



PERÚ

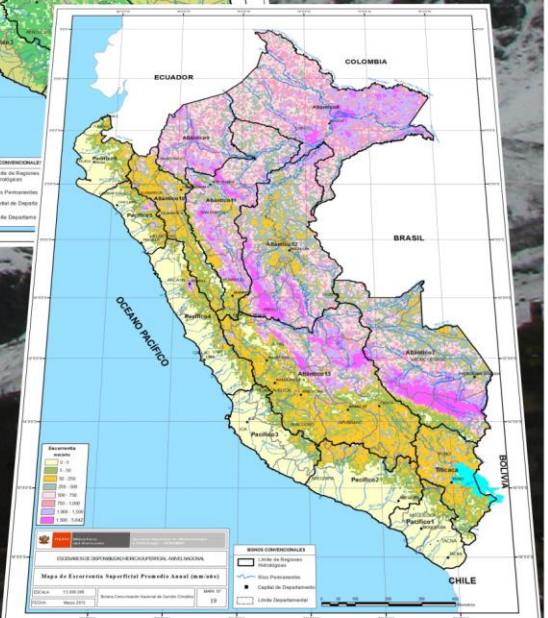
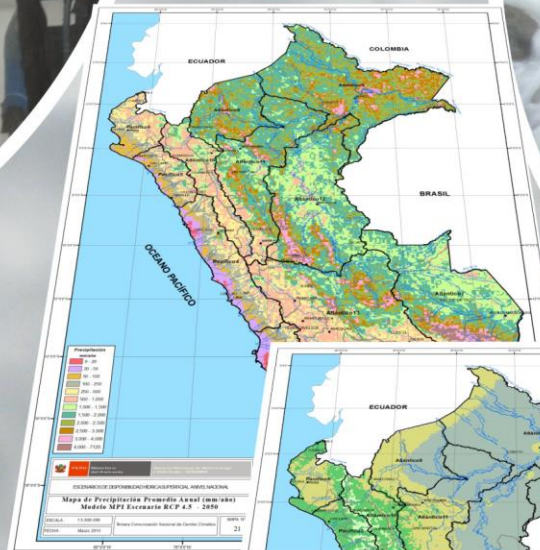
Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI



# ACTUALIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL PERÚ EN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

DOCUMENTO DE SÍNTESIS





**PRESIDENTA EJECUTIVA**

**ING. AMELIA DÍAZ PABLÓ**

**DIRECCIÓN CIENTIFICA**

**ING. ESEQUIEL VILLEGAS PAREDES**

**DIRECCIÓN GENERAL DE HIDROLOGÍA Y RECURSOS HÍDRICOS**

**ING. OSCAR FELIPE OBANDO**

**“ACTUALIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE  
DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL PERÚ EN CONTEXTO DE  
CAMBIO CLIMÁTICO”**

**DOCUMENTO DE SÍNTESIS**

**Elaborado por:**

**Ing. Oscar Felipe Obando**

**Bach. Tannia Sánchez Bernardo**

**Bach. Miguel Astorayme Valenzuela**

**LIMA - PERÚ**

**Abril - 2015**

# Índice del Contenido

Índice del Contenido .....	ii
Índices de Tablas .....	v
Índices de Figuras .....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. EL MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. Variabilidad y Cambio Climático .....	2
2.2. Los Escenarios de Emisión.....	3
2.3. Los Modelos de Circulación General de la Atmósfera .....	5
3. EL MARCO METODOLÓGICO .....	6
3.1. El clima y la Disponibilidad de Agua Actual .....	6
3.1.1. Variable Precipitación .....	7
3.1.2. Variable Temperatura .....	7
3.1.3. Variable Evapotranspiración.....	9
3.1.4. Disponibilidad Hídrica Superficial.....	9
3.2. El Clima y la Disponibilidad de Agua Futura .....	9
3.2.1. Variable Precipitación .....	9
3.2.2. Variable Temperatura .....	10
3.2.3. Variable Evapotranspiración.....	11
3.2.4. Disponibilidad Hídrica Superficial.....	11
4. PRINCIPALES RESULTADOS .....	12
4.1. El Clima y Disponibilidad de Agua Actual.....	12
4.1.1. Temperatura Máxima.....	12
4.1.1.1. Región Hidrográfica del Pacífico.....	12
4.1.1.2. Región Hidrográfica del Atlántico.....	12
4.1.1.3. Región Hidrográfica del Titicaca .....	13

4.1.2.	Temperatura Mínima.....	13
4.1.2.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	13
4.1.2.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	14
4.1.2.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	14
4.1.3.	Precipitación.....	14
4.1.3.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	14
4.1.3.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	15
4.1.3.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	16
4.1.4.	Evapotranspiración.....	16
4.1.4.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	16
4.1.4.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	17
4.1.4.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	17
4.1.5.	Escorrentía Superficial.....	17
4.1.5.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	17
4.1.5.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	18
4.1.5.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	19
4.2.	El Clima y Disponibilidad de Agua Futura .....	19
4.2.1.	Cambios Esperados en la Temperatura máxima .....	19
4.2.1.1.	Región Hidrográfica del Océano Pacífico.....	19
4.2.1.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	20
4.2.1.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	20
4.2.2.	Cambios Esperados en la Temperatura Mínima .....	21
4.2.2.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	21
4.2.2.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	21
4.2.2.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	22
4.2.3.	Cambios Esperados en la Precipitación .....	22
4.2.3.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	22

4.2.3.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	23
4.2.3.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	24
4.2.4.	Cambios Esperados en la Evapotranspiración.....	24
4.2.4.1.	Región Hidrográfica del Pacífico .....	24
4.2.4.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	25
4.2.4.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	25
4.2.5.	Cambios Esperados en la Escorrentía Superficial.....	25
4.2.5.1.	Región Hidrográfica del Pacífico .....	26
4.2.5.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	26
4.2.5.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	26
5.	CONCLUSIONES.....	28
5.1.	Región Hidrográfica del Pacífico.....	28
5.2.	Región Hidrográfica del Atlántico.....	28
5.3.	Región Hidrográfica del Titicaca .....	28
6.	REFERENCIA BILIOGRÁFICA .....	29

## Índices de Tablas

Tabla 2-1 Características principales de los RCP .....	4
Tabla 2-2 Modelos GCM considerados en el CMIP5 .....	6
Tabla 4-1 Climatología de la Temperatura Máxima en las regiones del Pacífico .....	12
Tabla 4-2 Climatología de la Temperatura Máxima en las regiones del Atlántico .....	13
Tabla 4-3 Climatología de la Temperatura Máxima en las Región del .....	13
Tabla 4-4 Climatología de la Temperatura Mínima en la Región Hidrográfica del Pacífico.....	13
Tabla 4-5 Climatología de la Temperatura Mínima en la Región Hidrográfica del Atlántico .....	14
Tabla 4-6 Climatología de la Temperatura Mínima en la Región Hidrográfica del Titicaca .....	14
Tabla 4-7 Climatología de la Precipitación en la Región Hidrográfica del Pacífico .....	15
Tabla 4-8 Climatología de la Precipitación en la Región Hidrográfica del Atlántico .....	15
Tabla 4-9 Climatología de la Precipitación en la Región Hidrográfica del Titicaca.....	16
Tabla 4-10 Climatología de la Evapotranspiración en la Región Hidrográfica del Pacífico.....	16
Tabla 4-11 Climatología de la Evapotranspiración en la Región Hidrográfica del Atlántico .....	17
Tabla 4-12 Climatología de la Evapotranspiración en la Región Hidrográfica del Titicaca .....	17
Tabla 4-13 Climatología del Escurrimiento Superficial en la Región .....	18
Tabla 4-14 Climatología del Escurrimiento Superficial en la Región Hidrográfica del Atlántico .....	18
Tabla 4-15 Climatología del Escurrimiento Superficial en la Región Hidrográfica del Titicaca .....	19
Tabla 4-16 Cambios esperados en la Temperatura máxima anual en la Región Hidrográfica del Pacífico para el año 2050 .....	20
Tabla 4-17 Cambios esperados en la Temperatura máxima anual en la Región Hidrográfica del Atlántico para el año 2050 .....	20

Tabla 4-18 Cambios esperados en la Temperatura máxima anual en la Región Hidrográfica del Titicaca para el año 2050.....	21
Tabla 4-19 Cambios esperados en la Temperatura mínima anual en la Región hidrográfica del Pacífico para el año 2050.....	21
Tabla 4-20 Cambios esperados en la Temperatura mínima anual en la Región hidrográfica del Atlántico para el año 2050.....	22
Tabla 4-21 Cambios esperados en la Temperatura mínima anual en la Región hidrográfica del Titicaca para el año 2050.....	22
Tabla 4-22 Cambios esperados (%) en la precipitación anual en la Región Hidrográfica del Pacífico para el año 2050.....	23
Tabla 4-23 Cambios esperados (%) en la precipitación anual en la Región Hidrográfica del Atlántico para el año 2050.....	23
Tabla 4-24 Cambios esperados (%) en la precipitación anual en la Región Hidrográfica del Titicaca para el año 2050.....	24
Tabla 4-25 Cambios esperados (%) en la Evapotranspiración anual en la Región Hidrográfica del Pacífico para el año 2050.....	24
Tabla 4-26 Cambios esperados (%) en la Evapotranspiración anual en la Región Hidrográfica del Atlántico para el año 2050.....	25
Tabla 4-27 Cambios esperados (%) en la Evapotranspiración anual en la Región Hidrográfica del Titicaca para el año 2050.....	25
Tabla 4-28 Cambios esperados (%) en la Escorrentía anual en la Región Hidrográfica del Pacífico.....	26
Tabla 4-29 Cambios esperados (%) en la Escorrentía anual en la Región Hidrográfica del Atlántico.....	26

## Índices de Figuras

Figura 2-1 Los nuevos Escenarios de Emisión RCP .....	4
Figura 2-2 Proyecciones futuras de la temperatura global según diferentes escenarios RCP .....	5
Figura 3-1 Mapa de Regiones hidrológicas del Perú.....	8

## Índices de Mapas de los Anexos

### **Anexo 1. Mapas de Regiones Hidrológicas del Perú**

Mapa 1: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 1 .....	32
Mapa 2: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 2 .....	33
Mapa 3: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 3 .....	34
Mapa 4: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 4 .....	35
Mapa 5: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 5 .....	36
Mapa 6: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 6 .....	37
Mapa 7: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 7 .....	38
Mapa 8: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 8 .....	39
Mapa 9: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 9 .....	40
Mapa 10: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 10.....	41
Mapa 11: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 11.....	42
Mapa 12: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 12.....	43
Mapa 13: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 13.....	44
Mapa 14: Mapa de Cuencas de la Región Titicaca .....	45

### **Anexo 2. Mapas del Clima y la Disponibilidad de Agua Presente (1980-2009)**

Mapa 15: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año).....	47
Mapa 16: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C).....	48
Mapa 17: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) .....	49
Mapa 18: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) .....	50
Mapa 19: Mapa de Escorrentía Superficial promedio anual (mm/año).....	51



Mapa 20: Mapa de coeficiente de escorrentía anual ..... 52

**Anexo 3. Mapas del Clima y la Disponibilidad de Agua Futura 2050 - Modelo MPI**

Mapa 21: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 54

Mapa 22: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 55

Mapa 23: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050..... 56

Mapa 24: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050..... 57

Mapa 25: Mapa de Esorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 - 2050..... 58

Mapa 26: Mapa de Coeficiente de escorrentía anual. Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 59

Mapa 27: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 60

Mapa 28: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 61

Mapa 29: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050..... 62

Mapa 30: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050..... 63

Mapa 31: Mapa de Esorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 64

Mapa 32: Mapa de Coeficiente de escorrentía anual. Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 65

**Anexo 4. Mapas del Clima y la Disponibilidad de Agua Futura 2050 - Modelo CNRM**

Mapa 33: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 67

Mapa 34: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 68

Mapa 35: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050..... 69

Mapa 36: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050..... 70

Mapa 37: Mapa de Esorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 71

Mapa 38: Mapa de Coeficiente de escorrentía anual Escenario RCP 4.5 – 2050 ..... 72

Mapa 39: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 73

Mapa 40: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 74

Mapa 41: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050..... 75

Mapa 42: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050..... 76

Mapa 43: Mapa de Esorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050 ..... 77

Mapa 44: Mapa de Coeficiente de escorrentía anual. Escenario RCP 8.5 - 2050 ..... 78

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye un Documento de Síntesis del trabajo de Consultoría que encargó el Ministerio del Ambiente del Perú para la Actualización de los Escenarios Nacionales de Disponibilidad Hídrica y que elaboró el Mag. Sc Eber Risco en coordinación con la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos del SENAMHI.

El contenido temático del presente Documento se centra en dos aspectos o componentes fundamentales del estudio como son en primer término la descripción del clima y la disponibilidad de agua presente, y en segundo término la descripción del clima y la disponibilidad de agua futura en contexto de Cambio Climático. En la evaluación del clima y la disponibilidad de agua presente, se aborda la caracterización de las variables hidroclimáticas como la temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía superficial, correspondiente a dos períodos de referencia 1970-1999 y 1980-2009. En la evaluación del clima y la disponibilidad de agua futura, se hace las proyecciones de estas variables hidroclimáticas hacia el año 2050, teniendo en cuenta las proyecciones de dos modelos climáticos CNRM y MPI para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Los aspectos conceptuales de los modelos, los escenarios y la metodología desarrollada son explicados en el ítem correspondiente al marco teórico y metodológico.

Para un mejor comprensión y discusión de los resultados obtenidos en el Estudio de referencia, se ha analizado el comportamiento de las variables climáticas e hidrológicas por Región Hidrológica, que a nivel de país son en número de 14; 6 regiones que corresponden a la vertiente del Pacífico, 7 a la vertiente del Atlántico y 01 a la Vertiente del Titicaca. En cada caso las estimaciones de cada variable son valores representativos promedio obtenidos para cada región hidrológica; por lo que puede asumirse que los impactos potenciales del cambio climático sobre las variables hidroclimáticas en cada región hidrológica incidirá con la misma magnitud sobre cada una de las cuencas homogéneas que forman parte de una región hidrológica, información que será de utilidad para la Planificación y Gestión sostenible de los Recursos Hídricos en cuencas críticas identificadas en este estudio como son Topará, San Juan, Ica, Pisco, Grande, Acarí, Yauca; las cuales serán afectadas por deficiencias hídricas; mientras que otras cuencas como Zarumilla, Tumbes, Chira, Piura y Cascajal, serán impactadas por excesos hídricos.

## 2. EL MARCO TEÓRICO

En el presente ítem se ha preparado una descripción general de las bases teóricas de la Variabilidad y el Cambio Climático, que son conceptos clave que nos ayuda a comprender como la comunidad científica internacional aborda el tema del clima que se proyecta para el futuro y cómo éste impactará en la disponibilidad del agua.

### 2.1. Variabilidad y Cambio Climático

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada en el largo plazo.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima que persiste durante un periodo largo de tiempo (normalmente decenios o incluso más), debido a su variabilidad natural o como resultado de actividades humanas, que comparado con el estado medio del clima se refiere a una importante variación estadística que persiste en el largo plazo.

Mientras que la variabilidad climática se refiere a las variaciones en el estado medio del clima en todas las escalas temporales y espaciales más allá de fenómenos meteorológicos determinados (olas de calor, frío, friajes, veranillos, lluvias intensas) o climáticas (El Niño Oscilación del Sur, heladas, períodos secos y húmedos) que pueden deberse a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en forzamientos antropogénicos (variabilidad externa). Si esta variabilidad se exagera (aumentos en frecuencia e intensidad en el tiempo) puede ocasionar cambios en el clima.

En el Perú, los estudios de variabilidad y escenarios de cambio climático vienen siendo desarrollados desde el 2003 por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Estos se han realizado a nivel nacional, por cuencas y microcuencas priorizadas para el desarrollo de evaluaciones integradas de vulnerabilidad y adaptación. En el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, el SENAMHI en el 2009 elaboró los Escenarios Nacionales de Precipitación y temperatura para el 2020 y 2030 y en base a estas variables de elaboró los Escenarios de Disponibilidad Hídrica Superficial a Nivel Nacional centrados para estos mismos períodos. Cabe señalar que en la elaboración del estudio de la Segunda Comunicación Nacional se disponía de las proyecciones de los modelos climáticos del Cuarto Informe (AR4) del IPCC.

Para el presente estudio de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático se ha trabajado con la nueva generación de los modelos climáticos del Quinto Informe del IPCC (AR5), los cuales traen diferencias sustantivas con respecto a los Informes predecesores del IPCC; en este Quinto Informe se

incorpora los Escenarios denominados trayectorias de concentración representativas (RCP), agrupados según el nivel de forzamiento radiactivo.

Cabe señalar que, desde su creación, el IPCC ha preparado una serie de documentos técnicos, informes especiales e informes de evaluación que han puesto a disposición de la comunidad internacional, tanto responsables políticos como público en general, el conocimiento científico-técnico disponible sobre el cambio climático. En comparación con informes anteriores, este Quinto Informe pone un mayor énfasis en la evaluación de los aspectos socioeconómicos del cambio climático y en sus implicaciones para el desarrollo y la gestión de los riesgos, así como en la puesta en pie de respuestas de adaptación y mitigación.

## 2.2. Los Escenarios de Emisión

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son el producto de los sistemas dinámicos muy complejos determinados por fuerzas impulsoras como el desarrollo demográfico, el desarrollo socioeconómico y el cambio tecnológico. Su evolución futura es muy incierta. Los escenarios de emisiones de GEI son generados desde suposiciones respecto a la posible variación en las actividades humanas como cambios tecnológicos, uso de energía, uso de la tierra y emisiones de gases invernaderos.

Para el presente estudio se ha trabajado con los Escenarios del Quinto Informe del IPCC (AR5), en el cual la comunidad científica ha definido un conjunto de cuatro nuevos escenarios denominados trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que se caracterizan por el cálculo aproximado que hacen del forzamiento radiactivo total, para el año 2100 relativo a 1750. Los cuatro escenarios de RCP comprenden un escenario de mitigación de emisiones de GEI conducente a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2,6); dos escenarios de estabilización (RCP4,5 y RCP6,0), y un escenario con un nivel muy alto de GEI (RCP8,5).

Cada RCP presenta distintos valores de forzamiento radiactivo que son indicativos, según el Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, el forzamiento climático resultante de todos los impulsores del cambio climático (las sustancias y los procesos naturales y antropogénicos que alteran el balance energético de la Tierra) varía entre los distintos modelos climáticos.

Se ha utilizado los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. El RCP4.5 es un escenario de estabilización donde forzamiento radiactivo total se estabiliza antes de 2100 por el empleo de una serie de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El RCP 8.5, se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del tiempo. **En el cuadro 2.1** se sintetiza las principales características de los escenarios de Emisión.

Tabla 2-1 Características principales de los RCP

Características de los RCPs	Escenario			
	RCP 2.6 W/m <sup>2</sup> ~490 CO <sub>2</sub> -equiv antes del 2100, después descende	RCP 4.5 W/m <sup>2</sup> ~650 CO <sub>2</sub> -equiv con estabilización después del 2100	RCP 6.0 W/m <sup>2</sup> ~850 CO <sub>2</sub> -equiv con estabilización después del 2100	RCP 8.5 W/m <sup>2</sup> >1370 CO <sub>2</sub> -equiv en el 2100.
Emisión de GEI	Muy baja	Mitigación media-baja	Mitigación alta	Mitigación muy alta
Área de agricultura	Medio para cultivo y pastos	Muy bajo para ambos	Medio para cultivo, pero bajo para pastos	Medio para cultivo y pastos
Contaminación del aire	Media-baja	Media	Media	Media-alta
Otras características	Crecimiento de población mundial medio, crecimiento medio de PBI, tecnologías de almacenamiento de carbono y disminución de emisiones a partir del 2020.	Crecimiento de población hasta el 2065. Crecimiento de PBI en una orden magnitud y el uso de energía en 3 órdenes. Uso de políticas climáticas para fijar el precio de uso de carbono.	Crecimiento de la población hasta el 2100. Un crecimiento del PBI hasta el 2060. Las políticas climáticas inician en el 2060.	Altas emisiones de gases invernaderos. Crecimiento alto de población bajo crecimiento de PBI. Modestos cambios tecnológicos y deficiente uso de la energía.
Centro Internacional de Desarrollo	IMAGE (Holanda)	GCAM (USA)	AIM (Japón)	MESSAGE (Austria)

Fuente : SENAMHI-CPN

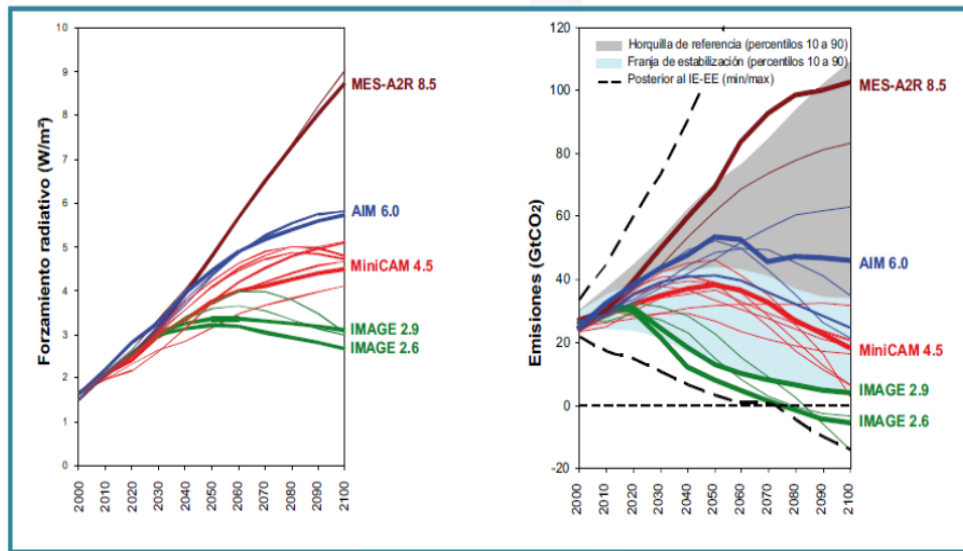


Figura 2-1 Los nuevos Escenarios de Emisión RCP

Fuente IPCC-2013

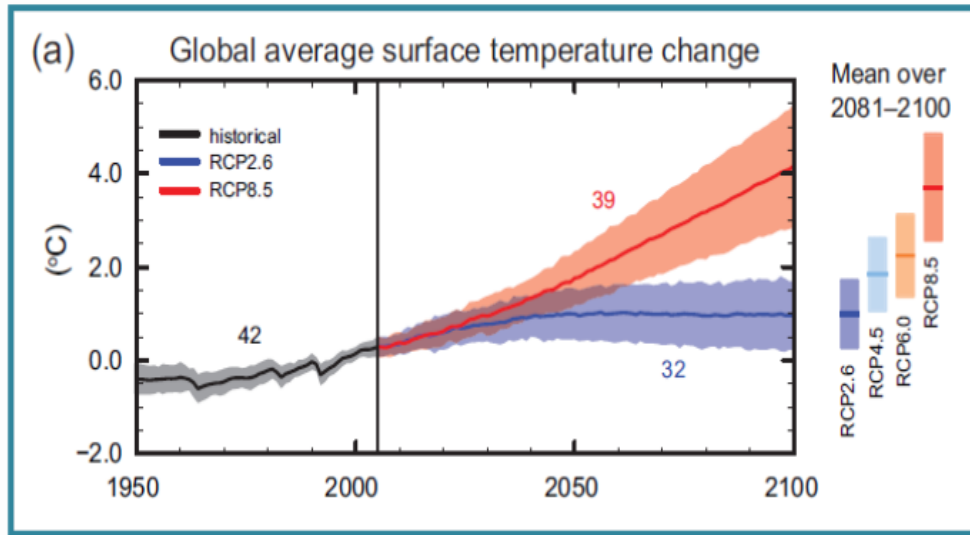


Figura 2-2 Proyecciones futuras de la temperatura global según diferentes escenarios RCP

Fuente IPCC-2013

### 2.3. Los Modelos de Circulación General de la Atmósfera

Los modelos de Circulación General (GCMs, siglas en inglés) son una herramienta útil en el estudio de los patrones y evolución de las condiciones atmosféricas. Los patrones de circulación atmosférica, tienen diferentes aspectos, dependiendo de la escala espacial y temporal que se quiera estudiar. Para cada escala espacial o temporal, es recomendable el uso de un determinado modelo, que es el óptimo para la resolución de un problema en particular.

Los Modelos de Circulación General son la principal herramienta para la proyección del clima de las próximas décadas, simulan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento entre los puntos de una red tridimensional que se extiende por la atmósfera, océanos y las capas superiores de la litosfera y criósfera. Sin embargo, la resolución espacial de estos modelos es todavía limitada (~200 km), por lo que los escenarios globales no permiten analizar la magnitud de los posibles impactos locales, por lo que la tarea de regionalizar los escenarios globales de cambio climático es importante para poder llevar a cabo de la mejor forma estudios de impacto y adaptación, teniendo en cuenta la variabilidad regional o local de la zona en estudio.

Tabla 2-2 Modelos GCM considerados en el CMIP5

CMIP5	INSTITUCIÓN
bcc-csm1-1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration
CanCM4	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis
CCSM4	National Center for Atmospheric Research NCAR
CNR-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques / Centre Européen de Recherche et Formation Avancées en Calcul Scientifique
CSIRO-MK3-6-0	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) (Australia)
FGOALS-g2	LASG, Institute of Atmospheric Physics (China)
GFDL-CM3 GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GISS-EH-H GISS-E2-R	NASA Goddard Institute for Space Studies
HadCM3 HadGEM2-CC HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre (Reino Unido)
inmcm4	Institute for Numerical Mathematics (Rusia)
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace
MIROC4h MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Japón)
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M) (Alemania)
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (Japón)

Fuente: IPCC-2013

Cada uno de estos modelos tiene su propia física y resuelve sus parametrizaciones bajo diferentes esquemas de cálculo numérico. Es por ello que las proyecciones del clima futuro difieren de un modelo a otro, por lo que los expertos recomiendan usar en los estudios de evaluación de impactos más de un modelo y obtener el promedio de sus resultados. En el presente estudio de disponibilidad hídrica superficial a nivel nacional se ha utilizado los modelos del CNRM-CM5 (de 1.4° x 1.4° de resolución) y MPI-ESM. (De 1.8° x 1.8° de resolución).

### 3. EL MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. El clima y la Disponibilidad de Agua Actual

Para caracterizar el clima y la disponibilidad de agua presente se ha utilizado información histórica de estaciones meteorológicas e hidrológicas a partir de las cuales se construye la climatología de las variables Precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración y Escorrentía. Para tal efecto se ha seleccionado dos periodos de referencia de 30 años; un primer período que corresponde a 1970-1999 y el segundo período a 1980-2009.



El objetivo de este análisis es realizar una comparación del comportamiento de las variables hidrológicas a nivel mensual y anual para estos dos períodos de referencia en cada región hidrológica en que ha sido dividido el territorio peruano. Esta división hidrológica ha sido tomada del estudio de Halcrow quien elaboró en el 2011 el Atlas del Potencial hidroeléctrico Nacional a solicitud del Ministerio de Energía y Minas. Ver Figura 3.1.

### **3.1.1. Variable Precipitación**

Se ha utilizado en el análisis información de precipitación mensual de 153 estaciones meteorológicas, con las cuales se ha elaborado los mapas mensuales a nivel nacional para los dos periodos de referencia 1970-1999 y 1980 - 2009. Los mapas de precipitación mensual han sido elaborados aplicando métodos de interpolación espacial de tipo geostatística, combinando información de estaciones terrenas con productos de lluvia estimada por el satélite TRMM. A partir de los mapas mensuales se obtiene los valores promedio representativos de esta variable para cada una de las regiones hidrológicas.

### **3.1.2. Variable Temperatura**

En el análisis de esta variable se ha utilizado información de Temperatura media mensual de 120 estaciones meteorológicas, con las cuales se ha elaborado los mapas climáticos a nivel nacional para dos períodos de referencia, de manera análoga al tratamiento de la precipitación. Los mapas de temperatura han sido elaborados aplicando técnicas de interpolación espacial geostatística combinando información de estaciones terrenas con datos de altitud de un Modelo Numérico del Terreno de 90 m de resolución. A partir de estos mapas climáticos mensuales se obtiene los valores promedio de esta variable por Región Hidrológica.



Figura 3-1 Mapa de Regiones hidrológicas del Perú.

Fuente: Halcrow-2012

### 3.1.3. Variable Evapotranspiración

En el análisis de esta variable se ha aplicado la metodología de Hargreaves-Samani que utiliza como variables de entrada la información de la temperatura máxima y mínima. Complementariamente se ha utilizado información de la base de datos global de Evapotranspiración del CRU e imágenes de Índices de Vegetación (NDVI) de productos MODIS, para la elaboración de los mapas climáticos mensuales a nivel nacional mediante técnicas geoestadísticas.

### 3.1.4. Disponibilidad Hídrica Superficial

Esta variable hidrológica es cuantificada a través del Modelo de Balance Hídrico de Budyko, el cual se basa en información histórica de precipitación y Evapotranspiración Potencial. Los Mapas climáticos de estas variables se elaboran a nivel mensual y anual mediante técnicas de interpolación espacial geoestadística.

En el Modelo de Budiko, se define la cantidad de agua disponible para extracción como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración actual. De esa manera, la disponibilidad física de agua en el medio ambiente, es decir la cantidad de precipitación que constituye la escorrentía superficial más la recarga de los acuíferos subterráneos, es igual a la precipitación efectiva, según la expresión matemática siguiente :

$$Pe_{ff} = P - ET_a$$

Donde  $Pe_{ff}$ , constituye la precipitación efectiva anual en lámina (mm) que se convierte es escorrentía superficial y se estima como la diferencia entre la lámina de precipitación acumulada anual (P) en mm y la lámina de Evapotranspiración Actual ( $ET_a$ ) anual expresada también en mm.

Al igual que las otras variables analizadas, la Escorrentía es evaluada para las dos climatologías de referencia antes expuestas.

## 3.2. El Clima y la Disponibilidad de Agua Futura

Las estimaciones de los potenciales cambios que se esperaría en las variables precipitación, temperatura, evapotranspiración y escurrimiento superficial han sido cuantificados en base a las proyecciones de 2 modelos climáticos del CMIP5 y 2 Escenarios de Emisión RCP 4.5 y RCP 8.5. El horizonte de los Escenarios es el periodo 2035-2065 centrado en el año 2050.

De manera análoga al procedimiento realizado para caracterizar el clima y la disponibilidad de agua presente, el análisis de las variables climáticas y de la disponibilidad hídrica superficial se realiza a nivel de Región Hidrológica.

### 3.2.1. Variable Precipitación

Los cambios esperados en la precipitación, son evaluados mediante la metodología conocida como el “Delta Change” que consiste en cuantificar el cambio relativo en (%) que se obtiene con los datos del GCM y proyectar este cambio hacia la estación o cuenca de interés. El Delta Change de la precipitación se estima por la siguiente relación :

$$\text{Delta P(\%)} = (\text{PGCM}_{2050} - \text{GCM}_{\text{histórico}}) * 100 / \text{GCM}_{\text{histórico}}$$

Esta ecuación nos dice que el cambio de la precipitación en el año 2050, expresado en porcentaje, se obtiene por la anomalía de la precipitación que se proyecta al 2050 por el GCM respecto a la climatología de referencia de la precipitación del propio modelo.

Para proyectar la precipitación esperada a nivel de estación meteorológica, se utiliza la siguiente expresión.

$$\text{P}_{2050\_estación} \text{ (mm)} = \text{P}_{\text{histórica\_estación}} * (1 + \text{DeltaP}/100)$$

Esta ecuación nos indica que la estimación de la precipitación para el horizonte 2050 a nivel de la estación meteorológica de interés es función del promedio histórico de la precipitación observada afectada por un factor multiplicador que depende del Delta de cambio de la precipitación obtenida del GCM. Si el DeltaP es positivo la precipitación se incrementa, si es negativo la precipitación disminuye.

Mediante métodos de interpolación espacial geoestadística se generan mapas de precipitación para los diferentes escenarios RCP y modelos GCM indicados al inicio del ítem 3.2.

### 3.2.2. Variable Temperatura

Para evaluar los cambios en la Temperatura, se aplica un procedimiento similar al utilizado para la precipitación, en este caso la determinación del Delta Change de la Temperatura se expresa en grados Celsius (°C), y se estima de la siguiente manera :

$$\text{Delta T(°C)} = (\text{T}_{\text{GCM}_{2050}} - \text{GCM}_{\text{histórico}})$$

Esta ecuación nos indica que el cambio esperado en la temperatura, expresado en grados Celsius, se obtiene como la diferencia entre la temperatura proyectada por el GCM para el 2050 y la climatología del periodo de referencia de la temperatura del propio modelo.

Para proyectar la temperatura esperada a nivel de estación meteorológica, se utiliza la siguiente expresión :

$$\text{T}_{2050\_estación} \text{ (°C)} = \text{T}^{\circ}_{\text{histórica\_estación}} + \text{DeltaT}^{\circ}$$

Mediante métodos de interpolación espacial geoestadística se generan mapas de temperatura para los diferentes escenarios RCP y modelos GCM indicados al inicio del ítem 3.2

### 3.2.3. Variable Evapotranspiración

Las proyecciones de esta variable se estima directamente estación aplicando la ecuación de Hargreaves Samani, en la cual se incorpora los resultados de las proyecciones de la temperatura al 2050 a nivel de estación obtenidos de acuerdo a lo indicado en el ítem 3.2.2.

Mediante métodos de interpolación espacial geoestadística se generan mapas de Evapotranspiración para los diferentes escenarios RCP y modelos GCM indicados al inicio del ítem 3.2.

### 3.2.4. Disponibilidad Hídrica Superficial

Las proyecciones de la Disponibilidad Hídrica hacia el 2050, son estimadas con el Modelo de Budyko, introduciendo como datos de entrada las proyecciones de precipitación y temperatura al 2050, cuyas estimaciones fueron descritas en los ítem 3.2.1 y 3.2.3.

Mediante métodos de interpolación espacial geoestadística se generan mapas de Escorrentía Superficial para los diferentes escenarios RCP y modelos GCM indicados al inicio del ítem 3.2.

## 4. PRINCIPALES RESULTADOS

### 4.1. El Clima y Disponibilidad de Agua Actual

En este apartado se presenta los resultados de la caracterización climática y la disponibilidad de agua evaluadas para dos climatologías o períodos de referencia 1970-1999 y 1980-2009. Los resultados de esta evaluación se describe por variable y por región hidrológica.

#### 4.1.1. Temperatura Máxima

##### 4.1.1.1. Región Hidrográfica del Pacífico

La región más cálida es Pacífico 6 con una temperatura máxima promedio anual de 28.2 °C y 28.4 °C para las dos períodos de referencia utilizados; la región menos cálida es Pacífico 4 con una temperatura máxima promedio anual de 18.9 °C y 19.0 °C. Para esta región se ha encontrado que el período 1980-2009 es ligeramente más cálido que el período 1970-1999, siendo este calentamiento más acentuado en la zona sur en las regiones Pacífico 1 y Pacífico 2 donde presenta un ligero calentamiento de 0.3 °C a nivel anual; a nivel de trimestre el incremento va de 0.2°C (trimestre JJA) a 0.3 °C (trimestre DEF). En la Tabla 4.1 se detalla la variación de la temperatura en cada región hidrológica.

Tabla 4-1 Climatología de la Temperatura Máxima en las regiones del Pacífico

Región	CLIMATOLOGIA TEMPERATURA MAXIMA (°C)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (°C)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Pacífico 1	19.7	18.6	22.1	18.1	19.6	20.0	18.9	22.3	18.3	19.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Pacífico 2	19.8	18.8	20.8	17.9	19.3	20.1	19.1	21.1	18.1	19.6	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
Pacífico 3	22.8	21.9	25.3	21.7	22.9	22.9	22.0	25.4	21.7	23	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Pacífico 4	18.8	18.4	20.2	18.2	18.9	18.9	18.5	20.3	18.2	19	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Pacífico 5	23.9	23.7	25.6	24.0	24.3	24.0	23.8	25.8	24.0	24.4	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1
Pacífico 6	27.9	27.6	29.6	27.6	28.2	28.1	27.8	29.9	27.8	28.4	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2

##### 4.1.1.2. Región Hidrográfica del Atlántico

La región más cálida es Atlántico 8 con una temperatura máxima promedio anual de 30.4 °C y 30.7 °C para las dos períodos de referencia utilizados; la región menos cálida es Atlántico 10 con una temperatura máxima promedio anual de 21.0 °C y 21.1 °C. Para esta región se ha encontrado que el período 1980-2009 es más cálido que el período 1970-1999, siendo este calentamiento más acentuado en la Región Atlántico 7 que presenta un calentamiento de 0.4 °C a nivel anual; a nivel de trimestre este calentamiento va de 0.3°C (trimestre JJA) a 0.5°C (trimestre MAM). En la Tabla 4.2 se detalla la variación de la temperatura en cada región.

Tabla 4-2 Climatología de la Temperatura Máxima en las regiones del Atlántico

Región	CLIMATOLOGIA TEMPERATURA MAXIMA (°C)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (°C)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Atlántico 7	27.1	25.9	28.8	25.0	26.7	27.5	26.3	29.3	25.3	27.1	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4
Atlántico 8	30.5	29.7	32.2	29.3	30.4	30.8	30.0	32.5	29.5	30.7	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
Atlántico 9	29.4	28.6	30.8	28.1	29.2	29.7	28.9	31.1	28.3	29.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
Atlántico 10	21.4	21.0	21.1	20.3	21.0	21.5	21.2	21.3	20.4	21.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Atlántico 11	27.8	27.2	28.5	26.6	27.5	28.1	27.5	28.8	26.8	27.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
Atlántico 12	30.2	29.5	31.3	28.8	29.9	30.4	29.6	31.5	28.9	30.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
Atlántico 13	21.4	20.2	22.0	19.0	20.7	21.7	20.5	22.4	19.3	21.0	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3

#### 4.1.1.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta región se ha determinado que el período 1980-2009 es más cálido, debido al incremento de la temperatura máxima promedio anual en 0.5°C, con respecto al período 1970-1999. Los cambios trimestrales de la temperatura máxima fluctúa desde 0.3°C (trimestre JJA) a 0.7°C (trimestre MAM). En la Tabla 4.3 se detalla la variación de la temperatura en esta región.

Tabla 4-3 Climatología de la Temperatura Máxima en las Región del

Región	CLIMATOLOGIA TEMPERATURA MAXIMA (°C)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (°C)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Titicaca	15.1	13.6	16.1	11.9	14.2	15.7	14.1	16.8	12.2	14.7	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5

#### 4.1.2. Temperatura Mínima

##### 4.1.2.1. Región Hidrográfica del Pacífico

La región más fría es Pacífico 2 con una temperatura mínima promedio anual de 21.1 °C para las dos períodos de referencia utilizados; la región menos fría es Pacífico 6 con una temperatura mínima promedio anual de 17.6 °C y 17.8 °C. Para esta región se ha encontrado un ligero calentamiento que va desde 0.1°C a 0.2°C en las regiones Pacífico 1 y Pacífico 6, respectivamente. Trimestralmente se observa en la región Pacífico 6 incrementos de temperatura que van desde 0.1°C (trimestre JJA) a 0.2°C (trimestre MAM), tal como se presenta en la Tabla 4.4.

Tabla 4-4 Climatología de la Temperatura Mínima en la Región Hidrográfica del Pacífico

Región	CLIMATOLOGIA TEMPERATURA MINIMA (°C)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (°C)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Pacífico 1	5.7	5.4	6.4	5.3	5.7	5.8	5.5	6.5	5.3	5.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pacífico 2	5.3	5.0	5.5	4.7	5.1	5.2	5.0	5.5	4.7	5.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
Pacífico 3	8.7	8.3	9.6	8.2	8.7	8.7	8.3	9.6	8.2	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pacífico 4	7.7	7.5	8.3	7.5	7.7	7.8	7.6	8.3	7.5	7.8	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Pacífico 5	13.2	13.0	14.1	13.2	13.4	13.2	13.1	14.2	13.2	13.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Pacífico 6	17.5	17.3	18.5	17.3	17.6	17.6	17.4	18.7	17.4	17.8	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2

#### 4.1.2.2. Región Hidrográfica del Atlántico

La Región Hidrológica más fría es Atlántico 13, con valores anuales de la temperatura mínima de 6.5° y 6.2°C para los períodos 1970-1999 y 1980-2009, respectivamente. En líneas generales se aprecia para el período 1980-2009 condiciones menos cálidas en la mayoría de las regiones con una disminución de la temperatura mínima promedio anual que va desde 0.1°C a 0.4°C, excepto en la región Atlántico 8 donde se presenta un incremento de 0.1°C en el promedio anual y trimestral. En la Tabla 4.5 se detalla la variación de la temperatura en esta región.

Tabla 4-5 Climatología de la Temperatura Mínima en la Región Hidrográfica del Atlántico

Región	CLIMATOLOGIA TEMPERATURA MINIMA (°C)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (°C)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Atlántico 7	15.3	14.6	16.3	14.1	15.1	15.2	14.5	16.2	14.0	15.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
Atlántico 8	18.3	17.8	19.2	17.5	18.2	18.4	17.9	19.4	17.6	18.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Atlántico 9	17.3	16.8	18.1	16.5	17.2	16.9	16.4	17.7	16.1	16.8	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Atlántico 10	9.0	8.9	8.9	8.6	8.8	8.8	8.6	8.7	8.3	8.6	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2
Atlántico 11	15.6	15.3	16.0	14.9	15.5	15.4	15.0	15.8	14.7	15.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Atlántico 12	17.6	17.2	18.2	16.8	17.5	17.5	17.0	18.1	16.6	17.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
Atlántico 13	6.8	6.4	7.0	6.0	6.5	6.4	6.1	6.6	5.7	6.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3

#### 4.1.2.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta región, las condiciones térmicas del período 1980-2009 han sido más frías con respecto al período 1970-1999, con una disminución de la temperatura mínima anual de -0.4°C. A nivel trimestral se observa de igual manera una disminución de la temperatura mínima de -0.4°C y -0.5°C. En la Tabla 4.6 se detalla las variaciones de la temperatura mínima en esta región.

Tabla 4-6 Climatología de la Temperatura Mínima en la Región Hidrográfica del Titicaca

Región	CLIMATOLOGIA TEMPERATURA MINIMA (°C)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (°C)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Titicaca	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.9	-0.8	-0.9	-0.7	-0.8	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4

#### 4.1.3. Precipitación

##### 4.1.3.1. Región Hidrográfica del Pacífico

En esta región hidrográfica la región hidrológica Pacífico 5 es la más húmeda con una precipitación anual de 382.0 mm y 436.0 mm para los períodos 1970-1999 y 1980-2009, respectivamente. La zona más seca es la región hidrológica Pacífico 1, con una precipitación anual de 148.0 mm y 143.0 mm para los dos períodos evaluados. En el ciclo anual de lluvias se observa que el trimestre JJA es el más seco, mientras que el trimestre DEF es el más húmedo, en la mayor parte de las regiones hidrológicas, excepto en la región Pacífico 5 donde el trimestre MAM es el más húmedo.



En términos generales el período 1980-2009 es más húmedo en la mayor parte de las regiones con incrementos anuales de la precipitación que va desde 3.2% (Pacífico 3) a 14.1% (Pacífico 5). En la región Pacífico 1, para este segundo período, se observa una disminución de la precipitación anual de -3.4%. En el comportamiento trimestral de la precipitación se observa cambios extremos que van desde -18.9% del trimestre JJA en región Pacífico 5 a 58.2% del trimestre SON para esta misma región. En la Tabla 4.7 se detalla la variación de la precipitación en esta región. Cabe señalar que las variaciones negativas indica una disminución de la precipitación, caso contrario indica un incremento.

Tabla 4-7 Climatología de la Precipitación en la Región Hidrográfica del Pacífico

Región	CLIMATOLOGIA DE LA PRECIPITACION (mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Pacífico 1	15.5	81.5	47.7	3.2	148.0	13.7	78.7	47.1	3.5	143	-12.1	-3.3	-1.3	7.7	-3.4
Pacífico 2	31.5	152.8	90.5	5.6	280.4	40.6	159.8	88.1	5.5	294.0	28.8	4.6	-2.6	-1.4	4.9
Pacífico 3	15.6	82.1	64.7	2.3	164.7	16.5	86.9	64.0	2.6	170	6.2	5.9	-1.0	9.0	3.2
Pacífico 4	39.3	132.3	88.7	2.9	263.3	49.7	141.6	91.3	2.4	285	26.2	7.0	2.9	-17.0	8.2
Pacífico 5	62.3	143.1	165.3	11.4	382.1	98.5	158.5	169.7	9.2	436	58.2	10.7	2.7	-18.9	14.1
Pacífico 6	14.2	150.8	146.4	7.1	318.5	17.6	166.5	159.4	6.1	349.7	24.1	10.5	8.9	-13.6	9.8

#### 4.1.3.2. Región Hidrográfica del Atlántico

En esta región hidrográfica la mayor humedad se concentra en la región hidrológica Atlántico 8 con una precipitación anual de 1958.0 y 2078.0 mm para los períodos 1970-1999 y 1980-2009, respectivamente. La zona más seca es la región hidrológica Atlántico 10 con una precipitación anual de 797.2 y 806.0 mm para los dos períodos evaluados. En el ciclo anual de lluvias, el trimestre JJA es el más seco mientras que el trimestre más húmedo es DEF en todas las regiones hidrológicas.

En términos generales, el comportamiento de la precipitación anual indica variaciones leves del segundo período con respecto al primero, que fluctúa en un rango que va desde -1.9% (Atlántico 13) a 6.1% (Atlántico 8).

En el comportamiento trimestral de la precipitación se observa cambios extremos que van desde -24.1% del trimestre SON en región Atlántico 7 a 32.1% del trimestre JJA. En la Tabla 4.8 se detalla la variación de la precipitación en esta región.

Tabla 4-8 Climatología de la Precipitación en la Región Hidrográfica del Atlántico

Región	CLIMATOLOGIA DE LA PRECIPITACION (mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Atlántico 7	308.1	972.9	403.2	94.1	1778.3	233.7	1002.4	432.4	110.5	1779.0	-24.1	3.0	7.2	17.4	0.0
Atlántico 8	325.7	692.8	597.5	342.2	1958.2	249.4	722.2	654.5	451.9	2078.0	-23.4	4.2	9.5	32.1	6.1
Atlántico 9	296.1	695.5	616.3	256.1	1864.1	225.3	731.8	689.1	269.9	1916.0	-23.9	5.2	11.8	5.4	2.8
Atlántico 10	187.4	305.1	256.7	47.9	797.2	171.6	316.4	274.8	43.1	806.0	-8.4	3.7	7.0	-10.1	1.1
Atlántico 11	312.7	630.7	511.5	240.0	1694.9	245.8	653.2	554.5	244.6	1698.0	-21.4	3.6	8.4	1.9	0.2
Atlántico 12	310.7	730.5	507.1	190.8	1739.1	239.5	747.1	554.0	195.4	1736.0	-22.9	2.3	9.3	2.4	-0.2
Atlántico 13	187.7	655.2	284.1	60.9	1188.0	151.3	654.9	297.8	61.0	1165.0	-19.4	-0.1	4.8	0.2	-1.9

#### 4.1.3.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta región la precipitación anual alcanza los 372.4 mm y 704.0 mm para los períodos de referencia 1970-1999 y 1980-2009. En el ciclo anual de lluvias el trimestre más seco es JJA y el trimestre más húmedo DEF. Con respecto al comportamiento de las lluvias en éstos dos períodos se observa que el segundo período es más seco, con una disminución de la precipitación anual de -3.9%. En la Tabla 4.9 se detalla la variación de la precipitación en esta región.

Tabla 4-9 Climatología de la Precipitación en la Región Hidrográfica del Titicaca

Región	CLIMATOLOGIA DE LA PRECIPITACION (mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Titicaca	122.4	369.0	219.0	22.0	732.4	115.8	353.4	212.2	22.6	704.0	-5.4	-4.2	-3.1	2.7	-3.9

#### 4.1.4. Evapotranspiración

##### 4.1.4.1. Región Hidrográfica del Pacífico

En esta Región Hidrográfica las pérdidas más importantes de humedad por evapotranspiración se da en la región hidrológica Pacífico 6 con valores anuales de 1583.1 mm y 1598.0 mm para los períodos 1970-1999 y 1980-2009, respectivamente. Sin embargo menores pérdidas de humedad se da en la región hidrológica Pacífico 4 con valores de Evapotranspiración de 1265.7 mm y 1271.0 mm para los dos períodos de referencia evaluados. En todas las regiones se observa un leve incremento de las pérdidas por Evapotranspiración en el período 1980-2009; en un rango que va de 0.3% a 1.1 % en las Regiones Hidrológicas Pacífico 5 y Pacífico 1, respectivamente. En la Tabla 4.10 se detalla el comportamiento de esta variable por trimestre y por año.

Tabla 4-10 Climatología de la Evapotranspiración en la Región Hidrográfica del Pacífico

Región	CLIMATOLOGIA DE LA EVAPOTRANSPIRACION (mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Pacífico 1	334.8	308.3	406.4	301.4	1350.9	339.3	312.7	410.2	303.8	1366	1.3	1.4	0.9	0.8	1.1
Pacífico 2	353.1	330.2	381.6	306.0	1370.9	356.2	333.0	382.8	309.1	1381.0	0.9	0.8	0.3	1.0	0.7
Pacífico 3	362.6	337.3	451.1	338.4	1489.4	365.3	339.0	455.6	338.2	1498	0.7	0.5	1.0	-0.1	0.6
Pacífico 4	309.9	299.4	356.2	300.2	1265.7	312.1	301.5	357.8	299.5	1271	0.7	0.7	0.5	-0.2	0.4
Pacífico 5	344.1	337.7	413.5	353.7	1449.0	344.7	338.5	416.9	352.8	1453	0.2	0.2	0.8	-0.2	0.3
Pacífico 6	379.9	371.1	450.6	381.5	1583.1	383.5	375.3	456.4	382.7	1598	1.0	1.1	1.3	0.3	0.9

#### 4.1.4.2. Región Hidrográfica del Atlántico

En esta Región las pérdidas más importantes de humedad por Evapotranspiración se da en la Región Hidrológica 8, con valores anuales de 1754.3 mm y 1773.3 mm para los períodos 1970-1999 y 1980-2009, respectivamente. Las menores pérdidas por Evapotranspiración se da en la región Hidrológica 10 con valores anuales de 1401.2 mm y 1412.0 mm para los dos períodos de referencia evaluados.

En el período 1980-2009 se observa un leve incremento en esta variable en todas las regiones; incrementos anuales que van en un rango de 0.6% a 1.2% en las regiones hidrológicas Atlántico 13 y Atlántico 11, respectivamente. En la Tabla 4.11 se detalla el comportamiento de esta variable por trimestre y por año

Tabla 4-11 Climatología de la Evapotranspiración en la Región Hidrográfica del Atlántico

Región	CLIMATOLOGIA DE LA EVAPOTRANSPIRACION (mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Atlántico 7	401.2	373.4	445.1	355.9	1575.6	405.0	376.4	450.8	356.8	1589.0	0.9	0.8	1.3	0.3	0.9
Atlántico 8	440.6	414.6	496.2	403.0	1754.3	445.4	418.5	503.3	406.1	1773.3	1.1	0.9	1.4	0.8	1.1
Atlántico 9	432.5	407.8	479.2	394.4	1714.0	437.0	412.0	485.6	396.4	1731.0	1.0	1.0	1.3	0.5	1.0
Atlántico 10	361.2	352.2	355.3	332.4	1401.2	364.4	356.1	357.9	333.5	1412.0	0.9	1.1	0.7	0.3	0.8
Atlántico 11	417.0	397.0	447.1	380.8	1641.9	422.0	401.7	454.0	383.3	1661.0	1.2	1.2	1.5	0.6	1.2
Atlántico 12	441.9	418.2	475.9	399.1	1735.0	445.5	421.6	481.7	400.3	1749.0	0.8	0.8	1.2	0.3	0.8
Atlántico 13	379.2	351.8	394.5	326.1	1451.6	381.3	353.5	398.8	327.1	1460.7	0.6	0.5	1.1	0.3	0.6

#### 4.1.4.3. Región Hidrográfica del Titicaca

Las pérdidas de humedad por Evapotranspiración en esta región altiplánica alcanza los 1246.7 mm y 1253.0 mm al año, En el ciclo anual de la Evapotranspiración en el trimestre MAM se concentra la mayor pérdida. En el período 1980-2009 se presenta un incremento en la evapotranspiración anual de 0.5% con respecto al período 1970-1999. En la Tabla 4.12 se presenta el detalle del comportamiento anual y trimestral de esta variable.

Tabla 4-12 Climatología de la Evapotranspiración en la Región Hidrográfica del Titicaca

Región	CLIMATOLOGIA DE LA EVAPOTRANSPIRACION (mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Titicaca	331.3	299.3	352.5	263.6	1246.7	334.8	300.6	356.7	261.0	1253.0	1.1	0.4	1.2	-1.0	0.5

#### 4.1.5. Escorrentía Superficial

##### 4.1.5.1. Región Hidrográfica del Pacífico

En la Región Hidrológica Pacífico 5 se produce los más altos valores de escorrentía anual con valores de 126.2 y 158.0 mm para los períodos 1970-1999 y 1980 - 2009, respectivamente. La menor disponibilidad hídrica se produce en la región hidrológica Pacífico 1 con un escurrimiento anual de 58.3 mm y 57.1 mm para los dos períodos evaluados. En el ciclo anual del escurrimiento, es en el trimestre DEF que se concentra la mayor disponibilidad hídrica en la mayor parte de las regiones, excepto en la región hidrológica Pacífico 6 donde la mayor disponibilidad de agua es en MAM. Por otro lado la menor disponibilidad de agua se distribuye en el trimestre JJA en todas las regiones.

El período 1980-2009, es más húmedo que el período 1970-1999 en todas las regiones hidrológicas, excepto en la región 1, donde se observa una disminución de la escorrentía anual de -2%. Los cambios más relevantes que se presenta en la escorrentía anual se da en las regiones 4, 5 y 6 donde se registra un incremento de 14.9%, 25.2% y 15.9%, respectivamente. A nivel trimestral se observa para el período 1980-2009 cambios significativos en la región Pacífico 5, con un incremento de 100.8% de la escorrentía del trimestre SON y una disminución de -18.3% en el trimestre JJA. En la Tabla 4.13 se puede observar el detalle del comportamiento anual y trimestral de esta variable.

Tabla 4-13 Climatología del Esgurrimento Superficial en la Región

Región	CLIMATOLOGIA DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL(mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Pacífico 1	7.3	27.0	20.8	3.2	58.3	7.4	26.4	19.9	3.5	57.11	1.9	-2.2	-4.6	7.8	-2.0
Pacífico 2	11.8	55.8	38.0	5.6	111.1	17.4	61.7	36.2	5.5	120.8	47.4	10.7	-4.5	-1.3	8.8
Pacífico 3	9.0	26.7	26.5	2.3	64.5	10.6	28.8	26.3	2.5	68.2	18.2	7.8	-0.9	9.1	5.7
Pacífico 4	14.7	40.8	33.3	2.8	91.6	21.7	47.0	34.2	2.3	105.31	47.5	15.2	2.8	-16.9	14.9
Pacífico 5	22.5	38.2	54.5	11.0	126.2	45.1	44.9	58.9	9.0	157.98	100.8	17.6	8.1	-18.3	25.2
Pacífico 6	8.8	46.6	49.1	7.4	111.9	10.2	56.3	56.7	6.5	129.73	15.3	20.9	15.5	-12.1	15.9

#### 4.1.5.2. Región Hidrográfica del Atlántico

Para esta región hidrográfica se ha determinado que la región hidrológica Atlántico 8, es la de mayor escurrimento anual, con una lámina anual de 782.0 mm y 899.0 mm para los períodos de referencia 1970-1999 y 1980-2009. La menor disponibilidad hídrica se produce en la región Atlántico 10 con una lámina anual de 164.0 mm y 176.0 mm para cada período evaluado. En el ciclo anual del escurrimento, se ha determinado que en todas las regiones, en el trimestre DEF se concentra la mayor escorrentía, mientras que la menor escorrentía se distribuye en el trimestre JJA.

El período 1980-2009, es más húmedo en todas las regiones, con variaciones en la escorrentía anual que van desde 0.9% a 15% de incremento en las regiones Atlántico 13 y Atlántico 8, respectivamente. A nivel trimestral los cambios más significativos se dan en el trimestre SON en todas las regiones, con una disminución en la escorrentía en el rango de -29.6% (Atlántico 7) a -18.5% (Atlántico 13). En el trimestre MAM la escorrentía se incrementa en un rango que va de 9.8% (Atlántico 13) a 18.6% (Atlántico 9). Mayor detalle de los cambios en la escorrentía se presenta en la Tabla 4.14.

Tabla 4-14 Climatología del Esgurrimento Superficial en la Región Hidrográfica del Atlántico

Región	CLIMATOLOGIA DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL(mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Atlántico 7	70.9	525.6	162.7	11.8	771.1	50.0	546.1	181.9	13.0	791.0	-29.6	3.9	11.8	9.9	2.6
Atlántico 8	73.3	317.0	286.4	105.2	781.9	52.8	340.6	330.9	174.7	899.0	-27.9	7.4	15.5	66.1	15.0
Atlántico 9	49.5	318.3	297.3	48.3	713.4	37.3	343.9	352.6	58.2	792.0	-24.7	8.1	18.6	20.5	11.0
Atlántico 10	23.8	62.4	57.3	20.5	163.9	26.0	66.4	65.1	18.5	176.0	9.5	6.4	13.6	-9.5	7.4
Atlántico 11	69.4	283.4	231.8	58.3	642.9	52.6	299.2	260.3	64.0	676.0	-24.2	5.6	12.3	9.7	5.1
Atlántico 12	69.3	335.7	213.6	33.6	652.3	49.8	345.9	243.3	36.0	675.0	-28.1	3.0	13.9	7.2	3.5
Atlántico 13	35.6	270.7	91.5	13.6	411.4	29.0	272.0	100.5	13.5	415.0	-18.5	0.5	9.8	-0.6	0.9

#### 4.1.5.3. Región Hidrográfica del Titicaca

Sobre esta región se ha determinado un comportamiento más seco del período 1980-2009, con una disminución del escurrimiento anual de -4.7% con respecto al período 1970-1999. A nivel trimestral también se observa una disminución del escurrimiento en los trimestres SON, DEF y MAM; mientras que en el trimestre JJA se observa un incremento de la escorrentía. Mayor detalle de los cambios de la escorrentía en esta vertiente se presenta en la Tabla 4.15

Región	CLIMATOLOGIA DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL(mm)														
	1970-1999					1980-2009					Variación (%)				
	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO	SON	DEF	MAM	JJA	AÑO
Titicaca	12.8	82.1	50.0	9.3	154.2	12.6	76.9	47.9	9.6	147.0	-2.0	-6.4	-4.2	3.9	-4.7

Tabla 4-15 Climatología del Escurrimiento Superficial en la Región Hidrográfica del Titicaca

#### 4.2. El Clima y Disponibilidad de Agua Futura

El análisis del clima y la disponibilidad de agua proyectados al 2050, ha sido realizado de acuerdo al procedimiento descrito en el marco metodológico y los resultados son expuestos siguiendo el mismo formato utilizado en la caracterización del clima y disponibilidad hídrica presente presentado en el ítem 4.1.

##### 4.2.1. Cambios Esperados en la Temperatura máxima

Las simulaciones realizadas con dos modelos climáticos y dos escenarios de Emisión nos indica que los cambios que se produciría para el año 2050 en el promedio anual de la temperatura máxima mostrará diferentes matices en cada región hidrográfica del Perú; según la descripción siguiente:

##### 4.2.1.1. Región Hidrográfica del Océano Pacífico

En esta región, la región hidrológica Pacífico 1, experimentaría los mayores cambios en la Temperatura máxima, con un incremento en el promedio anual de 2.7°C y 2.8°C, considerando el promedio de los 2 modelos climáticos para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla de Resultados 4.16. La proyección térmica de menor calentamiento se presentaría en la región Pacífico 6, con un incremento promedio en la temperatura máxima anual de 1.5° y 1.6°C para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente.

Tabla 4-16 Cambios esperados en la Temperatura máxima anual en la Región Hidrográfica del Pacífico para el año 2050

TEMPERATURA MAXIMA ANUAL 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Pacífico 1	19.9	22.3	22.8	22.6	2.7	21.7	23.6	22.7	2.8
Pacífico 2	19.6	21.5	22.4	22.0	2.4	21.0	23.1	22.1	2.5
Pacífico 3	23.0	24.4	25.3	24.9	1.9	23.9	25.9	24.9	1.9
Pacífico 4	19.0	20.1	21.3	20.7	1.7	19.9	21.9	20.9	1.9
Pacífico 5	24.4	25.5	26.5	26.0	1.6	25.2	27.0	26.1	1.7
Pacífico 6	28.4	29.5	30.2	29.9	1.5	29.2	30.7	30.0	1.6

#### 4.2.1.2. Región Hidrográfica del Atlántico

En esta región, la región hidrológica Atlántico 13, experimentaría los mayores cambios en la Temperatura máxima, con un incremento en el promedio anual de 2.2°C y 2.0°C, considerando el promedio de los 2 modelos climáticos para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla de resultados 4.17.

La condición térmica de menor calentamiento se esperaría para la región Atlántico 10, en los cuales la temperatura máxima presentaría un incremento en el promedio anual de 1.8°C y 1.9°C, para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente.

Tabla 4-17 Cambios esperados en la Temperatura máxima anual en la Región Hidrográfica del Atlántico para el año 2050

TEMPERATURA MAXIMA ANUAL 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Atlántico 7	27.1	28.8	29.3	29.1	2.0	28.3	30.2	29.3	2.2
Atlántico 8	30.7	32.5	32.7	32.6	1.9	32.0	33.7	32.9	2.2
Atlántico 9	29.5	31	31.5	31.3	1.8	31.0	32.2	31.6	2.1
Atlántico 10	21.1	22.4	23.3	22.9	1.8	22.2	23.8	23.0	1.9
Atlántico 11	27.8	29.3	29.8	29.6	1.8	29.0	30.6	29.8	2.0
Atlántico 12	30.1	31.7	32.2	32.0	1.9	31.0	33.1	32.1	2.0
Atlántico 13	21	23	23.3	23.15	2.2	22.0	24.0	23.0	2.0

#### 4.2.1.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta región altiplánica se tendría un mayor calentamiento en la temperatura máxima, con un incremento promedio anual de 3.3°C y 3.4°C para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla de resultados 4.18.

Tabla 4-18 Cambios esperados en la Temperatura máxima anual en la Región Hidrográfica del Titicaca para el año 2050

TEMPERATURA MAXIMA (°C) 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009 °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C
Titicaca	14.7	18.5	17.4	18.0	3.3	18.0	18.1	18.1	3.4

#### 4.2.2. Cambios Esperados en la Temperatura Mínima

En el caso de la temperatura mínima, en algunas regiones, se esperaría para el año 2050 un calentamiento mayor que en el caso de la temperatura máxima, según la descripción que se detalla a continuación.

##### 4.2.2.1. Región Hidrográfica del Pacífico

En esta región, la región hidrológica Pacífico 1, experimentaría los mayores cambios en la Temperatura mínima, con un incremento en el promedio anual de 2.9 °C y 2.8 °C, considerando el promedio de los 2 modelos climáticos para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla de Resultados 4.19. El menor calentamiento se presentaría en la región Pacífico 5, con un incremento promedio en la temperatura mínima anual de 1.5 °C y 2 °C para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente

Tabla 4-19 Cambios esperados en la Temperatura mínima anual en la Región hidrográfica del Pacífico para el año 2050

TEMPERATURA MINIMA ANUAL 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009 °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C
Pacífico 1	5.8	8.7	8.2	8.5	2.7	9.4	7.8	8.6	2.8
Pacífico 2	5.1	7.4	7.6	7.5	2.4	7.9	7.1	7.5	2.4
Pacífico 3	8.7	10.5	11	10.8	2.1	10.9	10.7	10.8	2.1
Pacífico 4	7.8	9.4	10.1	9.8	2.0	9.9	9.8	9.9	2.1
Pacífico 5	13.4	14.9	15.6	15.3	1.9	15.4	15.4	15.4	2.0
Pacífico 6	17.8	19.4	19.8	19.6	1.8	19.8	19.7	19.8	1.9

##### 4.2.2.2. Región Hidrográfica del Atlántico

En esta región, la región hidrológica Atlántico 13, experimentaría los mayores cambios en la Temperatura mínima, con un incremento en el promedio anual de 2.4 °C, considerando el promedio de los 2 modelos climáticos para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, tal como se detalla en la Tabla de resultados 4.20. El menor calentamiento se esperaría para la región Atlántico 10, en los cuales la temperatura mínima presentaría un incremento en el promedio anual de 1.9 °C y 2.0 °C, para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente.

Tabla 4-20 Cambios esperados en la Temperatura mínima anual en la Región hidrográfica del Atlántico para el año 2050

TEMPERATURA MINIMA ANUAL 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009 °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C
Atlántico 7	15.0	17	17.4	17.2	2.2	17.5	17.1	17.3	2.3
Atlántico 8	18.3	20.1	20.4	20.3	2.0	20.6	20.0	20.3	2.0
Atlántico 9	16.8	18.7	19.1	18.9	2.1	19.3	18.6	19.0	2.2
Atlántico 10	8.6	10.1	10.9	10.5	1.9	10.6	10.6	10.6	2.0
Atlántico 11	15.2	17	17.1	17.1	1.9	17.4	17.1	17.3	2.1
Atlántico 12	17.3	19.2	19.6	19.4	2.1	19.8	19.2	19.5	2.2
Atlántico 13	6.2	8.5	8.6	8.55	2.4	8.9	8.3	8.6	2.4

#### 4.2.2.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta región altiplánica se tendría un mayor calentamiento en la temperatura mínima, con un incremento promedio anual de 3.9 °C y 4.1 °C para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, tal como se detalla en la Tabla de resultados 4.21.

Tabla 4-21 Cambios esperados en la Temperatura mínima anual en la Región hidrográfica del Titicaca para el año 2050

TEMPERATURA MINIMA ANUAL 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009 °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C	CNRM °C	MPI °C	PROM °C	CAMBIO °C
Titicaca	-0.8	4.7	1.5	3.1	3.9	5.4	1.2	3.3	4.1

#### 4.2.3. Cambios Esperados en la Precipitación

Al igual que la variable temperatura, los cambios esperados en la precipitación en el año 2050, con respecto al periodo de referencia 1980-2009, es analizada por región hidrográfica, donde se pone de manifiesto un amplio rango de variabilidad de la precipitación anual en el territorio nacional. Estos cambios de la precipitación proyectados para los dos escenarios son cuantificados en porcentaje de cambio, respecto a la climatología del período de referencia.

##### 4.2.3.1. Región Hidrográfica del Pacífico

En esta región, los cambios proyectados para la precipitación tienen diferentes características según las regiones hidrológicas y los escenarios de emisión utilizados; así tenemos que para el escenario RCP 4.5 en las regiones Pacífico 1 y Pacífico 6 se proyecta incrementos de 0.2% y 9.8%, respectivamente. En las regiones Pacífico 2, Pacífico 3, Pacífico 4 y Pacífico 5 se proyecta disminución de la precipitación anual de -1.3%, -5.5%, -3.4%, -1.3%, respectivamente.



Para el Escenario RCP 8.5 se proyecta en las regiones Pacífico 2, Pacífico 3, Pacífico 4, Pacífico 5, incrementos en la precipitación de 2.4%, 0.4%, 5.3%, 6.8% y 24.2%, respectivamente; en la región Pacífico 1, se proyecta una disminución en la precipitación anual de -4.8%. En la Tabla de resultados 4.22, se presenta el detalle de los cambios en la precipitación proyectados para el año 2050 para esta región hidrográfica.

Tabla 4-22 Cambios esperados (%) en la precipitación anual en la Región Hidrográfica del Pacífico para el año 2050

PRECIPITACION ANUAL - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Pacífico 1	143.0	145.4	141.1	143.3	0.2	133.5	138.9	136.2	-4.8
Pacífico 2	294.0	276	304.3	290.2	-1.3	302.0	300.0	301.0	2.4
Pacífico 3	170.0	146	175.3	160.7	-5.5	173.0	168.3	170.7	0.4
Pacífico 4	285.0	246	304.6	275.3	-3.4	285.0	315.0	300.0	5.3
Pacífico 5	436.0	409	452	430.5	-1.3	433.0	498.0	465.5	6.8
Pacífico 6	349.7	336	431.7	383.9	9.8	351.0	517.6	434.3	24.2

#### 4.2.3.2. Región Hidrográfica del Atlántico

En esta región, los cambios en la precipitación anual presenta diferencias según las regiones y los Escenarios de Emisión; así tenemos que para el Escenario RCP 4.5, en las regiones Atlántico 7, Atlántico 12 y Atlántico 13 se proyecta la disminución en la precipitación anual de -2%, -0.7% y -1.0%, respectivamente. En las regiones Atlántico 8, Atlántico 9, Atlántico 10 y Atlántico 11 se proyecta incrementos de la precipitación anual del orden de 3.5%, 5.8%, 1.0% y 2.2%, respectivamente. Para el Escenario RCP 8.5, en la región Atlántico 7, se proyecta disminución en la precipitación anual de -0.6%; en las otras regiones se proyecta incrementos en el rango que va desde 1.6% a 6.8%, tal como se detalla en la Tabla de resultados 4.23.

Tabla 4-23 Cambios esperados (%) en la precipitación anual en la Región Hidrográfica del Atlántico para el año 2050

PRECIPITACION ANUAL (mm) - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Atlántico 7	1779.0	1727	1758.6	1742.8	-2.0	1778.0	1759.8	1768.9	-0.6
Atlántico 8	2078.0	2097	2203.7	2150.4	3.5	2080.0	2092.7	2086.4	0.4
Atlántico 9	1916.0	1971	2084.3	2027.7	5.8	1917.0	2162.0	2039.5	6.4
Atlántico 10	806.0	784	843.7	813.9	1.0	812.0	909.8	860.9	6.8
Atlántico 11	1698.0	1682	1788.8	1735.4	2.2	1699.0	1803.0	1751.0	3.1
Atlántico 12	1736.0	1660	1786	1723.0	-0.7	1742.0	1786.0	1764.0	1.6
Atlántico 13	1165	1107	1199.8	1153.4	-1.0	1167.0	1203.8	1185.4	1.8

#### 4.2.3.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta región los cambios proyectados en la precipitación anual son poco significativos, así tenemos que para el Escenario RCP 4.5, en toda la región altiplánica se esperaría una disminución en la precipitación de -0.9%; mientras que para el Escenario RCP 8.5 la precipitación en el año 2050 se incrementa en 2.4%. En la tabla 4.24 se detalla los resultados obtenidos

Tabla 4-24 Cambios esperados (%) en la precipitación anual en la Región Hidrográfica del Titicaca para el año 2050

PRECIPITACION ANUAL (mm) - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Titicaca	704.0	670.0	726.0	698.0	-0.9	700.0	742.0	721.0	2.4

#### 4.2.4. Cambios Esperados en la Evapotranspiración

Esta variable ha sido analizada mediante la metodología de Hargreaves-Samani que toma como insumos la temperatura máxima y mínima. De manera análoga al análisis de la precipitación, los cambios en la evapotranspiración anual que se espera para el año 2050 son expresados en porcentaje de cambio con respecto a la climatología del periodo de referencia 1980-2009 por cada región hidrológica del Perú. En términos generales esta variable se incrementaría en un rango que va desde 1.9% a 11%.

##### 4.2.4.1. Región Hidrográfica del Pacífico

En esta región, los cambios proyectados para la evapotranspiración anual indica incrementos que van desde 1.9% a 8.0 %, en las regiones Pacífico 6 y Pacífico 1, respectivamente, de acuerdo al Escenario de Emisión RCP 4.5. En el Escenario RCP 8.5, los incrementos son de mayor magnitud en un rango que va desde 3.9% a 11% como promedio anual, para estas mismas regiones.

En la Tabla 4.25 se detalla los resultados de estos cambios en la Evapotranspiración Potencial para el año 2050.

Tabla 4-25 Cambios esperados (%) en la Evapotranspiración anual en la Región Hidrográfica del Pacífico para el año 2050

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ANUAL - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Pacífico 1	1366.0	1449	1500.2	1474.6	8.0	1459.0	1572.7	1515.9	11.0
Pacífico 2	1381.4	1470	1517.6	1493.8	8.1	1469.0	1574.7	1521.9	10.2
Pacífico 3	1498.0	1527	1581.1	1554.1	3.7	1534.0	1642.2	1588.1	6.0
Pacífico 4	1271.0	1284	1353.1	1318.6	3.7	1303.0	1407.0	1355.0	6.6
Pacífico 5	1453.0	1453	1524.8	1488.9	2.5	1470.0	1583.5	1526.8	5.1
Pacífico 6	1598.0	1601	1654.8	1627.9	1.9	1614.0	1705.1	1659.6	3.9

#### 4.2.4.2. Región Hidrográfica del Atlántico

Para el Escenario de Emisión RCP 4.5, los cambios que se proyecta en la evapotranspiración Potencial anual en esta Región Hidrográfica indica incrementos que van desde 3.5% y 8.2%, en las regiones Atlántico 9 y Atlántico 13, respectivamente. Para el Escenario de Emisión RCP 8.5, el incremento de la Evapotranspiración es mayor en un rango que va desde 6.4% a 9.7% en las mismas regiones, antes señaladas. En la Tabla 4.26 se detalla los resultados de estos cambios en la Evapotranspiración Potencial para el año 2050.

Tabla 4-26 Cambios esperados (%) en la Evapotranspiración anual en la Región Hidrográfica del Atlántico para el año 2050

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ANUAL - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009 mm	CNRM mm	MPI mm	PROM mm	CAMBIO %	CNRM mm	MPI mm	PROM mm	CAMBIO %
Atlántico 7	1589.0	1685	1696	1690.5	6.4	1654.0	1784.2	1719.1	8.2
Atlántico 8	1773.3	1834	1842.4	1838.2	3.7	1826.0	1982.2	1904.1	7.4
Atlántico 9	1731.0	1771	1812.6	1791.8	3.5	1770.0	1913.5	1841.8	6.4
Atlántico 10	1412.0	1469	1519.8	1494.4	5.8	1474.0	1566.0	1520.0	7.6
Atlántico 11	1660.8	1726	1748.8	1737.4	4.6	1723.0	1836.6	1779.8	7.2
Atlántico 12	1749.0	1820	1835.3	1827.7	4.5	1801.0	1935.5	1868.3	6.8
Atlántico 13	1460.7	1568	1592.8	1580.4	8.2	1557.0	1646.6	1601.8	9.7

#### 4.2.4.3. Región Hidrográfica del Titicaca

En esta vertiente se experimentará los mayores incrementos de la Evapotranspiración Anual, así tenemos que para el Escenario de Emisión RPC 4.5 el incremento promedio proyectado para el altiplano peruano es de 14.3%, mientras que para el Escenario de Emisión RPC 8.5, el incremento es mayor con 16.1%. En la Tabla 4.27 se detalla los resultados obtenidos para esta variable.

Tabla 4-27 Cambios esperados (%) en la Evapotranspiración anual en la Región Hidrográfica del Titicaca para el año 2050

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ANUAL - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009 mm	CNRM mm	MPI mm	PROM mm	CAMBIO %	CNRM mm	MPI mm	PROM mm	CAMBIO %
Titicaca	1253.0	1419.5	1446.0	1432.8	14.3	1464.0	1446.0	1455.0	16.1

#### 4.2.5. Cambios Esperados en la Escorrentía Superficial

La Disponibilidad Hídrica superficial, cuantificada en lámina de escorrentía superficial a través del Modelo de Balance Hídrico Budyko permite tener una visión general de las condiciones media del escurrimiento superficial en las regiones hidrológicas del Perú para el año 2050. Las proyecciones de la disponibilidad de agua por Región hidrológica se describe a continuación.

#### 4.2.5.1. Región Hidrográfica del Pacífico

Para el Escenario RCP 4.5 los cambios en la escorrentía anual proyectados van desde -42.3% a 12.9%, en las regiones Pacífico 3 y Pacífico 6, respectivamente. Para el Escenario RCP 8.5 los cambios en la escorrentía anual van desde -47.9% a 58.8% en las regiones Pacífico 1 y Pacífico 6, respectivamente. En la Tabla 4.28 se presenta el detalle de los resultados de las proyecciones de la escorrentía anual en esta región hidrográfica para el 2050.

Tabla 4-28 Cambios esperados (%) en la Escoorrentía anual en la Región Hidrográfica del Pacífico.

Región	ESCORRENTIA ANUAL - 2050								
	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Pacífico 1	57.1	38.409	48.157	43.3	-24.2	13.5	46.1	29.8	-47.9
Pacífico 2	120.8	60.552	107.74	84.1	-30.3	105.1	101.2	103.2	-14.6
Pacífico 3	68.2	11.281	67.451	39.4	-42.3	65.7	57.7	61.7	-9.5
Pacífico 4	105.3	42.512	115.1	78.8	-25.2	94.1	121.0	107.5	2.1
Pacífico 5	158.0	118.95	151.46	135.2	-14.4	147.4	179.8	163.6	3.6
Pacífico 6	129.7	102.52	190.23	146.4	12.9	126.5	285.3	205.9	58.8

#### 4.2.5.2. Región Hidrográfica del Atlántico

Para el Escenario RCP 4.5 los cambios que se proyecta para la escorrentía anual fluctúa entre -10.2%, en la región Atlántico 13, hasta 7.9% en la región Atlántico 9. Para el Escenario RCP 8.5 los cambios en la escorrentía anual fluctúa entre -7% y 6.6% en las regiones Atlántico 7 y Atlántico 9, respectivamente. En la Tabla 4.29 se presenta el detalle de los resultados de las proyecciones de la escorrentía anual en esta región hidrográfica para el 2050.

Tabla 4-29 Cambios esperados (%) en la Escoorrentía anual en la Región Hidrográfica del Atlántico

Región	ESCORRENTIA ANUAL - 2050								
	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Atlántico 7	791.0	707.08	738	722.5	-8.7	761.8	710.0	735.9	-7.0
Atlántico 8	899.0	888.18	969	928.6	3.3	878.1	827.0	852.5	-5.2
Atlántico 9	792.0	818.75	891	854.9	7.9	776.8	911.0	843.9	6.6
Atlántico 10	176.0	151.55	178.2	164.9	-6.3	166.4	206.0	186.2	5.8
Atlántico 11	676.0	638.2	715	676.6	0.1	652.5	694.0	673.2	-0.4
Atlántico 12	675.0	590.55	688	639.3	-5.3	659.7	654.0	656.8	-2.7
Atlántico 13	415	335.15	410	372.6	-10.2	383.6	397.0	390.3	-6.0

#### 4.2.5.3. Región Hidrográfica del Titicaca

Para esta vertiente se espera una disminución de la escorrentía anual del orden de -28% y -23% para los dos escenarios RPC, tal como se detalla en la Tabla 4.30.

Tabla 4.30. Cambios esperados (%) en la Escorrentía anual en la Región Hidrográfica del Titicaca

Tabla 4.30. Cambios esperados (%) en la Escorrentía anual en la Región Hidrográfica del Titicaca

ESCORRENTIA ANUAL - 2050									
Región	ESCENARIO RCP 4.5					ESCENARIO RCP 8.5			
	1980-2009	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO	CNRM	MPI	PROM	CAMBIO
	mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	%
Titicaca	147.0	115.0	96.0	105.5	-28.2	116.0	110.0	113.0	-23.1

## 5. CONCLUSIONES

En términos generales, a la luz de los resultados presentados la disponibilidad de agua futura proyectada hacia el 2050, será impactada con diferentes matices en cada una de las regiones hidrológicas del Perú; así tenemos lo siguiente:

### 5.1. Región Hidrográfica del Pacífico

Se espera sobre región una menor disponibilidad de agua para el año 2050, excepto en la región hidrológica 6, donde se presentará una mayor oferta en la disponibilidad de agua. Las condiciones más críticas de deficiencia hídrica se esperaría en las regiones hidrológicas Pacífico 1 y Pacífico 3, donde la disponibilidad de agua anual se reduciría en 48% y 42%, respectivamente, impactando las cuencas de los ríos Tambo, Moquegua, Sama, Locumba y Caplina para el primer caso y las cuencas de Topará, San Juan, Pisco, Ica, Acarí y Yauca en el segundo caso. Por otro lado en las cuencas de la región Pacífico 6, como Tumbes, Chira, Piura y Cascajal la disponibilidad de agua se incrementaría hasta en 59% para la condición más crítica.

### 5.2. Región Hidrográfica del Atlántico

En esta región, los impactos en la disponibilidad de agua será más críticos en la región Atlántico 13, donde se ubica las cuencas de los ríos Mantaro, Pampas, Perené, Apurímac, Vilcanota-Urubamba y Tambo; sobre el conjunto de estas cuencas se proyecta para el año 2050 la disminución en la disponibilidad de agua anual hasta de 10%. Por otro lado en la región Atlántico 9, donde se ubica las cuencas de los ríos Morona, Alto Marañón, Pastaza, Santiago, Cenepa; se espera un incremento en la disponibilidad de agua de 8%. En las otras regiones del Atlántico los impactos en la disponibilidad de agua serán relativamente menores.

### 5.3. Región Hidrográfica del Titicaca

Sobre esta región altiplánica, los impactos potenciales del Cambio Climático se hará sentir en la disminución de la disponibilidad de agua hasta en 28% para el año 2050. Las cuencas impactadas serán Ramis, Coata, Huancané e Ilave. Sobre esta región se prevé los mayores cambios en la temperatura máxima anual y temperatura mínima anual de hasta 3.4 °C y 4.1 °C, respectivamente. La Evapotranspiración Potencial también experimentará en esta región los más altos porcentajes de cambio, alcanzando hasta 16% de incremento anual.

## 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Arias, P. Poveda G. 2004. Estimación de la relación adimensional de Budyko en Colombia. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Buytaer.W. 2012. Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos del Perú. Impacto en el Balance Hídrico. Informe hidrológico para el estudio de la Economía del Cambio Climático en el Perú.

Buytaer.W, 2011. Análisis de los potenciales impactos del cambio climático sobre el balance hídrico en los Andes Tropicales. Informe técnico del proyecto Panorama Andino. CONDESAN, Quito.

Beniston, M.,2003. Climate Change in mountain regions: a review of possible impacts Climatic Chanhe 59, 5-31.

Bates, B.C., Kundzewicz,Z.W.,Wu,S.,Palutikof, J.(Eds), 2008.Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat. Geneva.

Collischonn, B. 2006. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Huffman, G.; Adler, R.; Bolvin, D.; Gu. G.; Nelkin, E.; Bowman, K.; hong, Y.; Stocker, E.; Wolff, D. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined sensor precipitation estimates at fine scales. Journal of Hydrometeorology, Boston, v. 8, n. 1, Feb., p. 38-55.

Hong, Y; Gochis, D; Cheng, J. 2007. Evaluation of PESIANN-CCS rainfall measurement using the NAME event rain gauge network. Journal Hydrometeorology 8: 469-482.

Hong, Y; Hsu K.; Gao, X. 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using artificial neural network-cloud classification system. Journal of Applied Meteorology 43: 1834-1853.

Hsu, K., X. Gao, S. Sorooshian, and H.V. Gupta, 1997: Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. Journal of Applied Meteorology, 36,1176-1190.

Hsu, K., H.V. Gupta, X. Gao, S. Sorooshian, 1999: A neural network for estimating physical variables from multi-channel remotely sensed imagery:

application to rainfall estimation. *Water Resources Research*, 35, 1605-1618.

Hsu, K., Y. Hong, and S. Sorooshian, 2007: Rainfall estimation using a cloud patch classification map, In *Measurement of Precipitation from Space: EURAINSAT and Future*, Edited by V. Levizzani, P. Bauer, and F.J. Turk. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Ferraro, R.R. AND G.F. Marks, 1995: The development of SSM/I rain-rate retrieval algorithms using ground-based radar measurements. *Journal of Atmospheric Oceanic Technology*, 12, 755-770.

IPCC. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*.

IPCC. *Cambio Climático 2014. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas*.

Janowiak, J.E., R.J. Joyce, and Y. Yarosh, 2001: A real-time global half-hourly pixel-resolution infrared dataset and its applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 205-217.

Joyce, R.J.; Janowiak, J.E.; Arkin, P.A.; Xie, P. 2004. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 5, n. 3, june, p. 487-503.

MINEM, 2011. *Atlas del Potencial Hidroeléctrico del Perú*.

Risco, E. 2015. *Escenarios Nacionales de disponibilidad Hídrica Superficial. Informe Final de Consultoría en el Marco de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático en el Perú*.

SENAMHI. 2009. *Relación entre el Cambio Climático el retroceso de glaciares y los impactos en la disponibilidad de agua en el Perú. Estudio preparado para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático en el Perú*.

SENAMHI. 2011. *Caracterización de la oferta hídrica superficial actual y futura en las grandes cuencas de Pampas, Apurímac y Urubamba. Programa de Adaptación al Cambio Climático en Cusco y Apurímac PACC*.

SENAMHI, 2014. *Regionalización estadística de Escenarios Climáticos en el Perú. Informe preparado para el Proyecto AMICAF de la FAO*.



# **ANEXO 1 : MAPAS DE REGIONES HIDROLÓGICAS DEL PERÚ**



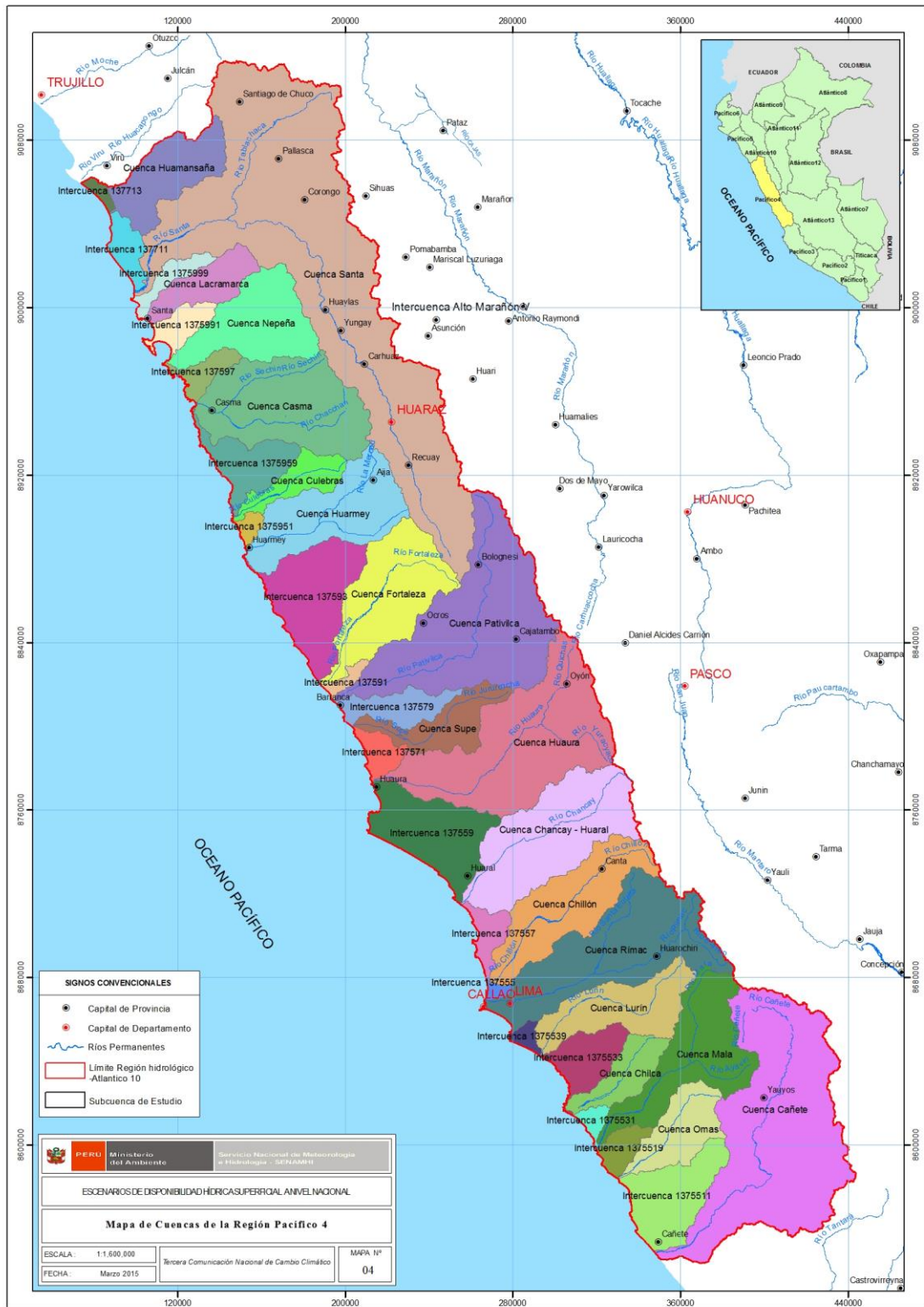
Mapa 1: Mapa de Cuenca de la Región Pacífico 1



Mapa 2: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 2



Mapa 3: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 3



Mapa 4: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 4



Mapa 5: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 5

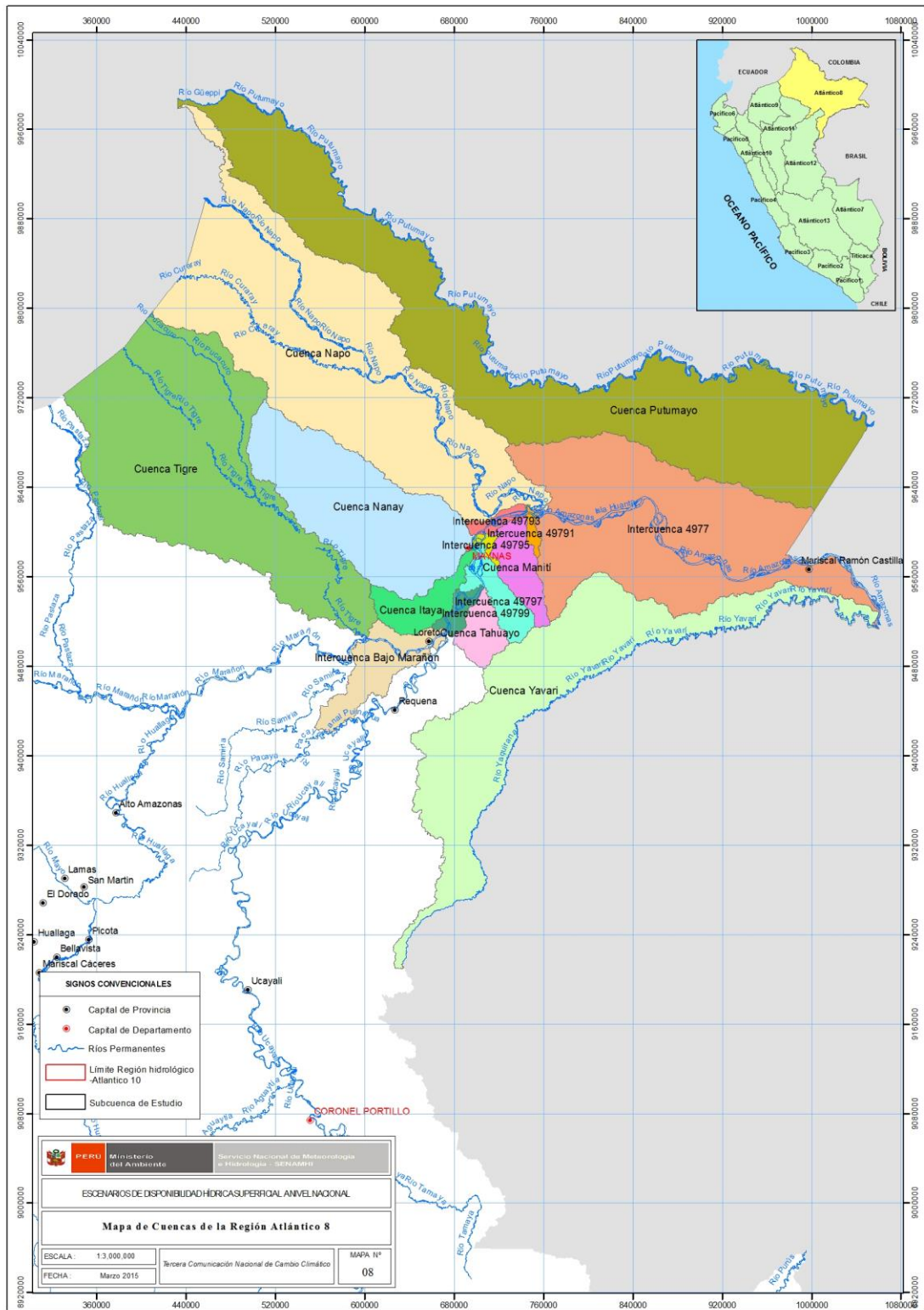


Mapa 6: Mapa de Cuencas de la Región Pacífico 6



Mapa 7: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 7

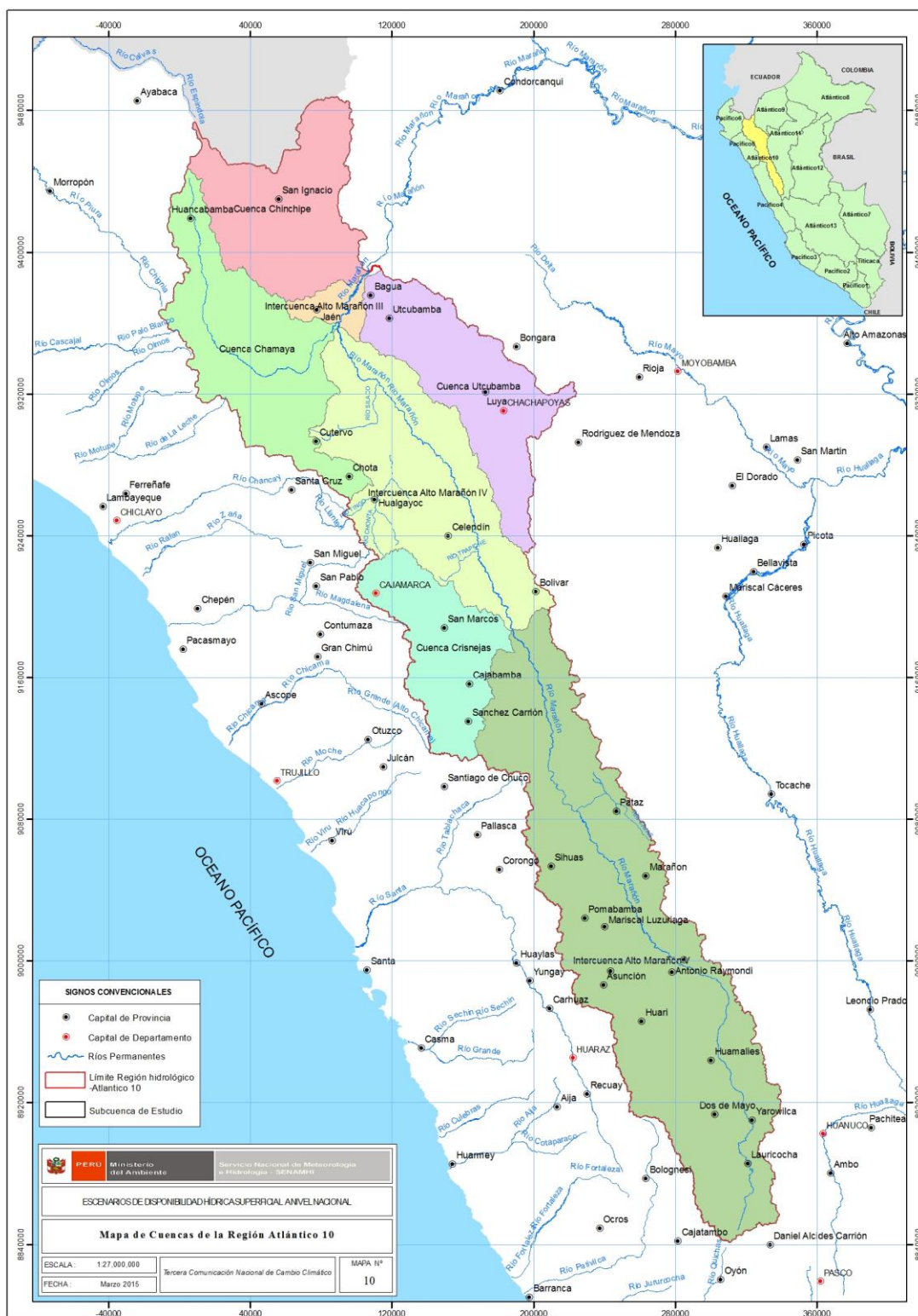




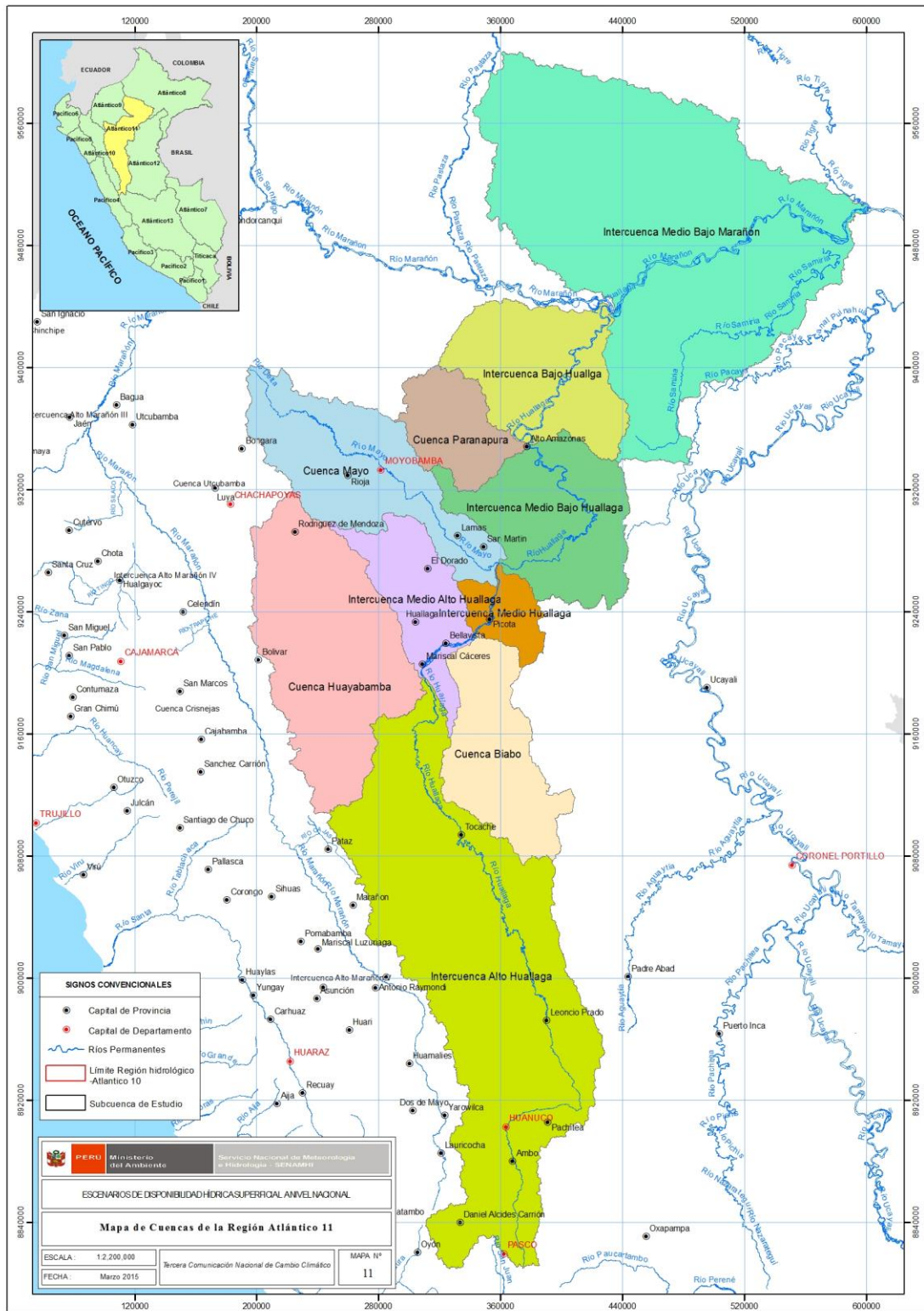
Mapa 8: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 8



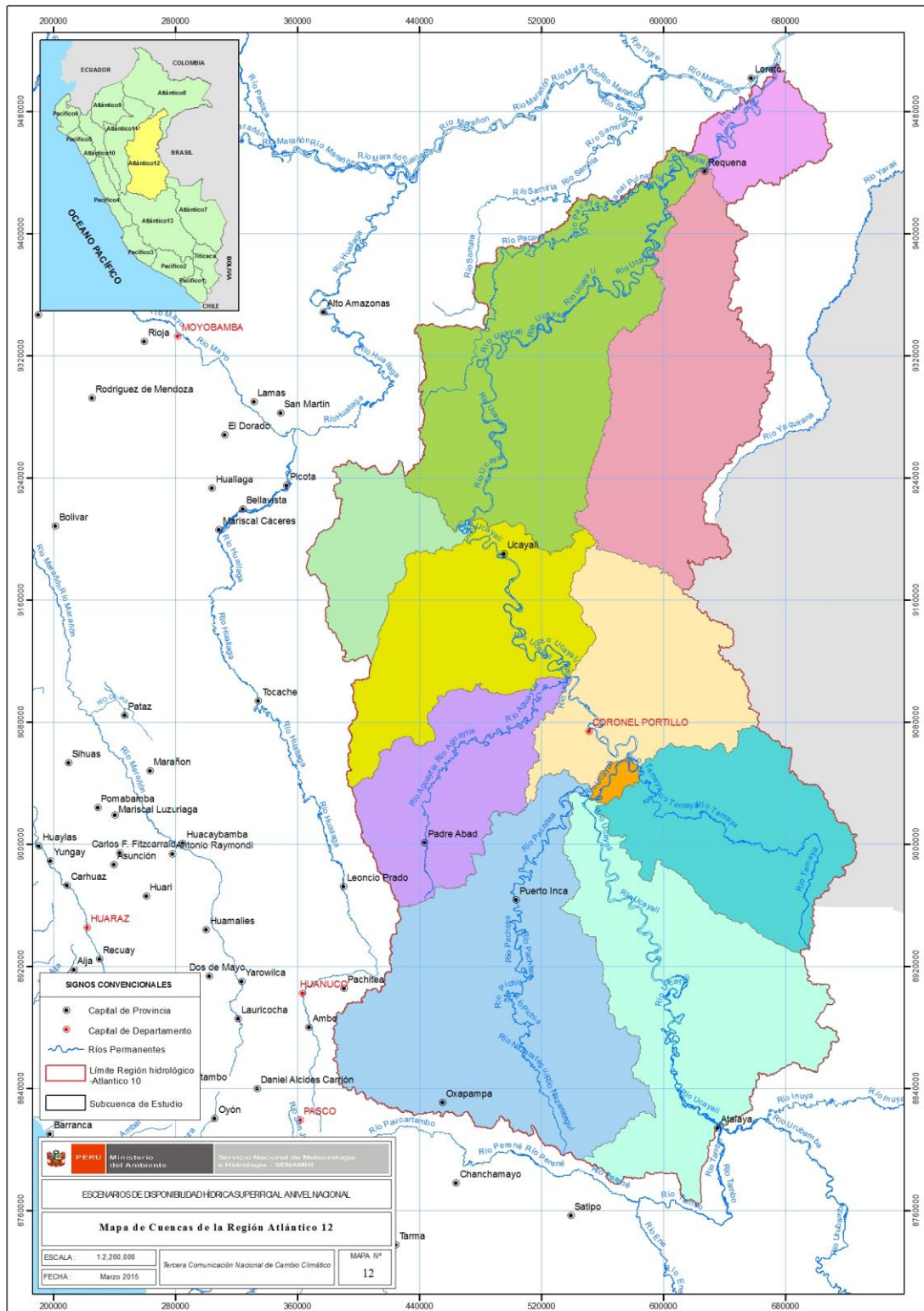
Mapa 9: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 9



Mapa 10: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 10



Mapa 11: Mapa de Cuenas de la Región Atlántico 11



Mapa 12: Mapa de Cuencas de la Región Atlántico 12



Mapa 13: Mapa de Cuenca de la Región Atlántico 13



Mapa 14: Mapa de Cuencas de la Región Titicaca

## **ANEXO 2 : MAPAS DEL CLIMA Y LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PRESENTE (1980-2009)**

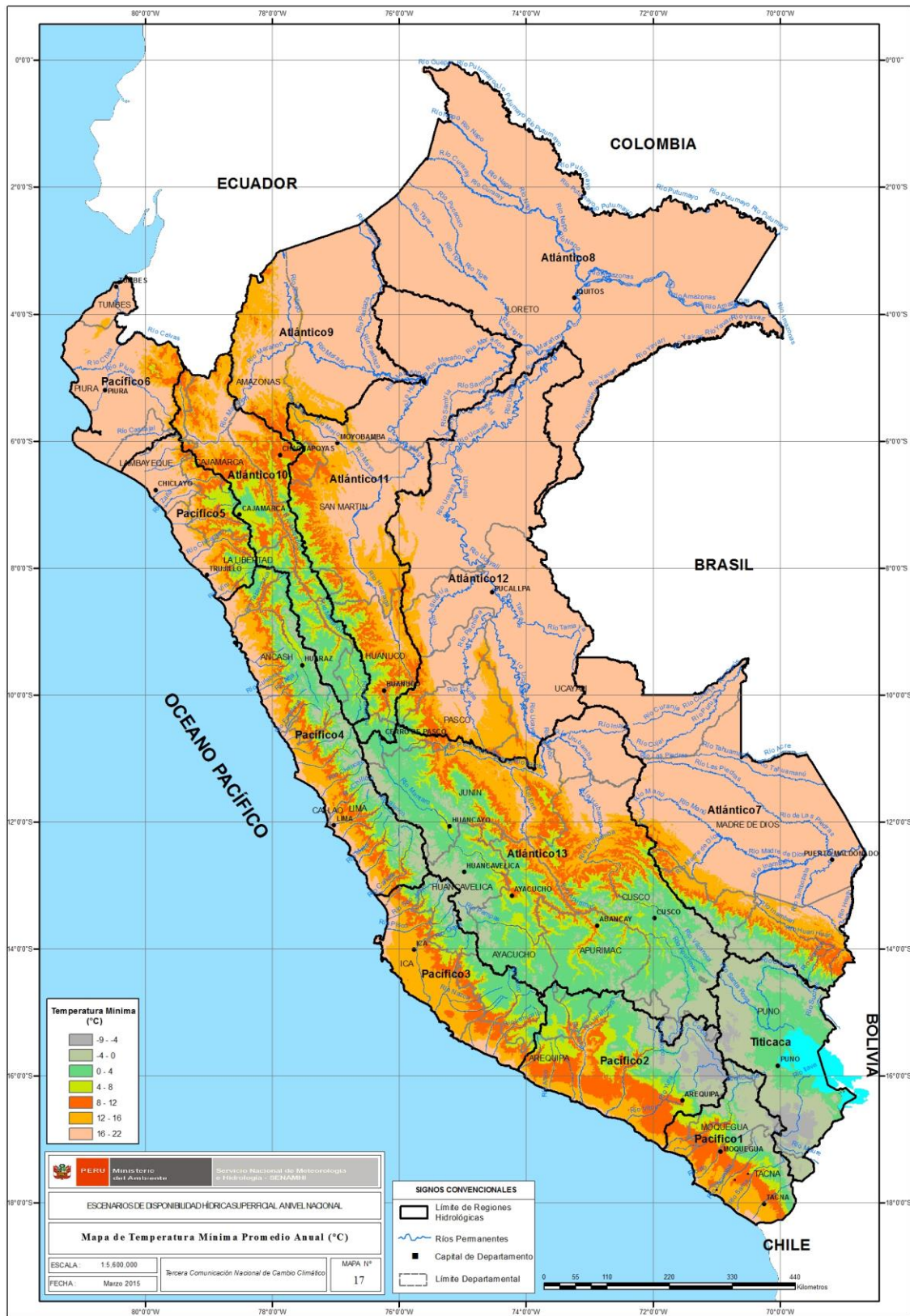




Mapa 15: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año)



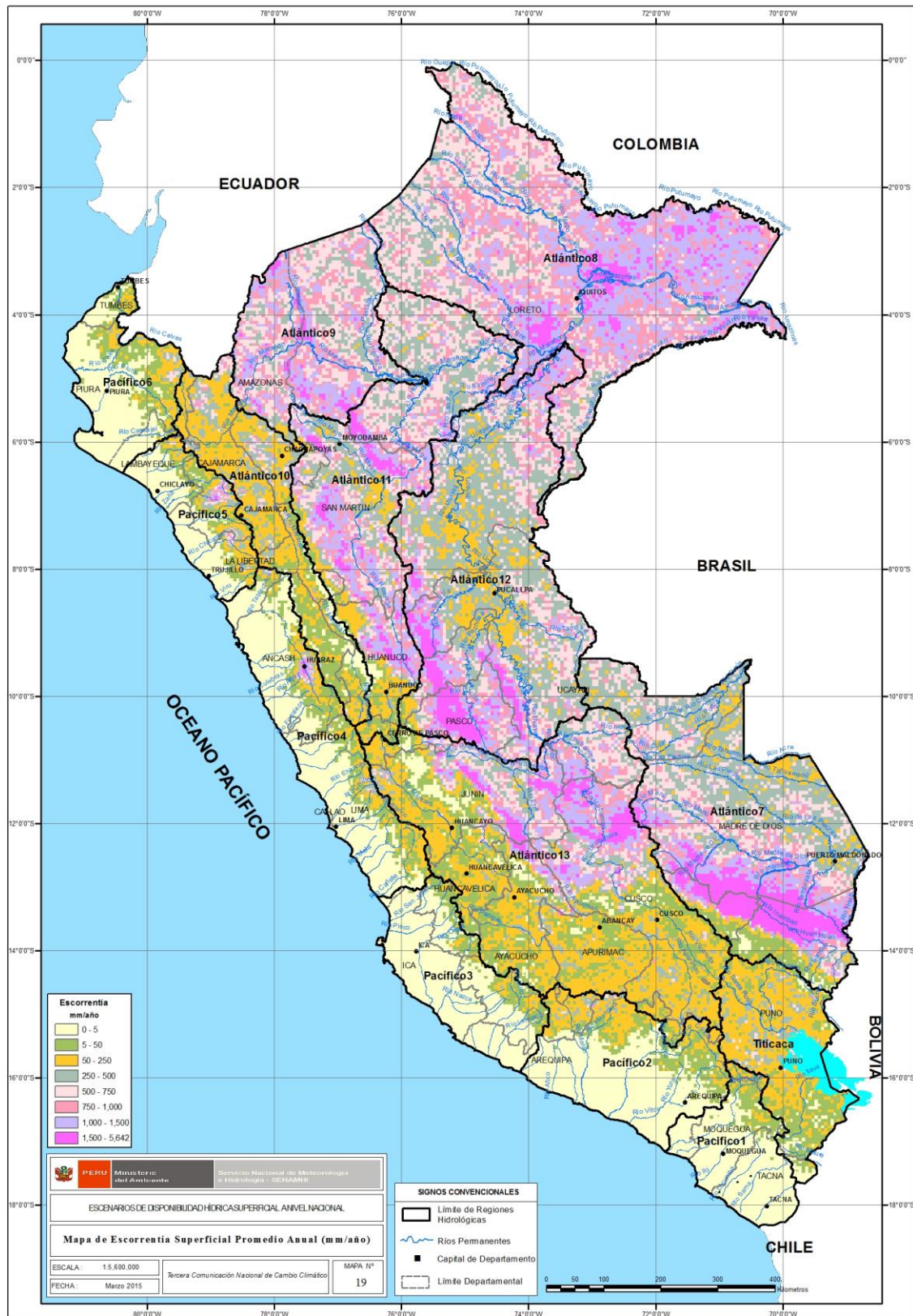
Mapa 16: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C)



Mapa 17: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C)



Mapa 18: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año)



Mapa 19: Mapa de Escorrentía Superficial promedio anual (mm/año)



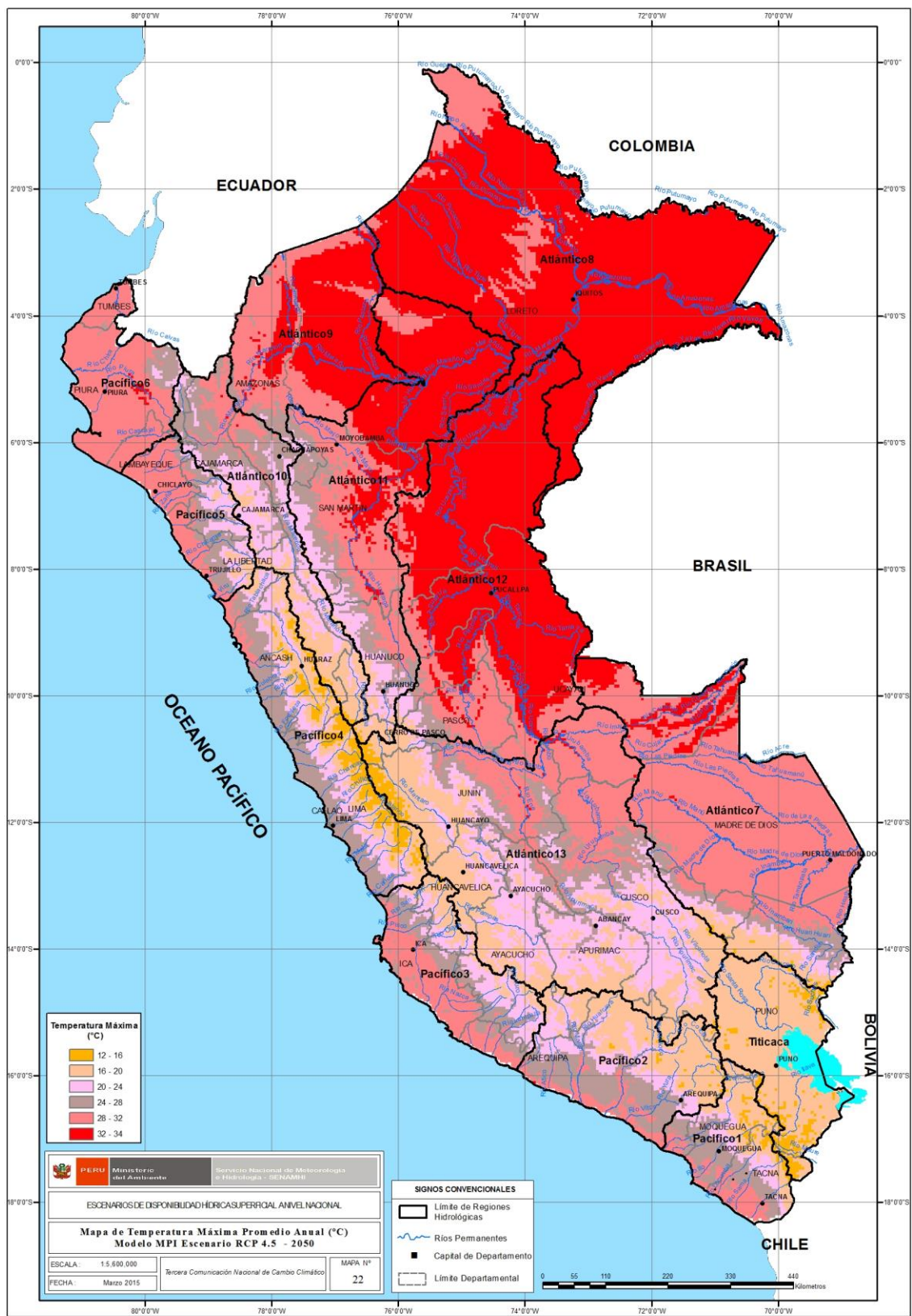
Mapa 20: Mapa de coeficiente de escorrentía anual

**ANEXO 3 : MAPAS DEL CLIMA Y LA  
DISPONIBILIDAD DE AGUA FUTURA 2050  
MODELO MPI**

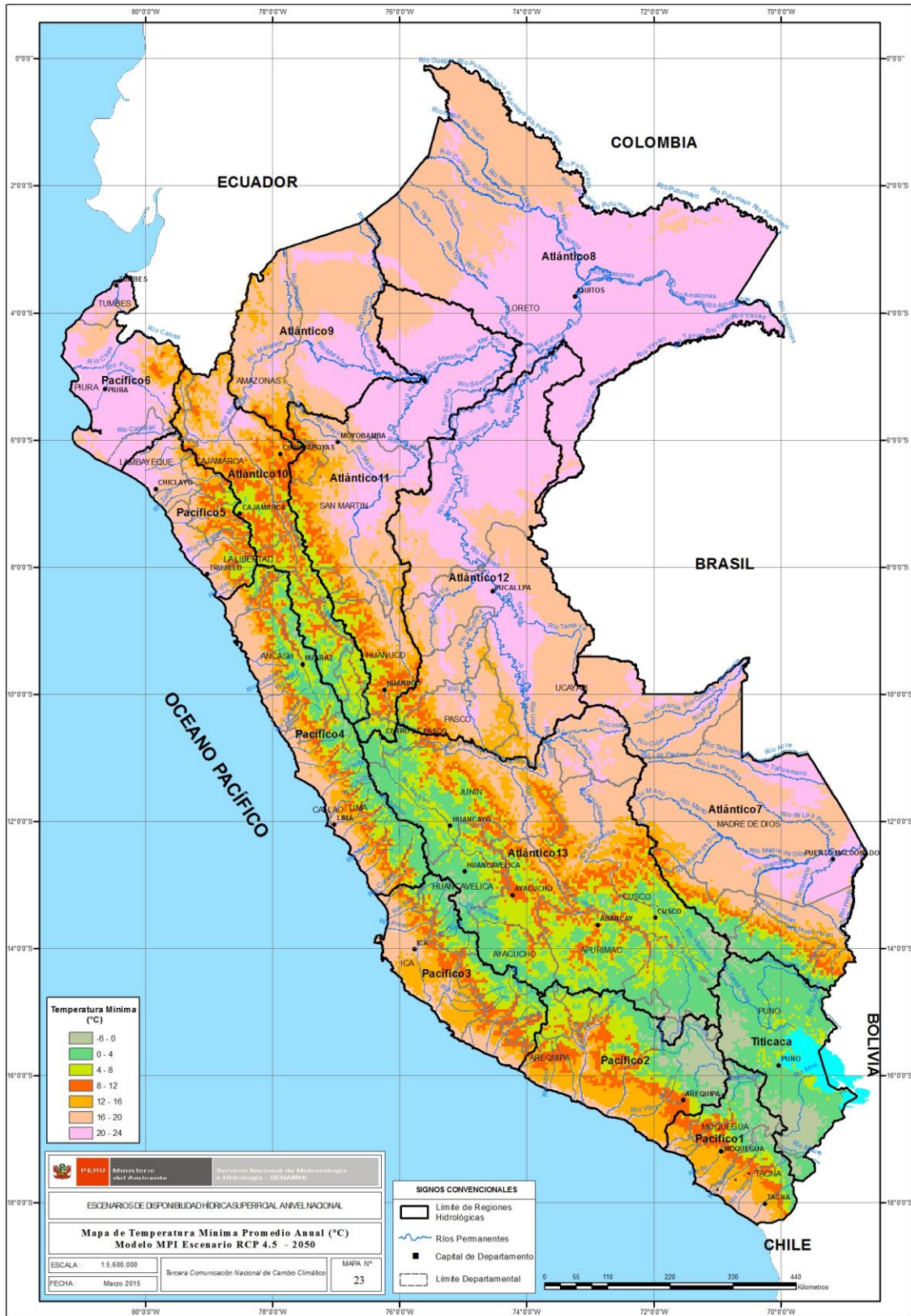


Mapa 21: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050





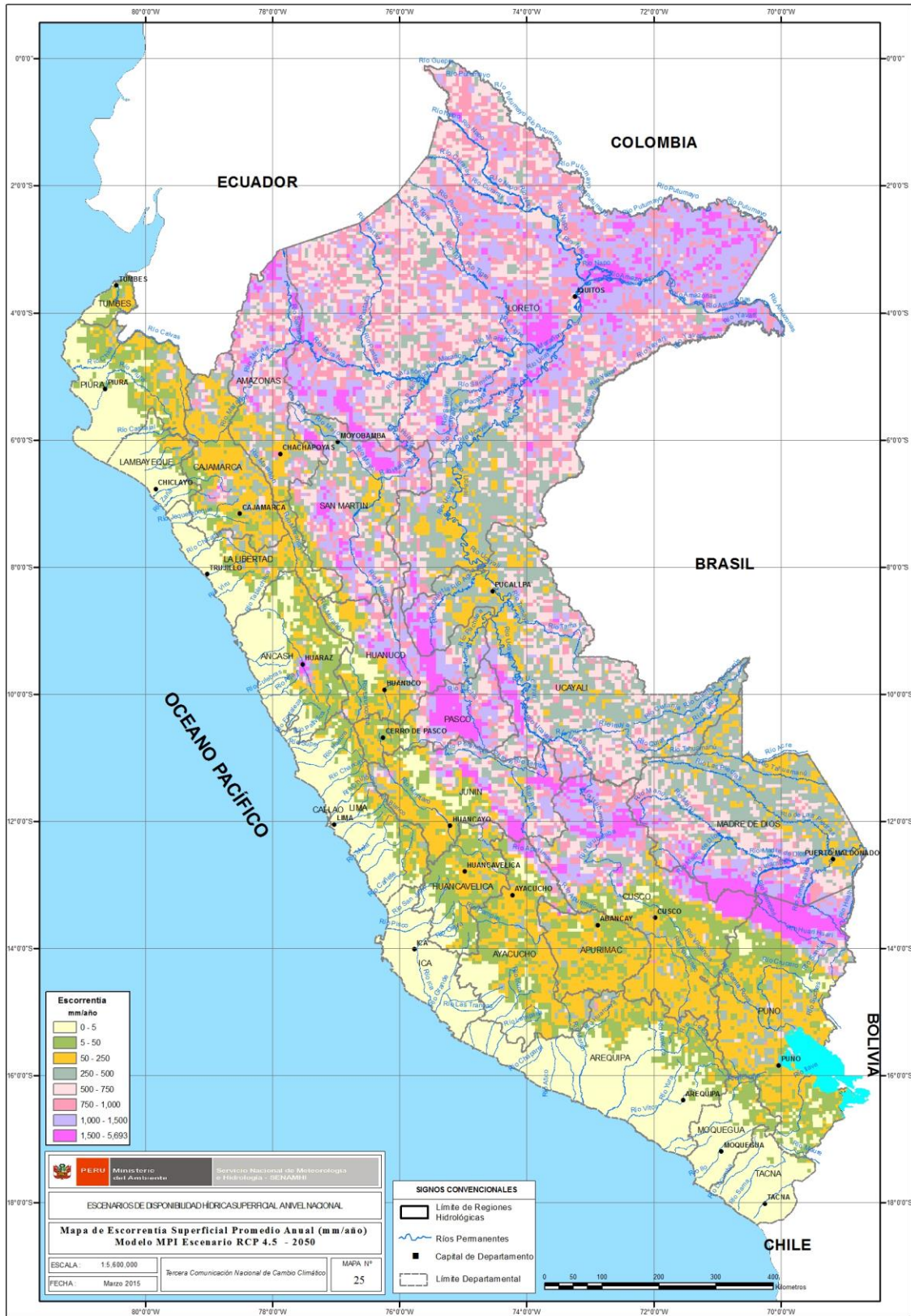
Mapa 22: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050



Mapa 23: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050



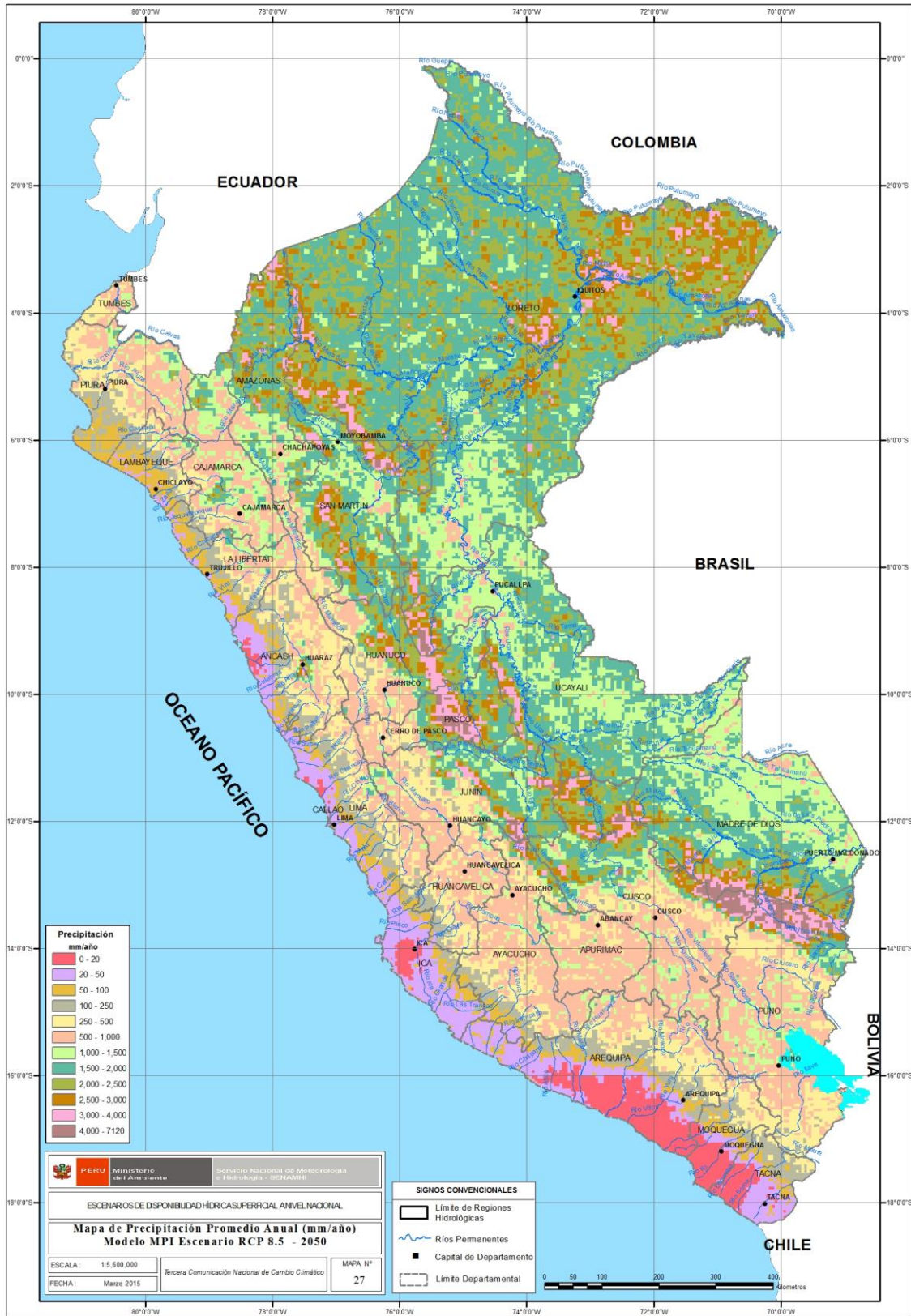
**Mapa 24: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050**



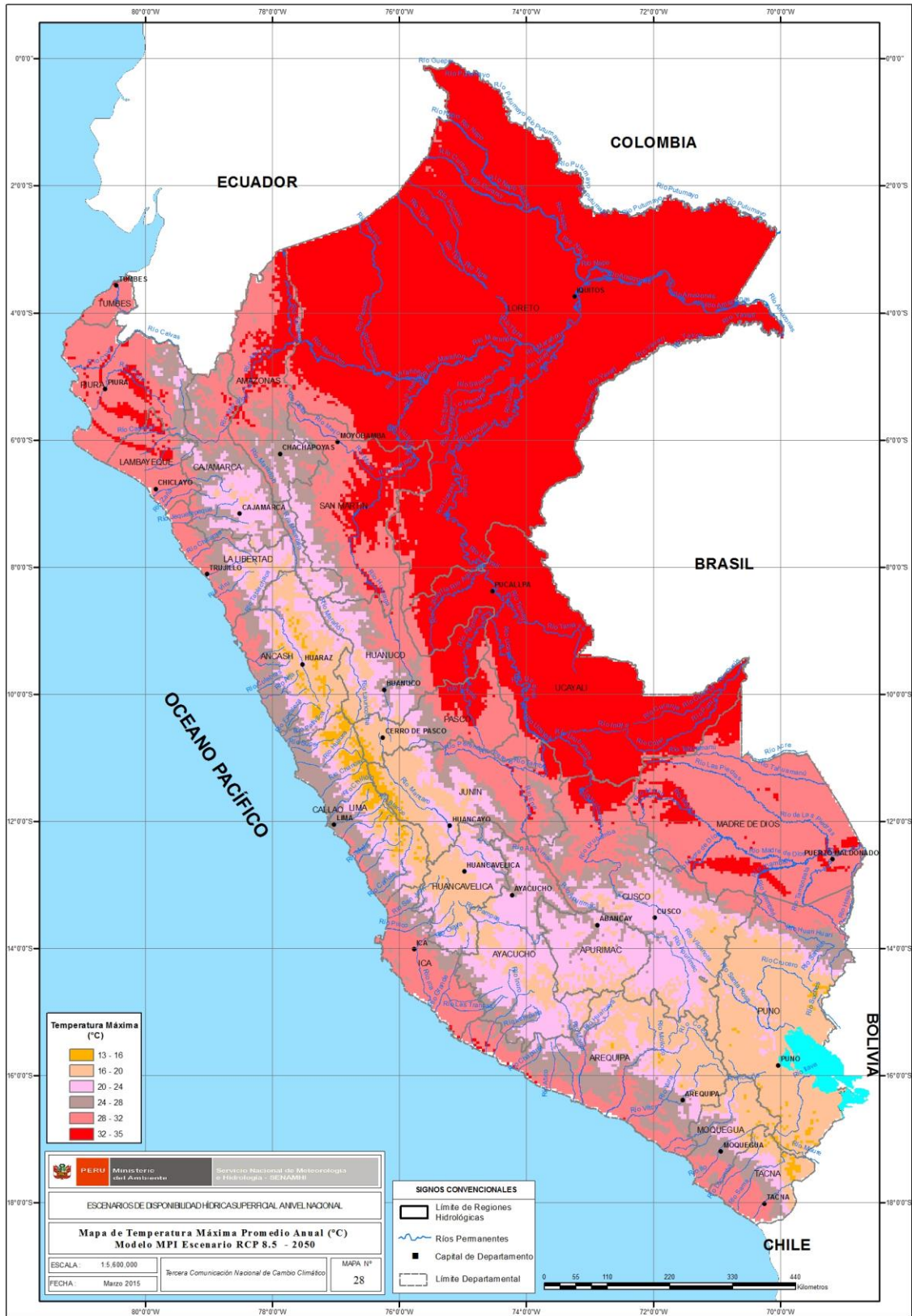
Mapa 25: Mapa de Escorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 - 2050



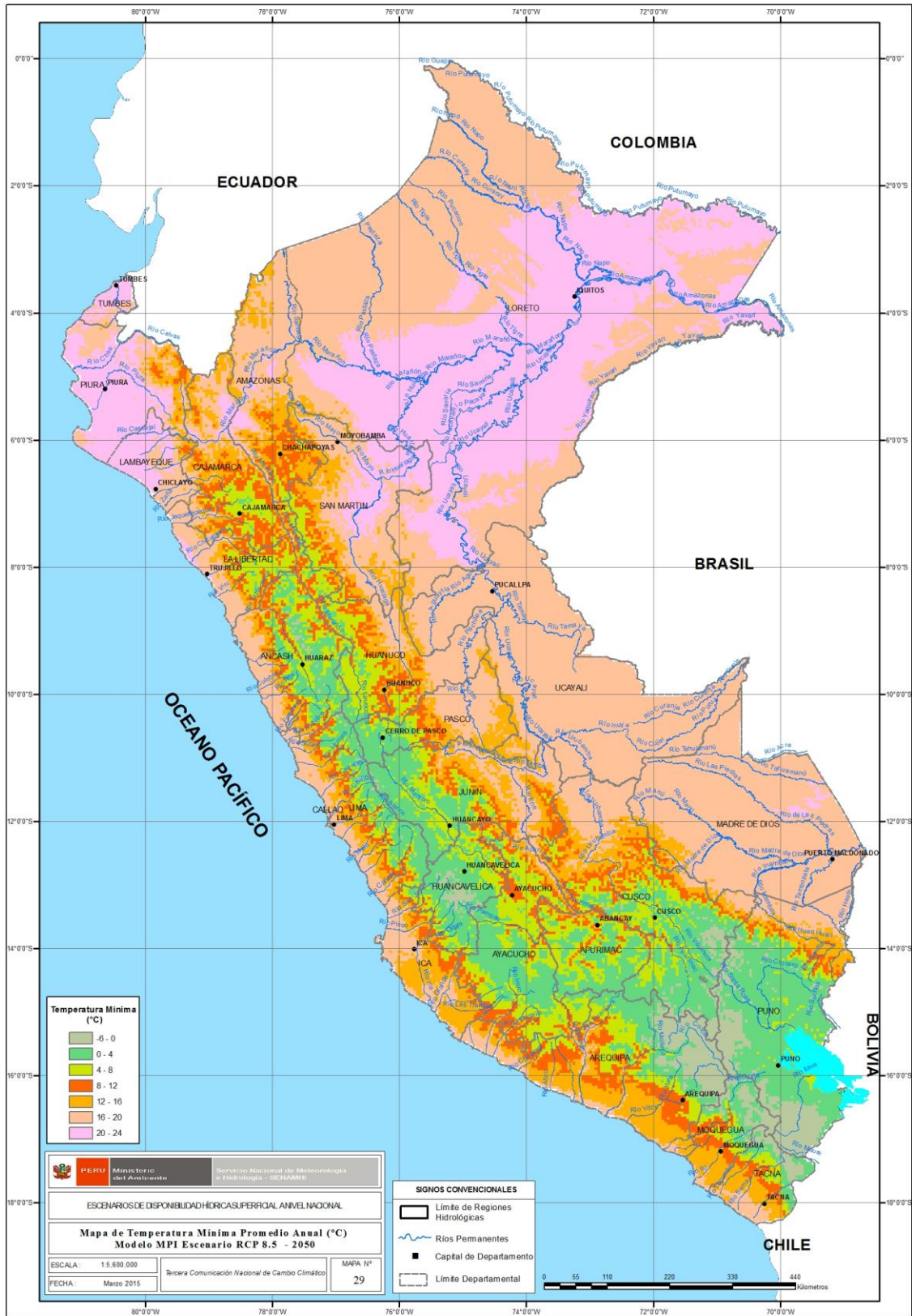
Mapa 26: Mapa de Coeficiente de escurrimiento anual. Escenario RCP 4.5 – 2050



Mapa 27: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050



Mapa 28: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050

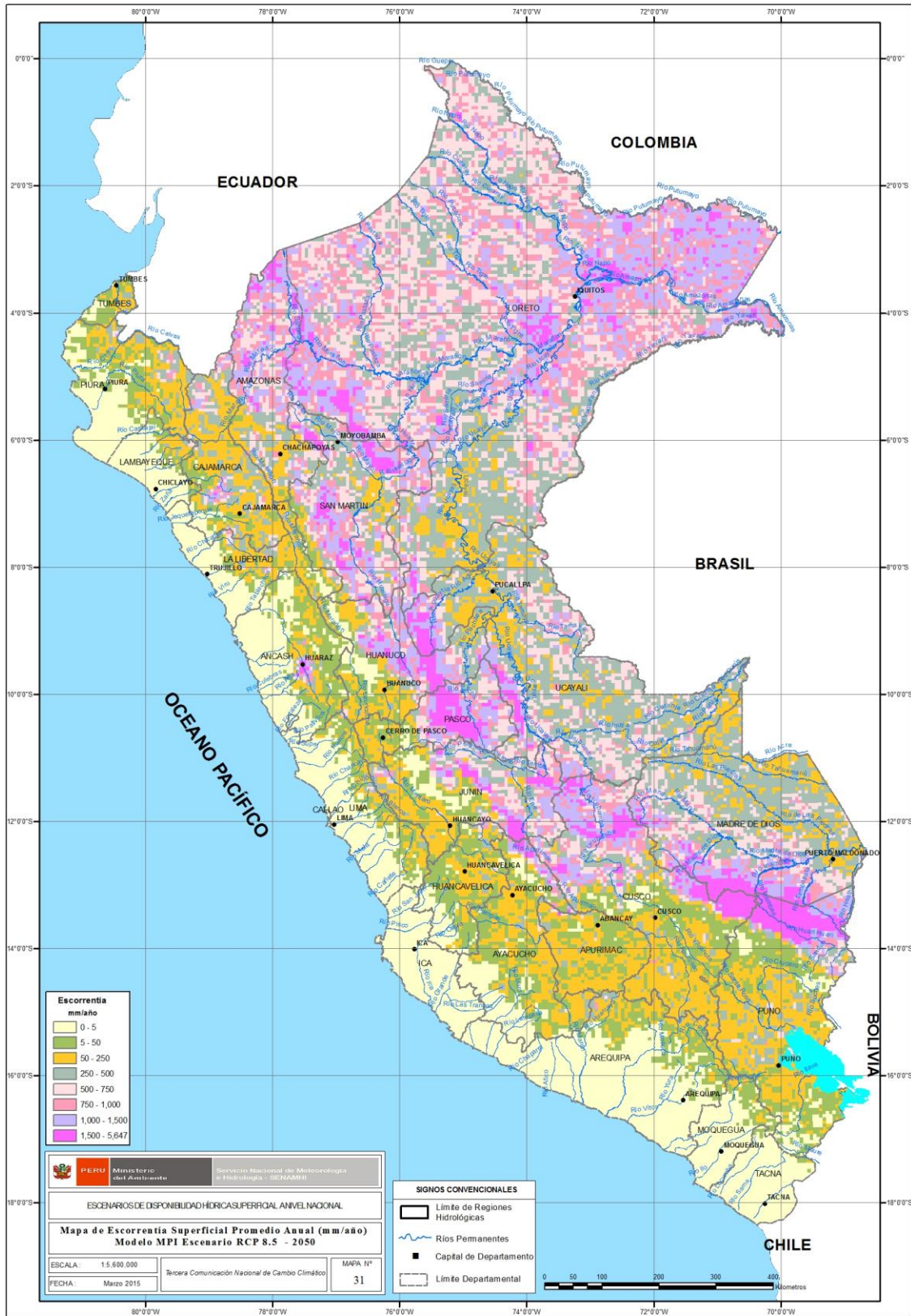


Mapa 29: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050





Mapa 30: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050



Mapa 31: Mapa de Escorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050

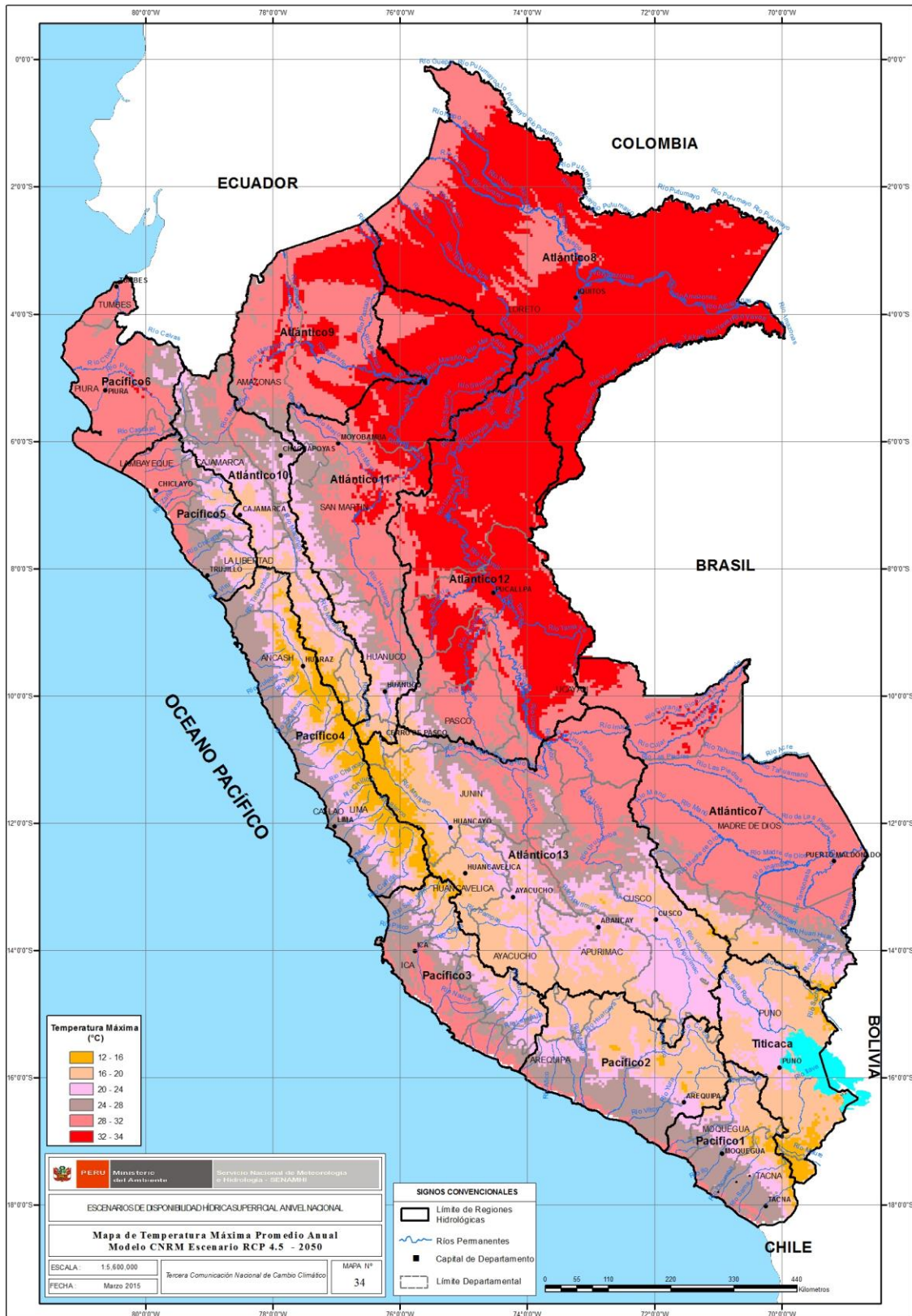


Mapa 32: Mapa de Coeficiente de escurrimiento anual. Escenario RCP 8.5 – 2050

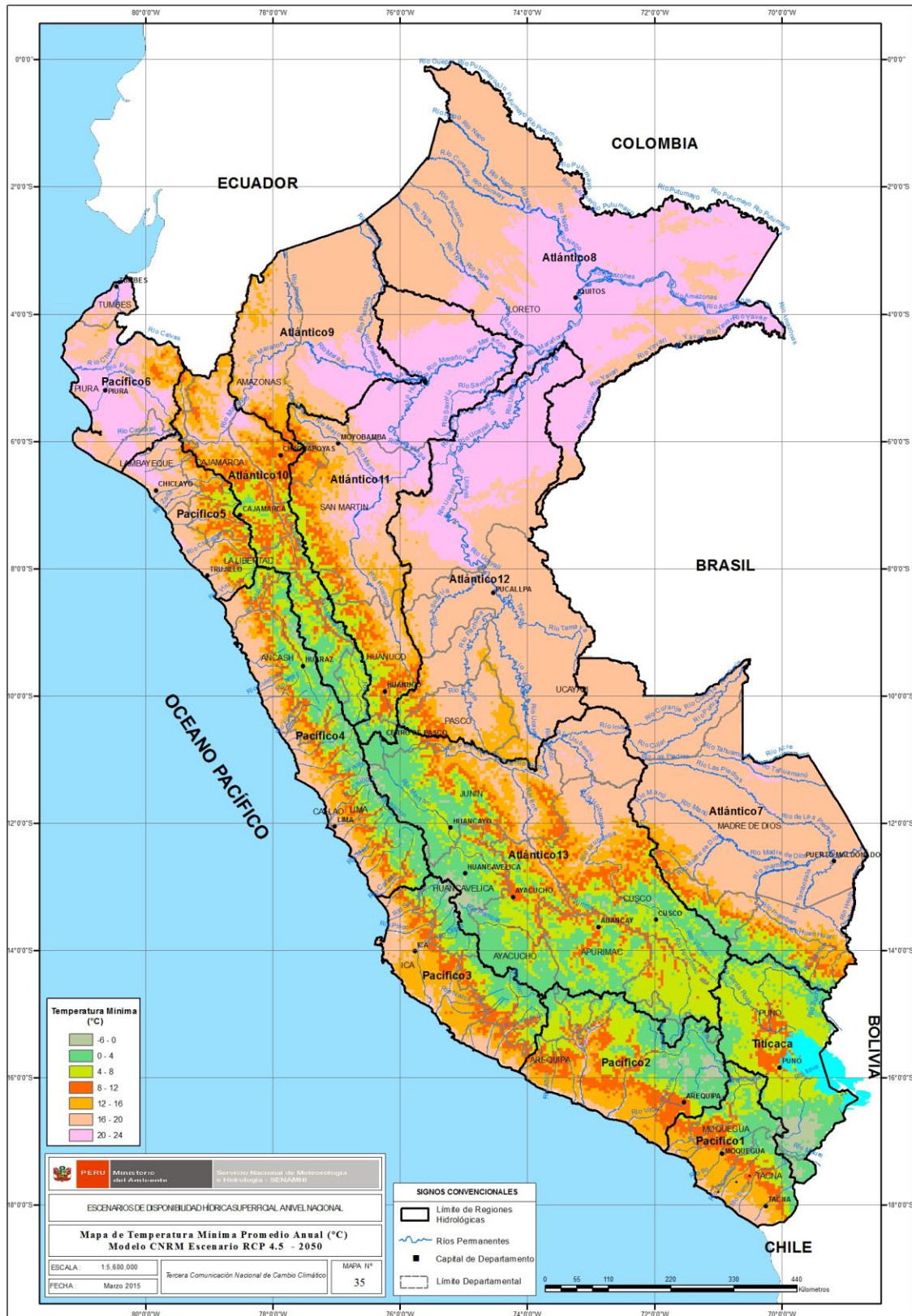
**ANEXO 4 : MAPAS DEL CLIMA Y LA  
DISPONIBILIDAD DE AGUA FUTURA 2050  
MODELO CNRM**



Mapa 33: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050



Mapa 34: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050



Mapa 35: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 4.5 – 2050



**Mapa 36: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050**





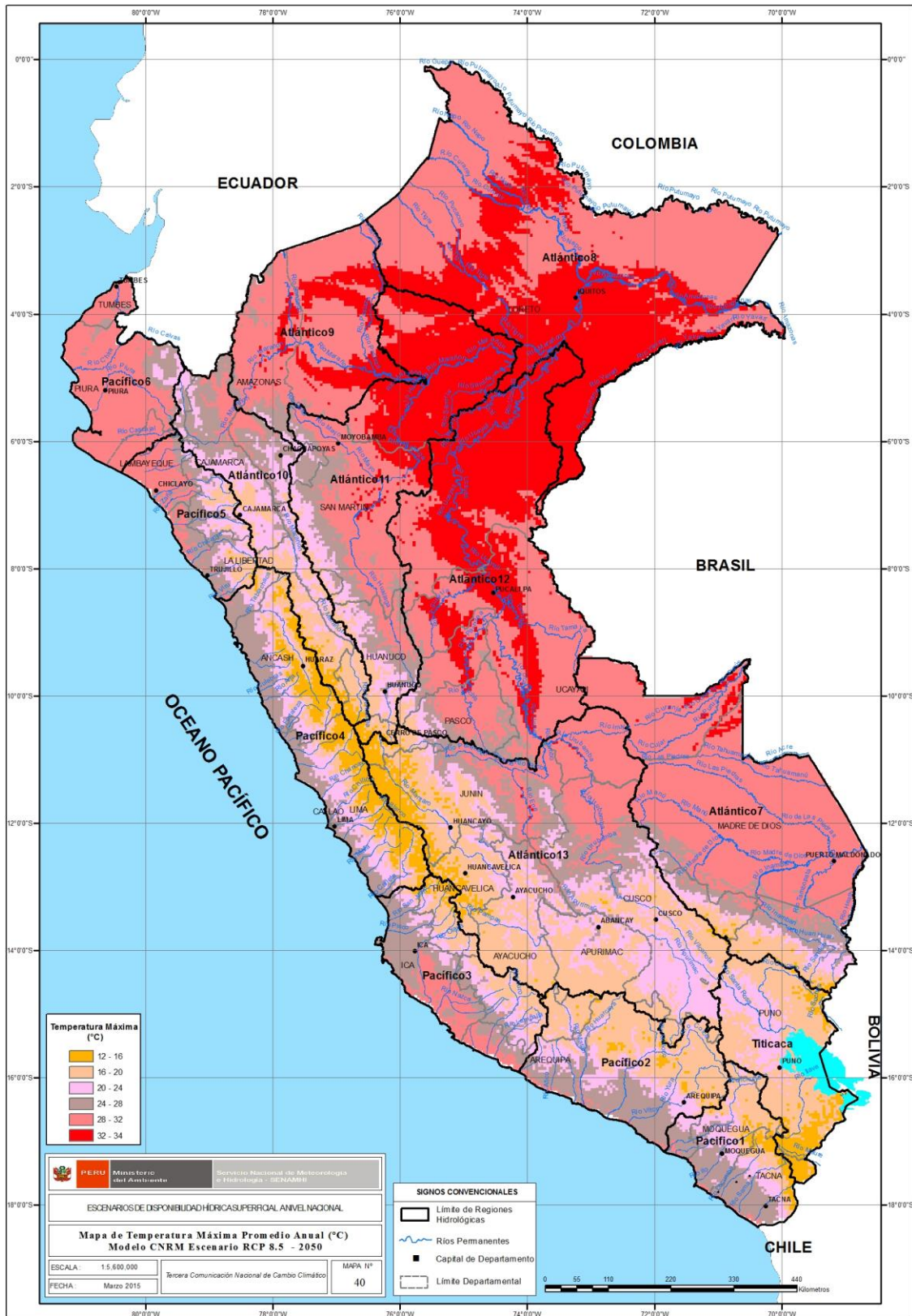
**Mapa 37: Mapa de Escorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 4.5 – 2050**



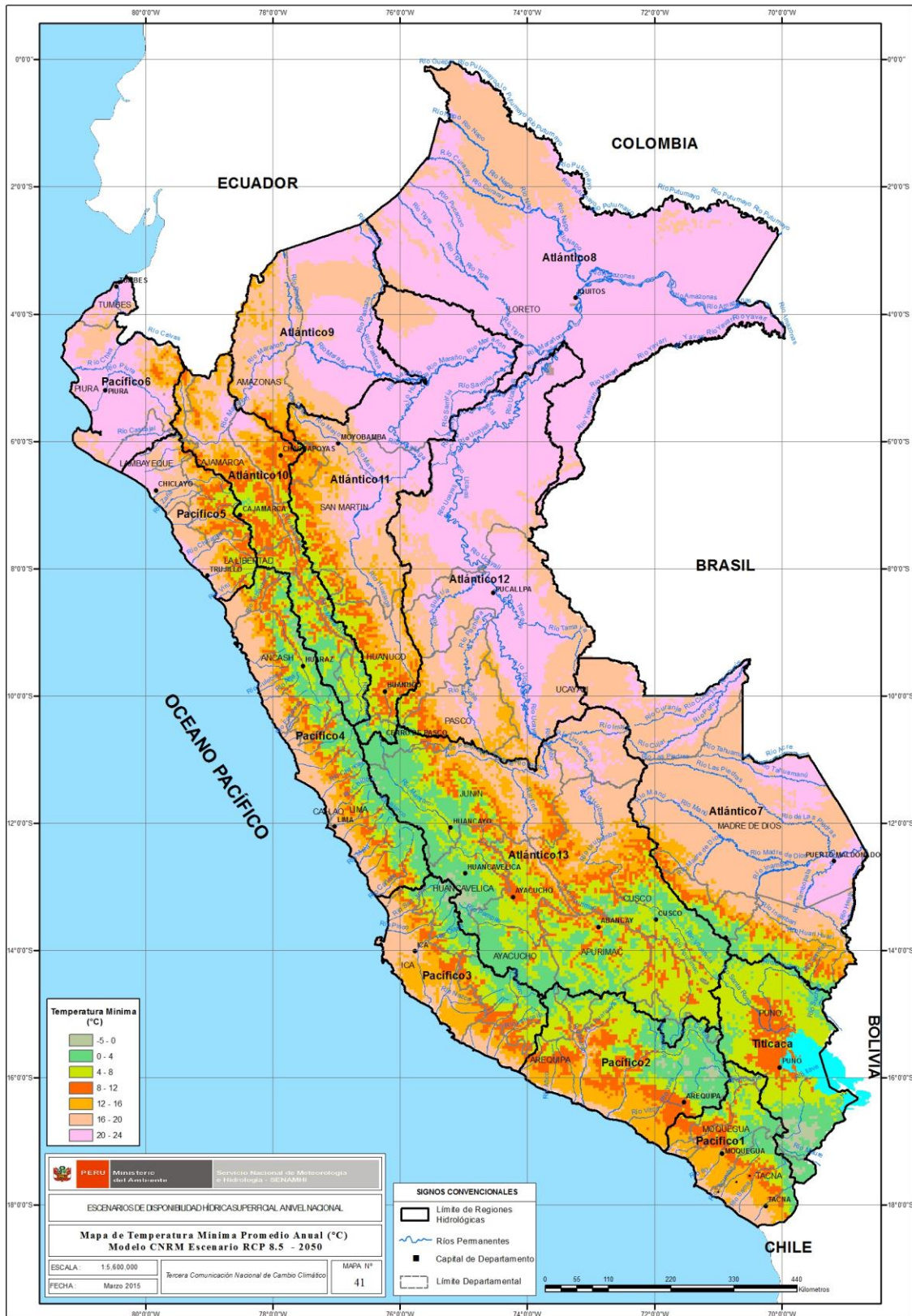
Mapa 38: Mapa de Coeficiente de escorrentía anual Escenario RCP 4.5 – 2050



Mapa 39: Mapa de Precipitación promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050



Mapa 40: Mapa de Temperatura Máxima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050



Mapa 41: Mapa de Temperatura Mínima promedio anual (°C) Escenario RCP 8.5 – 2050



**Mapa 42: Mapa de Evapotranspiración Potencial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050**



**Mapa 43: Mapa de Escorrentía Superficial promedio anual (mm/año) Escenario RCP 8.5 – 2050**



Mapa 44: Mapa de Coeficiente de escurrentía anual. Escenario RCP 8.5 - 2050



