información del clima promedio. En este sentido, la determinación de los indicadores, es derivada de la evaluación de series de precipitación, además de la temperatura máxima y mínima diaria, con longitud mayor a 30 años, continua y homogénea. Este nivel de información climática en la Región Ancash es un tanto escaso, ya que muchas series son discontinuadas debido a que se dejaron de medir durante los años del terrorismo donde en algunos casos las estaciones fueron vandalizadas o paralizadas; o por cambio de ubicación o por que fueron afectadas por El ENOS, entre otras causas.

En la última década el SENAMHI ha fortalecido la red de estaciones y en la actualidad presentan series cortas, debido a que fueron implementados después del año 2000. Esta situación es común cuando se realizan estudios nacionales y regionales. Por tanto, es importante que la población y los decisores tomen conciencia de la importancia y la seguridad que deben tener las estaciones meteorológicas, y la importancia de los datos provenientes de ellas para investigaciones actuales y futuras.

Los indicadores de eventos extremos de precipitación en este estudio son analizados para las localidades, Recuay, y Chiquian ubicadas en el sector andino de la Región Ancash, y en estaciones vecinas Mollepata y Quiruvilca ubicadas en la Región La Libertad. En la tabla 2 se muestran los indicadores de precipitación analizados.

**Tabla 2.** Índices de precipitación, definición y unidades. Índices calculados anualmente de Enero a Diciembre.

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
PRCPTOT	Precipitación en días húmedos	Precipitación Total Anual en los días húmedos (RR>=1mm)	mm
SDII	Índice de intensidad diaria de precipitación	Precipitación total anual dividida por el número de días húmedos en un año	mm día <sup>-1</sup>
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual en que RR>95 percentil	mm
R99p	Días extremadamente húmedos	Precipitación total anual en que RR>99 percentil	mm

Los días consecutivos secos (CDD) y los días consecutivos lluviosos (CWD) en la Región Ancash (tabla 3), muestran aumentos pero no significativos. Siendo mayor el aumento de los días consecutivos secos, lo cual indicaría que existe mayor posibilidad de que haya un incremento de días consecutivos secos sobre los días lluviosos, particularmente en Quiruvilca, Mollepata y Recuay.

Los días muy lluviosos (R95p) y los días extremadamente lluviosos (R99p) en Ancash (tabla 3), muestran incrementos significativos en Recuay y son de corto período duración. Este comportamiento disminuye en dirección sur a norte. Mostrando disminución significativa de los días muy lluviosos en Quiruvilca.

Asimismo, la distribución de las tendencias de estos índices confirma la existencia de efectos regionales y locales que modulan la ocurrencia de las precipitaciones en la zona andina de Ancash que vienen alterando su variabilidad en el largo plazo.

**Tabla 3:** Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de precipitación en localidades de la Región Ancash.

REGION ANCASH	SECTOR	CDD	CWD	R95	R99
<b>Quiruvilca</b>	Norte	+	+	<b>O</b>	+
<b>Mollepata</b>	Norte	+	+	+	+
<b>Recuay</b>	Sur	+	+	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Chiquian</b>	Sur	+	+	+	+

## 2.5.2 Tendencias de la temperatura e indicadores

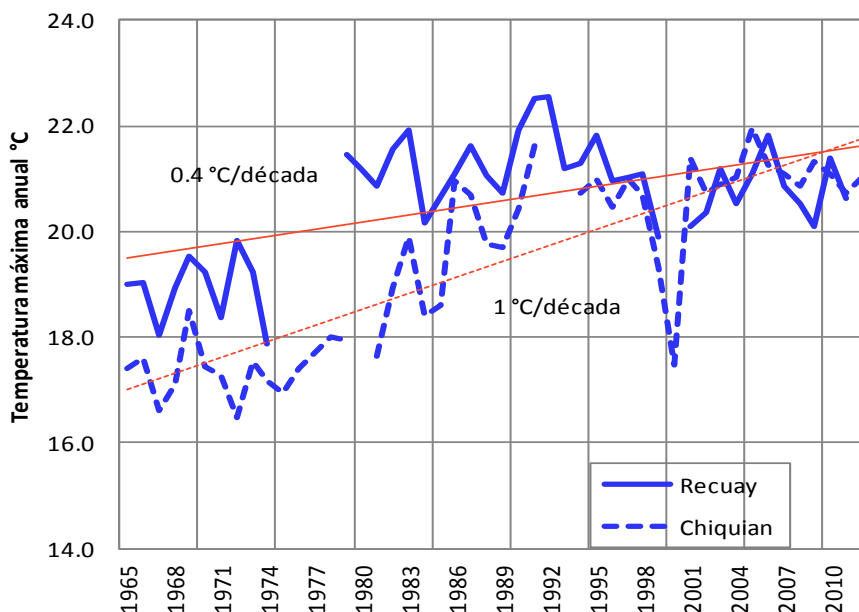
Los datos medidos desde instrumental meteorológico desde 1965 a la fecha evidencian una señal clara del incremento de las temperaturas máximas y mínimas en Perú (SENAMHI, 2009), que es consistente con lo que se viene observando a nivel mundial, y en la Región Ancash. Esta tendencia –tasa de aumento o de disminución de una variable en el tiempo– de calentamiento es notado durante toda la segunda mitad del siglo XX.

Debido a la falta de series largas (mayor a 30 años), continua y homogénea de temperaturas extremas, se analizan las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas en dos estaciones de la Región Ancash, Chiquián y Recuay.

En la Figura 17 se muestra la distribución temporal de la temperatura máxima media anual de las estaciones Chiquián y Recuay, y su tendencia asociada. Se observa que en ambas localidades hay un

incremento significativo de las temperatura máxima, Chiquián presenta incremento de 1 °C/década con un aparente quiebre de la serie a inicio de la década de los 80s. En Recuay, se evidencia el aumento de 0.4 °C/década, que está influenciado por las temperaturas observadas a mediados de la década de 1960s que modulan la tendencia hacia el incremento, pero si consideramos solamente a partir de la década de 1980s, presenta una tendencia aparente de ligera disminución de la temperatura máxima.

Además, se observa evidencias del efecto de los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en la localidad de Chiquian y Recuay, particularmente durante el evento cálido de 1982/83, y en 1991/92 a excepción de la localidad Chiquian que no presenta continuidad de la serie climática entre 1992-1994.



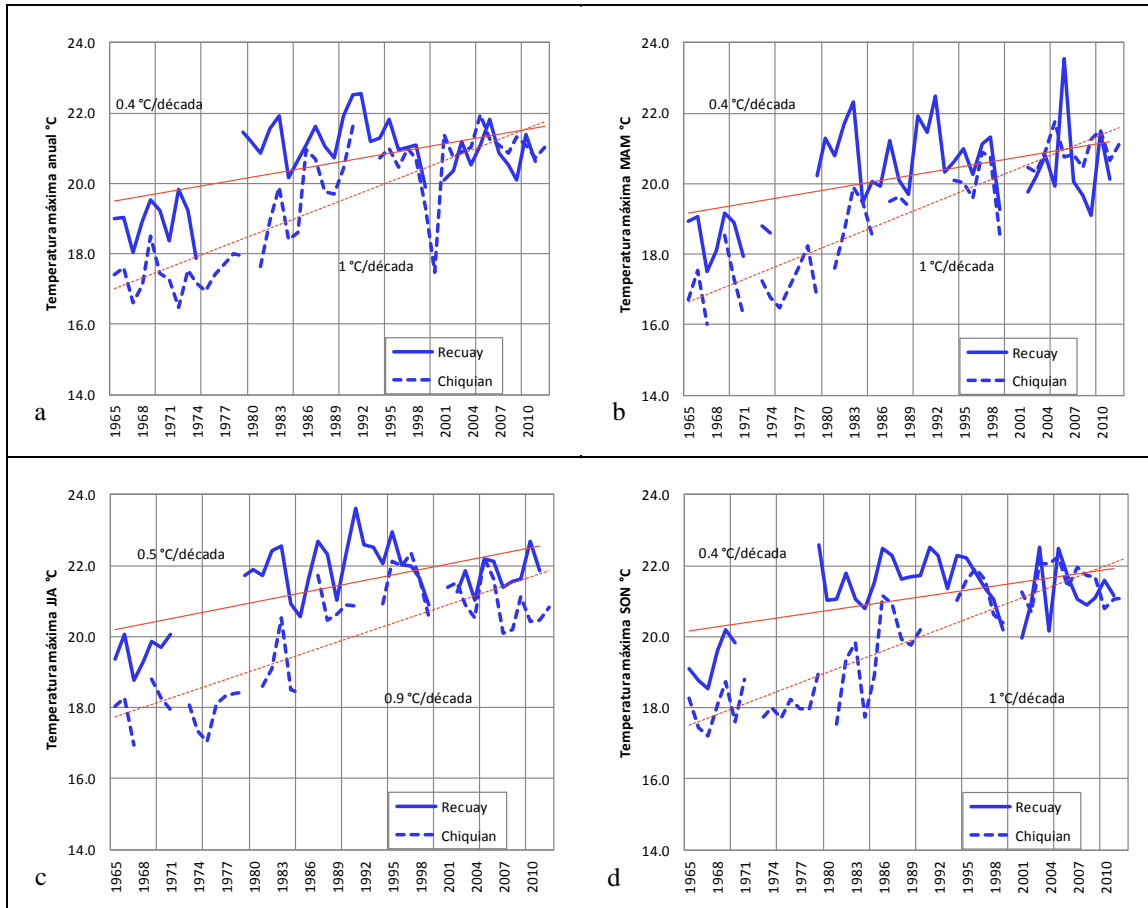
**Figura 17.** Distribución temporal de la temperatura máxima media anual (1965-2012) de las estaciones de Recuay y Chiquián. Mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas.

Los patrones de distribución de las temperaturas máximas promedio estacional (figura 18a-d) muestran similar comportamiento de tendencias relativo al comportamiento promedio anual. También las tendencias estacionales en SON, DEF, MAM, JJA en Recuay presentan discontinuidad de la serie climática, sin embargo un aparente salto es observado a mediados de los 70s que es coherente con el shift climático presentado en otros lugares a nivel mundial.

El mayor valor de tendencia de Chiquián es observado en DEF, MAM, SON con valores de 1 °C/década, y en primavera con 0,9 °C/década que indican el aumento de la temperatura máxima. La variabilidad de largo plazo es la característica predominante en esta localidad, sin embargo la variabilidad interanual está presente en la estación SON en la década de los ochenta y parte de los 90s.

La temperatura máxima estacional de Recuay presenta tendencias de aumento en los últimos 48 años, y una aparente tendencia de disminución ligera después de la década de los ochenta.

La característica que más resalta en la serie climática de Recuay es la alta variabilidad interanual, modulada por los eventos cálidos del ENOS en todas las estaciones del año, como es observada en los años de 1982/83 y 1991/92.



**Figura 18.** Distribución temporal de la temperatura máxima media estacional (1965-2006) de las estaciones de Recuay y Chiquián. a) Primavera (SON), b) verano (DEF), c) otoño (MAM) y, d) Invierno (JJA). Mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas.

Las tendencias de las temperaturas mínimas promedio anual de Recuay y Chiquián (figura 19) presentan en general características muy diferentes. Mientras que en Recuay se registra un ligero incremento no significativo de 0.08 °C/década; en Chiquián se observa una tendencia de disminución significativa de 0.2 °C/década.

Asimismo, la localidad de Recuay presenta variabilidad interanual principalmente durante los eventos ENOS de 1982/83, 1997/98 y 2001/2002, y Chiquián muestra variabilidad interanual más intensa en los años 1982/83 y 1991/92.

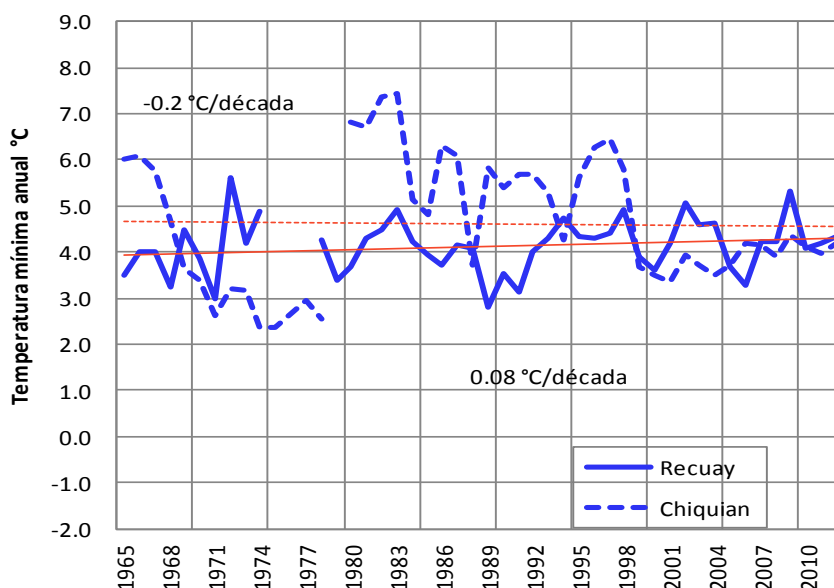
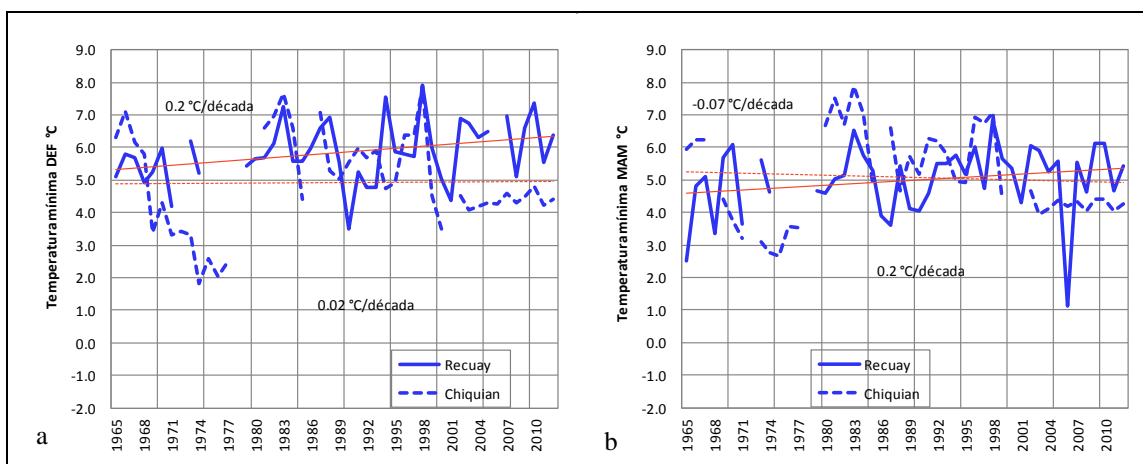


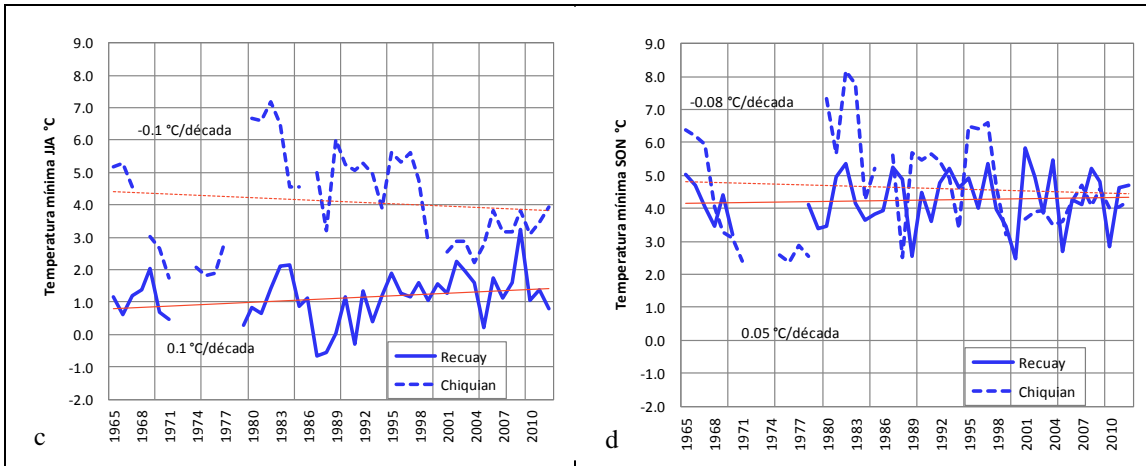
Figura 19. Distribución temporal de la temperatura mínima media anual (1965-2012) de las estaciones de Recuay y Chiquián. Mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas.

En general, en todos los trimestres del año, las tendencias de las temperatura mínima promedio estacional (figura 20a-d) presentan características semejantes a las observadas en el promedio anual. La variabilidad interanual es muy intensa en los trimestres SON, DEF y MAM en Recuay y Chiquián, con aumentos relacionados con los eventos cálidos del ENOS principalmente en Recuay. En JJA, la variabilidad interanual es baja y el efecto de los eventos cálidos ENOS es menos intenso.

En la localidad de Recuay las tendencias de las temperaturas durante todas estaciones del año son de aumento de 0.05 a 0.2 °C/década, el valor máximo de 0.2 °C/década es registrado durante MAM, y el valor mínimo de 0.05 °C/década observado en SON. En Chiquián la tendencia en SON, DEF y MAM varía de - 0.08 a + 0.02 °C/década, el valor mínimo es registrado durante SON, y el valor máximo observado en DEF. En JJA, el cambio de temperatura es más gradual y con baja variabilidad interanual, que en los demás trimestres del año, donde las variaciones de largo plazo son menos visibles debido a la alta variabilidad interanual.







**Figura 20.** Distribución temporal de la temperatura mínima media estacional (1965-2012) de las estaciones de Recuay y Chiquián. a) Primavera (SON), b) verano (DEF), c) otoño (MAM) y, d) Invierno (JJJ). Mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas

El clima de la Región Ancash, viene presentando cambios en el clima, que en realidad son expresiones de cambios en el clima local, que son percibidos por los pobladores y que afectan su vida diaria. La principal característica de estos cambios en algunas localidades andinas de la región, basadas en entrevistas a actores locales y recopilados in situ, es la “atemporalidad” de las lluvias con cambios en su intensidad y frecuencia, veranillos prolongados y heladas atemporales. Los mismos que se asocian con un alto nivel de afectación en la salud, la actividad agropecuaria, hídrica y turística de la zona.

Según la información de percepción del clima, se ha podido identificar que en general se viene presentando aumentos en la temperatura diurna y disminución de la temperatura nocturna, así como una mayor frecuencia de lluvias intensas de corta duración, configurándose potenciales escenarios de riesgo ante inundaciones y deslizamientos.

## CAPÍTULO III.

### ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN ANCASH

#### Construcción de escenarios en la Región Ancash

El cambio climático es sin duda un principal tema de interés para la comunidad científica internacional y en particular el tema de calentamiento global, el cual además se ha ido introduciendo en la conciencia popular a finales del siglo XX (Blázquez, 2011), pues es una amenaza para la vida de los seres humanos y de la biodiversidad en general; es por esta razón es tema de los discursos políticos y sociales, despertando el interés de diversos actores gubernamentales y no gubernamentales.

En este marco, el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) creado en 1988 –grupo de científicos que analiza de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo– tiene planeado para setiembre 2013 publicar el quinto informe de Evaluación (AR5, siglas en inglés), donde se dará conocimiento del entendimiento científico actual del cambio climático. Para lo cual ha desarrollado la quinta fase del proyecto de inter-comparación de las simulaciones de proyecciones de cambio climático (CMIP5) provenientes de los modelos globales (GCMs, siglas en inglés) en diferentes resoluciones espaciales. Estos modelos han sido forzados con una nueva serie de escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que han sido desarrollados por el IPCC en este proyecto.

Los AOGCMs que simulan el sistema climático, algunos fueron procesados en el “Earth System Models” los cuales incluyen vegetación interactiva y ciclo de carbono, que son empleados para estimar el efecto de las emisiones en el clima global.

En los últimos 30 años, la modelización del clima ha progresado considerablemente pero aún hay complejidades que faltan entender. Los modelos disponibles no pueden captar todas las características de la atmósfera y tienen que limitarse a las fundamentales que, a la larga, ocasiona menos incertidumbres en la proyección del clima.

Por lo tanto, un modelo climático es una simplificación del mundo real, entonces la proyección de cambio climático basado en los modelos disponibles aún es insegura e incompleta (Ledesma, 2011); y tiene inherente dosis de incertidumbre. Sin embargo, es una herramienta que nos permite conocer los posibles desafíos a los que nos enfrentaremos en el futuro.

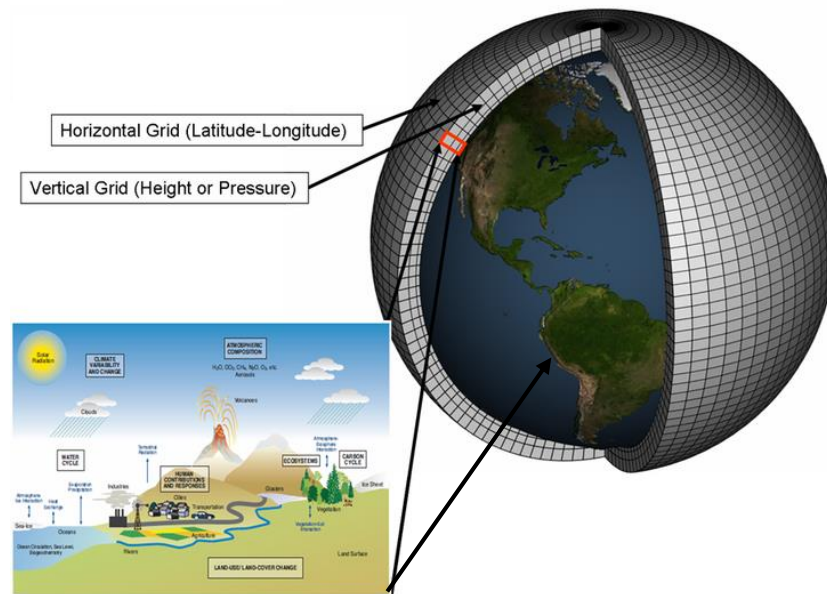
Se presenta los resultados de la metodología empleada para el cálculo de las proyecciones climáticas de precipitación, temperatura máxima y mínima en la Región Ancash.

En la primera parte, se describe las características de los modelos utilizados para la proyección climática y el escenario de emisión de gases de efecto invernadero empleado. En la segunda parte, se describe los resultados de la metodología utilizada para la construcción de los mapas de proyecciones al 2030. En la tercera parte se analiza las series de proyección de anomalías por región y para algunas localidades representativas de la región Ancash.

### 3.1 MODELOS GLOBALES Y ESCENARIO DE EMISIÓN

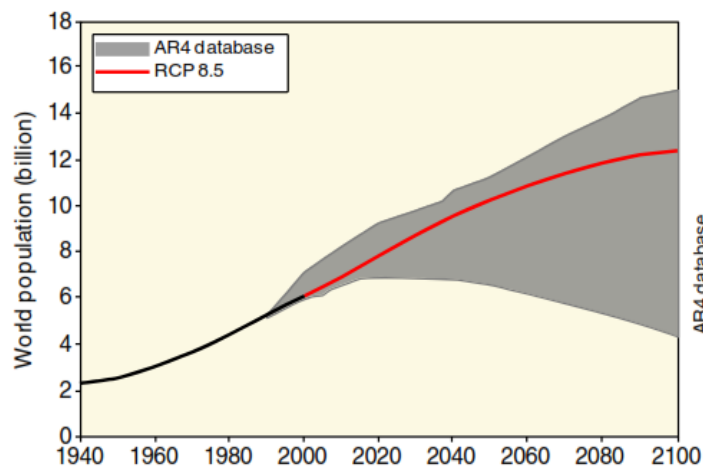
Los modelos climáticos globales son sistemas de ecuaciones diferenciales basados en leyes físicas, propiedades químicas y biológicas, que representan numéricamente al Sistema Climático y las diversas interacciones que existen entre sus componentes (atmósfera, océano, hielo marino y biósfera). Estos modelos (figura 21) dividen al planeta en mallas tridimensionales, en cada cuadrícula de la malla se evalúan las interacciones entre puntos contiguos y se calculan variables como: vientos, temperatura, precipitación, humedad relativa, entre otros.

Estos modelos son de gran importancia en la simulación del clima actual y pasado, así como en la generación de escenarios futuros del clima, los cuales necesitan el uso de computadoras de gran capacidad de procesamiento.



**Figura 21:** Esquema de un modelo climático global. Fuente NOAA

Los escenarios climáticos para la Región Ancash se basan en el nuevo escenario de emisión RCP8.5 fue desarrollado por el IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) de Austria. Representa la combinación de suposiciones de un alto crecimiento poblacional, un bajo crecimiento de PBI y modestas tasas de cambios tecnológicos y de eficiencia energética, llevando a grandes demandas energéticas y hacia el incremento de gases de efecto invernadero (Riahi et al, 2011), en la figura 22.



**Figura 22:** Escenario de emisión RCP8.5

Si bien los MCG han sido mejorados en los últimos años, aun existen deficiencias que es necesario identificar, para lo cual resulta importante y necesario hacer una evaluación exhaustiva antes de su utilización en la estimación de la evolución del clima futuro para no llegar a conclusiones erróneas. La confianza en un determinado modelo o modelos aumenta cuando éstos han sido evaluados en determinados períodos del registro instrumental y aunque la validación del clima futuro no es posible, pero si detectar “su consistencia” o convergencia hacia una misma dirección de comportamiento, incrementa su robustez y reduce la incertidumbre en sus estimaciones.

No obstante, los modelos climáticos serán más confiables en la medida en que sean capaces de proporcionar simulaciones realistas de los patrones de circulación océano-atmosférica de gran escala y de los elementos climáticos (en su ciclo diario, ciclo anual, ciclo estacional), los procesos físicos de la biosfera, entre otros. Una “performance” pobre en la simulación indicará que ciertos procesos físicos o dinámicos del modelo son limitados y será potencialmente limitado para representar plausiblemente el clima futuro.

En este estudio se han evaluado 4 modelos del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 climáticos globales, CMIP5 siglas en inglés (Taylor et al, 2012); en dos experimentos período histórico (1971 – 2000), y período futuro (2016 – 2045) Escenario RCP 8.5, para la construcción de escenarios y corresponden a los modelos que mejor representan los sistemas sinópticos que modulan el clima de Sudamérica (Acuña et al., 2011), ver Tabla 4. La metodología implementada se basa en dos time slice: HISTORICAL período histórico (1971 – 2000), y escenario RCP8.5 período futuro (2016 – 2045).

Tabla 4. Características de los modelos AOGCMs aplicados para el cálculo de las proyecciones climáticas.

Modelos	Institución	Resolución Atmosférica (lon x lat)	Calendario
CCSM4	National Center for Atmospheric Research (NCAR – USA)	1,25x0,942408	365 days
HadGem2-AO	National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration (COREA)	1,875x1,25	360 days
HadGem2-ES	Met Office Hadley Centre (REINO UNIDO)	1,875x1,25	360 days
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (ALEMANIA)	1.875x1.8496 / N48	PROLEPTIC

El periodo futuro está basado en el Escenario de emisión RCP 8.5 (Moss et al., 2010, van Vuuren et al., 2011), el cual representa una vía de emisiones y concentraciones relativamente altas de CO<sub>2</sub>, con alto crecimiento poblacional, relativamente bajo crecimiento de PBI, con modestos cambios tecnológicos y de eficiencia energética, en este escenario no se implementan políticas de cambio climático.

### 3.2. CÁLCULO DE PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Los mapas de las proyecciones de cambios de precipitación y temperaturas al 2030, presentados en el estudio, fueron el resultado del promedio de 4 modelos evaluados, listados en la tabla 4, previamente regrillados a una resolución de 0.5x0.5°, mediante interpolación bilinear.

Las ecuaciones empleadas en el cálculo de cambios estacionales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, son presentadas en la tabla 5:

Tabla 5. Ecuaciones usadas para la construcción de escenarios de cambio climático.

$PREC.camb = \left( \frac{PREC.fut - PREC.hist}{PREC.hist} \right) \times 100\%$	$T.camb = Tfut - Thist$
<ul style="list-style-type: none"> <li>- PREC.camb: Cambio de precipitación [%].</li> <li>- PREC.fut: Promedio anual de la Precipitación acumulada estacional o anual [2016 - 2045].</li> <li>- PREC.hist: Promedio multianual de la Precipitación acumulada estacional o anual [1971 - 2000].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T.camb: Cambio de temperatura [°C].</li> <li>- T.fut: Promedio anual de la Temperatura estacional o anual [2016 - 2045].</li> <li>- T.hist: Promedio multianual de la Temperatura estacional o anual [1971 - 2000].</li> </ul>
<p>Estacional: DJF, MAM, JJA, SON</p>	<p>Temperatura: Temperatura máxima o mínima.</p>

## CAPÍTULO IV.

### PROYECCIONES DE CAMBIOS DEL CLIMA EN LA REGIÓN ANCASH

#### Temperatura del aire y precipitación 2030

Los cambios en la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima promedio anual y trimestral para el time-slice 2016-2045 centrado en el año 2030 relativo a 1971-2000 es mostrada en las figuras 23-24, 25-26 y 27-28. Cada mapa muestra proyecciones estimadas a partir de cuatro simulaciones de cambio de clima proveniente de modelos globales disponibles del IPCC-CMIP5, interpolados matemáticamente a ~50 km de resolución espacial, correspondiente al escenario pesimista de emisión RCP8.5.

Las proyecciones climáticas son diferentes de las predicciones climáticas, ya que la primera considera la evolución de las emisiones y concentración del CO<sub>2</sub> en función a una serie de supuestos derivados de las distintas opciones de desarrollo social, económico y tecnológico de la humanidad; donde la contribución antropogénica predomina sobre la variabilidad natural en el largo plazo. En tanto, la predicción es mayormente enfocada por los cambios en el clima debido a la variabilidad natural.

Por tanto, las proyecciones de cambio climático basadas en modelos de simulación llevan asociadas una serie de incertidumbres que se deben tener en cuenta para la correcta interpretación y aplicación de la información presentada en este estudio.

Los mapas y resultados sobre proyecciones de clima que se presentan en este capítulo son de largo plazo, por lo que es importante tener presente en todo momento las limitaciones inherentes a este tipo de aproximación. Pese a que los modelos climáticos integran el conocimiento actual sobre el funcionamiento del sistema climático, existen aún incertidumbres que limitan su capacidad de proyección; sin embargo, los modelos presentan continuas mejoras en el tiempo, y las proyecciones climáticas se actualizan cada cierto tiempo, ya que existe un gran esfuerzo internacional y nacional para continuar mejorando y ajustar las proyecciones disponibles.

La comprensión del funcionamiento del sistema climático no es completa, aun existe incertidumbre en muchos procesos por conocer a profundidad como el rol de aerosoles y nubes, los posibles procesos de retroalimentación entre distintos componentes océano-atmósfera-superficie-biósfera, entre otros. Es conveniente resaltar, en general, los modelos climáticos han demostrado tener gran fiabilidad y consistencia en cuanto a la proyección de los cambios en la temperatura, aunque no se puede decir lo mismo con respecto a la proyección de los cambios en la precipitación, debido a que ésta presenta alta variabilidad espacial, temporal y en cantidad.

La técnica de reducción de escala espacial aplicada en este estudio también incorpora su propia limitación, debido a que la Región Ancash presenta formaciones de relieve bien diferenciados una con topografía compleja en su zona de montaña, y otra con relieve plano en su costa.

No obstante, pese a que los valores proporcionados están asociados en general a un grado de incertidumbre, las proyecciones presentadas son instrumento para la toma de decisiones, desarrollo de estrategias y planeación futura frente al cambio climático.

## 4.1 PROYECCIONES DE LA PRECIPITACIÓN

Las proyecciones de los modelos para fines de Siglo XXI en los Andes Tropicales indican un calentamiento sostenido de la tropopausa (Vuille, 2007), según el escenario de emisiones A2, los Andes podrían experimentar un masivo calentamiento del orden de 4,5 - 5,0 °C. SENAMHI 2009, sugiere para Perú un incremento de la temperatura máxima y mínima del aire para el 2030 entre 0,4 - 1,6 °C, además indican que la distribución espacial y cantidad de lluvias no experimentaría grandes cambios, es decir las proyecciones estarían muy cercanas a su climatología actual  $\pm 15\%$ .

En este contexto, se presenta los escenarios generados de precipitación y temperatura 2030 para la Región Ancash, basado en la última versión de los AOGCMs HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, y CCSM4, regrillados matemáticamente a  $0.5 \times 0.5^\circ$  de resolución espacial, que considera el nuevo escenario pesimista de emisiones de gases de efecto invernadero RCP 8.5. Como se aprecia en la figura N° 23-24, los cambios proyectados para el periodo 2016-2045 o time-slice 2030 para la precipitación a nivel espacial en la Región Ancash, son bastante conservadores, es decir estarían dentro de su variabilidad normal de + 15 % con un sesgo hacia el incremento ligero en todas las estaciones del año DEF, MAM, JJA y SON, y de forma sustancial en JJA llegando hasta en 50%, pero las lluvias en esta época del año no son relevantes ya que se presentan de escasas a nulas tanto en la zona de costa y andina de la Región Ancash.



Figura 23: Distribución espacial del cambio de la precipitación promedio anual (%) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 respecto de 1971-2000.



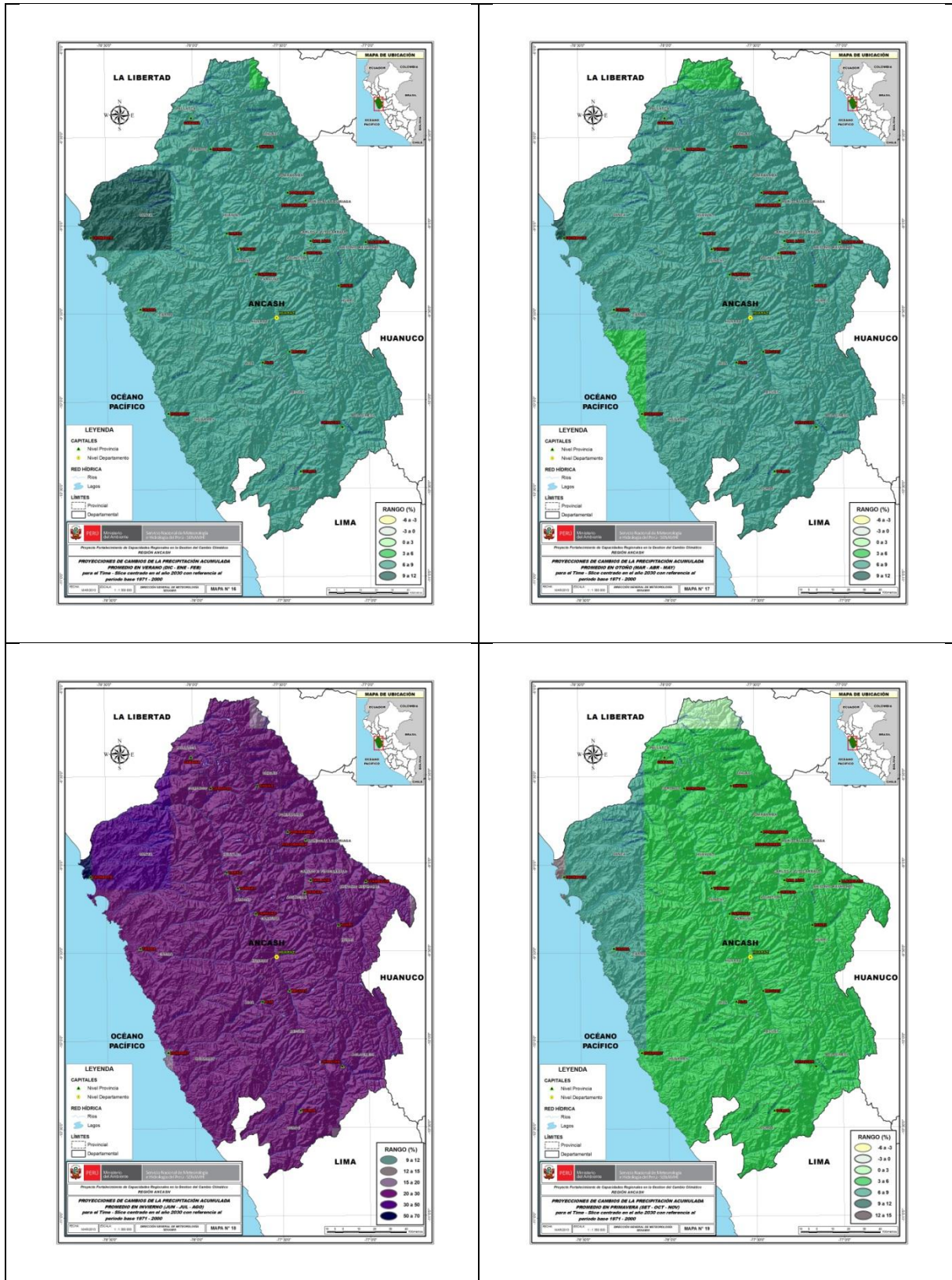


Figura 24: Distribución espacial del cambio de la precipitación estacional (%) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 respecto de 1971-2000, en verano (a), otoño (b), invierno (c) y primavera (d), en la Región Ancash.

En la figura 25, se aprecia los cambios proyectados de la precipitación anual a nivel temporal en tres sectores: 1) sector central-sur, 2) sector norte y 3) Costa de la región Ancash.

Según el escenario pesimista de emisiones de gases de efecto invernadero RCP8.5, la precipitación anual tendería aumentar al 2030 en cantidades menores al 10% en zona central, norte y costa de la Región Ancash.

Sin embargo, estos posibles aumentos caerían dentro de umbral positivo de variabilidad normal actual de precipitación de  $\pm 15\%$ . Si bien se proyecta un comportamiento de aumento, sus impactos en la disponibilidad de agua a futuro, va a depender del aumento de la población, mayor uso de la hidroenergía, cambios en el uso del suelo, de la demanda del sector minero, agrícola, entre otros.

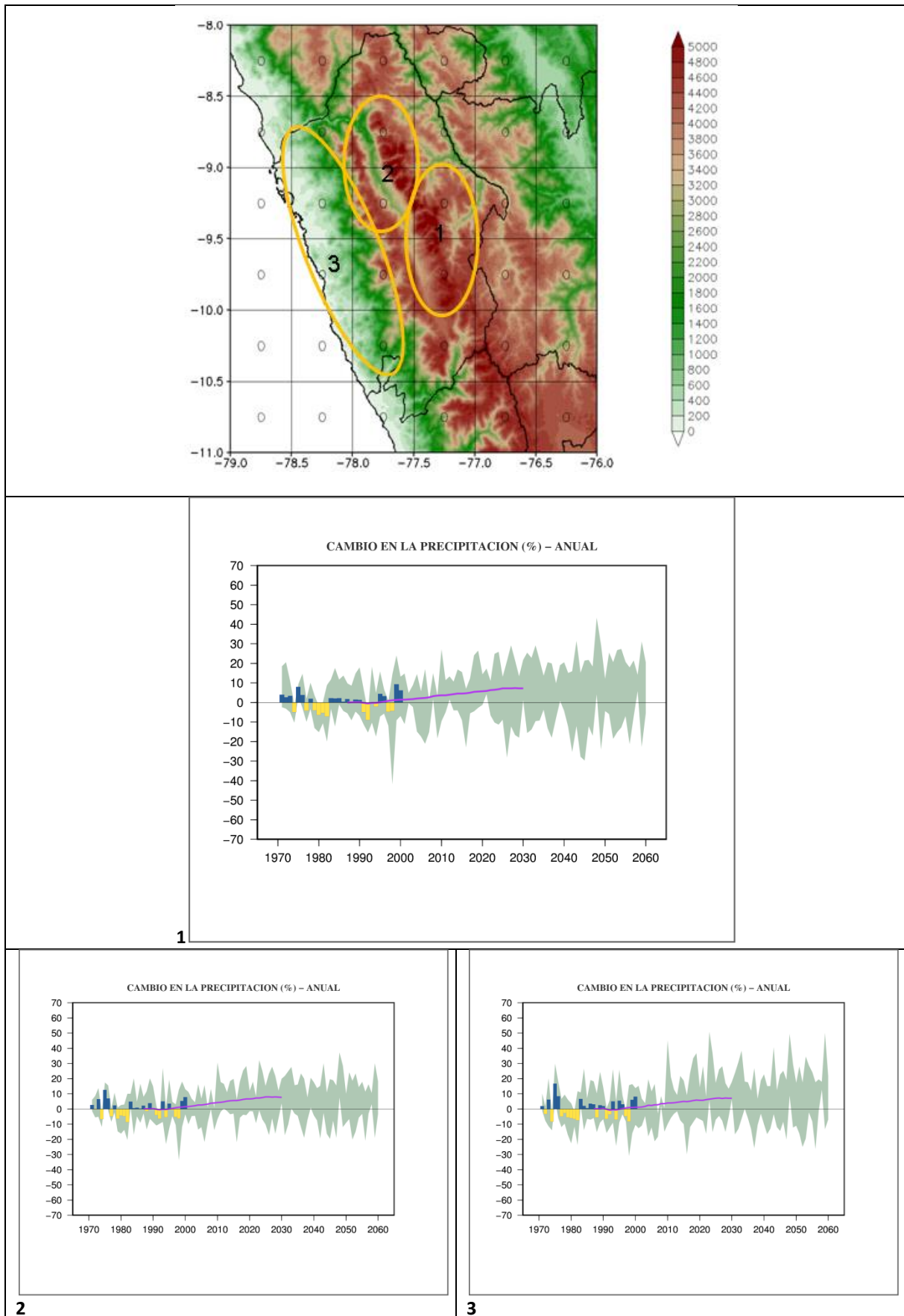


Figura 25: Distribución temporal del cambio de la precipitación promedio anual (%) en la Región Ancash al 2030 respecto de 1971-2000 (Escenario RCP8.5). 1. Sector central-sur, 2. Sector norte y 3. Costa de la Región Ancash.

## 4.2 PROYECCIONES DE LA TEMPERATURA

La distribución espacial de la temperatura máxima sobre la Región Ancash al 2030 mostraría variaciones en toda su extensión, con posibles aumentos que llegarían hasta 1,5 °C en la temperatura máxima anual, mostrado en la figura 26.

Asimismo, estacionalmente (figura 27) las variaciones más significativas de la temperatura en la Región Ancash, se presentarían en JJA, trimestre correspondiente al período de escasas lluvias en su zona andina y costera, donde la temperatura máxima alcanzaría posibles aumentos significativos hasta de 1,6 °C relativo a línea de base climática actual en la zona andina, y de 1,4 °C en su zona de costa. En tanto, en el trimestre DEF las temperaturas mostrarían los menores incrementos hasta de 1,5 °C en su zona andina y de 1,4°C en su zona de costa.

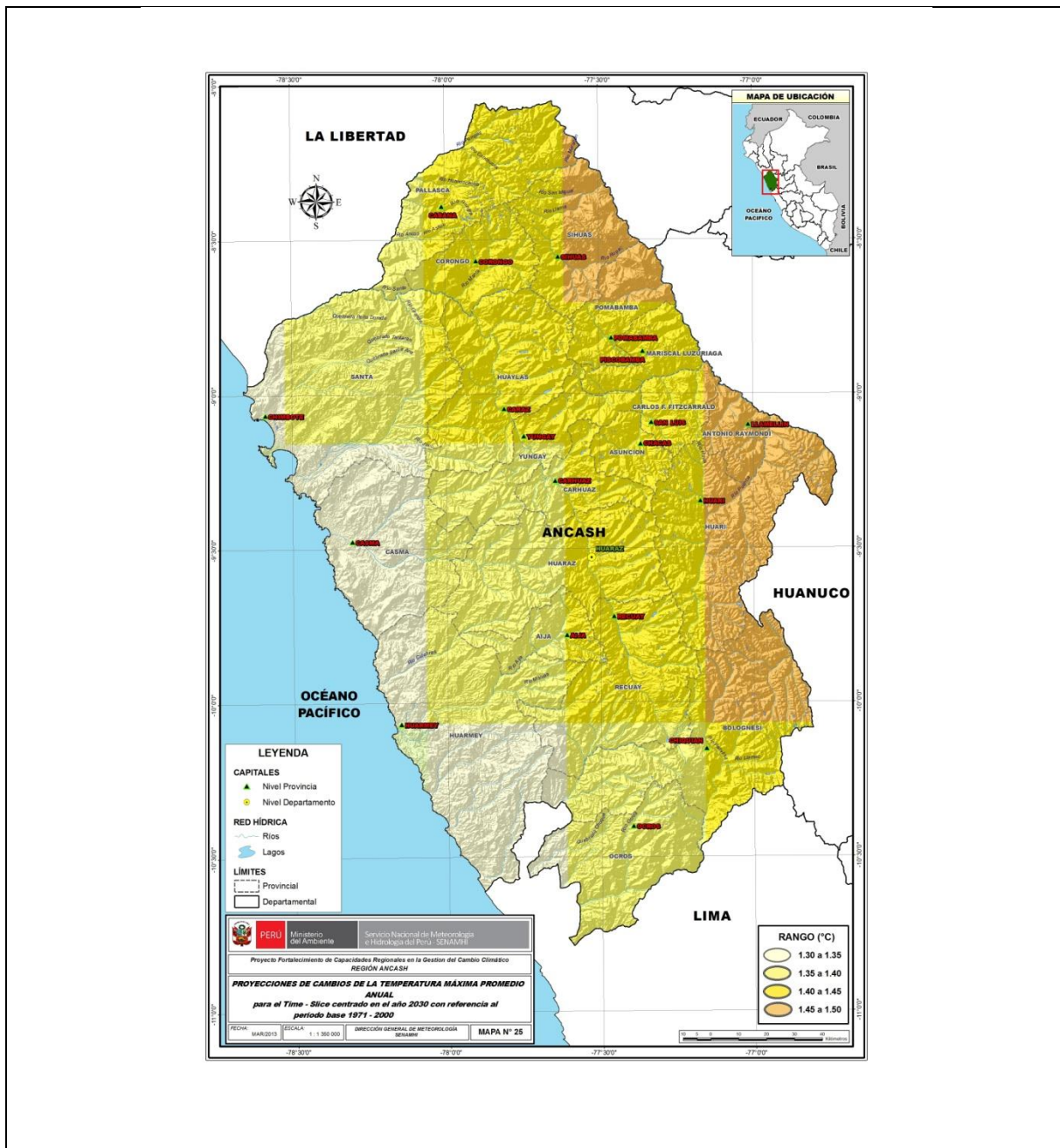


Figura 26: Distribución del cambio de la temperatura máxima del aire promedio anual (°C) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 respecto de 1971-2000, en la Región Ancash.

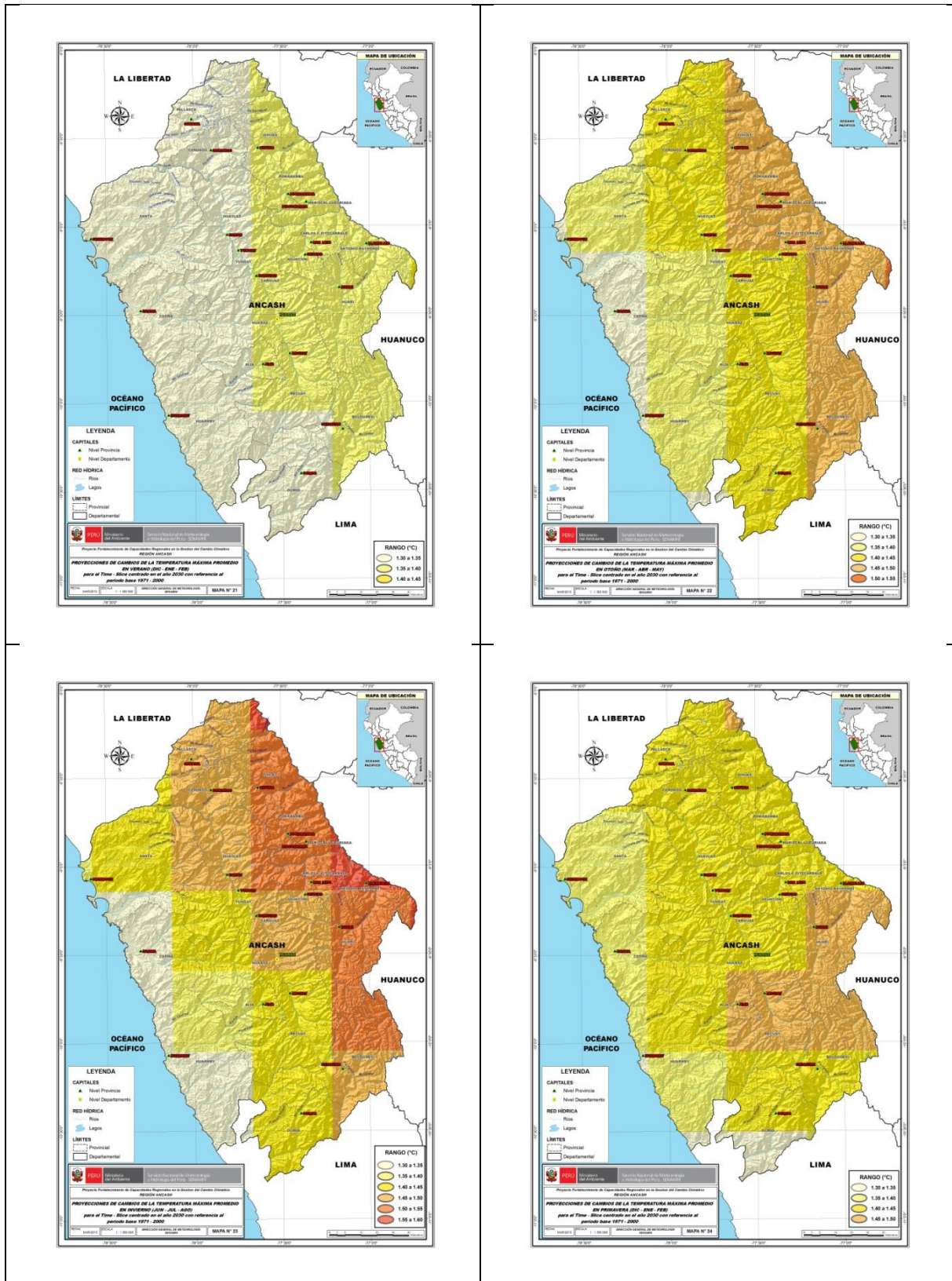
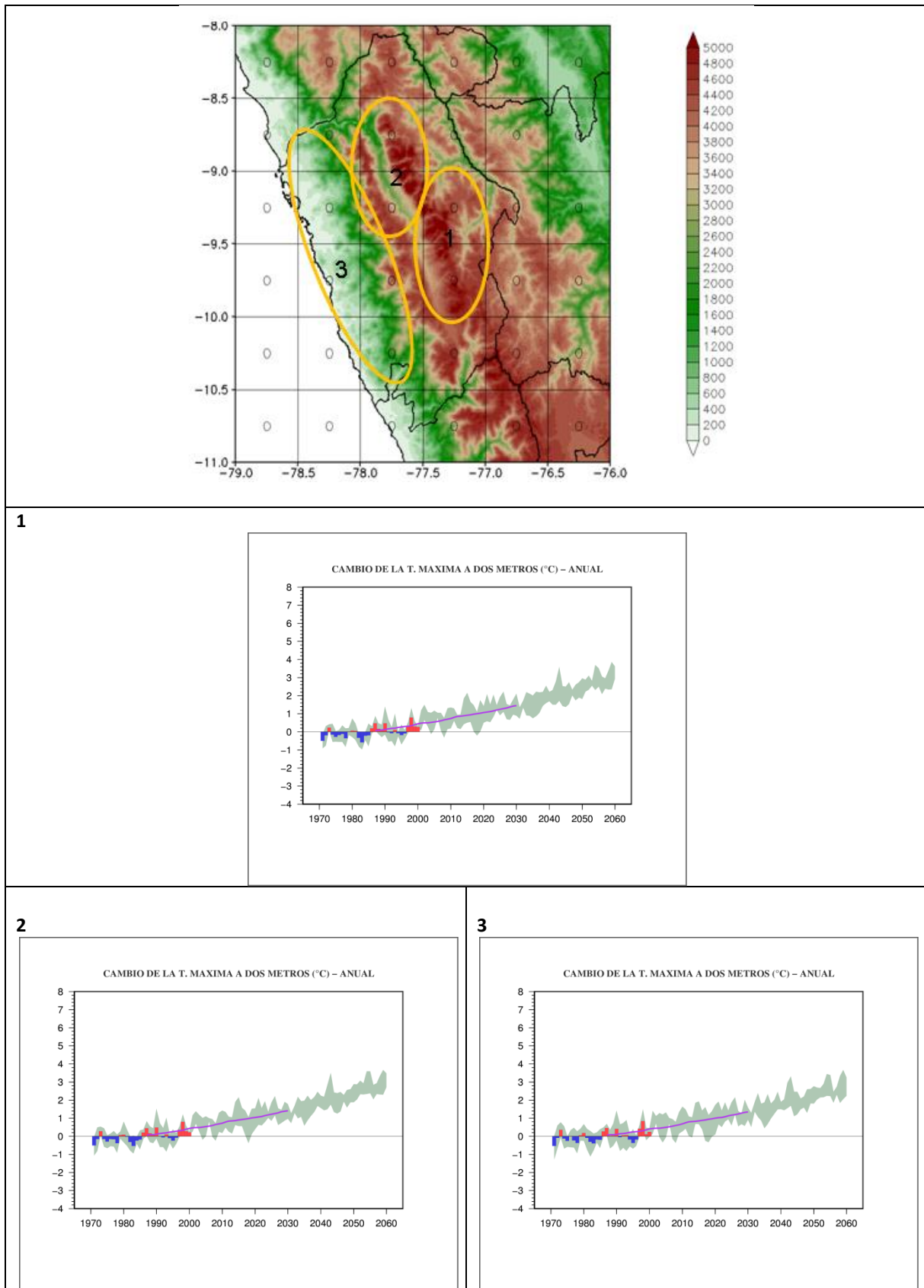


Figura 27: Distribución del cambio de la temperatura máxima del aire promedio estacional (°C) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 respecto de 1971-2000, en verano (a), otoño (b), invierno (c) y primavera (d), en la Región Ancash.

En la figura 28, se aprecia el cambio temporal de la temperatura máxima promedio anual proyectado al 2030 en tres sectores de la región Ancash: 1) sector central-sur, 2) sector norte y 3) Costa. En los tres

sectores se muestra la evolución de la temperatura máxima promedio anual (color lila) mediante una línea que une puntos que corresponden a cada año –resultado de extraer la media móvil de 30 años– donde hay proyecciones disponibles, así como en barras se muestran las anomalías de las observaciones desde la década de los 70s.

En general, se proyecta cambios en la temperatura máxima hacia el 2030 hasta en 1,4° C, calentamiento que se inicia con aumento gradual desde mediados de los 80s, similar tendencia es apreciada para cada sector analizado de la Región Ancash.



**Figura 28:** Distribución temporal del cambio de temperatura máxima (°C) en la Región Ancash al 2030 respecto de 1971-2000 (Escenario RCP8.5). 1. Sector central-sur, 2. Sector norte y 3. Costa de la región Ancash.

Las proyecciones de temperatura mínima promedio anual y trimestral para el Time-slice 2016-2035 son mostradas en la figura 29. Cada mapa muestra proyecciones conjuntas elaboradas a partir de simulaciones de cambio de clima de cuatro modelos climáticos globales disponibles y validados que fueron interpolados para su mejora de resolución espacial.

Los mapas presentan los cambios proyectados en la temperatura mínima en °C para el escenario de emisión (RCP8.5).

La temperatura mínima promedio anual proyectada para el time - slice 2016-2035 muestra aumentos hasta en 1,6 °C relativo a su línea de base climática 1971-2000, principalmente al este de la Región Ancash.

En general (figura 30), las proyecciones estacionales (DEF, MAM, JJA, SON) indican un incremento de la temperatura mínima hasta en 1,8 °C en todos los períodos analizados, y sustancialmente en el trimestre JJA. En el trimestre DEF, la Región Ancash experimentaría los menores cambios en la temperatura mínima del aire llegando a 1,4 °C en su zona de costa y a 1,5 °C en su zona de andina.

En resumen, los cambios estimados de aumentos de las lluvias hasta en 9 % valor dentro del patrón de variabilidad normal actual y sobre todo en condiciones de altas temperatura de hasta 1,8 °C podrían tener efectos relevantes de alta la evaporación, evapotranspiración, y la aparición de enfermedades en los cultivos y ganado, sustancialmente en el trimestre de estiaje JJA, y en el trimestre de máximas lluvias DEF.

Estos resultados de las proyecciones de los cambios en las temperaturas y lluvias que tiene como base el escenario pesimista de gases de efecto invernadero RCP8.5 que considera los mayores niveles de CO<sub>2</sub>. En este contexto, podría verse estimulado la fotosíntesis y el cierre de los estomas de la planta, lo que podría incrementar su crecimiento, producción y mejorar la eficiencia del agua, en teoría; pero en la práctica estos beneficios pueden ser menores, por la presencia de factores limitantes, como la calidad del agua y del suelo, la oferta del agua, infecciones por pestes y enfermedades” (FAO, 2012).



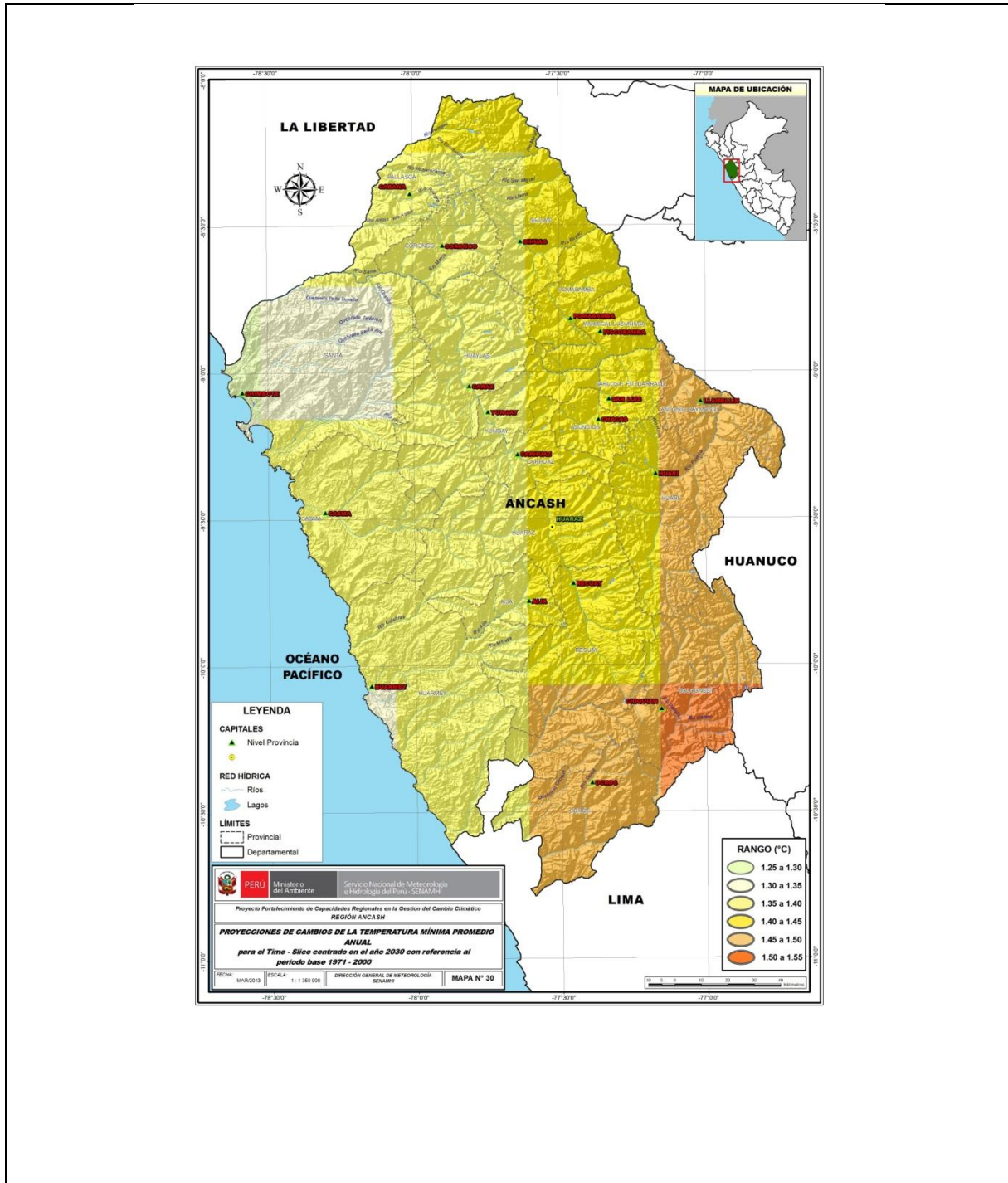


Figura 29: Distribución del cambio de la temperatura mínima del aire promedio anual (°C) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 respecto de 1971-2000 en la Región Ancash.

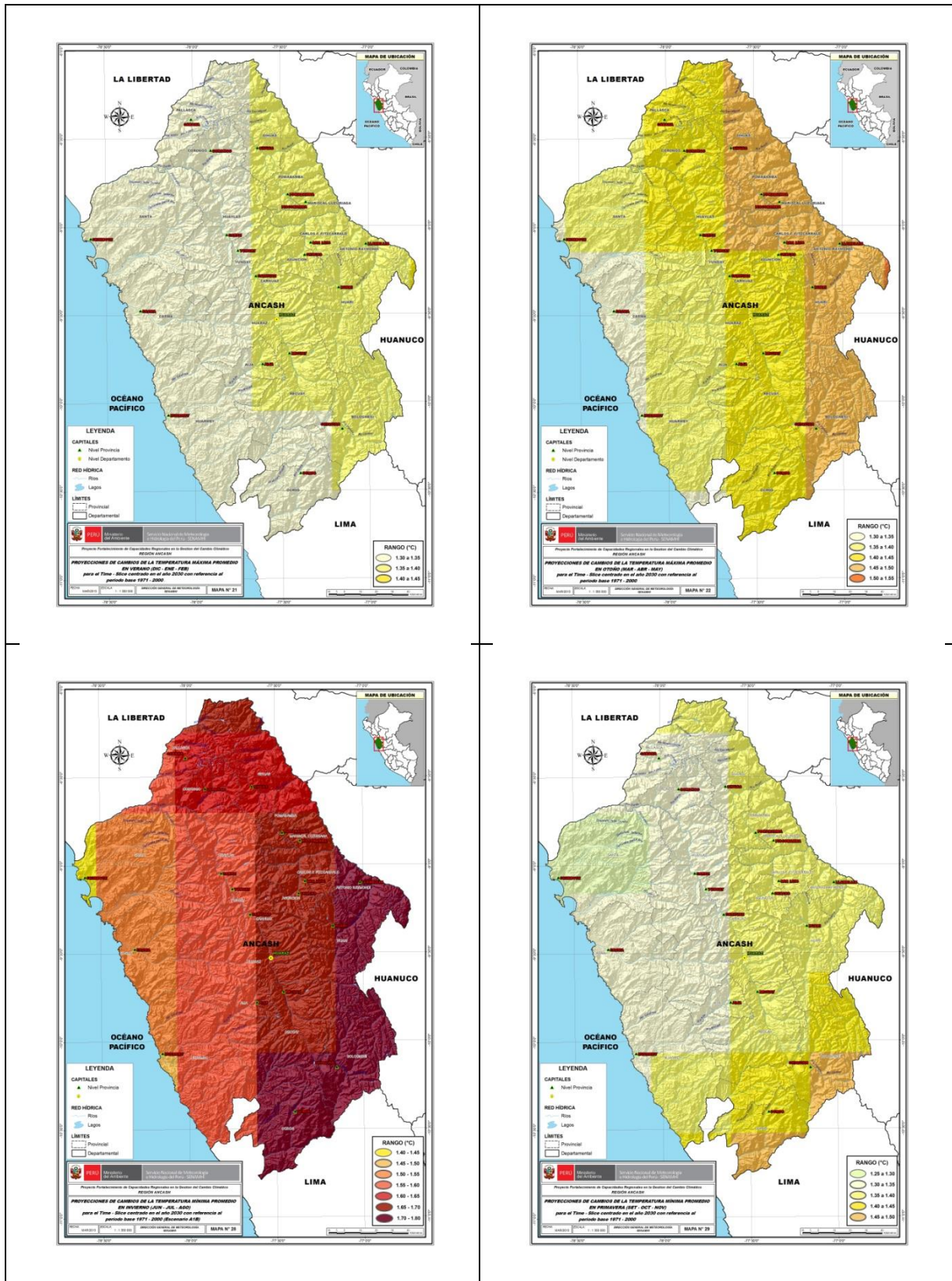
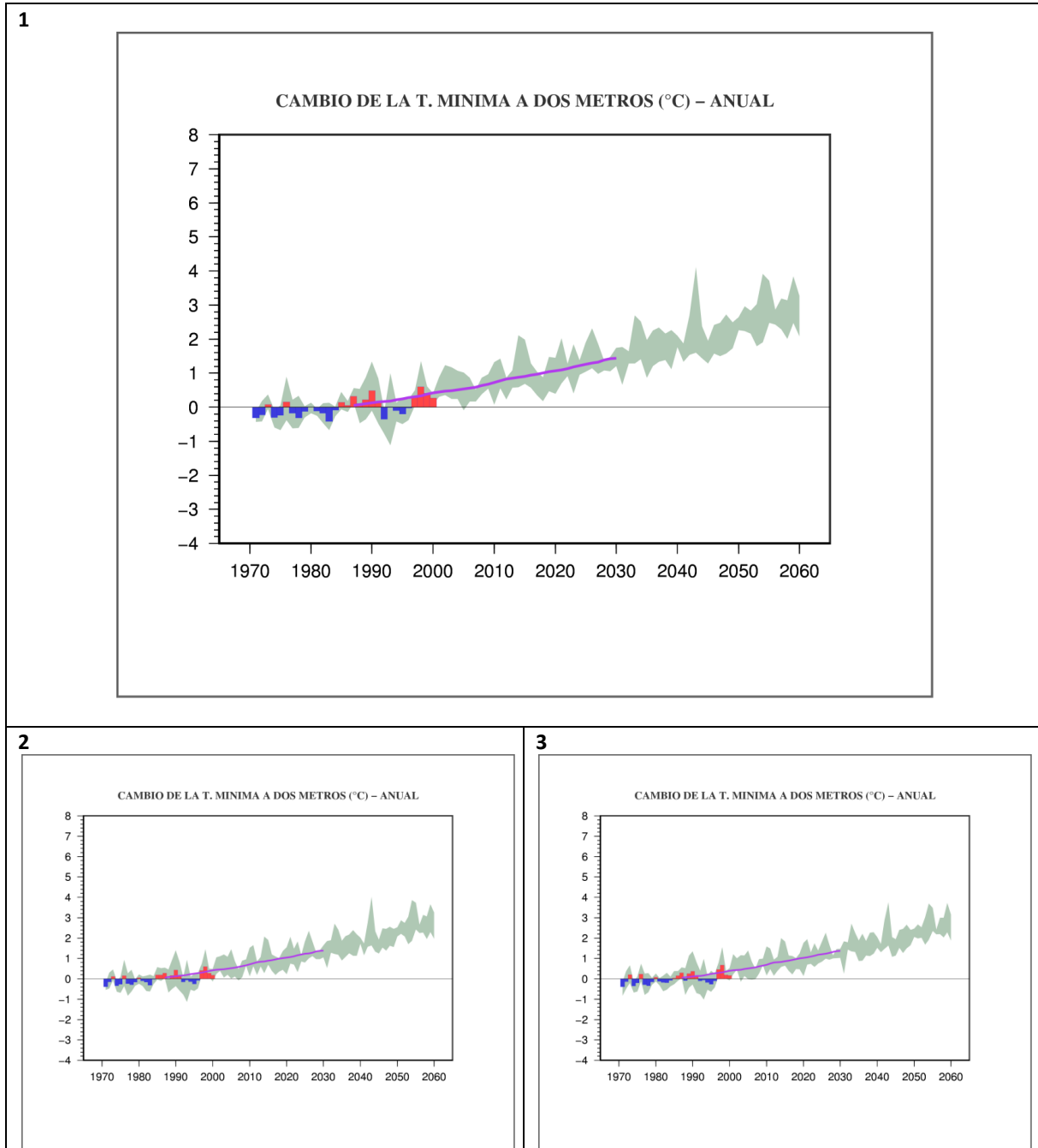


Figura 30: Distribución del cambio de la temperatura mínima del aire (°C) promedio estacional para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 respecto de 1971-2000, en verano (a), otoño (b), invierno (c) y primavera (d) en la Región Ancash.

Los resultados del análisis de los cambios de temperatura a nivel temporal, en tres sectores de la Región Ancash: 1. sector central-sur, 2. sector norte y 3. Costa, en el período 1970 -2030 son mostrados en la figura 31.

En general, se muestra un comportamiento claro de aumento generalizado de la temperatura mínima en los tres sectores de la Región de estudio, desde mediados de los 80s que llegarían en promedio hasta 1,4°C en el 2030 relativo a la línea de base climática 1971-2000.



**Figura 31:** Distribución temporal del cambio de temperatura máxima (°C) en la Región Ancash al 2030 respecto a la línea de base climática 1971-2000 (Escenario RCP8.5), 1. Sector central-sur, 2. Sector norte y 3. Costa de la región Ancash.

## CAPÍTULO V.

### CAMBIO CLIMÁTICO

#### Preparándonos para un futuro incierto

Los modelos climáticos son las mejores herramientas que tienen los científicos del clima para predecir los cambios futuros del clima. Estos modelos están basados en principios sólidos de la ciencia física y están mejorando la línea de tiempo, en su ingeniería interna y una mejor comprensión de los procesos físicos y de escala de subgrilla, con la finalidad de obtener proyecciones más cercanas a lo real. Sin embargo, la atmósfera es caótica, y altamente sensitiva a muy pequeños cambios, por ejemplo sí en las condiciones iniciales se efectúa un pequeño cambio, la subsecuente evolución podría ser completamente diferente. Entonces, siempre habrá un grado de incertidumbre en las proyecciones climáticas.

El uso del ensamble de modelos es particularmente importante en escalas de tiempo largas, donde los efectos del error de un modelo particular son significativos. Para escalas estacionales y largas, los ensambles multimodelos pueden traer ventajas sustanciales. Un ensamble hecho de la combinación de varias proyecciones con diversos experimentos, usando diversos modelos y errores sistemáticos, que con frecuencia son flujo-dependientes, debe dar una mejor representación del espectro completo de estados futuros del clima, que si se usa un solo modelo o dos experimentos.

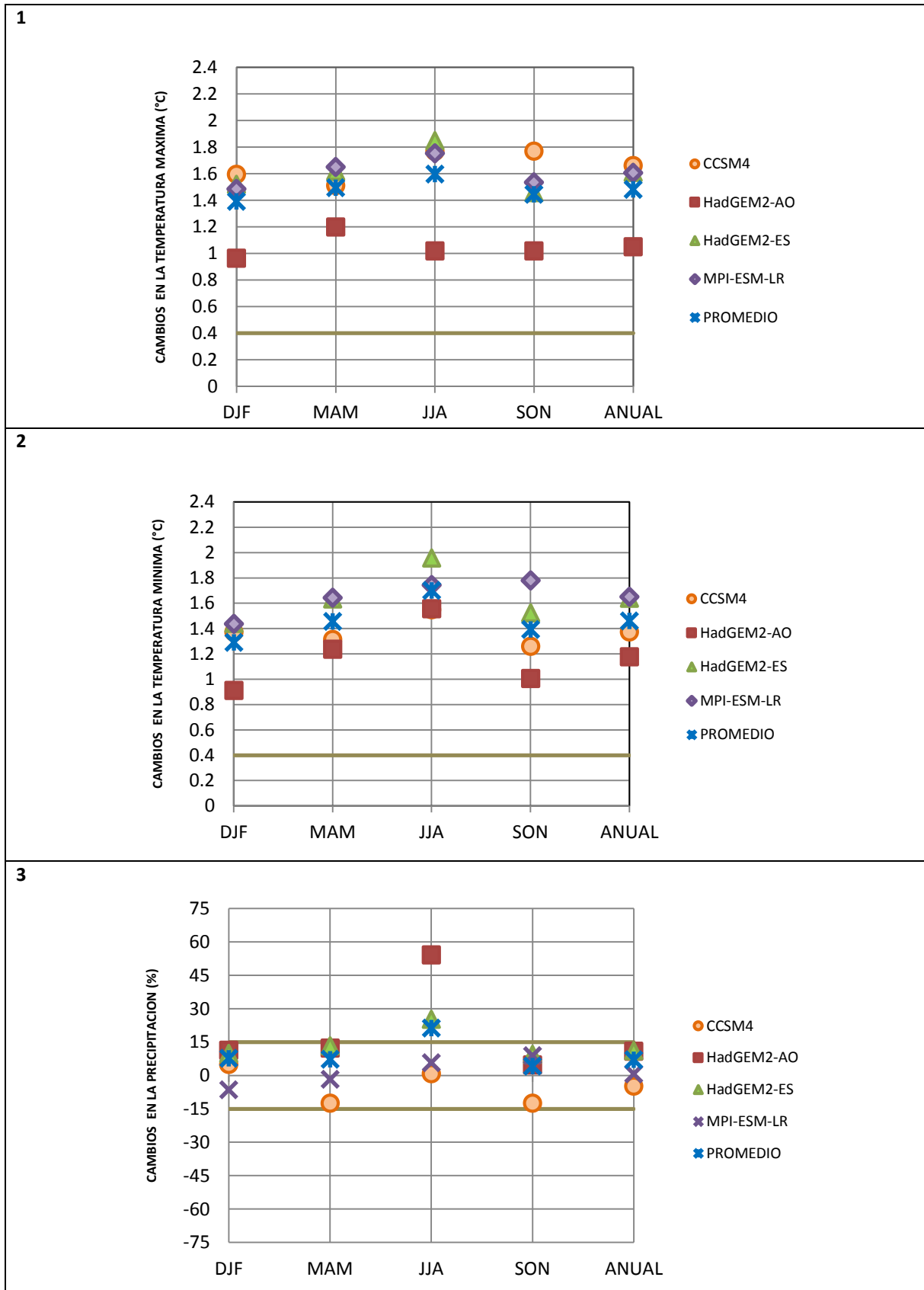
Además de las incertidumbres asociadas a los modelos, existen otras fuentes de incertidumbre debido a:

- a. La evolución de las emisiones de GEI y aerosoles, es decir, cada escenario de emisión tiene diferente composición atmosférica e implica diferente forzamiento radiativo;
- b. El grado de complejidad para simular el clima futuro, y las interacciones internas del sistema climático.

El IPCC (2007) recomienda representar la incertidumbre cuantitativamente mediante intervalo de valores calculados por diferentes modelos, diferentes escenarios de emisiones, diferentes técnicas de regionalización o diferentes miembros "ensamble". El reconocimiento de la existencia de las incertidumbres en las proyecciones climáticas no elimina su utilidad. No se debe pensar que el incremento de la incertidumbre nos lleva a un desconocimiento de lo que pasara. Es necesario tener una idea de la magnitud de la señal y de la incertidumbre para dar el valor a las proyecciones climáticas, es ahí donde radica el reto de los tomadores de decisión, saber usar estas incertidumbres y aplicarlas en las planificación de medidas de adaptación y mitigación en las Regiones.

En la Figura 32, cada punto es el valor del cambio proyectado a escala estacional y anual por diferentes modelos del CMIP5 (HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, y CCSM4) regrillados a 50 Km para un punto en común sobre la Región Ancash. La dispersión de cambios de la temperatura máxima del aire no es alta a excepción del modelo HadGEM2-AO que dista relativamente del resto de modelos, sin embargo todos los modelos coinciden en la misma dirección de calentamiento de +1,0 °C a +1,8 °C. Respecto a la temperatura mínima existe una menor dispersión es decir una mayor convergencia de los resultados que van en dirección de calentamiento de +1,0 °C a +2,0 °C, principalmente en MAM, JJA y el anual.

En lo que respecta a precipitación, la dispersión es menor en los cuatro modelos e indican cambios muy discretos dentro de su variabilidad normal actual de  $\pm 15\%$ . Sin embargo, en invierno la dispersión de los modelos es mayor, con cambios hasta de +50 % según el modelo HadGEM2-AO pero climáticamente es el periodo de escasas lluvias que en promedio indican cambios dentro de su variabilidad actual.



**Figura 32:** Cambios proyectados a escala anual y estacional de la temperatura del aire máxima (1), mínima (2) en °C, y la precipitación (3) en porcentajes en la Región Ancash para el time-slice 2016-2045 centrado en el año 2030, relativo al período de línea de base climática 1971-2000. Los modelos son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR, para el escenario de emisiones RCP8.5. Se muestra el promedio de los modelos (azul) y los rangos de la variabilidad actual (líneas verdes horizontales).

## CAPÍTULO VI.

### CONCLUSIONES

Las conclusiones principales de este informe se refieren a dos aspectos, a las señales de cambios en el clima presente y los cambios en el clima futuro.

#### ➤ Señales de cambios en el clima presente

Los datos medidos desde instrumental meteorológicos desde 1965 a la fecha evidencian una señal clara del incremento no significativo de la precipitación anual en las localidades de Recuay y Chiquian a razón de 5 mm/año.

La frecuencia de días consecutivos secos y los días consecutivos lluviosos en Recuay y Chiquian es de aumento no significativo.

Los días muy lluviosos y los días extremadamente lluviosos muestran incrementos significativos en Recuay, siendo una localidad de riesgo potencial a eventos hidrometeorológicos.

Los datos medidos desde instrumental meteorológico desde 1965 a la fecha evidencian una señal clara del incremento de las temperaturas máximas en Recuay de 0.4 °C/década y en Chiquian a razón de 1 °C/década.

La temperatura mínima promedio anual en Recuay está aumentando a razón de 0.08 °C/década; y en Chiquian presenta una disminución significativa a razón de 0.2 °C/década.

#### ➤ Cambios en el clima futuro e incertidumbres en las proyecciones

Los rangos de variación de los cambios proyectados por cuatro modelos del IPCC son promediados y constituyen resultados de primera aproximación para la identificación de cambio en la temperatura máxima, mínima y precipitación en la Región Ancash, aunque no se han implementado técnicas de reducción de escala, sin embargo, la “relativa robustez” de las proyecciones dadas se basa en una menor dispersión o convergencia de los resultados, es decir, hay un claro patrón de calentamiento a futuro en la Región Ancash hasta en 1,8 °C relativo al clima actual, y no se proyecta cambios significativos en la precipitación las que podrán alcanzar alrededor de  $\pm 15\%$ .

## CAPÍTULO VII.

### RECOMENDACIONES

Aunque el cambio climático es de carácter global, no se puede esperar que los cambios potenciales sean globalmente uniformes; más bien, puede haber diferencias en magnitud a escala regional y local. En tal sentido, los Modelos Climáticos Globales (MCG) no pueden representar explícitamente detalles regionales que caracterizan el clima de una región, a una escala que sea de utilidad para estudios de impactos y evaluación de vulnerabilidad, debido a su aún baja resolución horizontal (aprox. 100 – 300 km); de allí la necesidad de regionalizar.

Los Modelos Regionales de Clima (RCM) o técnicas de reducción de escala estadístico son útiles para generar escenarios climáticos con una resolución espacial más alta para estudios de impactos, siendo importante considerar los modelos globales que mejor representen el clima actual de gran escala.

En este estudio si bien se presenta la información de escenarios a escala espacial de ~50 Km, la recomendación útil es la combinación de técnicas de reducción de escala de tipo dinámica y estadística para llegar a resoluciones espaciales aún mayores que permitan identificar la señal de cambio climático a nivel local, debiéndose implementar en el plazo más próximo.

Se han determinado las incertidumbres que existen en el uso de MCG, que afectan al proceso de generación de proyecciones de cambio climático. Algunas de las incertidumbres, pueden evaluarse mediante la utilización de varios escenarios de emisiones, varios modelos globales, varias técnicas de regionalización o un solo modelo global forzando varios modelos regionales. En el presente estudio no se ha regionalizado por la limitación de infraestructura computacional y tiempo. Sin embargo, se ha intentado mostrar los resultados de una variedad de modelos globales AOGCMs en total 4, que mejor representan los factores climáticos que modulan el clima en la Región Sudamericana y Ancash, que han sido regrilladas a 50 km y expresadas en rango de variación de las proyecciones de cambio climático para la Región Ancash.

Considerando las limitaciones de la información histórica, la representación limitada y simplificada del clima regional por los modelos y conociendo además que existen incertidumbres asociadas, los resultados del presente estudio deben ser considerados como una aproximación del clima futuro, haciéndose énfasis en las señales y dirección de cambios potenciales identificados sobre las magnitudes.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS

- Avalos, G., 2005. Validación del pronóstico de precipitación del modelo regional Eta/SENAMHI durante periodos secos y lluviosos. Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo. 98 pp., UNALM.
- Brack, A., Mediola, C.: 2004: Ecología del Perú: Asociación Editorial Bruño. Segunda edición. 83-252 pp.
- Garreaud R., 2009. The Andes climate and weather. *Adv. Geosci.*, 7, 1–9, 2009.
- Gómez, D. 1978. Análisis físico de la distribución de la precipitación sobre Sudamérica. Tesis. 160p.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007, Working Group I Contribution to the Fourth Assessment report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007, Working Group II Contribution to the Fourth Assessment report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- Nishizawa, T., y M. Tanaka, 1983. The annual change in the tropospheric circulation and the rainfall in South America. *Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol.*, 33B, 107–116.
- Riahi K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic, and P. Rafaj, 2011 : RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33-57, doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- SENAMHI, 2007: Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100. Autores: Avalos G., Díaz A., Oria C., Acuña D., Metzger L., Rosas G. y Miguel R. Eds. Senamhi Perú, 124 pp.
- SENAMHI, 2009. Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Autores: Obregón, G., Díaz, A., Rosas, G., Avalos, G., Oria, C., Acuña, D., Llacza, A., Richard, M. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación de Cambio Climático en Perú. Editor Ministerio del Ambiente.
- SENAMHI, 2012. Escenarios de cambio climático en las regiones de Cusco y Apurímac al 2030 y 2050. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ministerio de Ambiente. Programa de Adaptación al Cambio climático – PACC. 124 pp.
- SENAMHI, 2012: Atlas Climático de Precipitación y Temperatura en la Cuenca del río Mantaro.
- SENAMHI, 2012: Caracterización y variabilidad climática en las regiones Cusco y Apurímac: precipitación y temperatura.
- [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_976\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_976_es.html)



## **CAPÍTULO IX.**

### **ANEXO - MAPAS**

- 10.1 MAPAS DE TEMPERATURA PRECIPITACIÓN – LÍNEA DE BASE CLIMÁTICA 1971-2000.**
- 10.2 MAPAS DE TEMPERATURA MÁXIMA – LÍNEA DE BASE CLIMÁTICA 1971-2000.**
- 10.3 MAPAS DE PRECIPITACIÓN – LÍNEA DE BASE CLIMÁTICA 1971-2000.**
- 10.4 MAPAS DE PRECIPITACIÓN - PROYECCIONES TIME-SLICE 2016-2045 CENTRADO EN EL AÑO 2030 RELATIVO 1971-2000. ESCENARIO RCP8.5.**
- 10.5 MAPAS DE TEMPERATURA MÁXIMA - PROYECCIONES TIME-SLICE 2016-2045 CENTRADO EN EL AÑO 2030 RELATIVO 1971-2000. ESCENARIO RCP8.5.**
- 10.6 MAPAS DE TEMPERATURA MÍNIMA - PROYECCIONES TIME-SLICE 2016-2045 CENTRADO EN EL AÑO 2030 RELATIVO 1971-2000. ESCENARIO RCP8.5.**