

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

## Reporte ejecutivo

**Autor: SENAMHI-PERÚ**

Oria C., Cubas F., Rosas G., Acuña D., 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.

Fotos: Nevado de Chonta, Laguna, Izcuchaca, Choclococha

Diseño: SENAMHI

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

## 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 Avalos Roldán**

**Equipo Técnico del SENAMHI – Perú**

<b>Autores :</b>	Clara Oria Rojas Alan Llacza Rodríguez Gerardo Jácome Vergaray Christian Barreto Schuler
<b>Contribuciones :</b>	Félix Cubas Saucedo Delia Acuña Azarte
<b>Especialista SIG :</b>	Silvia Guerra Gamarra
<b>Computación de: alto rendimiento</b>	Otto Huiman Carrasco Alan Llacza Rodríguez Gerardo Jácome Vergaray
<b>Revisión :</b>	Lic. Luis Alfaro Lozano

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>SIGLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>7</b>
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	<b>8</b>
<b>II. CLIMA EN LA REGION HUANCAVELICA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Controladores Climáticos.....	9
2.2 Ecorregiones.....	10
2.3 Climatología.....	11
2.3.1 Precipitación.....	11
2.3.2 Temperatura máxima.....	11
2.3.3 Temperatura mínima.....	11
2.4 Tendencias e Índices de eventos extremos.....	12
2.4.1 Tendencias de la Precipitación.....	12
2.4.2 Índices de eventos extremos de la Precipitación.....	13
2.4.3 Tendencias de Temperatura del aire.....	15
2.4.4 Índices de eventos extremos de Temperatura del aire.....	16
<b>III. METODOLOGIA - GENERACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	<b>19</b>
3.1 Modelos Climáticos Globales y Escenarios de Emisión.....	19
3.2 Calculo de proyecciones climáticas.....	20
<b>IV. PROYECCIONES DEL CLIMA EN LA REGION HUANCAVELICA</b> .....	<b>22</b>
4.1 Proyecciones de la Precipitación.....	22
4.2 Proyecciones de la Temperatura del aire.....	24
<b>V. CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	<b>26</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>29</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>30</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>31</b>

## **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.

## 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 irrefutable calificado por el IPCC (2007a) como “inequívoco”, y sus impactos son ya importantes.

- 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 verán más afectados por las consecuencias del cambio climático.
- Para realizar estudios de impactos de los posibles cambios del clima en el futuro en la región Huancavelica, 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.
- El presente estudio considera una evaluación de los últimos modelos globales CMIP5 del IPCC para Perú, con el propósito de implementar técnicas combinadas de regionalización, en un futuro próximo, y generar escenarios regionales para Huancavelica. El horizonte de evaluación corresponde al time-slice 2030, bajo el contexto del nuevo escenario de emisiones RCP8.5, habiéndose considerado como periodo de referencia 1971-2000.
- Los modelos globales utilizados son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR. Los principales cambios proyectados en la Región Huancavelica, considerando el promedio de los modelos globales son los siguientes:

**+1,3 °C a +1,7 °C**

**Incremento de la temperatura del aire para el año 2030.**



**+3% a +12%**

**Sin cambios de la precipitación para el año 2030 (cambios dentro de la variabilidad).**

### Incertidumbre

Las proyecciones del clima futuro son inciertas. Es esencial reconocer y tratar de cuantificar estas incertidumbres, **no ignorarlas**. También hay una necesidad de planificar estrategias sólidas para enfrentar el cambio climático, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción.

## CAPITULO I.

### INTRODUCCIÓN

Según el IPCC (2007) la temperatura del aire global de la Tierra tiene una tendencia creciente 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, y una serie de impactos negativos hacia la naturaleza.

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 sobre la precipitación, y más bien establece una tendencia general de calentamiento del orden de 0,2 °C por década, en los últimos cuarenta años (SENAMHI, 2009).

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 (Ica, Huancavelica, Moquegua, Puno, Tacna, Huánuco, San Martín y Ancash).

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 Huancavelica.

Generar escenarios regionales implica tiempo de cálculo computacional extenso, es por ello que el presente estudio presenta las primeras aproximaciones de los últimos modelos CMIP5 del IPCC, en base a los escenarios de emisiones RCP8.5, siendo necesario complementar estos resultados con la implementación de metodologías que permitan aumentar el detalle de la información de los escenarios.

## CAPÍTULO II.

### CLIMA EN LA REGIÓN HUANCAVELICA

La región de Huancavelica está ubicada en la cadena occidental y central del país, enclavada en las altas montañas, entre las regiones Lima, Ica, Ayacucho y Junín. Limita al norte con Junín; por el este y sur este con Ayacucho y al oeste con Lima e Ica. Tiene una superficie de 22,131.47 km<sup>2</sup> y se encuentra a 11° 59' 10" de latitud sur y entre los meridianos 74° 34' 40" y 75° 48' 30" de longitud oeste. Su belleza natural y sus recursos energéticos la convierten en una región de gran potencial para su desarrollo.

Su relieve escarpado comprende territorio de ambas vertientes de la Cordillera de los Andes con algunas zonas cubiertas por la selva amazónica en su sector norte (Anexo: Mapa de relieve).

#### 2.1 CONTROLADORES CLIMÁTICOS

Son sistemas meteorológicos y/o geográficos que determinan el tiempo y clima de una determinada localidad, región o país. En el caso de la región Huancavelica se consideran los siguientes:

##### A. ALTA DE BOLIVIA

Sistema atmosférico de circulación antihoraria, ubicado principalmente sobre Bolivia a 12 kilómetros sobre el nivel del mar; formado como consecuencia del calentamiento de la sierra peruana, boliviana y chilena (calor sensible) y de las inmensas cantidades de calor liberado en la atmósfera media y alta cuando el vapor de agua cambia de estado, es decir de vapor a líquido y de líquido a sólido (hielo).

##### B. FRENTES FRIOS

Cuando estas bandas nubosas de miles de kilómetros de longitud, que se extienden desde el Océano Atlántico sur, son intensas y llegan a la sierra boliviana, también promueven el ingreso de humedad desde la amazonia y el consiguiente desarrollo de nubes convectivas aisladas en la sierra.

##### C. ANTICICLÓN DEL ATLÁNTICO SUR

Es un sistema de circulación antihorario próximo a la superficie terrestre, cuyo centro está posesionado sobre el Océano Atlántico sur, durante el periodo de lluvias el centro se ubica próximo al continente africano, por lo cual la humedad próxima al este de la cordillera de los andes es transportada verticalmente y forma nubes productoras de lluvias en el Altiplano y sierra central y sur; este sistema a través de los vientos alisios de sureste transporta grandes cantidades de humedad hacia la cuenca amazónica; humedad que también llega a la sierra de Huancavelica.

##### D. ANTICICLÓN DE ATLÁNTICO NORTE

Igual que su contraparte del Atlántico sur, fomenta el ingreso de humedad en niveles bajos de la atmósfera hacia la selva venezolana, colombiana y también peruana y de algún modo llega hacia la sierra de Huancavelica; el transporte de humedad es llevado a cabo por los vientos alisios del noreste.

##### E. ANTICICLÓN DEL OCEANO PACIFICO SUR

Sistema meteorológico responsable del tiempo y clima de la costa peruana y gran parte de la sierra, en épocas de lluvias el centro del anticiclón migra hacia el suroeste, por lo cual la subsidencia disminuye, igual que la cobertura de nubes estratos; el anticiclón en la estación de otoño e invierno se intensifica, el centro anticiclónico se aproxima al continente y se ubica aproximadamente en 30°S y 90°W, posición que le permite transportar por debajo de la capa de inversión más aire frío y húmedo hacia la costa; ocasionalmente llegan a la costa perturbaciones frontales superficiales, las cuales se manifiestan con nubes estratos extensas.

## 2.2 ECORREGIONES

Una ecorregión es un área geográfica que se caracteriza por contar con similares condiciones climáticas, de suelo, hidrológicas, florísticas y faunísticas, en estrecha interdependencia, perfectamente delimitables y distinguible de otra. En la región de Ica se distinguen principalmente 3 ecorregiones (Anexo Mapa Ecorregiones), las cuales son:

**ANDES CENTRALES.**- Se extiende a lo largo del flanco occidental andino, entre los 1000 y los 3800 metros de altitud. En general el clima es templado - cálido en las partes bajas y el templado frío en las partes altas. Entre los meses de mayo y septiembre, cuando la región costera se encuentra cubierta por una gruesa capa de nubes que dan lugar a las garúas, el cielo de la Andes centrales luce despejado día y noche debido a la relativa sequedad del aire. En el verano ocurre lo contrario, cuando en la costa brilla el sol, las nubes se aglomeran originando fuertes lluvias.

Esta es una tierra de grandes montañas y precipicios; de fértiles valles y ríos torrentosos que han modelado el paisaje durante millones de años formando profundos cañones.

**LA PUNA.**- Se extiende por encima de los 3800 msnm. El clima es de tipo frígido hasta los 5000 y de tipo nival o gélido por encima de esa altitud. Por lo general las temperaturas son bajas, y el contraste entre las temperaturas diurnas y nocturnas es muy marcado, frío intenso en las noches y calor durante el día. Existen dos estaciones muy marcadas en la puna; la época de lluvias va de noviembre a abril, con una mayor concentración de éstas entre enero y marzo. En las zonas de mayor altura por encima de los 4200 metros, las precipitaciones se dan de nieve y granizo. Durante la época seca, de mayo a octubre, llueve, pero de manera esporádica. Los vientos que soplan casi de manera continua, son un factor ecológico muy importante en la región, ya que contribuyen a reducir la temperatura y a secar el ambiente.

**YUNGA.**- La yunga se extiende a lo largo del flanco oriental de la Cordillera de los Andes, justo sobre la llanura amazónica. Su clima es cálido y muy húmedo, haciéndose frío a medida que se acerca a las alturas andinas. Aquí llueve más que en ningún otro lugar del país (hasta 5000 mm anuales), lo que permite que se formen numerosos torrentes y cascadas de agua cristalina. Su relieve es montañoso y complejo, con valles angostos y profundas quebradas, siempre cubiertos por una selva impenetrable. En sus partes más altas, generalmente envueltas en niebla y lloviznas, se ubican los bosques de nubes, mientras en las zonas más bajas se encuentran las colinas que forman la llamada «ceja de montaña».

## 2.3 CLIMATOLOGÍA

### 2.3.1 Precipitación

El régimen pluviométrico en las ecorregiones Andes Centrales y Puna se caracterizan por presentar los meses más lluviosos entre diciembre a marzo (Mapa N° 01) con precipitaciones promedio entre 300 a 700 mm y los menos lluviosos entre abril y agosto (Mapas N° 02,03) un detalle importante es la caída de las precipitaciones de marzo a abril, también se tiene que en la Puna (sobre los 3800 msnm) se presentan ocasionalmente precipitaciones tipo nieve en la estación de invierno. El inicio de lluvias se da en el trimestre de setiembre a noviembre, en forma paulatina desde la Puna hacia la Andes centrales (Mapa N° 04).

Las precipitaciones en la ecorregión Yunga, se encuentra por encima de los 2000 mm/año, pudiendo superar los 5000 mm en algunas zonas, en las partes medias (1500 a 2500 msnm) son frecuentes las neblinas entre las noches y las mañanas.

### 2.3.2. Temperatura Máxima

Las características térmicas en la región de Huancavelica son de un clima templado, semifrío seco, principalmente en las provincias de Huaytará, Castrovirreyna, Pampas, Acobamba y Churcampa durante las diferentes estaciones del año, con temperaturas que oscilan entre 12°C a 18°C, siendo más frías a mayor altura entre 8°C a 12°C. Y en la zona cálida, al norte de la región las temperaturas máximas en general son más altas de las que ocurren en las otras regiones, por presentar características de la ecorregión Yunga, observándose valores entre 18°C a 22°C durante casi todo el año (Mapas N° 06 al 09).

La distribución anual en general en la ecorregión Andes centrales entre 18°C a 20°C, hacia la Puna con un descenso en general alrededor de los 18°C y aumentando hacia la ecorregión de Yunga con temperaturas promedio anuales entre 20°C a 24°C (Mapa N° 10).

### 2.3.3. Temperatura Mínima

Las temperaturas mínimas promedio mensuales en la ciudad de Huancavelica registran valores de 6°C en verano y de -4°C en invierno.

La configuración espacial de esta temperatura, al igual que la temperatura máxima depende principalmente de la altitud. En relación a la distribución temporal de la temperatura mínima sufre cambios importantes, así se tiene que durante la estación de verano (dic-ene-feb) en la ecorregión de Andes centrales oscila entre 6°C a 10°C y en la parte más alta en la ecorregión Puna los valores descienden entre 2°C a 6°C y hacia la ecorregión Yunga sufre un aumento entre 8°C a 12°C (Mapa N° 11).

En la época de invierno (jun-jul-ago) en la ecorregión de Andes centrales la temperatura mínima oscila entre 2°C a 6°C y en la Puna entre -4°C a 0°C y en la ecorregión Yunga entre 6°C a 12°C (Mapa N° 13).

A nivel anual los valores que presenta la temperatura mínima en la ecorregión de Andes centrales es de 6°C a 10°C, en la Puna varía entre -2°C a 6°C y en Yunga entre 6°C a 10°C (Mapa N° 15).

## 2.4 TENDENCIAS E ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS

Para determinar las tendencias anuales y estacionales tanto de la precipitación como de las temperaturas máximas y mínimas en la región y sus niveles de significancia de forma porcentual durante la segunda mitad del siglo XX, se ha escogido la estación con serie más larga y completa, y de alguna manera representativa de la región, principalmente de la ecorregión Puna. El periodo analizado es más extenso que el utilizado para los mapas climáticos, teniendo en cuenta la necesidad que existe de observar un fenómeno como las tendencias en periodos más prolongados (1965 – 2012). Estas tendencias se calculan mediante el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975) y metodología desarrollada por Sen (1968), para obtener la pendiente o la magnitud de la inclinación (tasa de cambio de la variable por unidad de tiempo).

Para el análisis de extremos de datos observados diarios de temperaturas y precipitación en la región Huancavelica, se ha hecho uso del software RClindex (recomendado por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para el Climate Change Detection, Monitoring and Indices – ETCCDMI), el cual se basa en el diagnóstico de eventos extremos propuesto por Frich et al (2002), y es usado en estudios a nivel mundial, siendo además adoptado como salida estándar de datos para el 4to Reporte de Evaluación del IPCC. En el presente estudio las tendencias de los índices extremos fueron calculadas para el periodo 1965-2012, considerando a lo más el 15% de datos faltantes. La significancia estadística de las tendencias fue evaluada al 99% de nivel de confianza.

### 2.4.1 Tendencias de la precipitación

La determinación de la tendencia de la precipitación no es fácil en ningún ámbito geográfico, debido, entre otras cosas a la compleja distribución espacial de las lluvias, a las diferencias en cuanto a su reparto estacional y a su notable variabilidad interanual. Durante el siglo XX, en Sudamérica, se presume que desde 1970 las precipitaciones han ido disminuyendo en el centro-sur de Perú, norte de Bolivia, centro-sur de Chile y centro-sur de Argentina (Banco Mundial, 2009; Magrín, 2007; Vuille et al., 2003). Sin embargo, aún existe poca coherencia espacial entre las tendencias de la precipitación y no existe un patrón claro de incremento o decrecimiento. En el estudio de la Segunda Comunicación Nacional dan cuenta de incrementos en la costa y sierra norte, disminuciones en la Amazonía y sierra central entre 1965-2006, y son los eventos ENOS más intensos los responsables de esta tendencia (SENAMHI, 2009).

A manera de ejemplo, se ha evaluado la estación Lircay (Tabla N° 01), generándose las siguientes tendencias:

**Tabla N° 01:** Tendencia anual y estacional de la precipitación (mm) y significancia al 99% en la estación Lircay.

Estaciones	Tendencia Anual (mm/década)	Tendencia Verano (mm/década)	Tendencia Otoño (mm/década)	Tendencia Invierno (mm/década)	Tendencia Primavera (mm/década)
Lircay	- 1.6	- 0.5	- 0.3	+ 0.1	-1.7

Existe una tendencia en general de disminución (negativas) de la precipitación en la ecorregión Puna de la región Huancavelica, representada por la estación Lircay (3513 msnm),

A nivel estacional, la tendencia de la precipitación presenta un comportamiento similar al del periodo anual con valores negativos durante el verano y otoño de hasta -0.5 mm/década. En el invierno, época de mínimas precipitaciones, presentan una ligera tasa de incremento (0.1 mm/década), y finalmente en primavera, época de inicio del periodo lluvioso la tendencia es negativa de -1.7 mm/década.

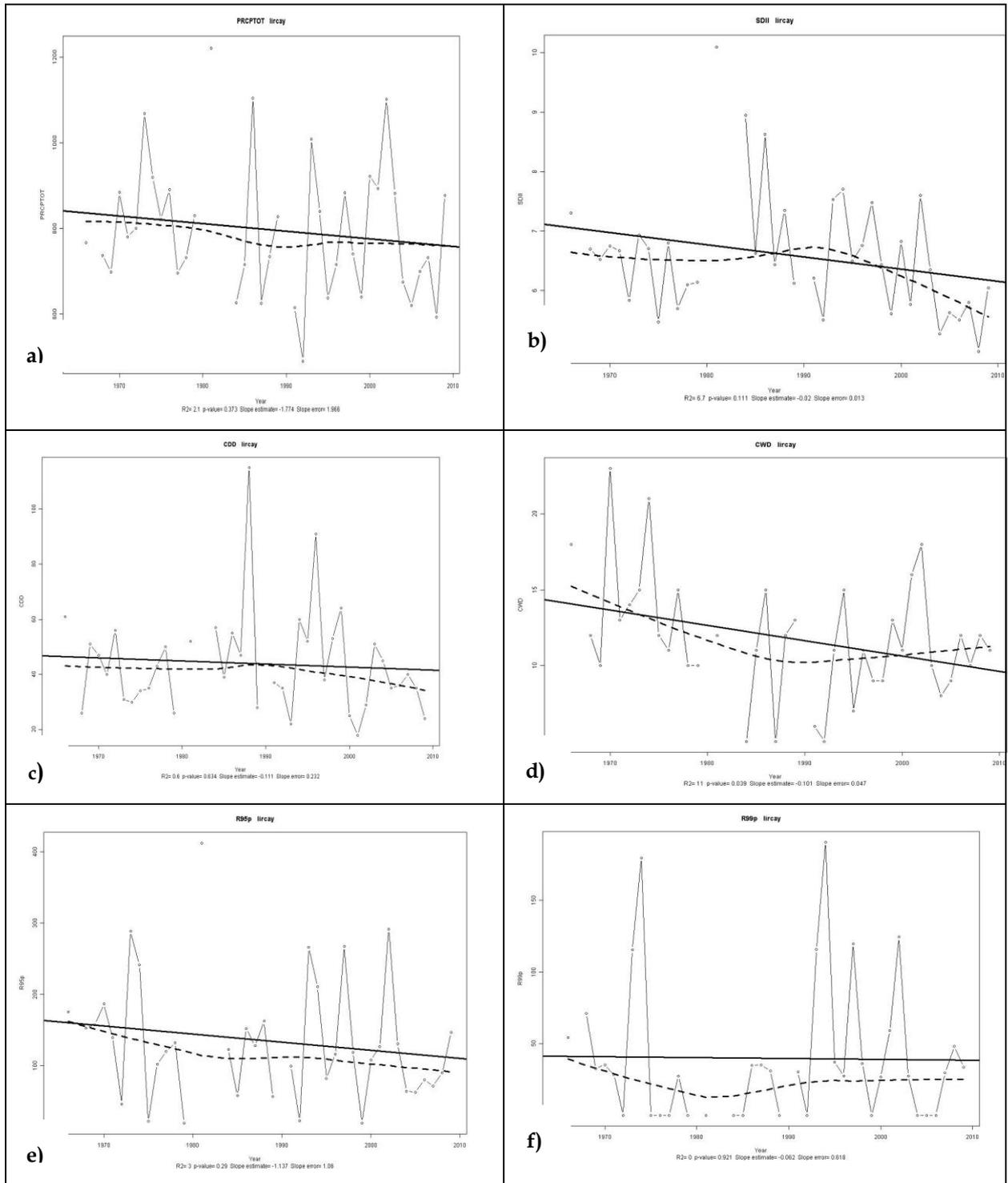
Es importante recalcar que conociendo la alta variabilidad de la precipitación se hace necesario realizar un análisis similar en otros puntos de observación en la región a fin de tener una evaluación más detallada.

#### 2.4.2 Índices de eventos extremos de la precipitación

Seis índices de precipitación fueron calculados y son enumerados en la Tabla N° 02 en la estación Lircay (3513 msnm). Muchos de estos índices relacionan la precipitación extrema, aunque dos son más indicativos de cambios en la distribución total de la precipitación: Precipitación Total Anual en los días húmedos (PRCPTOT) y el Índice de intensidad diaria de precipitación en días húmedos (SDII). Un día húmedo se refiere a días con al menos 1 mm de precipitación.

**Tabla N° 02:** Índices de precipitación (definición y unidades). Todos los índices son 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 <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 $\geq$ 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



**Figura 1.** Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación de Lircay, para el período de 1965-2012. (a) Días húmedos; (b) Intensidad de lluvias; (c) Días secos consecutivos; (d) Días húmedos consecutivos; (e) Días muy húmedos; (f) Días extremadamente húmedos.

Los resultados para una estación en la región Huancavelica, se muestran en la Tabla N° 03.

**Tabla N° 03:** Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de precipitación en una estación de la región Huancavelica.

Estaciones	SDII	CDD	CWD	R95P	R99P	PRCPTOT
Lircay	-	+	-	-	+	-

**Leyenda:** Tendencia positiva sin significancia (+), Tendencia positiva con significancia (+), Tendencia negativa sin significancia (-), Tendencia negativa con significancia (-)

En los últimos 48 años, evaluando este punto de observación que caracteriza la región desde los 3800 msnm, se podría decir que en esta zona de la región la tendencia media de las lluvias (índice de precipitación acumulada en un año PRCPTOT) ha decrecido a una tasa promedio de -1.7 mm/día/año, representando un acumulado de disminución de 80 mm en esta zona.

En relación a la intensidad de las lluvias (distribución de la tendencia del índice de intensidad diaria de precipitación anual SDII), en general, sigue el mismo patrón que el índice anterior, siendo de tendencia negativa en esta zona de la región, reflejando una disminución en la intensidad de precipitación de casi 1 mm/año.

Las tendencias de los periodos de deficiencia (máximo número de días consecutivos secos CDD) y periodos lluviosos (máximo número de días consecutivos con precipitación CDW) pueden ser interpretados como indicadores de sequías y excesos, respectivamente (SENAMHI, SCNCC 2009), así se tiene que para esta estación el índice CDD está aumentando; mientras que el índice CWD viene disminuyendo, lo que nos podría dar una idea que se tienen periodos mayores sin precipitación, aunque se necesitaría la evaluación de más puntos de observación para confirmar esta señal de cambio, dada la alta variabilidad de esta variable.

Las tendencias del número de días muy lluviosos (R95p) es negativa, pero el índice del número de días extremadamente lluviosos (R99p) es positivo, lo cual determina que en las últimas cuatro décadas los eventos extremos en precipitación han venido aumentando, lo cual unido al índice de CDD positivo se torna peligroso, ya que se vienen presentando lluvias intensas de corta duración seguidos por períodos largos sin precipitación.

### 2.4.3 TENDENCIAS DE TEMPERATURA DEL AIRE

En la Tabla N° 04 se aprecia que la tendencia anual de la temperatura máxima en el punto de observación, estación Lircay (3513 msnm), es descendente (enfriamiento) y presentando significancia estadística con -0.2°C/década de enfriamiento. Por el contrario la temperatura mínima viene ascendiendo (calentamiento) a una tasa de 0.1°C/década.

**Tabla N° 04:** Tendencia anual de las Temperaturas Máxima y Mínima (°C) y significancias al 99% (en negrita) en la estac. Lircay (1965-2012).

Estación	Altitud	TMÁX (°C/década)	TMÍN (°C/década)
Lircay	398	<b>-0.2</b>	0.1

Las tendencias estacionales máximas se corresponden con la tendencia anual; es decir, son predominantemente de enfriamiento (negativas) en todas las estaciones del año, y la temperatura mínima con tendencia de calentamiento (positivas). En la región de Huancavelica (estación Lircay) la temperatura máxima presenta una tasa de enfriamiento de hasta  $-0.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$  en verano y la temperatura mínima una tasa de calentamiento igualmente hasta de  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$  también en verano. (Tabla N° 05).

**Tabla N° 05:** Tendencia estacional de las temperaturas máxima y mínima del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) y significancias al 99% (en negrita) en la estac. Lircay (1965-2012) (ST: sin tendencia)

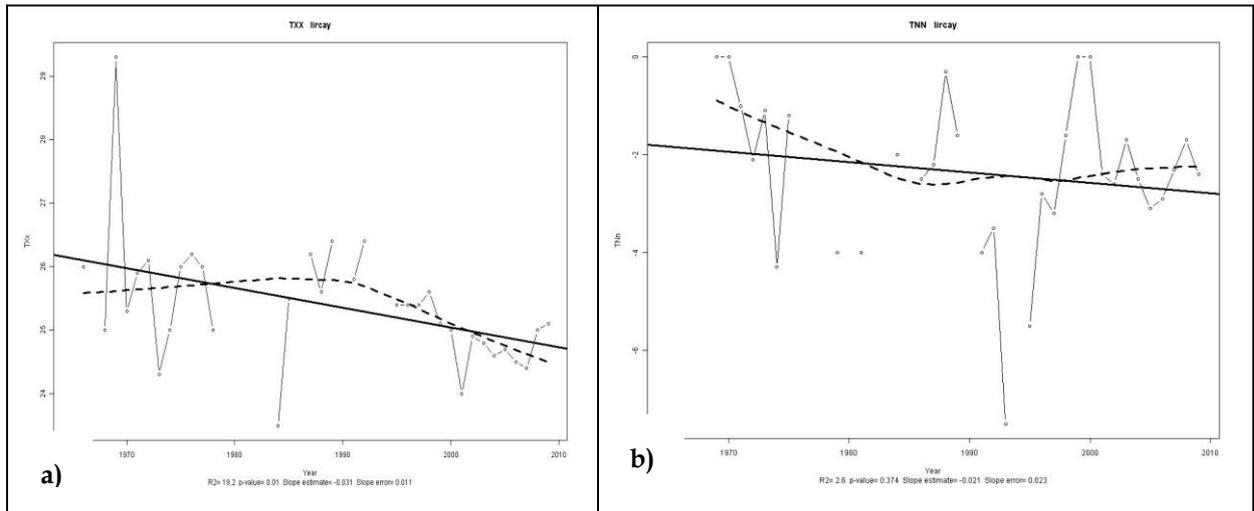
Estación	Unidades	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
		Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín
Lircay	$^{\circ}\text{C}/\text{década}$	<b>-0.2</b>	0.2	-0.1	ST	-0.1	ST	-0.2	ST

#### 2.4.4 Índices de eventos extremos de temperatura del aire

Las tendencias de siete índices de temperaturas extremas, seleccionados para una estación, se definen en la Tabla N° 06. Estos índices se basan en el análisis de la temperatura diaria tanto máxima como mínima, así como también de la relación entre ambas. Los índices fueron calculados en una escala mensual y anual, a partir de datos diarios, y describen la tendencia de las temperaturas extremas cálidas y frías. Los índices de temperaturas basados en percentiles son calculados como porcentajes de días (en un mes o año) por encima o por debajo de 90th o 10th percentil.

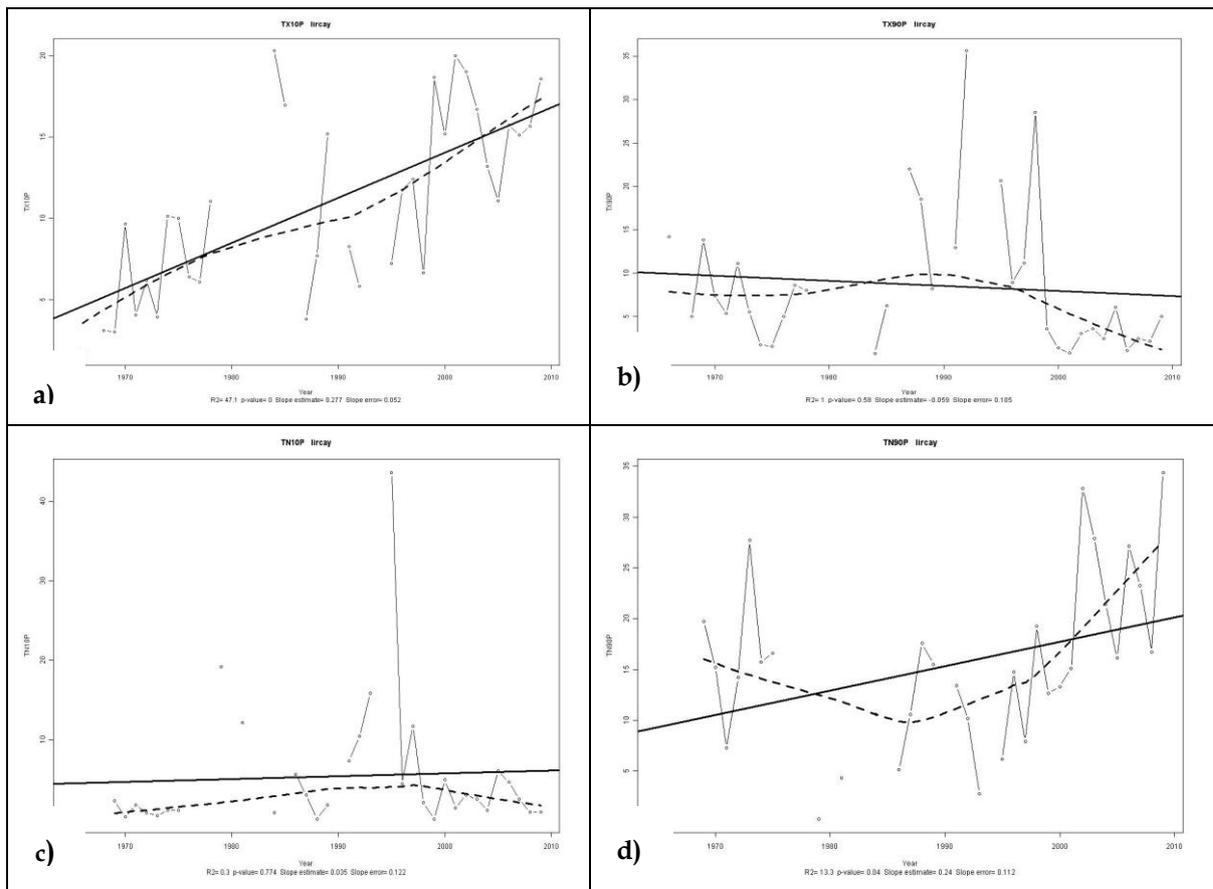
**Tabla N° 06:** Índices de eventos extremos de temperatura del aire con su definición y unidades. Todos los índices son calculados anualmente de enero a diciembre.

Indicador (en inglés)	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
Txx	Temperatura Máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}\text{C}$
Tnn	Temperatura Mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}\text{C}$
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre Tx y Tn	$^{\circ}\text{C}$
Tx10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando Tx < 10 percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx > 90 percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn < 10 percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn > 90 percentil	días



**Figura 2.** Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación de Lircay para el período 1965-2012. (a) Temperatura máxima; (b) Temperatura mínima.

El índice de temperatura máxima (Txx) que es el valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria, presenta una marcada tendencia positiva en la estación Sama Grande, es decir los días están tendiendo a ser ligeramente más cálidos, mientras que en el caso del índices de temperatura mínima (Tnn) no es clara la tendencia observada.



**Figura 3.** Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación de Lircay, para el período de 1965-2012. (a) Días fríos; (b) Días calientes; (c) Noches frías; (d) Noches calientes.

Los resultados para 1 estación en la región Huancavelica, se muestran en la Tabla N° 07.

**Tabla N° 07:** Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de temperatura del aire en una estación de la región Huancavelica.

Estaciones	fd0	Txx	Tnn	DTR	Tx10p	Tx90p	Tn10p	Tn90p
Lircay	+	-	+	-	+	+	+	+

Los índices de días y noches calientes son positivos (basados en percentiles por encima de 90th), así como también son positivas los días y noches frías (basados en percentiles por debajo de 10th), lo que nos indica que durante las últimas cuatro décadas durante el día y la noche las temperaturas vienen aumentando en esta localidad.

El índice DTR (rango diurno de temperatura) que representa la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima es negativo, este decrecimiento del rango diurno se estaría debiendo que en los últimos 48 años es la temperatura nocturna la que se viene incrementando en mayor proporción que la temperatura diurna, en esta localidad, coherente con las tendencias de promedios mensuales observadas de las temperaturas máximas (negativas) y temperaturas mínimas (positivas).

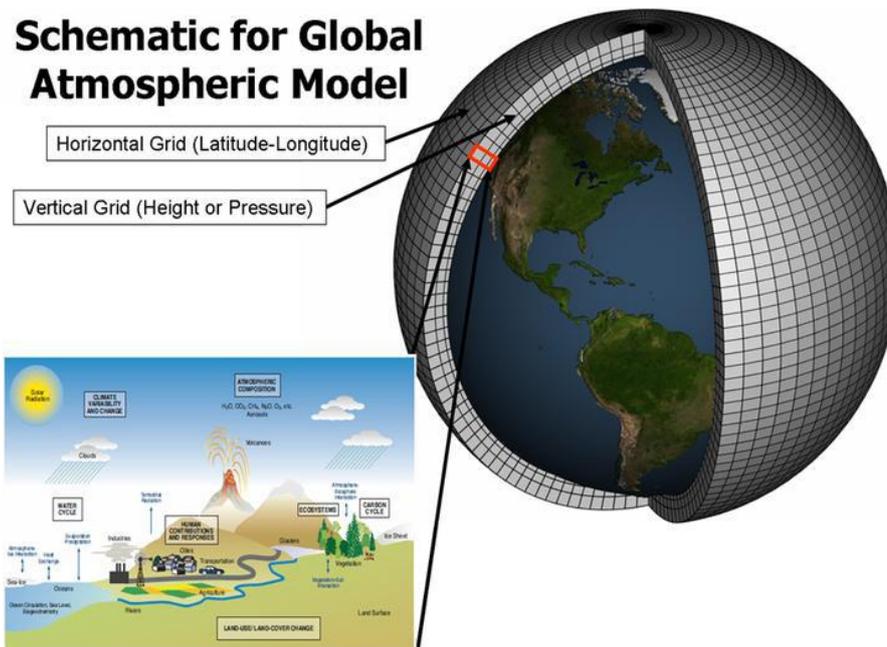
## CAPÍTULO III.

### METODOLOGÍA - GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

#### 3.1. MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES Y ESCENARIOS DE EMISIÓN

Los modelos climáticos globales son sistemas de ecuaciones diferenciales basados en propiedades físicas, químicas y biológicas, que representan numéricamente al Sistema Climático y las diversas interacciones que existen entre sus componentes (atmósfera, océano, hielo marino y biosfera). Estos modelos 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, etc.

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.



**Figur4.** Esquema de un modelo climático global. Fuente NOAA.

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 de energía, llevando a grandes demandas energéticas y el incremento de gases de efecto invernadero (Riahi et al, 2011).

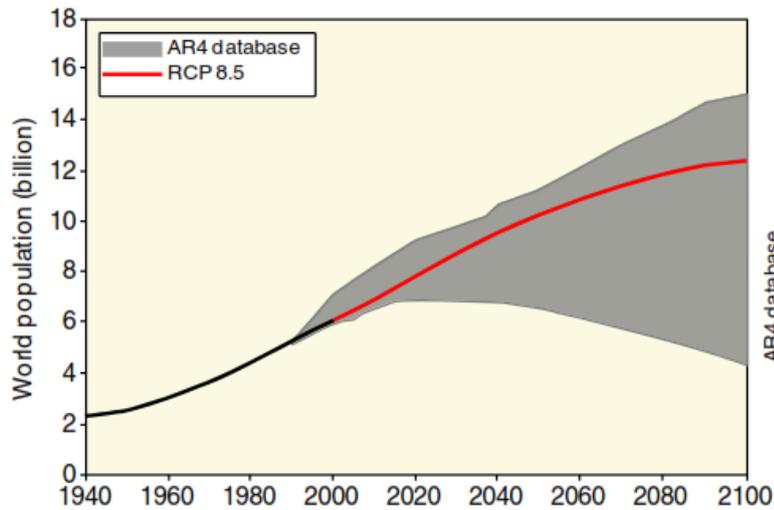


Figura 5. Escenario de emisión RCP8.5. Fuente IPCC.

Para el presente estudio se utilizaron 4 modelos climáticos globales del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, Taylor et al, 2012), en dos experimentos: HISTORICAL, para el periodo histórico (1971 – 2000) y escenario RCP 8.5, para el periodo futuro (2016 – 2045), ver Tabla 08.

Tabla N° 08: Modelos climáticos globales del proyecto CMIP5

MODELOS	INSTITUCIÓN	RESOLUCIÓN ATMOSFÉRICA (°lon x °lat)
CCSM4	National center for Atmospheric Research (NCAR-USA)	1.25 x 0.942408
HadGem2-AO	National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration (COREA)	1.875 x 1.25
HadGem2-ES	Met Office Hadley Centre (REINO UNIDO)	1.875 x 1.25
MPI-ESM-LR	Max Plank Institute for Meteorology (ALEMANIA)	1.875 x 1.8496 /N48

### 3.2. CÁLCULO DE PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Para realizar los mapas de cambios de la precipitación y temperaturas al 2030, se utilizó el promedio de los cuatro (4) modelos mencionados anteriormente. Sin embargo, debido a que inicialmente los modelos poseen diferente resolución espacial, se construyeron datos a una misma resolución de 0.5x0.5°, mediante interpolación bilinear.

Para el cálculo de la serie de tiempo de cambios estacionales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, se realizó primero una identificación de

subregiones, debido a que las regiones de estudio presentan zonas con diferentes condiciones orográficas.

En la Tabla N° 09 se presentan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de cambios estacionales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación al 2030.

**Tabla N° 09:** Cálculo de los cambios de precipitación y temperaturas extremas

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

## CAPITULO IV.

### PROYECCIONES DEL CLIMA EN LA REGIÓN DE HUANCVELICA

#### Temperatura del aire y Precipitación al año 2030

En esta sección se presentan los resultados de los cambios estacionales y anuales de la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas del aire en la región Ica, proyectados para el time-slice 2016-2045 con promedios centrados en el año 2030, con referencia al periodo 1971-2000. Los escenarios climáticos se basan en cuatro (4) modelos climáticos de escala global (50 km de resolución horizontal) para el escenario de emisión RCP8.5.

#### 4.1 PROYECCIONES DE LA PRECIPITACIÓN

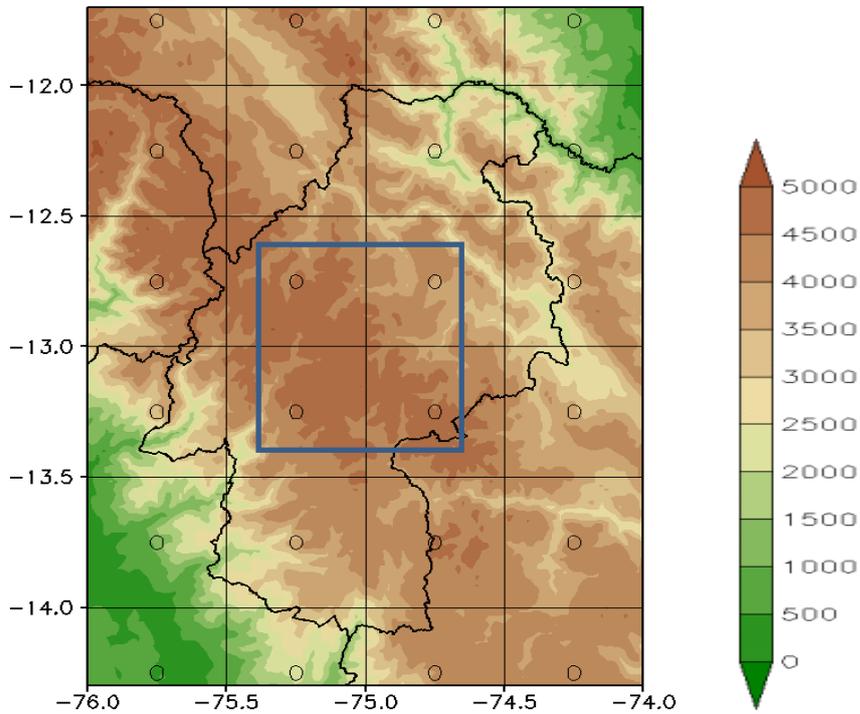
##### CAMBIO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN AL 2030

En general, la precipitación es una variable no muy bien simulada como la temperatura debido a que involucra procesos locales muy complejos, en consecuencia, las proyecciones de la precipitación son menos robustas que las de la temperatura del aire (Christensen et al., 2011, citado en SENAMHI 2011).

La discusión se restringe al cambio relativo promedio de la precipitación estacional y anual para el año 2030, expresado en términos porcentuales (%). Se ha considerado que los cambios dentro del intervalo +/-15% están dentro de la variabilidad multianual de la precipitación en esta región. La tonalidad verde de la escala indica incrementos, mientras que la escala en amarillo indica reducciones (Mapa N° 16).

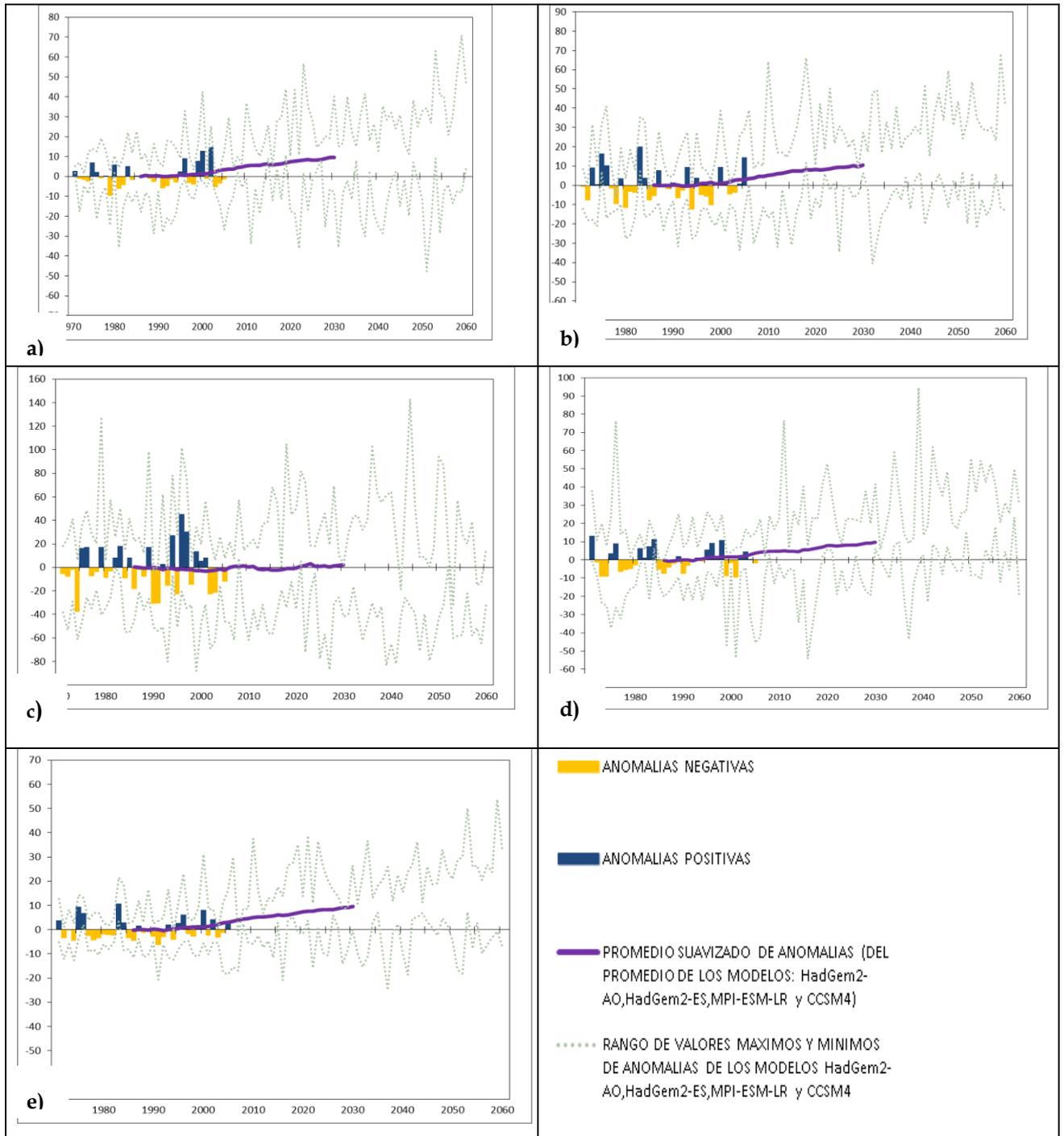
Los Mapas N° (16 - 20) resumen los cambios estacionales y cambio anual de la precipitación en la región Huancavelica. Se observa un patrón definido de incremento en general a largo de las cuatro estaciones del año, con un incremento mayor al inicio del periodo lluvioso (primavera) entre 6 a 12% en casi toda la región (Mapa N°19) y un incremento ligero en el periodo de estiaje (invierno) entre 3 a 6% (Mapa N°18) y durante el periodo de lluvias (verano) este incremento varía de acuerdo a la ecorregión, así se tiene que para la ecorregión de Andes centrales el incremento está entre 3 a 6% y en la ecorregión Puna varía entre 9 a 12%. Si bien todos estos cambios estarían dentro de su variabilidad normal, es importante observar el sesgo o tendencia que presentan hacia el incremento. Estos resultados toman mayor consistencia al ser contrastados con los resultados obtenidos en el estudio de la Segunda Comunicación Nacional (SENAMHI, 2009), donde se estima que las precipitaciones hacia el 2030 con el escenario de emisión A1B (escenario intermedio) variarían porcentual entre el 10 al 20% durante el periodo lluvioso en los departamentos de Junín y Huancavelica.

En la **figura 6** se muestra la subregión donde se ha analizado la línea de tiempo o tendencia de cambio hasta el año 2030.



**Figura 6.** Subregión analizada para determinar la tendencia de cambio, zona centro-oriental. Fuente SENAMHI.

En la **Figura 7** se observa el cambio estacional y anual de la precipitación en la subregión, expresado en porcentaje (%). Debe entenderse que la capacidad de cada modelo de representar bien algunas características del clima actual está en función de sus características internas o estado de desarrollo, de modo que es esperable que las respectivas simulaciones de un clima modificado por una nueva composición de la atmósfera, difieran. Los modelos indican incrementos bastantes discretos de la precipitación (dentro de su variabilidad).



**Figura 7.** Evolución del cambio de la precipitación en las subregión (regrillada o ajustada con datos observados del Climate Research Unit de la Universidad de East Anglia). (a) D-E-F; (b) M-A-M; (c) J-J-A; (d) S-O-N; (e) Anual.

#### 4.2 PROYECCIONES DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

A diferencia de las precipitaciones, los patrones de cambio de las temperaturas extremas del aire anuales son más claros, homogéneos y progresivos; es decir, los resultados muestran un patrón de calentamiento a nivel anual en promedio para toda la región de alrededor +1,4°C para la temperatura máxima y de hasta 1.5°C para la temperatura mínima (Mapas N° 25 y 30, respectivamente), en relación al periodo de referencia 1971-2000.

Estacionalmente, se mantiene el patrón anual aunque no todas las zonas de la región experimentarían el mismo grado de calentamiento. Para la temperatura máxima (Mapas N° 21 - 25), el cambio sería más notable (+1,7°C) en invierno sobretodo en la ecorregión de Andes centrales y Puna y de +1.6°C en primavera en Selva; mientras que en verano y otoño los incrementos estarían entre +1,3 °C y +1,5°C. En cuanto al comportamiento estacional de la temperatura mínima (Mapas N° 26 - 30), se observa que el mayor incremento se daría en invierno en casi toda la región en un orden de +1,6°C; mientras que en verano, otoño y primavera el incremento en general estaría alrededor de +1.3°C entre la Andes centrales y Puna y hasta de +1.5°C en Yunga.

En toda la cuenca, la temperatura mínima tiende a incrementarse algo más que la temperatura máxima, durante invierno y primavera, aproximadamente en 0,1°C más. Puede mencionarse entonces que hacia el 2030 el rango térmico (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) disminuya durante estas estaciones del año.

Las proyecciones de aumento de las temperaturas máximas y mínimas en la sierra (región Huancavelica) es consistente con lo encontrado por Alves, L. et al (2009), citado en SENAMHI 2009, donde determina que las variaciones positivas de la temperatura hacia finales del siglo sería de 2.5°C sobre los Andes.

## CAPITULO V.

### CAMBIO CLIMÁTICO

#### Escenario Futuro e Incertidumbres

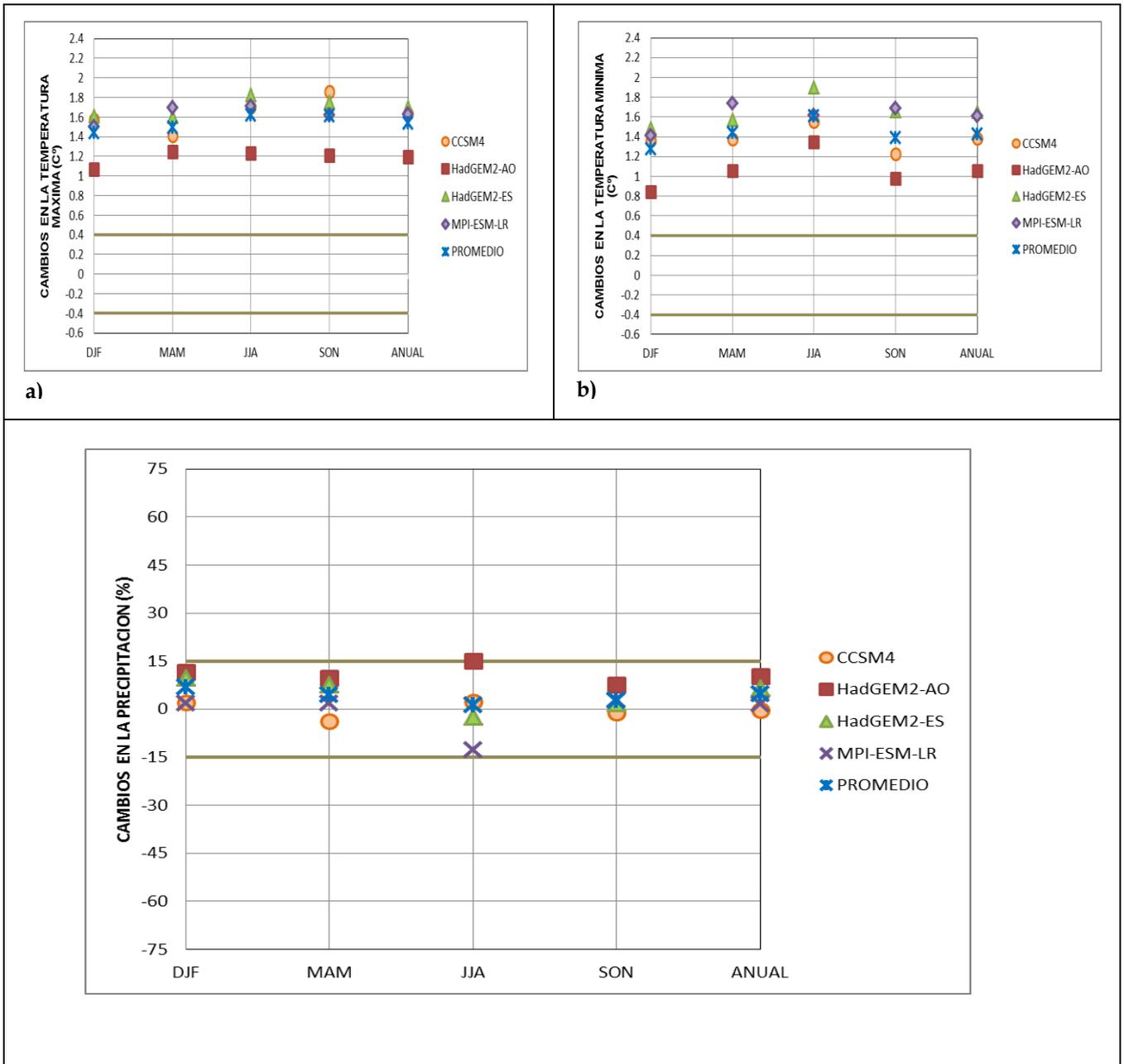
Los modelos climáticos son las mejores herramientas que tienen los científicos del clima para predecir cambios futuros del clima. Ellos están basados en principios sólidos de la ciencia física y están rápidamente incrementando en sofisticación, asimismo la precisión de las proyecciones están mejorando. Sin embargo, la atmósfera es caótica, esto es, altamente sensitiva a muy pequeños cambios, si 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 (conjunto de salida de varios modelos) es particularmente importante en escalas de tiempo largas, donde los efectos del error de un modelo particular son significativos. Para escalas estacionales y más largas, los ensambles multimodelo 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 emisiones 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 “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 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 el presente estudio se hizo necesario usar técnicas de regionalización tanto dinámicas como estadísticas que ayudan a disminuir estas incertidumbres asociadas a la generación de escenarios de cambio climático.

En la **Figura 8**, cada punto es el valor del cambio proyectado por cada modelo a nivel estacional y anual, en la grilla común sobre la región Huancavelica. En la Temperatura máxima los cambios anuales van de +1 °C a +1.7°C (**Figura 8a**) y de +0.8°C a 2°C en la mínima (**Figura 8b**), se observa una mayor dispersión en primavera- SON (de +1°C a +1.8°C).



**Figura 8.** Cambios proyectados a nivel anual y estacional de la temperatura del aire máxima (a), mínima (b) en °C, y de la precipitación (c) en porcentaje en la Región de Huancavelica para el time-slice centrado en el año 2030, relativo al período de referencia 1971-2000. Los modelos son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR, para el escenario de las emisiones RCP8.5. Se muestra el promedio de los modelos (X azul) y los rangos de la variabilidad actual (líneas marrones horizontales).

## CAPÍTULO VI.

### CONCLUSIONES

#### En relación al diagnóstico del clima actual:

- Se observa en la información de tendencia histórica, en base a solo una estación (Lircay) que representa la zona Puna de la región Huancavelica, que las precipitaciones en los últimos 48 años vienen presentando una tendencia negativa (disminución) principalmente en la época de inicio del periodo lluvioso (primavera) de hasta -1.7 mm/década.
- Se tiene que los índices de eventos extremos de la precipitación en base al análisis de una estación de la región (Lircay), están disminuyendo a una tasa promedio de -1.7 mm/día/año como se observa en la precipitación acumulada en un año (PRCPTOT), al igual que en el índice de intensidad diaria de precipitación (SDII) y si bien el índice de días muy lluviosos (R95p) es negativo, se tiene que el índice de extremadamente lluviosos (R99p) es positivo, por lo que se observa que en las últimas 4 décadas se están incrementando las lluvias muy extremas en la región.
- Las tendencias de las temperaturas extremas máximas y mínimas tanto anuales como estacionales presentan una tendencia hacia el enfriamiento (calentamiento) de hasta -/+ 0.2°C/década.
- Los índices de días y noches calientes son positivos (basados en percentiles por encima de 90th), así como también son positivas los días y noches frías (basados en percentiles por debajo de 10th), lo que nos indica que durante las últimas cuatro décadas durante el día y la noche las temperaturas vienen aumentando en esta localidad.

#### En relación al clima para el 2030:

- Las proyecciones de la precipitación en la región Huancavelica serian de incremento a inicios del periodo lluvioso, así como durante el periodo mismo de lluvias de hasta un 12%; cuyos valores se consideran que están dentro de su rango de variabilidad climática.
- Los patrones de cambio de las temperaturas son más consistentes con señales más claras hacia el calentamiento tanto de máximas (+1.4°C) como de mínimas (+1.5°C) a nivel anual, en relación al periodo de referencia 1971-2000. Estacionalmente la temperatura máxima tendría un cambio más notable durante el invierno de hasta +1.7°C sobre todo en las ecorregiones de Andes centrales y Puna; en verano y otoño el incremento seria de hasta +1.5°C. Mientras que la temperatura mínima tendría sus mayores cambios también durante el invierno en casi toda la región con una tasa de incremento de hasta +1.6°C; en el resto de estaciones estos incrementos de la temperatura mínima estarían alrededor de +1.3°C.

## 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 regionales dramáticas. 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), el downscaling estadístico o modelos globales de alta resolución 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. La recomendación útil es: combinación de downscaling dinámico y estadístico para llegar a resoluciones aún mayores.

En el Capítulo 5 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. Este informe no presenta un análisis riguroso basado en ensembles de proyecciones por la limitación de recursos y tiempo. Sin embargo, se ha intentado mostrar los resultados de una variedad de modelos globales (4), que mejor representan el clima actual del país para mostrar al tomador de decisiones por lo menos un rango de variación de las proyecciones de cambio climático la región.

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 de cambios potenciales identificados más que en los valores absolutos, debiéndose complementar el presente estudio en el plazo más próximo con técnicas de regionalización dinámicas y estadísticas que permitan ver la señal de cambio a nivel local.

## CAPÍTULO VIII.

### BIBLIOGRAFÍA

- Brack, A.** Ecología del Perú. Editorial Bruño, 2da edición 2004. Lima, Perú.
- Frich, P.,** Alexander. L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein, A., y Peterson, T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, 19, 193-212.
- Haylock M.R.,** Peterson T.C., Alves L.M., Ambrizzi T., Anunciacao Y.M., Baez J., Barros V.R., Berlato M.A., Bidegain M., Coronel G., Corradi V., Garcia J., Grimm A.M., Karoly D., Marengo J.A., Marino M.B., Moncunill D.F., Nechet D., Quintana J., Rebello E., Rusticucci M., Santos J.L., Trebejo I. and Vincent L.A. 2006 Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, 19, 1490-1512.
- 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.
- Sen, P.K.,** 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- SENAMHI,** Guía Climática Turística. Por: Cubas, F., Ita, N. Lima, Perú.
- SENAMHI, 2009.** Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Por: 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, 2011** [Avalos G., Cubas F., Oria C., Díaz A., Quispe N., Rosas G., Solís O.]. Atlas de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ministerio de Ambiente. En el marco del proyecto PRAA. 157 pp.
- Taylor,** Karl E., Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl, 2012: An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 485–498.
- Thomas R. Karl,** et.al. (2008). *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate*. U.S. Climate Change Science Program. (162p)
- Vincent L.A.,** Peterson T.C., Barros V.R., Marino M.B., Rusticucci M., Carrasco G., Ramirez E., Alves L.M., Ambrizzi T., Berlato M.A., Grimm A.M., Marengo J.A., Molion L., Moncunill D.F., Rebello E., Anunciacao Y.M., Quintana J., Santos J.L., Baez J., Coronel G., Garcia J., Trebejo I., Bidegain M., Haylock M.R., and Karoly D. (2005) Observed Trends in Indices of daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*, **18**, 5011-5023.

## CAPÍTULO IX.

### ANEXOS

**Mapa:** Mapa de relieve de Huancavelica.

**Mapa:** Ecorregiones Naturales de Huancavelica.

**Mapa N° 01:** Promedio multianual de la precipitación acumulada Dic-Ene-Feb.

**Mapa N° 02:** Promedio multianual de la precipitación acumulada Mar-Abr-May.

**Mapa N° 03:** Promedio multianual de la precipitación acumulada Jun-Jul-Ago.

**Mapa N° 04:** Promedio multianual de la precipitación acumulada Set-Oct-Nov.

**Mapa N° 05:** Promedio multianual de la precipitación acumulada Anual.

**Mapa N° 06:** Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Dic-Ene-Feb.

**Mapa N° 07:** Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Mar-Abr-May.

**Mapa N° 08:** Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Jun-Jul-Ago.

**Mapa N° 09:** Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Set-Oct-Nov.

**Mapa N° 10:** Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Anual.

**Mapa N° 11:** Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Dic-Ene-Feb.

**Mapa N° 12:** Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Mar-Abr-May.

**Mapa N° 13:** Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Jun-Jul-Ago.

**Mapa N° 14:** Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Set-Oct-Nov.

**Mapa N° 15:** Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Anual.

**Mapa N° 16:** Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Dic-Ene-Feb.

**Mapa N° 17:** Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Mar-Abr-May.

**Mapa N° 18:** Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Jun-Jul-Ago.

**Mapa N° 19:** Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Set-Oct-Nov.

**Mapa N° 20:** Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Anual.

**Mapa N° 21:** Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Dic-Ene-Feb.

**Mapa N° 22:** Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Mar-Abr-May.

**Mapa N° 23:** Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Jun-Jul-Ago.

**Mapa N° 24:** Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Set-Oct-Nov.

**Mapa N° 25:** Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Anual.

**Mapa N° 26:** Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Dic-Ene-Feb.

**Mapa N° 27:** Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Mar-Abr-May.

**Mapa N° 28:** Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Jun-Jul-Ago.

**Mapa N° 29:** Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Set-Oct-Nov.

**Mapa N° 30:** Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Anual.