

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

Reporte ejecutivo

Autor: SENAMHI-PERÚ

Acuña D., Cubas F., Oria C., 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 **Huánuco**

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

I. INTRODUCCIÓN

II. CLIMA EN LA REGIÓN HUÁNUCO

- 2.1 Marco geográfico
- 2.2 Controladores Climáticos
- 2.3 Meteorología y Clima
 - 2.3.1 Meteorología
 - 2.3.2 Clima
- 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 HUÁNUCO

- 4.1 Proyecciones de la Precipitación
- 4.2 Proyecciones de la Temperatura del aire

V. INCERTIDUMBRE DEL CAMBIO CLIMÁTICO

VI. CONCLUSIONES

VII. RECOMENDACIONES

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 Huánuco, se requiere de modelos que simulan el sistema climático. Estos modelos requieren como entrada los escenarios futuros de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 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, con miras a implementar técnicas combinadas de regionalización en un futuro próximo para generar escenarios con mayor detalle para la Región Huánuco. El horizonte de evaluación corresponde al time-slice 2016-2045 centrado en el año 2030, bajo el contexto del nuevo escenario pesimista de altas emisiones RCP8.5, habiéndose considerado como período 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 2030 en la Región Huánuco, considerando el promedio de los modelos globales son:

1,4 °C a 1,6 °C

Incremento de la temperatura del aire promedio anual 2030.

0 % a 9 %

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



Fotos: Huamalíes, Marañón, Tingo María, Huánuco. Fuente: Google.

- 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 los impactos del cambio climático.

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. 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 en el 2009 generó dos estudios importantes: “Caracterización del clima en el Perú: período 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 termoplumiométricos 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 Huánuco, 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 validados 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 HUÁNUCO

2.1 MARCO GEOGRÁFICO

La Región de Huánuco está ubicada en la zona central y oriental del Perú, entre los paralelos 8°21'47" y 10°30' de latitud sur, y los meridianos 76°18'56" y 77°18'52.5" de longitud oeste. Está limitado por el norte con San Martín y Loreto, por el sur con Pasco, al suroeste con Lima, al norte con la Libertad y hacia el oeste con Huánuco.

En la Región Huánuco se concentran importantes capitales de provincia: Ambo, La Unión, Huacaybamba, Llata, Tingo María, Huacrachuco, Panao, Puerto Inca, Jesús, Chavinillo y Huánuco mostrado en el mapa 1.

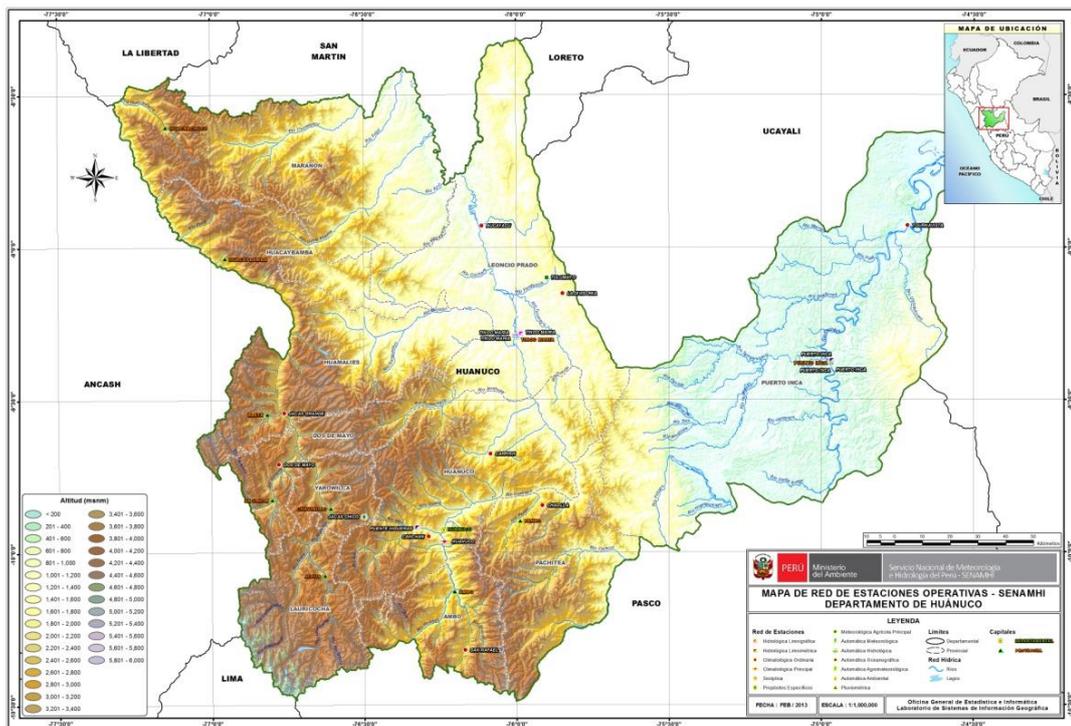


Figura 1: Mapa de relieve de la Región Huánuco

2.1.1 Geomorfología

El territorio de la región Huánuco está integrado por tres cadenas de montañas de los Andes septentrionales:

La Cordillera Occidental, Central y Oriental, estas cordilleras se han formado por el levantamiento andino y tallado por la erosión hídrica a través de millones de años, ocasionados por los ríos Marañón, Huallaga y Pachitea; que discurren de sur a norte y son los que moldearon la fisiografía de la Región

Huánuco, donde se encuentran importantes atractivos turísticos distribuidos en los valles interandinos y regiones de selva; donde existen una diversidad de climas.

Las cordilleras tropicales son el Huayhuash, el Yerupajá y el Siula son preferidas por los turistas para deporte de aventuras como el andinismo.

2.1.2 Hidrología

El río Marañón tiene sus orígenes en el nevado del Yerupajá con el nombre de río Gayco, a través de su encauce hacia el norte recibe muchos afluentes pasando por la ciudad de la Unión. Luego sigue su curso hacia el norte y llegando a Jircan, en la provincia Huamalés; posteriormente el río Marañón se enrumba hacia el noreste adoptando una configuración de cañón profundo, erosionado en la zona andina, con desniveles desde varios miles de metros desde las cumbres hasta la línea de agua.

Otro río no menos importante es el río Huallaga que nace en Cerro de Pasco; recorre de sur a norte atravesando la Región Huánuco de extremo a extremo, dividiéndola en dos mitades el cual origina en el oeste una región seca y templada, y hacia el este una zona lluviosa, cálida y húmeda. El río Huallaga en su recorrido hacia las tierras de la Amazonía atraviesa abruptas montañas, y bosques de neblina.

El río Pachitea proviene de la Región Cerro de Pasco, atraviesa de sur a norte la provincia de Puerto Inca. En su recorrido por la selva baja, sobre la llanura amazónica, adquiere su curso formando meandros; a partir de Puerto Inca, el río Pachitea toma una dirección hacia el este hasta confluir en el río Ucayali.

2.2 CONTROLADORES CLIMÁTICOS

Los principales sistemas atmosféricos de gran escala que controlan el tiempo y clima sobre Sudamérica, Perú, y Huánuco, 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.

2.2.1 A gran escala

Los patrones de circulación atmosférica sobre Sudamérica presentan una clara 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 en la región: la Cordillera de Los Andes. 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, donde 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 las precipitaciones, 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 las regiones Huánuco son analizados.

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.

La AB abarca gran parte del continente y se proyecta principalmente sobre Perú, Chile y Bolivia, con gran concentración de energía; apoyado con una atmósfera cálida entre 1.5 - 12 km reflejada en un mayor espesor de la columna atmosférica que alcanza los 10600 mgp¹ en la Figura 2, y aunado a la interacción de la configuración dinámica y termodinámica en la alta troposfera con la Vaguada del Noreste de Brasil (VNEB) de giro horario con extensión a lo largo del límite del continente sudamericano 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 Huánuco es directamente afectada, totalizando las mayores precipitaciones y temperaturas mínimas más altas del año, siendo valores característicos de verano.

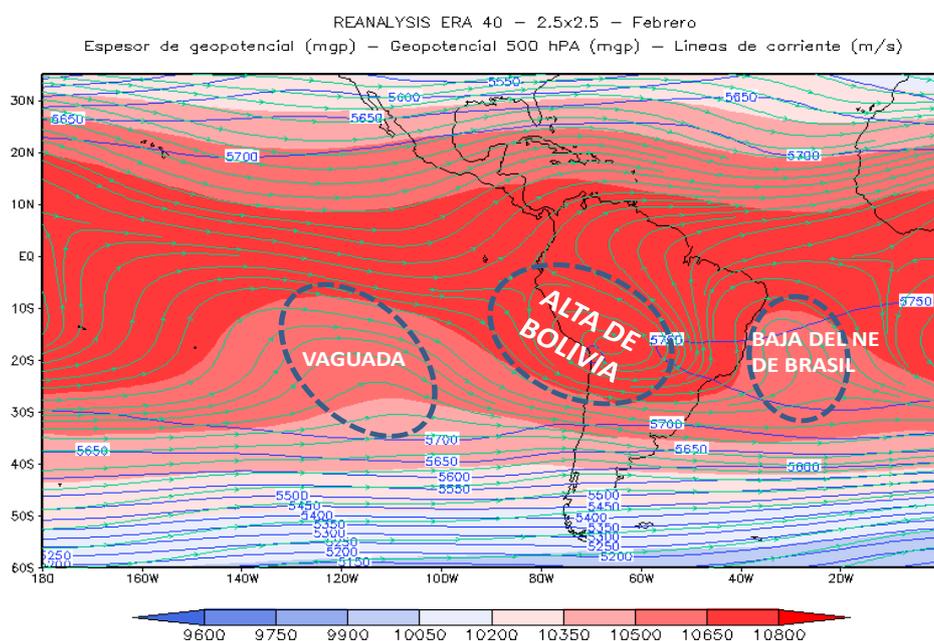


Figura 2: Circulación atmosférica de verano (DEF) a 12 Km (200 hPa), geopotencial de 5 km línea entrecortada azul (500 hPa) y espesor de la columna entre 1.5 -12 Km (200 y 850 hPa).

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 precipitaciones principalmente en la zona este de la Región Huánuco (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.

¹ mgp: metros geopotenciales

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 período de precipitaciones 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. Este sistema semipermanente de alta presión, las masas de aire y viento, los andes, son factores importante que actúan sobre el comportamiento de los elementos del clima como la temperatura y precipitación, humedad vientos; produciendo en la zona central este del país, un clima cálido húmedo con precipitaciones fuertes, ver figura 3.

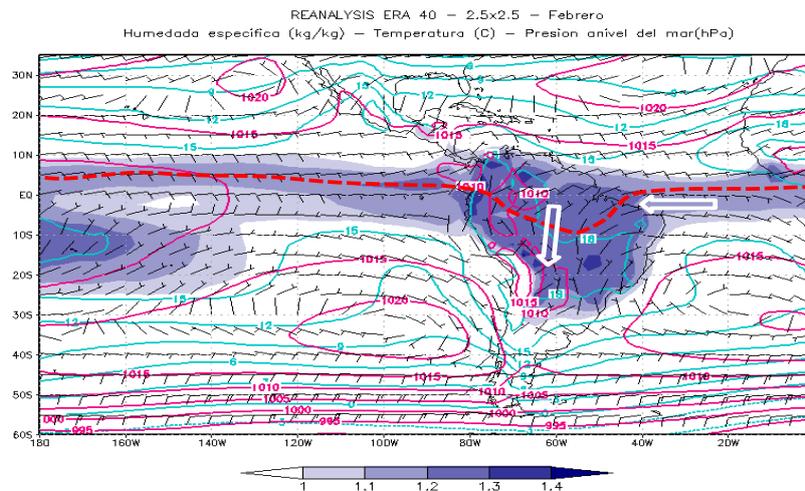


Figura 3: Circulación atmosférica invierno sobre Sudamérica. Vientos y humedad específica a 850 hPa, presión reducida a nivel medio del mar (hPa) y ZCIT (línea gruesa roja entrecortada).Fuente de datos: Reanalysis NCEP 1971-2000. Elaboración: SENAMHI.

En el invierno austral (JJA), climáticamente los vientos predominantes sobre Sudamérica son de dirección oeste en la troposfera alta a 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, visualizadas en la Figura 4, provocando nulas a escasas precipitaciones. Esta configuración también favorece se registren las temperaturas mínimas más bajas del año, así como calentamientos diurnos intensos, generando consecuentemente heladas meteorológicas más intensas (temperaturas mínimas por debajo de 0° C), principalmente al sur y centro de Perú afectando las zonas altas por encima de los 3000 m en la Región Huánuco.

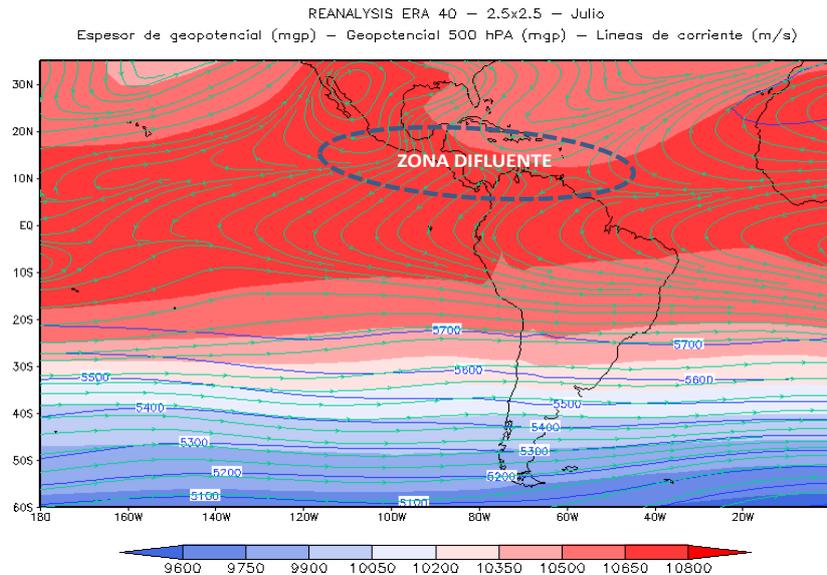


Figura 4: Circulación atmosférica de invierno (JJA) a 12 Km (200 hPa), geopotencial de 5 km línea entrecortada azul (500 hPa) y espesor de la columna entre 1.5 -12 Km (850 - 200 hPa).

En niveles bajos de la atmósfera a 1.5 Km (850 hPa), 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 principalmente al este sobre la vertiente oriental y nulas a escasas al occidente. En la Región Huánuco, la poca humedad que ingresa favorece la ocurrencia de cielos despejados o escasa cobertura nubosa asociado con la disminución significativa de la precipitación (ver Item 2.5).

Además, 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.

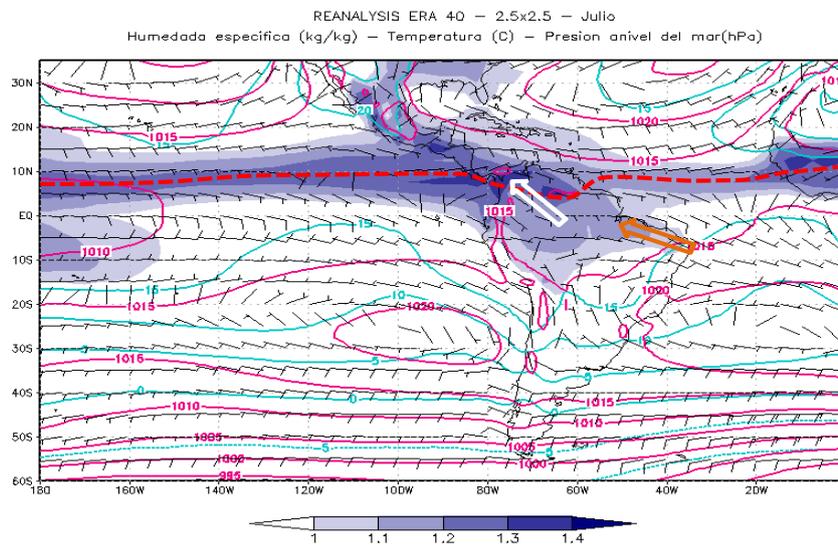


Figura 5: Circulación atmosférica invierno sobre Sudamérica. Vientos y humedad específica a 850 hPa, presión reducida a nivel medio del mar (hPa) y ZCIT (línea gruesa roja entrecortada).Fuente de datos: Reanalysis NCEP 1971-2000. Elaboración: SENAMHI.

2.2.1 A escala local

Los mecanismos físicos más importantes de la precipitación en la región andina-amazónica, ocurre cuando las masas de aire cálida 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 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 los andes, como en la localidad de Jacas Chico ubicado por encima de los 3673 m las precipitaciones totalizan 1200 lt/m² anuales, siendo su mayor desecamiento sobre la localidad de Huánuco ubicado a 2090 m donde las precipitaciones llegan a 400 lt/m² anuales. Hacia al este de los Andes centrales, selva alta y baja de la Región Huánuco, las precipitaciones son más abundantes, como en Tingo María ubicada a 645 m de altitud, se registra 3500 lt/m² por año.

Los eventos de lluvia extrema o más 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 diferenciado desde 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 importantes ríos como el Marañón, Huallaga y Pachitea y otros ríos menores de la Región Huánuco.

Además, una fuente importante de humedad 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 local para las precipitaciones.

2.3 METEOROLOGÍA Y CLIMA

2.3.1 Meteorología

La meteorología –estudio del estado del tiempo atmosférico en el corto plazo (1 a 10 días)– en la Región Huánuco está determinada por los factores: 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.

El verano austral coincide con el período de mayores precipitaciones en la Región Huánuco, en las zonas bajas de la Región, las temperaturas diurnas ocurren entre las 10 y 17 horas y oscilan entre 27 y 33 °C, llegando alcanzar la máxima temperatura de 33,8 °C alrededor de las 16 horas y son más altas que las temperaturas nocturnas. Las temperaturas nocturnas oscilan entre 20 y 25 °C alcanzando la mínima temperatura de 20 °C a las 7 horas.

Durante el período diurno la humedad es relativamente baja y tiende a presentarse entre 53 - 78%. En tanto, el período nocturno está acompañado de alta humedad relativa entre 81- 99%. Tal como puede apreciarse en la Figura 7 en la localidad de Tingo María.

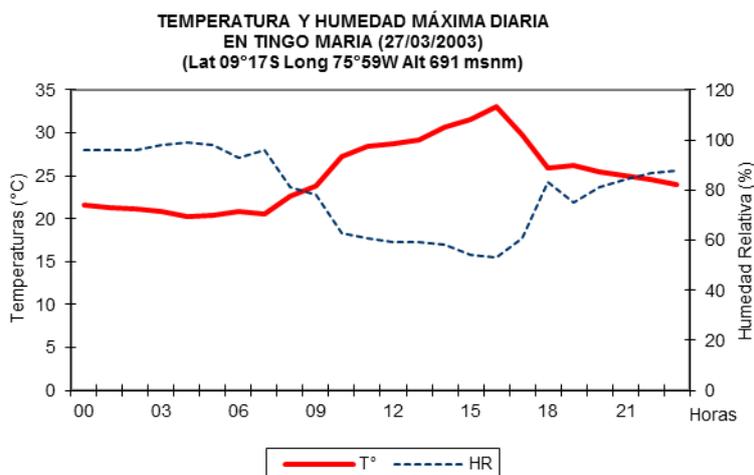


Figura 7: Distribución temporal de la temperatura y humedad relativa en Tingo María en marzo

El invierno austral coincide con el período de escasas a mínimas precipitaciones en la Región Huánuco, las temperaturas diurnas en sus zonas bajas oscilan entre 24 - 29 °C y son más altas que las temperaturas nocturnas, y ocurren entre las 10 - 17 horas, llegando a alcanzar la máxima temperatura de 28,3 °C alrededor de las 16 horas. Las temperaturas diurnas oscilan entre 18,5 - 24 °C alcanzando la mínima temperatura de 18 °C a las 7 horas, como el caso de Tingo María en la Figura 8.

Además, durante el período diurno la humedad es relativamente baja y tiende a presentarse entre 42 - 61 %. En tanto, el período nocturno está acompañado de alta humedad relativa entre 74 - 97%. En general, la humedad relativa presenta un comportamiento inverso a la temperatura aire.

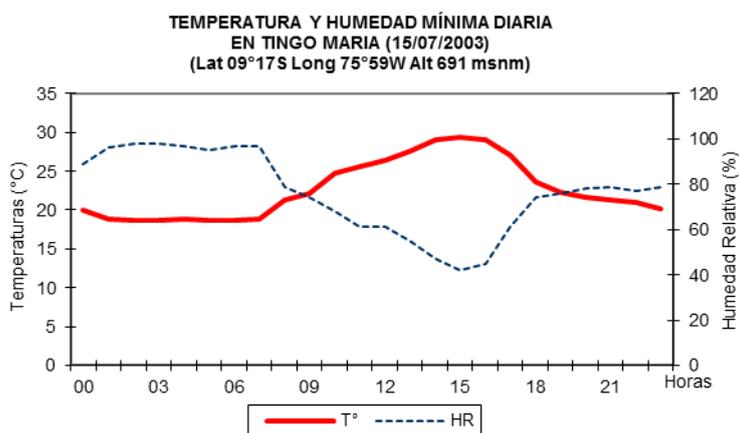


Figura 8: Distribución temporal de la temperatura y humedad relativa en Tingo María en julio

2.3.2 Clima

La climatología –estudio del clima y sus variaciones a largo plazo (mes, estacional, anual) – en la Región Huánuco, esta modulada por factores como la latitud, estacionalidad, nubosidad, topografía y elevación. El clima en este estudio es analizado a través del comportamiento de los efectos de los factores sobre las variables temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, promediada sobre 30 años.

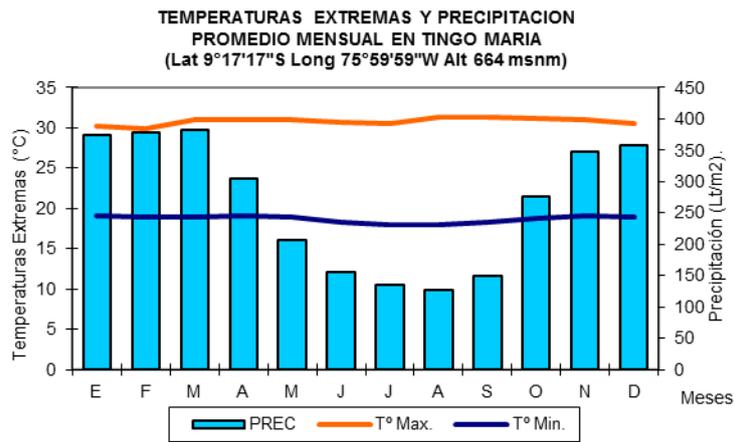
Las temperaturas diurnas más altas en ocurren en los valles interandinos (cuenca del río Marañón y Huallaga), donde frecuentemente entre mayo y noviembre superan los 30° C en horas del mediodía y en condiciones atmosféricas de fuerte estabilidad es decir: aire en calma y cielo despejado (Figura 9 a).

Las temperaturas diurnas más altas del año en la zona andina ocurren en los meses de octubre a noviembre, meses en que también se tiene mayor cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie; tal como es mostrado en las figuras correspondientes a Huánuco y Ambo (Figura 9 b y c).

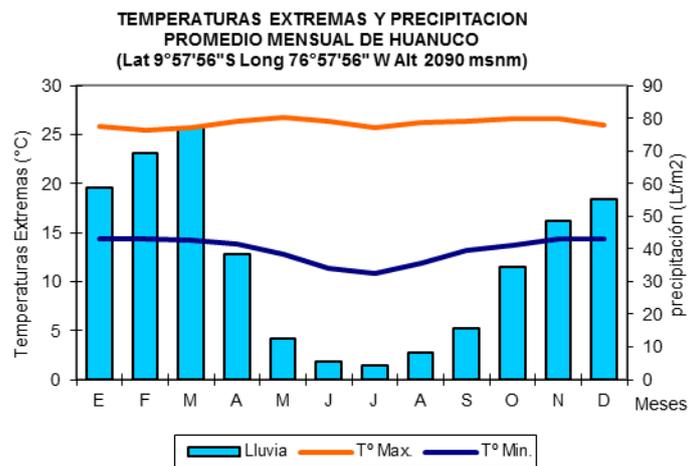
Las temperaturas diurnas más bajas ocurren durante el período lluvioso caracterizadas por cielos con nubosidad que no permiten el calentamiento de la superficie en mayor medida.

Las temperaturas nocturnas en este periodo son las más altas del año caracterizadas por cielos con abundante nubosidad que no permiten la liberación de la pérdida de energía desde la superficie, manteniendo el aire cálido.

a



b



c

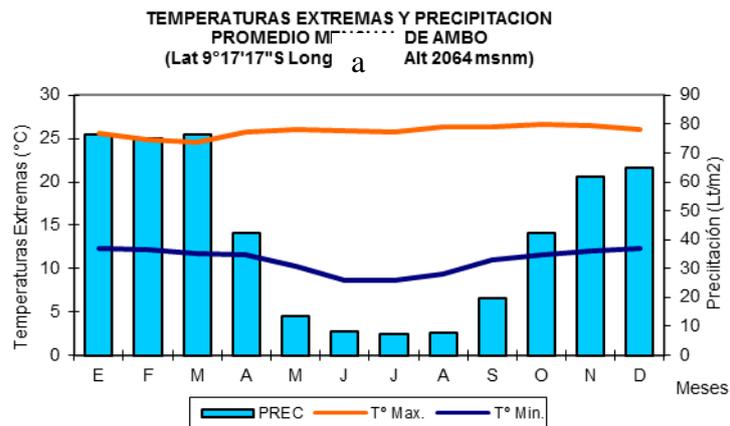


Figura 9 a-c: Distribución temporal de la temperatura y precipitación en estaciones representativas de selva y sierra de la Región Huánuco.

2.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA 1971-2000

2.4.1 PRECIPITACIÓN

En la figura 10, las precipitaciones son mayores en la zona este o selva de la Región Huánuco y pueden llegar a superar los 2500 mm anuales. En dirección oeste, se presentan los menores acumulados de 500 – 1000 mm anuales.

En cuanto a su régimen estacional, en el trimestre diciembre - febrero, la región Huánuco recibe sus mayores precipitaciones, totalizando en la zona alta 500 mm, en la zona media menor a 500 mm, en la zona baja totalizan cerca de 1700 mm.

En el trimestre marzo - mayo, las precipitaciones disminuyen notablemente, acumulando en la zona alta cerca de 300 mm, en la zona media 200 mm y en la zona baja hasta 1000 mm.

Entre julio - agosto, las precipitaciones tienden a ser menores a escasas en relación a todos los trimestres del año, totalizando hasta 50 mm en la parte alta, menor a 50 mm en la parte media y hasta 500 mm en la parte baja.

Finalmente, entre setiembre - noviembre inicio del período lluvioso, en toda la región nuevamente se incrementan las precipitaciones, en la zona alta llegan hasta los 300 mm, en la zona media 200 mm y en la zona baja llegan a totalizar cerca de 1000 mm.

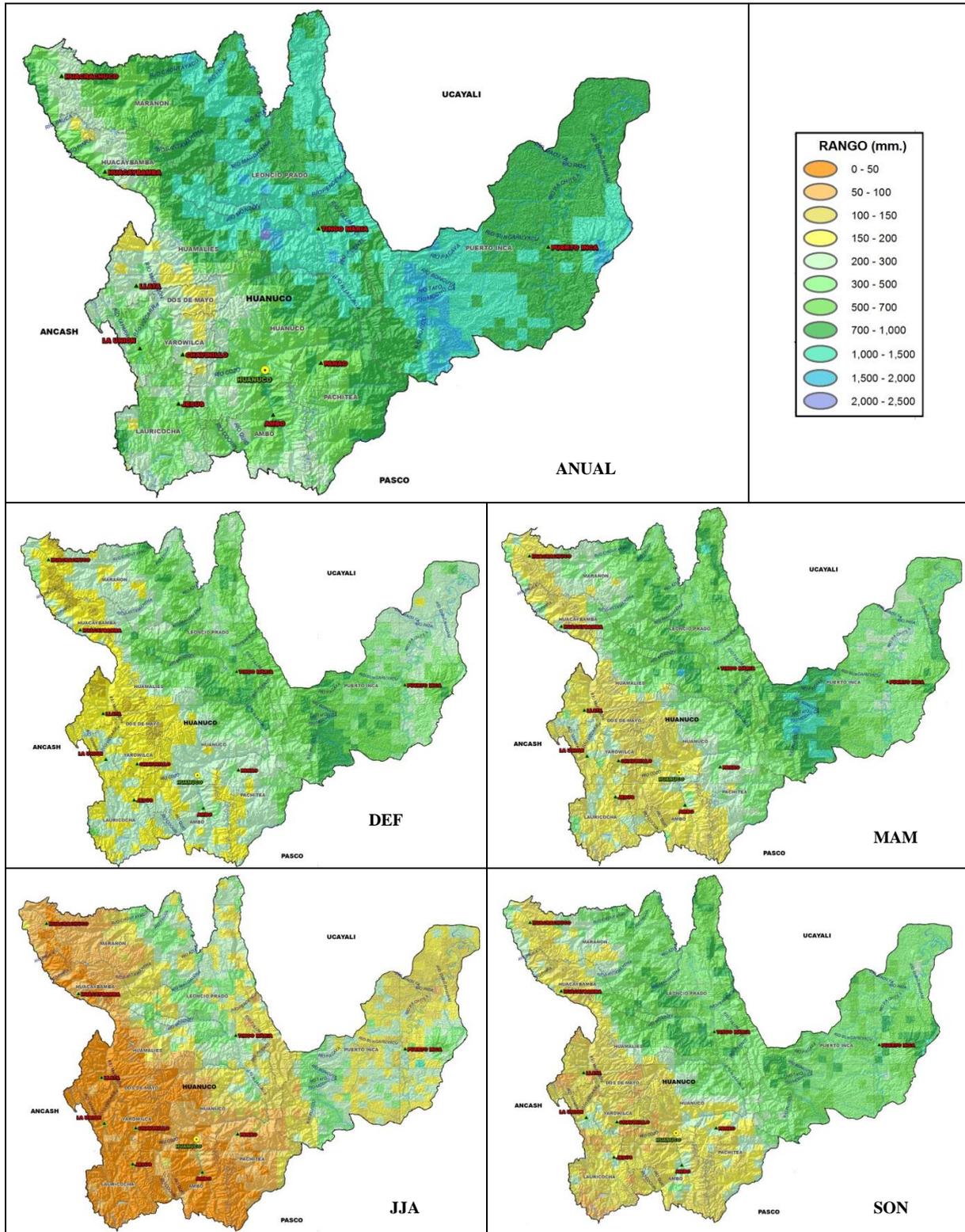


Figura 10: Distribución espacial de la precipitación anual y estacional en la Región Huánuco, a gruesa resolución espacial. Línea de base climática 1971-2000.

2.4.2 TEMPERATURA

En la Figura 11 y 12 se muestra el comportamiento anual y estacional de las temperaturas extremas en la Región Huánuco, observándose la clara correspondencia inversa entre el relieve y la distribución espacial de esta variable, a medida que la altitud aumenta las temperaturas disminuyen.

En la parte alta de la Región las temperaturas máximas varían de 8 a 14 °C y la temperatura mínima de -6 a 0°C, mientras que en la parte baja la temperatura máxima varía de 28 - 34 °C y la temperatura mínima de 16 - 22 °C. La temperatura máxima no presenta variación significativa a lo largo del año. Mientras que la temperatura mínima presenta un marcado comportamiento estacional, con dos períodos bien diferenciados en la zona Andina de la Región: el trimestre JJA las temperaturas descienden por debajo de los 0 °C y en el trimestre DEF las temperaturas se incrementan pudiendo alcanzar 8 °C.

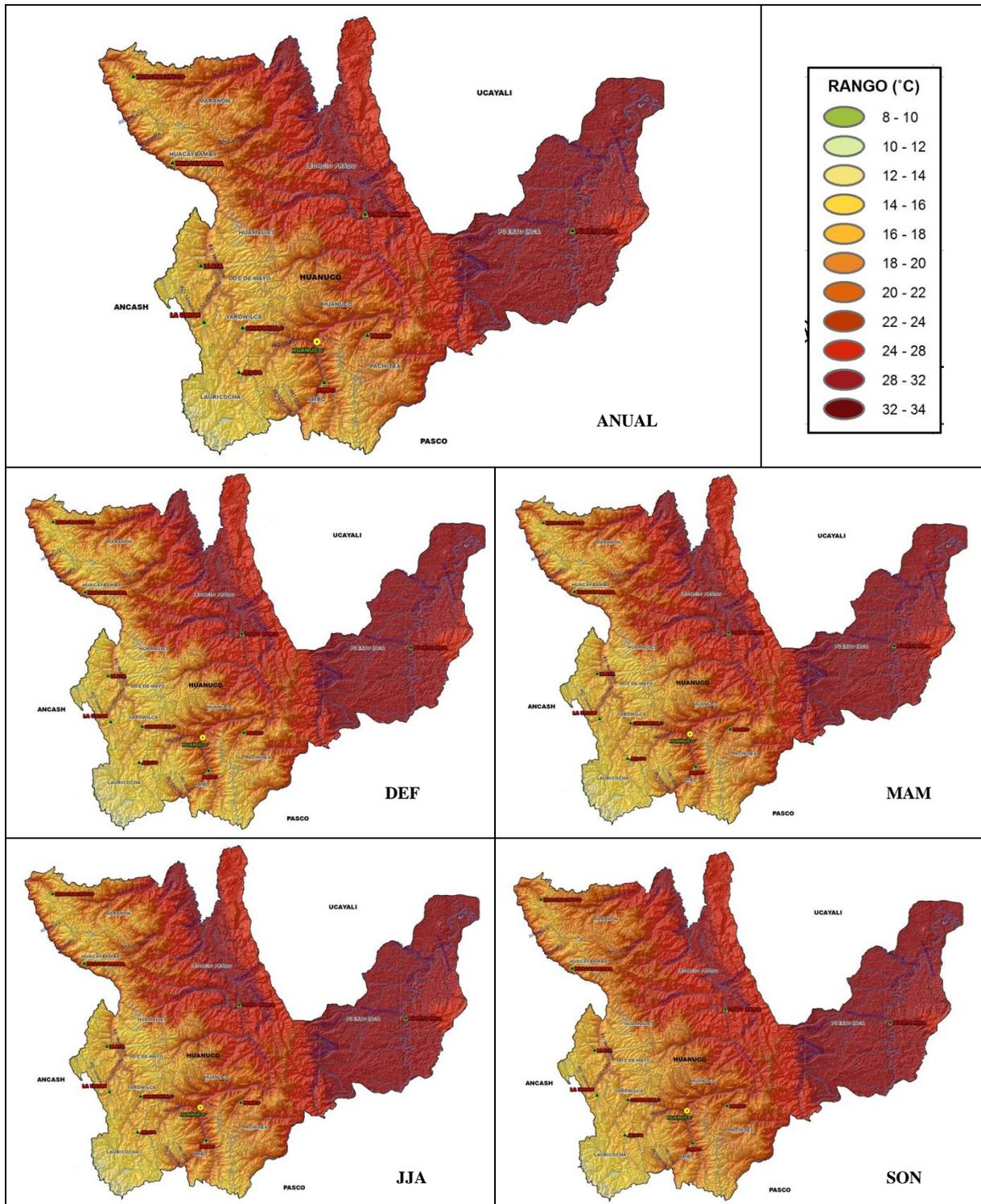


Figura 11: Distribución espacial de la temperatura máxima anual y estacional en la Región Huánuco. Línea de base climática 1971-2000.

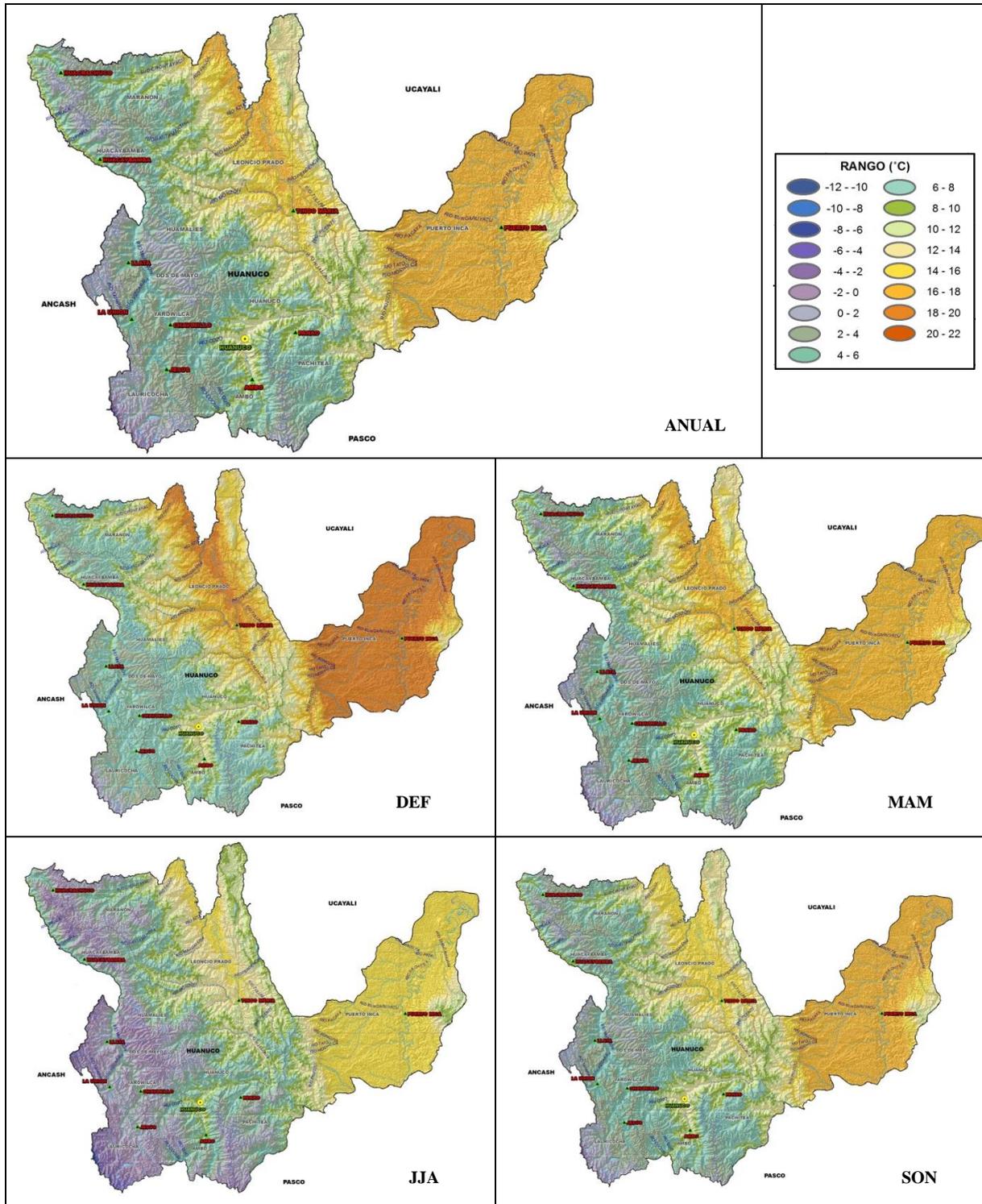


Figura 12: Distribución espacial de la temperatura mínima anual y estacional en la Región Huánuco. Línea de base climática 1971-2000.

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 ya que puede ser percibido o sentido a través de la incidencia de sus impactos, que se reflejan en las grandes pérdidas económicas, así como al incremento de muertes atribuido a estos eventos extremos.

Según un nuevo informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) - Ginebra, 3 de julio de 2013. "En todo el mundo se produjeron fenómenos climáticos extremos de gran impacto y sin precedentes durante el decenio de 2001-2010, el decenio más cálido jamás registrado desde que se empezaron a realizar mediciones en 1850, al que siguió un largo período de calentamiento mundial acentuado. Se batieron los récords de temperatura que en ningún otro decenio anterior, se presentaron las olas de calor en Europa y Rusia, el huracán Katrina en Estados Unidos de América, el ciclón tropical Nargis en Myanmar, las sequías en la cuenca del Amazonas, Australia y África oriental, y las inundaciones en Pakistán".

La evaluación del clima a través de indicadores de extremos climáticos en diferentes regiones geográficas es necesaria para detectar los cambios en el clima en la región Huánuco.

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 o disminución de la precipitación (Vuille et al., 2003). Las causas asociadas es la alta variabilidad de la distribución espacial y cantidad de las precipitaciones derivado de su compleja orografía, y su alta variabilidad temporal, que hacen de su distribución sea diferenciado de una estación astronómica a otra, y de un año a otro.

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

Estas 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 y figura 13 a, se presenta las tendencias anuales y estacionales de la precipitación observadas en estaciones representativas de la cuenca en el período 1965-2012. Los valores de significancia de 99% es resaltada en **negrita**.

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

	Estaciones	Período	Tendencia Anual	Tendencia Verano DEF	Tendencia Otoño MAM	Tendencia Invierno JJA	Tendencia Primavera SON
Tendencia	Tingo María	1965-2012	1.85	36.05	23.90	-11.17	-26.53
Precipitación	Huánuco	1965-2012	0.29	-3.71	3.81	0.00	0.80
(mm/década)	Jacas Chico	1975-2012	116.41	30.68	36.40	9.83	20.81

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

Podemos observar la tendencia de las series anuales de precipitación en tres localidades de la Región Huánuco, el cual es de incremento significativo de 116 mm/década en Jacas Chico.

La localidad de Tingo María ubicado en tierras bajas a 645 msnm, presenta una clara tendencia de incremento no significativo de la precipitación anual y en el período de mayores precipitaciones (DEF, diciembre-enero-febrero). En tanto una disminución de la precipitación en el período de estiaje (JJA, junio-julio-agosto), lo que se interpretaría como cada vez más seco JJA y se traduciría en menos agua en esta época del año.

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) extraordinarios como El Niño 1982-83 (1997-98) estuvieron asociadas con el incremento (disminución) de precipitación, en tanto la Niña 1988-89 y 1999-2001 afectaron con disminución de la precipitación en Tingo María.

La localidad de Huánuco ubicado en las tierras medias de la Región a 2090 msnm, la precipitación anual presenta aumentos en los últimos 47 años, en tanto viene disminuyendo en DEF. Esta condición climática podría estar afectando a los cultivos de secano en DEF, época donde realizan su mayor uso consuntivo de agua. En tanto, en el período de estiaje la precipitación no muestra señal de aumento o disminución alguna.

Los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOs) extraordinarios de fase cálida 1982-83 y 1997-98, muestran un aparente impacto sobre la precipitación, a pesar de no contar con una serie climática continua la localidad de Huánuco, el ENOS ocasionó la disminución de la precipitación. En tanto, en la fase negativa del ENOs Las Niñas 1988-89 y 1999-2001, estuvieron asociadas al aumento significativo de la precipitación en la localidad de Huánuco que visualizada en la figura 13 a.

El general El ENOS muestra impactos diferentes en la selva y sierra de la Región Huánuco, por lo que amerita estudios más detalladas y a escala local.

A nivel estacional, la tendencia de la precipitación en DEF y MAM es de incremento; aunque de manera no significativa en Tingo María, y de característica significativa en MAM y JJA en Jacas Chico.

En tanto, en la localidad de Huánuco la precipitación presenta disminución pero no significativa en DEF, y en la localidad de Tingo María en JJA, es decir la precipitación en estas localidades tienden hacer cada vez menores o más seco.

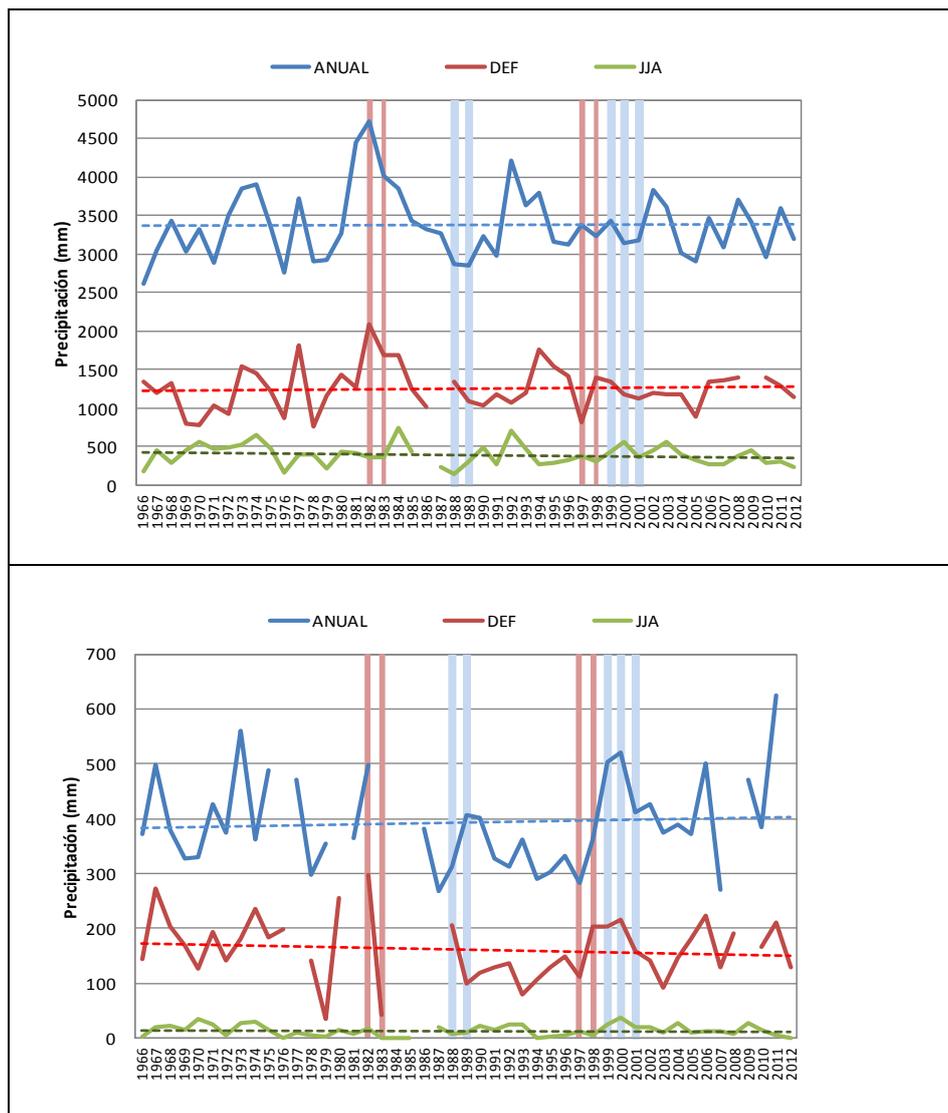


Figura 13 a: Tendencias de la precipitación en Tingo María y Huánuco, en el período anual, periodo de mayores precipitaciones DEF y período de estiaje (JJA, junio-julio-agosto). Línea de tiempo climática 1965-2012. Las barras rojas (celestes) indican los eventos extraordinarios del EL Niño Oscilación del Sur de fase cálida (fase fría).

Actualmente, además de la detección de los cambios en clima promedio, se incrementa la preocupación de los cambios en frecuencia e intensidad de los eventos extremos como consecuencia de la influencia del hombre sobre el clima. El cual puede ser percibido o sentido a través de la incidencia y magnitud de estos eventos.

La importancia del análisis de los extremos climáticos radica en las grandes pérdidas económicas que ocasionan, así como el incremento de muertes que son atribuidos a estos eventos severos. Por lo tanto, 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.

La determinación de los indicadores, es derivada de la evaluación de series de precipitación, temperatura máxima y mínima diaria, con longitud mayor a 30 años, continua y homogénea. Este nivel de información climática en la Región Huánuco es un tanto escaso, ya que muchas series son discontinuadas debido a que se dejaron de medir durante los años del terrorismo donde fueron vandalizadas, paralizadas, o por cambio de ubicación, o por efectos del Niño, entre otras causas.

En la última década se han sembrado estaciones que aun presentan series cortas, ya que fueron implementados después del año 2000. Esta situación es una condición 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.

Los indicadores de eventos extremos de precipitación en este estudio son analizados para localidad de “Tingo María”, ubicada en el sector amazónico. En la tabla 2 se muestran los indicadores de precipitación.

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 \geq 1mm)	mm
SDII	Índice de intensidad diaria de precipitación	Precipitación total anual dividida por el número de días húmedos en un año	mm día ⁻¹
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR \geq 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

En los últimos 47 años la intensidad diaria de precipitación anual (SDII) en la localidad de Tingo María presenta disminución. Sin embargo, la tendencia del índice de precipitación acumulada anual (PRCPTOT) ha aumentado en una tasa promedio de 2.5 mm/día/año (ver Figura 13 b) y se ha presentado con mayor frecuencia los episodios lluviosos, siendo estos no intensos y de corta duración, así como también alternados con mayor frecuencia de días consecutivos secos.

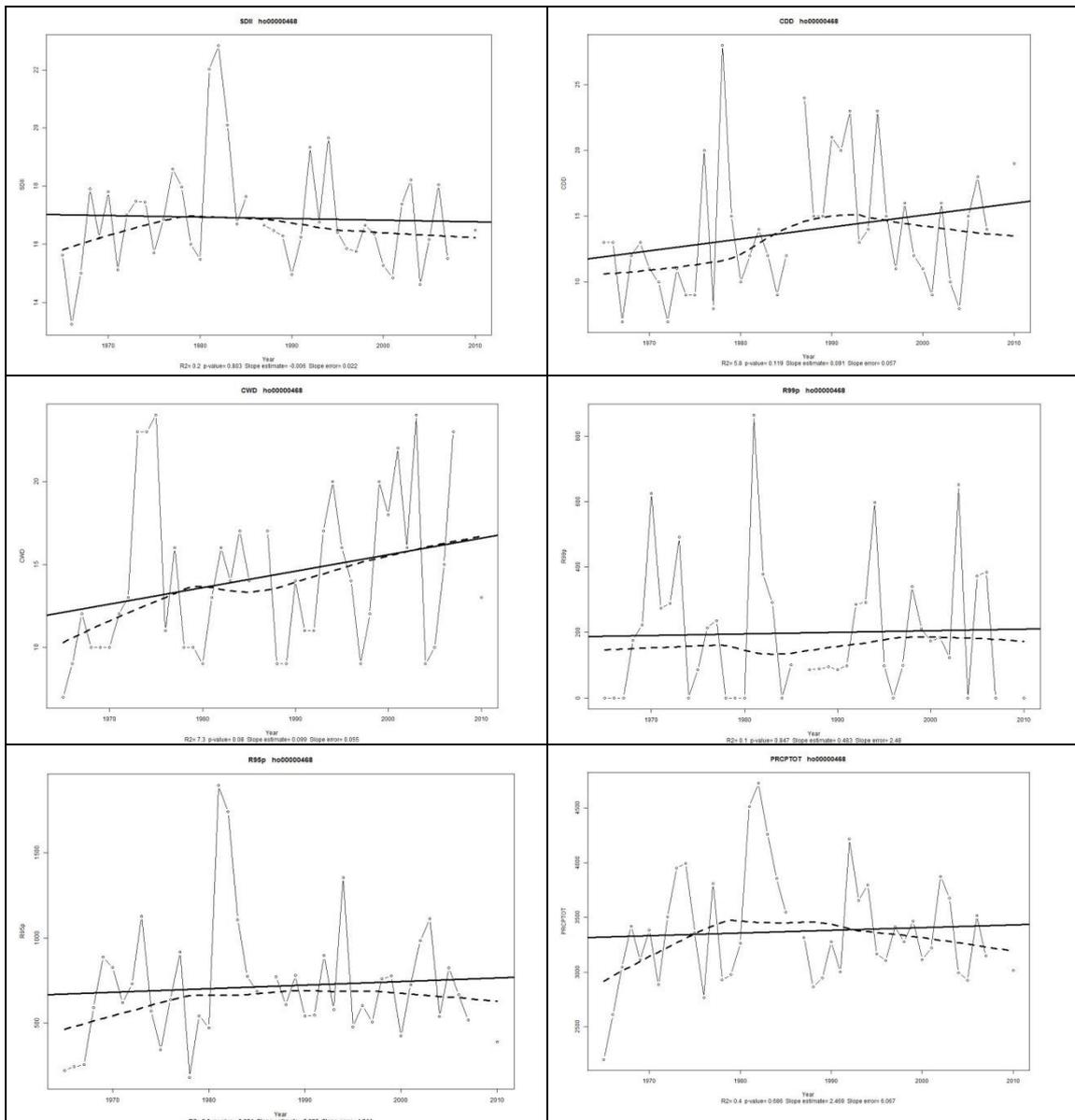


Figura 13 b: Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de precipitación en Tingo María.

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 Huánuco. 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.

La tendencia anual y estacional de las temperaturas extremas del aire en el período 1965-2012 asociada a una significancia al 99% en algunas localidades representativas de la Región Huánuco es mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3: Tendencia anual de las Temperaturas Máxima y Mínima (°C) y significancia al 99% (*en negrita*) en algunas localidades de la Región Huánuco (1965-2012)

	Estaciones	Período	Tendencia Anual	Tendencia Verano DEF	Tendencia Otoño MAM	Tendencia Invierno JJA	Tendencia Primavera SON
Tendencia Temperatura Máxima (°C/década)	Tingo María	1965-2012	0.02	0.09	0.04	0.0	0.02
	Huánuco	1965-2012	0.16	0.18	0.14	0.14	0.17
	Jacas Chico	1975-2012	-1.0	-1.4	-0.88	-1.09	-0.71
Tendencia Temperatura Mínima (°C/década)	Tingo María	1965-2012	0.15	0.17	0.18	0.08	0.13
	Huánuco	1965-2012	0.25	0.32	0.30	0.21	0.33
	Jacas Chico	1975-2012	0.07	0.38	0.22	-0.46	0.20

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

En la tabla 3 y figura 14 a se aprecia que la tendencia anual de la temperatura máxima en los puntos de observación considerados, el cual es de aumento, siendo estadísticamente significativa sólo en la localidad de Huánuco del orden de 0.16 °C/década. En tanto en Jacas Chico, se observa una tendencia de disminución de la temperatura mínima anual (tabla 3), que estaría influenciada por los efectos locales de relieve, cambios en el uso del suelo, circulación local, entre otros.

En cuanto a la temperatura mínima, la tendencia anual es de aumento significativo en Tingo María y Huánuco, siendo de 0.15 y 0.25°C/década, respectivamente.

Asimismo, las tendencias estacionales se corresponden con la tendencia anual; es decir, van en dirección de aumento. En las estaciones de verano DEF, invierno JJA y primavera SON, la tendencia de la temperatura máxima tiene aumento significativo en la localidad de Huánuco, con valores entre 0.14 - 0.18 °C/década, y no significativo en Tingo María de 0.02 – 0.09°C /década.

En tanto, la localidad de Jacas Chico presenta disminución significativa en todas las estaciones del año, de 0.7 – 1.4°C/década.

Las tendencias estacionales de la temperatura mínima presentan casi el mismo comportamiento que la temperatura máxima en las localidades de Tingo María y Huánuco, aunque con valores ligeramente superiores.

La tasa de aumento de la temperatura mínima llega hasta 0.18 °C/década en Tingo María en otoño y hasta 0.33 °C/década en la estación de Huánuco, en primavera. Siendo la tendencia estacional, la que modula el comportamiento de la tendencia anual en éstas localidades.

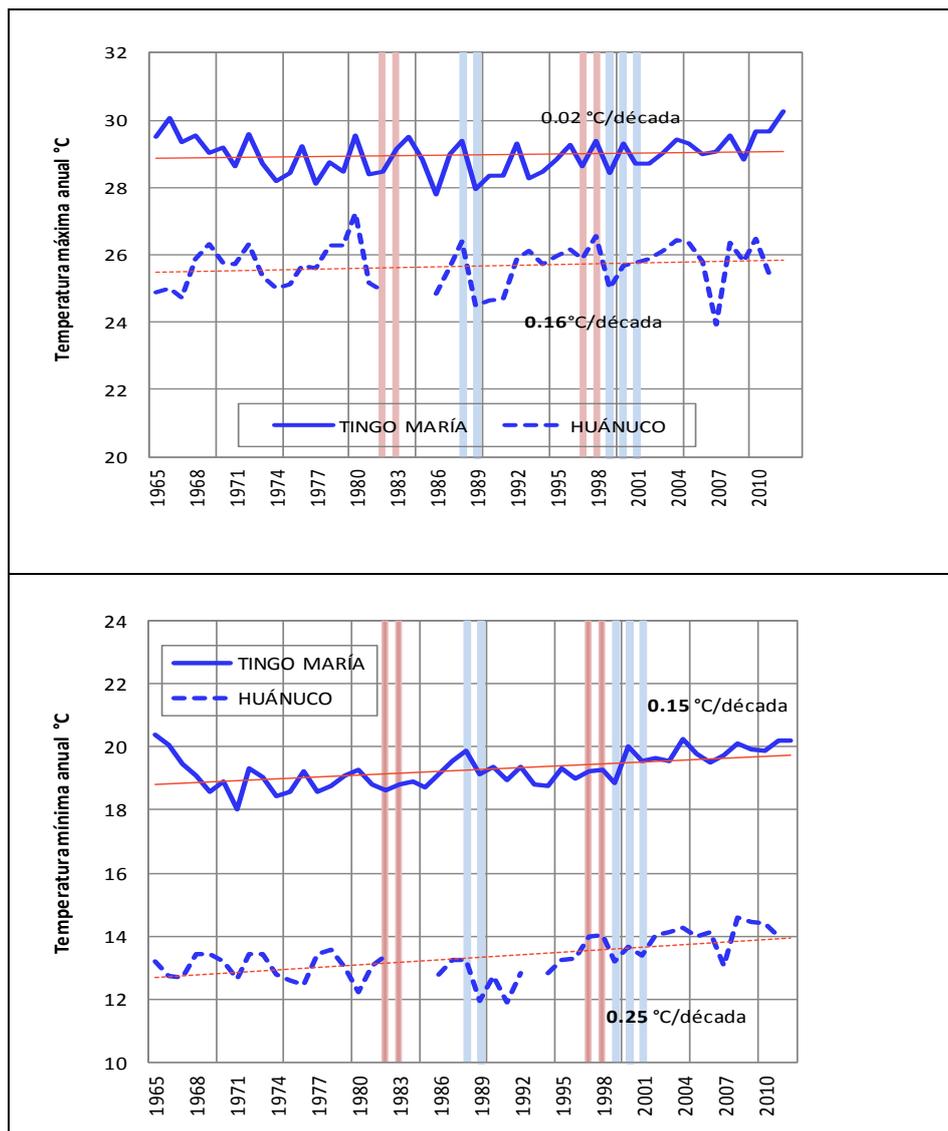


Figura 14 a: Tendencia y niveles de significancia de la temperatura máxima y mínima anual en Tingo María y Huánuco. Línea de tiempo climática 1965-2012. Las barras rojas (celestes) indican los eventos extraordinarios del EL Niño Oscilación del Sur de fase cálida (fase fría).

Los ENOS extraordinarios de fase cálida 1982-83 y 1997-98 tuvieron un impacto más directo en la temperatura máxima y mínima en la localidad de Huánuco, con incrementos que pueden apreciarse en la serie climática (aunque la data es discontinuada), a diferencia de la fase fría La Niña 1999-2001 que ocasionó la disminución de la temperatura máxima y mínima, visualizados en la figura 14b.

En la localidad de Tingo María aparentemente las condiciones frías de la Niña 1999-2001 tuvieron un mayor impacto que las condiciones cálidas de El Niño.

Según información de percepción del clima, en los últimos 30 años se ha podido identificar que en general se viene percibiendo aumentos en la temperatura diurna y disminución de la temperatura nocturna, así como una mayor frecuencia de precipitaciones intensas de corta duración, configurándose potenciales escenarios de riesgo ante inundaciones y deslizamientos.

El clima de la Región Huánuco, viene presentando cambios, que en realidad son expresiones de cambios del clima local, que son percibidos por los pobladores y que afectan su vida diaria. La principal característica de estos cambios en algunas localidades andinas, basadas en entrevistas a actores

locales recopiladas in situ, es la “atemporalidad” de las precipitaciones con cambios en su intensidad y frecuencia, veranillos prolongados, 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. Asimismo, en su zona amazónica, se perciben la disminución de la intensidad de friajes y aumento de los días cálidos.

Actualmente, además de la detección de los cambios en clima promedio, información de percepción del clima, los indicadores de eventos extremos de temperatura en este estudio son analizados para localidad de “Tingo María”, ubicada en la selva. En la tabla 4 se muestran los indicadores.

Tabla 4. Índices de temperatura, definición y unidades. Índices calculados anualmente de Enero a Diciembre

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
FDO	Días de Heladas	Número de días en un año cuando Tn (mínimo diario) < 0°C	días
Txx	Temperatura Máxima Máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
Tnn	Temperatura Mínima Mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre Tx y Tn	°C
Tx10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando Tx < 10th percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx > 90th percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn < 10th percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn > 90th percentil	días

En la estación Tingo María se manifiesta una tendencia de aumento de la intensidad de la temperatura máxima diaria (Txx), los días están tendiendo a ser más cálidos (Tx90) y los días fríos (Tx10) están disminuyendo.

Asimismo, predominan la tendencia de aumento débil de la intensidad de la temperatura mínima diaria (Tnn), las noches están tendiendo a ser más cálidas (Tn90) por consiguiente la disminución de noches frías (Tn10).

El aumento de la temperatura máxima diaria es más fuerte que la temperatura mínima, dando como resultado que el rango diurno de temperatura sufra un aumento de 0.2 ° C en los últimos 47 años, visualizado en la figura 14b y tabla 5.

Tabla 5. Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de temperatura en las regiones Cusco-Apurímac

REGION	ESTACION	AMAZONIA	Txx	Tnn	dtr	Tx10p	Tx90p	Tn10p	Tn90p
Huánuco	Tingo María	Sector este	+	+	0				

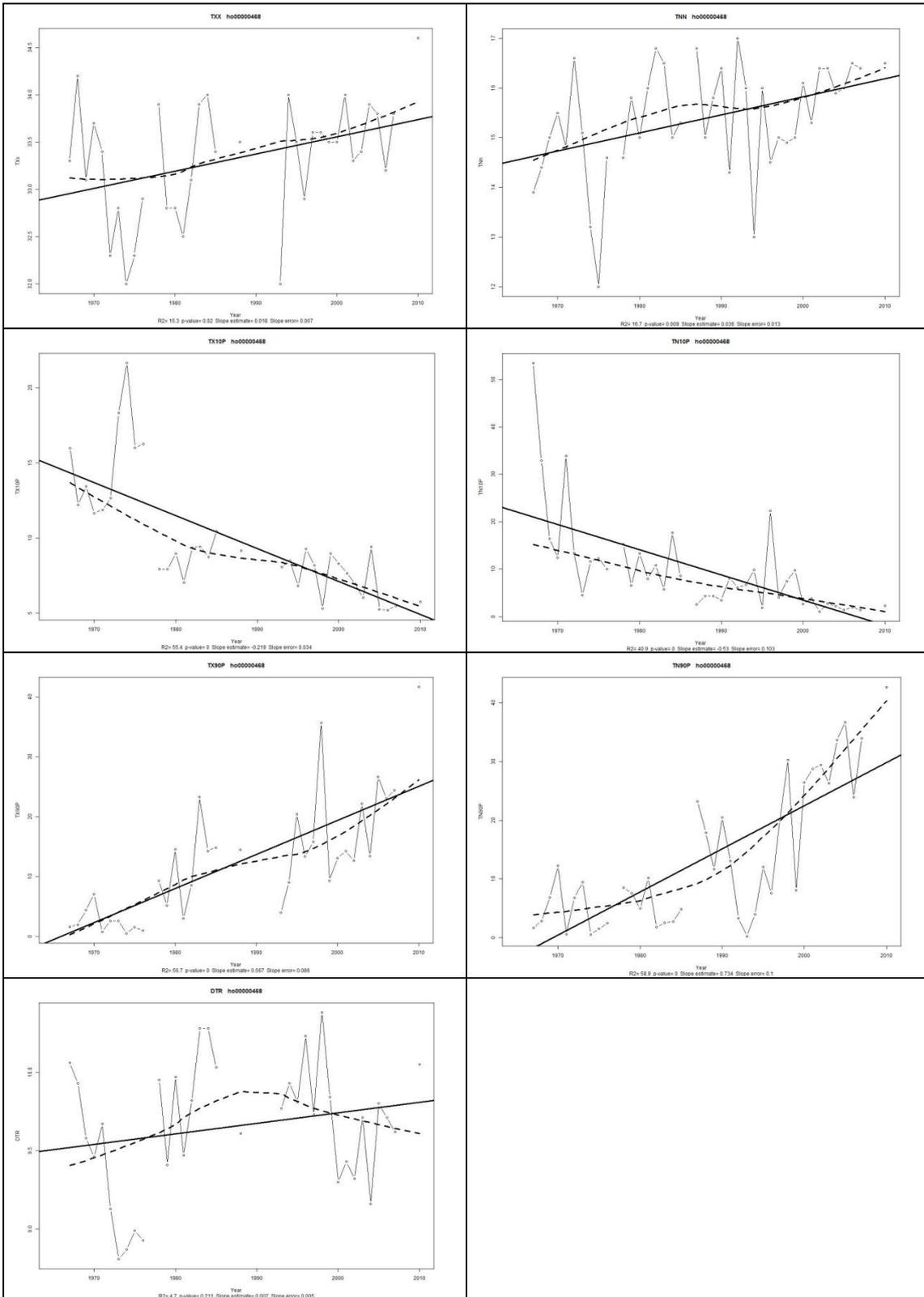


Figura 14 b: Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de temperatura en Tingo María.

CAPÍTULO III.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN LA REGIÓN HUÁNUCO Construcción de escenarios en la Región Huánuco

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) a 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 como “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 incertidumbres en la proyección del clima.

Por 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 Huánuco.

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 Huánuco.

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 6. La metodología implementada se basa en dos time slice: HISTORICAL período histórico (1971 – 2000), y escenario RCP8.5 período futuro (2016 – 2045).

Tabla 6. 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 CO₂, 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 7.

Tabla 7: Ecuaciones usadas para la construcción de escenarios de cambio climático.

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

CAPÍTULO IV.

PROYECCIONES DEL CLIMA EN LA REGIÓN HUÁNUCO

Temperatura del aire y precipitación 2030

Los cambios en la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima promedio anual y trimestral para el time-slice 2030 relativo a 1971-2000 es mostrada en las figuras. Cada mapa muestra proyecciones estimadas a partir de cuatro simulaciones de cambio de clima de cuatro modelos climáticos globales disponibles interpolados matemáticamente a ~50 km de resolución espacial, correspondiente a el escenario pesimista de emisión RCP8.5 que trata de representar una vía de emisiones y concentraciones relativamente altas de CO₂, con alto crecimiento poblacional, relativamente bajo crecimiento de PBI, con modestos cambios tecnológicos y de eficiencia energética, sin implementación de políticas de cambio climático.

Las proyecciones climáticas son diferentes de las predicciones climáticas, ya que la primera considera la evolución de las emisiones y concentración del CO₂ 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 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. En caso de no estar familiarizado con las limitaciones de este tipo de aproximación, es recomendable tener en cuenta las consideraciones previas sobre las proyecciones de cambio de clima.

Los mapas y resultados sobre proyecciones de clima que se presentan en este capítulo se derivan principalmente de proyecciones a 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 a escala internacional para continuar mejorando las proyecciones disponibles.

La comprensión del funcionamiento del sistema climático no es completa, y 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-biosfera, entre otros. Es conveniente destacar además que, 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 precipitación, debido a que esta presenta alta variabilidad en espacial, temporal y cantidad.

La técnica lineal de reducción de escala aplicada en este estudio también poseen su propia limitación, que se incrementan en la Región Huánuco debido a que presenta dos formaciones de relieve bien diferenciados una con topografía compleja en su zona de montaña y selva alta, y otra con relieve plano como es el caso de su selva baja.

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 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 precipitaciones 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 Huánuco, basado en los AOGCMs: HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, y CCSM4, regrillados matemáticamente a 0.5x0.5° 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° 17, los cambios proyectados para el periodo 2016-2045 para la precipitación a nivel espacial en la Región Huánuco son bastante conservadores, es decir estarían dentro de su variabilidad normal de $\pm 15\%$, con un sesgo hacia el incremento en todas las estaciones del año, principalmente en la región andina en JJA, pero las precipitaciones son escasas a nulas en esta época del año.

En el sector este de la región, en la selva: provincias Leoncio Prado, Pachitea, Puerto Inca; se proyectan aumentos de las precipitaciones menores al 9%, en todos los trimestres del año DEF, MAM, JJA y SON.

En el sector oeste de la región, zona andina: provincias de Marañón, Huacaybamba, Huamalies, Dos de Mayo, Huánuco, Yarowilca, Lauricocha y Ambo; el aumento de precipitaciones hasta en 9% es observable en todos los trimestres del año en DEF, MAM y SON, con aumentos significativos hasta de 20% en JJA.

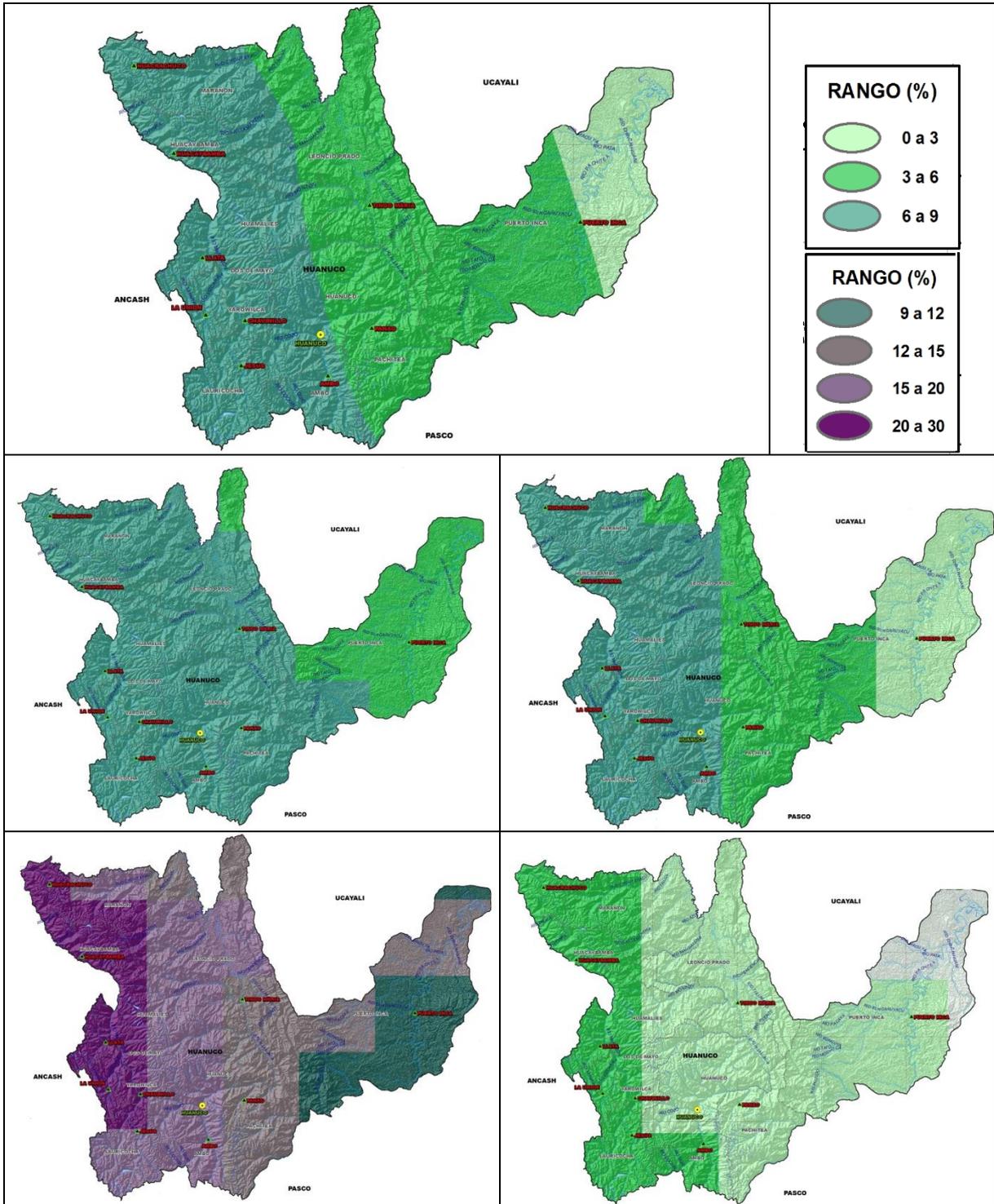


Figura 17: Distribución espacial del cambio de la precipitación (%) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 relativo a 1971-2000, anual (a), en verano (b), otoño (c), invierno (d) y primavera (e), en la Región Huánuco.

En la figura 18, se aprecia los cambios proyectados de la precipitación a nivel temporal en tres sectores: 1. Selva baja, 2. Selva Alta y 3. Zona Andina.

En todos los casos según el escenario pesimista de emisiones de gases de efecto invernadero RCP8.5, la precipitación anual tendería aumentar al 2030 hasta en 5% en Selva alta, hasta en 10 % en Selva alta y zona andina de la Región Huánuco.

Sin embargo, estos posibles aumentos caerían dentro de umbral 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.

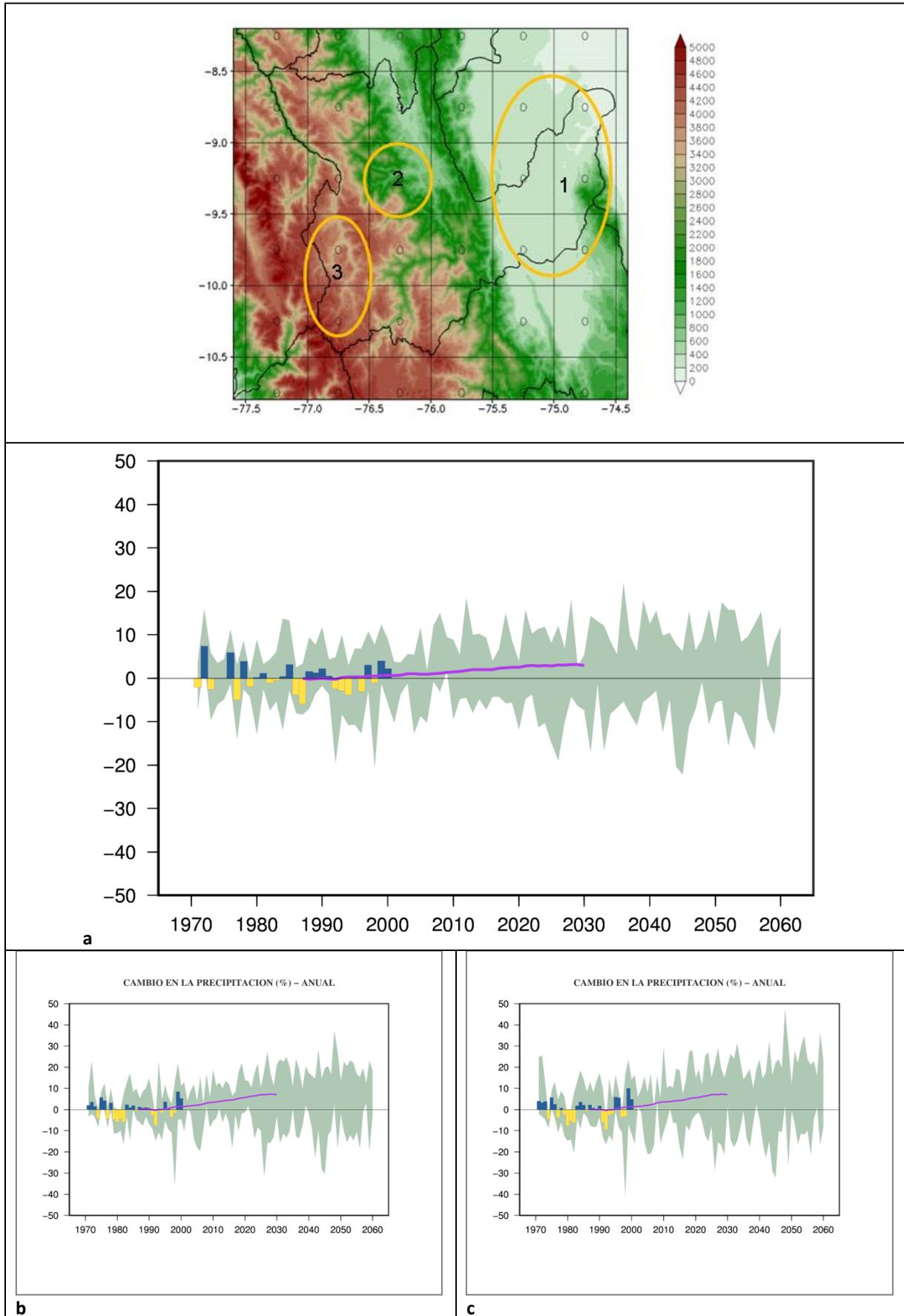


Figura 18: Distribución temporal del cambio de la precipitación promedio anual (%) en la Región Huánuco al 2030 relativo a 1971-2000 (Escenario RCP8.5). (a) Selva Alta, (b) Selva baja, (c) Zona Andina.

4.2 PROYECCIONES DE LA TEMPERATURA

La distribución espacial de la temperatura máxima sobre la Región Huánuco al 2030 mostraría variaciones en toda su extensión, con posibles aumentos que llegarían hasta 1,6 °C en la temperatura máxima anual, mostrado en la figura 19.

Asimismo, estacionalmente las variaciones de temperatura más significativas en la Región, se presentarían en JJA, trimestre correspondiente al período de escasas precipitaciones en su zona andina, y menores precipitaciones en su zona de selva, la temperatura máxima alcanzaría aumentos significativos de hasta de 1,7°C, relativo a su normal actual.

En tanto, en el trimestre DEF las temperaturas mostrarían los menores incrementos hasta de 1,3 – 1.5 °C.

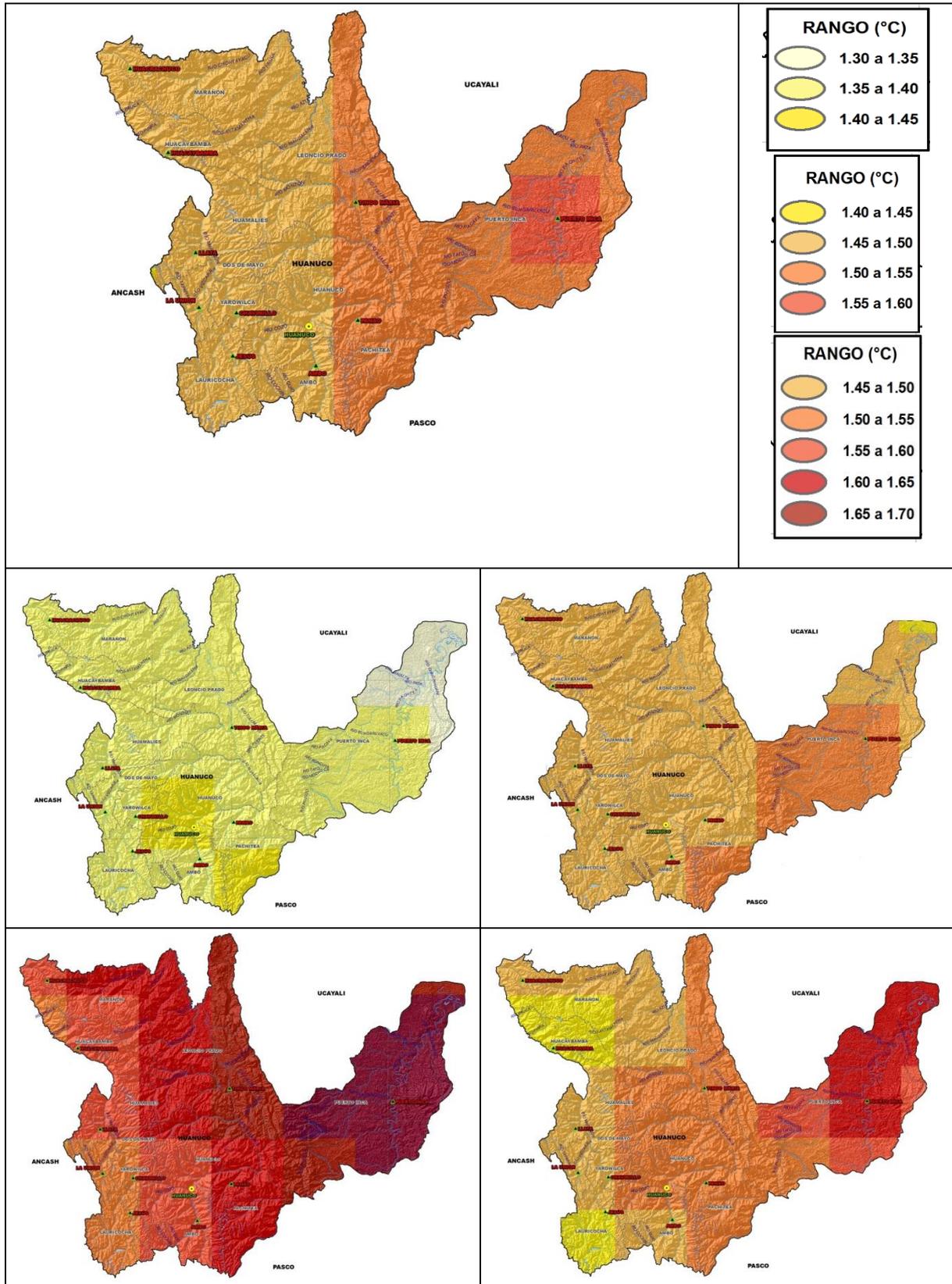


Figura 19: Distribución del cambio de la temperatura máxima del aire (°C) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 relativo a 1971-2000, anual (a), en verano (b), otoño (c), invierno (d) y primavera (e), en la Región Huánuco.

En la figura 20, se aprecia los cambio temporal proyectado de la temperatura máxima promedio anual en tres sectores: 1. Selva baja, 2. Selva Alta y 3. Zona Andina.

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– para el que hay proyecciones disponibles, así como en barras se muestran las anomalías de las observaciones. En general, en la serie climática se refleja la tendencia de aumento de la temperatura máxima hacia el 2030, hasta en 1,7° C.

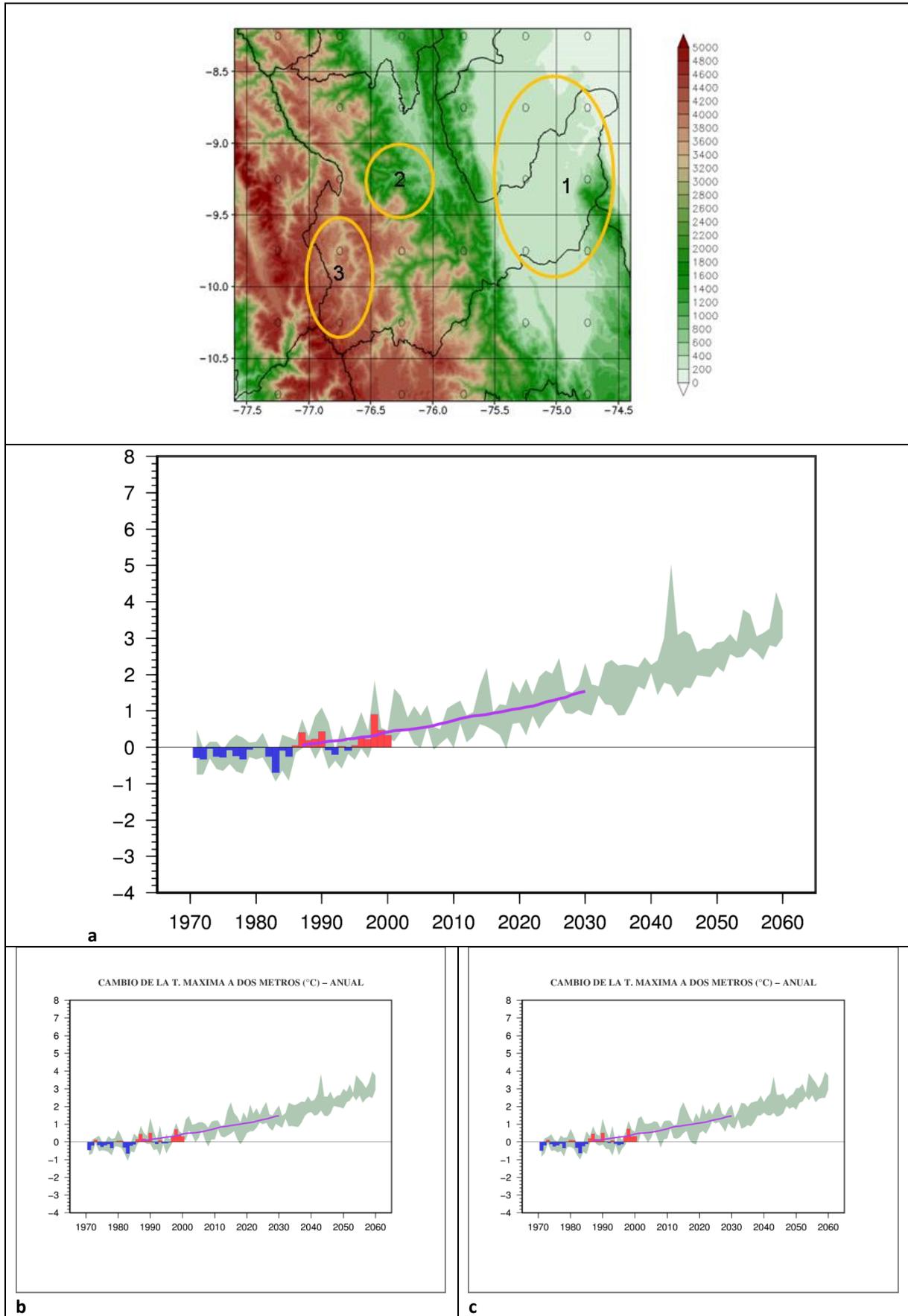


Figura 20: Distribución temporal del cambio de temperatura máxima promedio anual (°C) en la Región Huánuco al 2030 relativo a 1971-2000 (Escenario RCP8.5). (a) Selva Alta, (b) Selva baja, (c) Zona Andina.

Las proyecciones de temperatura mínima promedio anual y trimestral para el Time-slice 2030 es mostrada en la figura 21. Cada mapa muestra proyecciones conjuntas elaboradas a partir de simulaciones de cambio de clima de cuatro modelos climáticos globales disponibles que fueron interpolados para su mejora de resolución.

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

En general, las proyecciones indican un incremento de la temperatura mínima hasta en 1,8°C, en todos los periodos analizados, y sustancialmente en el trimestre junio-julio-agosto.

En el trimestre DEF, la región Huánuco experimentaría los menores cambios en la temperatura mínima del aire de 1,3°C.

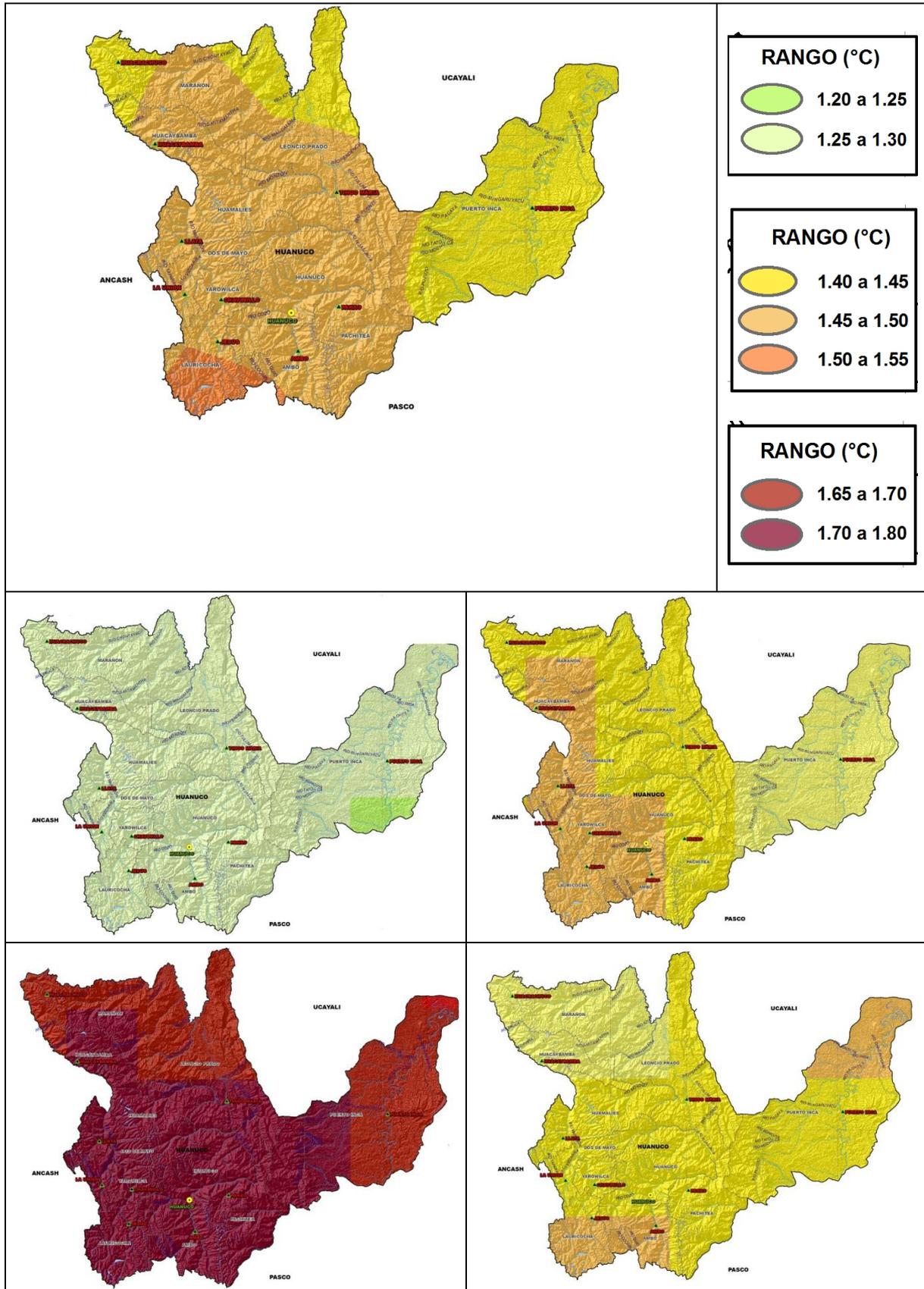


Figura 21: Distribución del cambio de la temperatura mínima del aire (°C) para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 relativo a 1971-2000, anual (a), en verano (b), otoño (c), invierno (d) y primavera (e), en la Región Huánuco.

Los resultados del análisis de los cambios de temperatura en tiempo, en tres sectores: 1. Selva baja, 2. Selva Alta y 3. Zona Andina de la Región Huánuco, en el período 1970-2030 son mostrados en la figura 22.

En general, se muestra el mismo comportamiento claro de un proceso generalizado de aumento de la temperatura en los tres sectores de la Región, que llegarían hasta 1,6°C relativo a 1971-2000.

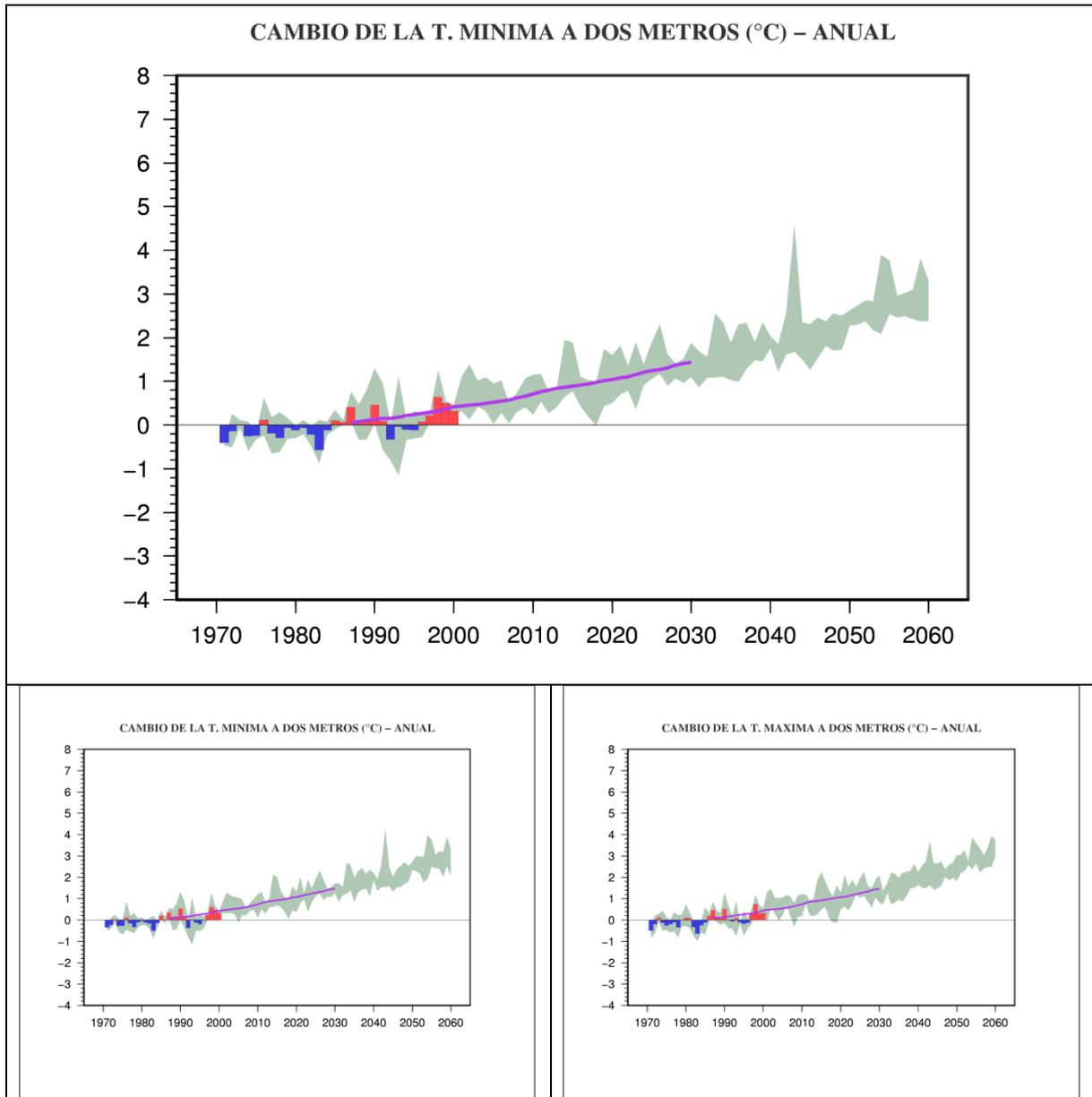


Figura 22: Distribución temporal del cambio de temperatura máxima (°C) en la Región Huánuco para el 2030 relativo a 1971-2000 (Escenario RCP8.5). (a) Selva Alta, (b) Selva baja, (c) Zona Andina.

CAPÍTULO V.

CAMBIO CLIMÁTICO

Preparándonos para un futuro incierto

Los modelos climáticos son las mejores herramientas que tienen los científicos del clima para predecir cambios futuros del clima. Ellos están basados en principios sólidos de la ciencia física y están rápidamente incrementando en sofisticación, asimismo la precisión de las proyecciones están mejorando. Sin embargo, la atmósfera es caótica, esto es, 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 no importa que tan bueno sea el modelo, siempre habrá un grado de incertidumbre en las proyecciones climáticas.

El uso de un 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 substanciales. 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 representación mucho mejor del espectro completo de estados futuros del clima, que si se usa solo uno o dos experimentos.

No solo los modelos son fuente de incertidumbre, existen fuentes de “incertidumbre asociadas” y son principalmente debido:

- a. Evolución de las emisiones de GEI y aerosoles, es decir, cada escenario de emisión tiene diferente composición atmosférica e implica diferente forzamiento radiativo;
- b. La estructura interna del modelo o grado de complejidad para simular el clima futuro, y
- c. Interacciones internas del sistema climático, debido a su dinámica no-lineal.

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 “ensemble”. El reconocimiento de la existencia de las incertidumbres en las proyecciones climáticas no elimina su utilidad. No se debe pensar que el incremento de 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 darle valor a las proyecciones climáticas, es ahí donde radica el reto de los tomadores de decisión, saber usar estas incertidumbres y aplicarlas a las medidas de adaptación en las planificaciones regionales.

En la Figura 23, 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 Huánuco. 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 +0,8 °C a +2 °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 +0,8 °C a +1,9 °C, principalmente en DEF, MAM, JJA.

En lo que respecta a precipitación, la dispersión es menor en los cuatro modelos, los resultados indican cambios muy discretos dentro de su variabilidad normal actual de $\pm 15\%$. Sin embargo, en invierno la dispersión de los modelos es ligeramente mayor, con cambios hasta de +18% proyectado por el modelo MPI-ESM-LR pero climáticamente es el período de menores precipitaciones en la Región Huánuco.

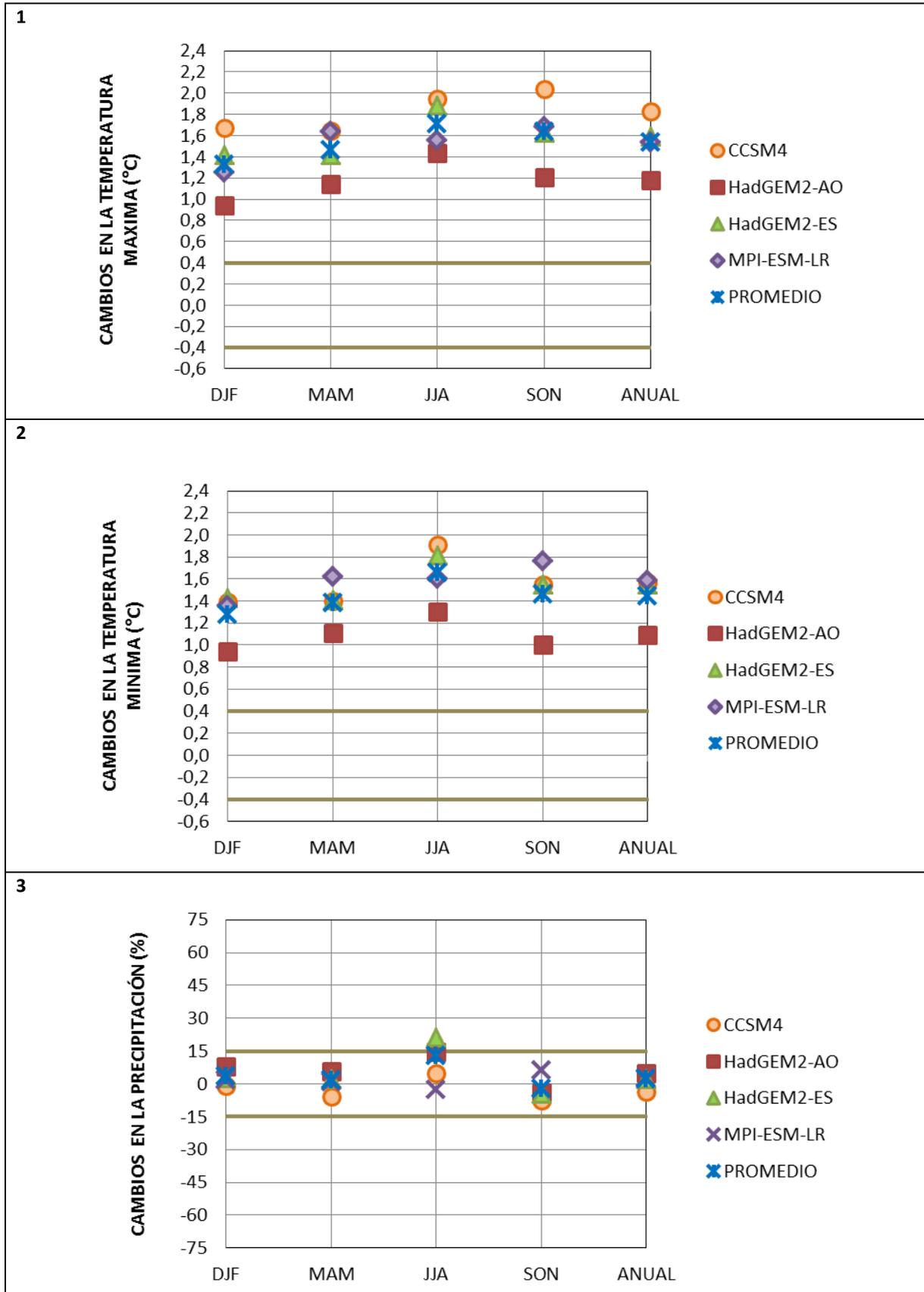


Figura 23: Cambios proyectados a escala anual y estacional de la temperatura del aire máxima (1), mínima (2) en °C, y la precipitación (3) en porcentajes en la Región Huánuco para el time-slice 2016-2045 centrado en el año 2030, relativo al período de línea de base climática 1971-2000. Los modelos son: 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).

VI. CONCLUSIONES

➤ **Caracterización climática 1971-2000**

Sobre las zonas más altas de Huánuco es típico el clima frígido semiseco con temperaturas máximas anuales de 8 a 14 °C y mínimas de -6 a 0°C.

La región selva alta y baja se caracteriza por un tipo de clima cálido húmedo a muy húmedo con temperaturas máximas de 28 - 34 °C y la mínima de 16 - 22 °C.

La temperatura máxima no presenta variación significativa a lo largo del año.

La temperatura mínima presenta un marcado comportamiento estacional en la zona Andina, con dos períodos bien diferenciados, en el trimestre JJA las temperaturas descienden por debajo de los 0 °C y en el trimestre DEF las temperaturas se incrementan pudiendo alcanzar 8 °C. La zona de selva no presenta variación significativa a lo largo del año.

Las precipitaciones son mayores en la zona de selva de la Región y pueden llegar a superar los 2500 mm anuales. En dirección oeste - zona andina-, se presentan los menores acumulados de 500 – 1000 mm anuales.

En el trimestre DEF, la región Huánuco recibe sus mayores precipitaciones, totalizando en la zona alta 500 mm, y menor a 500 mm en la zona media, en la zona de selva cerca de 1700 mm.

En el trimestre MAM, las precipitaciones disminuyen notablemente, acumulando en la zona alta cerca de 300 mm, en la zona media 200 mm y en la zona de selva hasta 1000 mm.

Entre JJA, las precipitaciones tienden a ser menores a escasas en relación a todos los trimestres del año, totalizando hasta 50 mm en la parte alta, menor a 50 mm en la parte media y hasta 500 mm en la parte baja.

En el trimestre SON se da inicio el período lluvioso, en la zona alta llegan hasta los 300 mm, en la zona media 200 mm y en la zona baja llegan a totalizar cerca de 1000 mm.

➤ **Tendencias e indicadores de extremos climáticos 1965-2012**

Se evidencia una señal clara desde 1965-2012 de incremento de la temperatura máxima y mínima anual en las localidades de Tingo María y Huánuco entre 0.15 - 0.25°C/década, es decir entre 0.75°C - 1.25°C en ~50 años.

En los trimestres DEF, JJA y SON, la temperatura máxima tiene aumento significativo en la localidad de Huánuco de 0.14 - 0.18 °C/década, y no significativo en Tingo María de 0.02 – 0.09°C /década.

La tasa de aumento de la temperatura mínima llega hasta 0.18 °C/década en Tingo María en MAM y hasta 0.33 °C/década en la localidad de Huánuco en SON.

En la localidad de Jacas Chico la temperatura máxima y mínima promedio anual presenta disminución significativa y así como también en todos los trimestres del año siendo de 0.7 – 1.4°C/década.

En Tingo María se manifiesta una tendencia de aumento de la intensidad de la temperatura máxima diaria, los días están tendiendo a ser más cálidos y los días fríos están disminuyendo.

Se evidencia el aumento de la intensidad de la temperatura mínima diaria, las noches están siendo cálidas y por consiguiente la notable disminución de noches frías.

El aumento de la temperatura máxima diaria es más fuerte que la temperatura mínima, dando como resultado que el rango diario de temperatura sufra un aumento de 0.2 ° C en los últimos 47 años.

La precipitación anual presenta incremento significativo de 116 mm/década en Jacas Chico. Las localidades de Tingo María y Huánuco, también presentan incrementos pero de carácter no significativo.

Las precipitaciones en DEF y MAM son de incremento no significativo en Tingo María, y de característica significativa en MAM y JJA en Jacas Chico.

En la localidad de Huánuco las precipitaciones presentan disminución pero no significativa en DEF, y en la localidad de Tingo María en JJA, es decir las precipitaciones tienden a hacer cada vez menores.

En los últimos 47 años la intensidad diaria de precipitación anual (SDII) en la localidad de Tingo María presenta disminución. Sin embargo, la tendencia del índice de precipitación acumulada anual (PRCPTOT) ha aumentado en una tasa promedio de 2.5 mm/día/año y se ha presentado con mayor frecuencia los episodios lluviosos, siendo estos no intensos y de corta duración, así como también alternados con mayor frecuencia de días consecutivos secos.

➤ **Cambios en el clima futuro 2030 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 Huánuco, 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 Huánuco, y no se proyecta cambios significativos en la precipitación, que a continuación se remarca:

Los cambios proyectados de precipitación estarían dentro de su variabilidad normal de + 15 %, con un sesgo hacia el incremento en todas las estaciones del año, principalmente en la región andina en JJA aunque es la época de estiaje o de escasas precipitaciones.

En el sector este de la región, en la selva: provincias Leoncio Prado, Pachitea, Puerto Inca; se proyectan aumentos de las precipitaciones hasta en 9 %, en todos los trimestres del año.

En el sector oeste de la región, zona andina: provincias de Marañón, Huacaybamba, Huamalíes, Dos de Mayo, Huánuco, Yarowilca, Lauricocha y Ambo; se proyecta el aumento de precipitaciones hasta en 9 % en todos los trimestres del año en DEF, MAM y SON y llegarían hasta 20 % en el periodo de estiaje JJA.

La temperatura máxima anual mostraría variaciones hasta 1,6 °C relativo a 1971-2000 en la región Huánuco.

Las variación más significativa de temperatura máxima promedio estacional, se presentarían en JJA, con aumentos significativos hasta de 1,7 °C, relativo a su normal actual.

En el trimestre DEF las temperaturas mostrarían los menores incrementos de 1,3 – 1.5 °C.

En general, las proyecciones indican un incremento de la temperatura mínima anual y estacional, sustancialmente en el trimestre JJA hasta de 1,8 °C.

En el trimestre DEF, la Región Huánuco experimentaría los menores cambios en la temperatura mínima del aire de 1,3 °C.

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. 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, que han sido regrilladas a 50 km y expresadas en rango de variación de las proyecciones de cambio climático para la Región Huánuco.

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 más que en las magnitudes.

VIII. REFERENCIA

- 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.
- 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.
- 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: 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

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 A 1971-2000. ESCENARIO RCP8.5.

10.5 MAPAS DE TEMPERATURA MÁXIMA - PROYECCIONES TIME-SLICE 2016-2045 CENTRADO EN EL AÑO 2030 RELATIVO A 1971-2000. ESCENARIO RCP8.5.

10.6 MAPAS DE TEMPERATURA MÍNIMA - PROYECCIONES TIME-SLICE 2016-2045 CENTRADO EN EL AÑO 2030 RELATIVO A 1971-2000. ESCENARIO RCP8.5.