

SEGUNDA COMUNICACIÓN NACIONAL
DE CAMBIO CLIMÁTICO

Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030



GLOBAL
ENVIRONMENT
FACILITY



ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN EL PERÚ PARA EL AÑO 2030

Autor:

SENAMHI

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

Centro de Predicción Numérica – CPN

<http://www.senamhi.gob.pe>

Autores: Ph.D. Guillermo Obregón,

Amelia Díaz

Gabriela Rosas

Grinia Avalos

Delia Acuña

Clara Oria

Alan Llacza

Richard Miguel

Año: 2009

Edición: SENAMHI

La presente publicación forma parte del componente de Vulnerabilidad y Adaptación en el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático a la CMNUCC, financiado por el GEF y coordinado por el Ministerio de Ambiente del Perú.

Ministerio de Ambiente – MINAM

Av. Guardia Civil 205, San Borja, Lima.

Teléfono: (51 – 1) 2255370 - Fax:2255369

<http://www.minam.gob.pe>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

Jr. Cahuide 785 Jesús María

Teléfonos: (51 – 1) 6141414 (central) y 6141408 (CPN)

<http://www.senamhi.gob.pe>

Depósito Legal:

Diseño : xxxxxxxxxxxx

Impresión : xxxxxxxxxxxx

Primera edición : Enero 2009

Primer Tiraje : XX ejemplares

Impreso en Perú

2009

El contenido de este documento puede ser reproducido mencionando la fuente o con autorización del autor.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

SEGUNDA COMUNICACIÓN
NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030

MINISTERIO DEL AMBIENTE

Dr. Antonio José Brack Egg
Ministro

Viceministra de Desarrollo Estratégico de Recursos Naturales

Ing. Vanessa Vereau Ladd
Directora Nacional del Proyecto

Director General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos

Eduardo Durand López-Hurtado
Director Nacional Alterno

Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Mag. FAP (r) Wilar Gamarra Molina

UNIDAD EJECUTORA DEL PROYECTO

Coordinador General: Jorge Álvarez Lam

Coordinadora de Vulnerabilidad y Adaptación: Laura Avellaneda Huamán

Coordinador de Inventarios y Mitigación: Rafael Millán García

Coordinadora en Comunicaciones: Luisa Gómez Elías / Jenny Chimayco Ortega

Administrador: Kelvin Orbegoso Contreras

Asistente: Ruth Camayo Suárez



PRESENTACIÓN

AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo expresa su agradecimiento:



Al Dr. Guillermo Obregón, científico de reconocida trayectoria del Centro de Previsión del Tiempo y Pesquisas Espaciales – CPTec de Brasil, quien brindó su conocimiento e invaluable experiencia en el desarrollo del presente trabajo y compartir sus importantes comentarios y sugerencias, así como por su estímulo por el trabajo realizado.

Agradecimiento reiterado al Centro Nacional para la Investigación de la Atmósfera – NCAR de los Estados Unidos, por la disponibilidad de la información base para la generación de escenarios regionales, los cuales han sido la información primaria para el desarrollo de este estudio.

Al Instituto Max Plank – MPI de Alemania, por su asesoría y poner a nuestra disponibilidad la información de escenarios climáticos del modelo ECHAM5.

Al Centro de Modelado Científico de la Universidad de Zulia, Venezuela.

A la Universidad de Zulia, Sub director del Centro de Modelado Científico de Venezuela.

Al Ing. Juan Guerrero, consultor del Gobierno Regional de Áncash, por sus valiosos e importantes aportes en el desarrollo del estudio sobre la cuenca del río Santa.

Al grupo de la unidad ejecutora del proyecto del Ministerio del Ambiente y entidades implementadoras de la SCNCC.

Amelia Díaz Pabló

Directora Técnico-Administrativa del Proyecto
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

ÍNDICE

PRESENTACION	5
AGRADECIMIENTOS	6
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	11
1.1 Objetivos	12
1.2 Marco Teórico	12
1.2.1. Situación actual del cambio climático a nivel global	13
1.2.2 Perspectivas climáticas a nivel global hasta finales del siglo XXI	15
1.2.3 Confiabilidad de modelos numéricos para proyectar el cambio climático futuro	17
1.2.4 Tratamiento de las incertidumbres	19
CAPITULO 2.	
PERÚ: CONTEXTO FÍSICO Y SOCIAL	21
2.1 Ubicación	22
2.2 Características generales	22
2.3. La ubicación latitudinal	23
2.4 Población y crecimiento demográfico	23
2.5 Actividades económicas y PBI en el Perú	24
2.6 Características climáticas del Perú	25
2.6.1 Clasificación climática del Perú	25
2.6.2 Variación multianual de las temperaturas extremas y precipitación	25
2.6.3 Variación temporal y espacial de las temperaturas extremas y precipitaciones en eventos extremos: El Niño / La Niña	26
CAPITULO 3	
TENDENCIAS CLIMATICAS NACIONALES	29
3.1 Datos 31	
3.1.1 Datos básicos utilizados	31
3.1.2 Control de calidad y llenado de datos	31
3.2 Metodología	35
3.2.1 Estimación de la tendencia lineal	35
3.2.2. Determinación de la significancia estadística de la tendencia lineal	37
3.2.3. Determinación de los índices de los extremos climáticos	38
3.2.4. Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)	38
3.2.5. Teleconexiones de las sequías en el Perú	40
3.2.6. Análisis de las componentes principales	42
3.2.7. Análisis de la Transformada de Onditas	42
3.3 Resultados	44
3.3.1 Tendencias lineales de la precipitación	44
3.3.2. Tendencias lineales de las temperaturas máximas	48
3.3.3. Tendencias lineales de las temperaturas mínimas	52
3.3.4. Tendencias del ciclo diurno en el Perú	56
3.3.5. Tendencias lineales de los Índices de Extremos Climáticos	59
3.3.5.1 Índices de Extremos Climáticos de la precipitación	59
3.3.5.2 Índices de Extremos Climáticos de las temperaturas máximas	64
3.3.5.3 Índices de Extremos Climáticos de las temperaturas mínimas	66

3.3.6	Análisis de sequías	67
3.3.6.1	Análisis del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)	68
3.3.6.2	Teleconexiones de la distribución de las sequías	75
3.3.6.3	Distribución estacional de las sequías ocurridas durante los eventos cálidos del ENOS	84

CAPÍTULO 4

ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LA DÉCADA DEL 2020 Y 2030 89

4.1	Intercomparación de modelos climáticos globales	90
4.1.1	Proyecciones de la temperatura sobre Perú al año 2050, en base a los modelos globales	92
4.1.2	Proyecciones de la precipitación sobre Perú en base a los modelos globales al 2030	93
4.2	El Downscaling dinámico	95
4.2.1	Datos preliminares	95
4.2.2	Simulación regional	96
4.3	Variables analizadas	97
4.4	Escenarios proyectados al 2020 y 2030	98
4.4.1	Temperatura máxima	98
4.4.1.1	Proyección Anual	100
4.4.1.2	Proyección estacional	102
4.4.1.3	Proyección al 2030 del percentil 90 de la temperatura máxima	103
4.4.2	Temperatura mínima	103
4.4.3	Precipitaciones	108
4.4.4	Verano: Trimestre diciembre- febrero	111
4.4.5	Otoño: Trimestre marzo – mayo	112
4.4.6	Invierno: Trimestre Jun-Ago	113
4.4.7	Primavera: Trimestre setiembre-noviembre	114
4.4.8	Proyección al 2030 del percentil 90 de la precipitación	115

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 117

5.1	Conclusiones	118
5.1.1.	Sobre las tendencias del clima actual	118
5.1.2	Sobre las proyecciones del clima al 2030	122
5.2	Recomendaciones	123

BIBLIOGRAFIA 124

APÉNDICE 1

Red Hidrometeorológica - Mapas de relieve y clasificación climática 126

APÉNDICE 2

Mapas de promedios multianuales - Eventos extremos y tendencias actuales 131

APÉNDICE 3

Mapas de escenarios climáticos a los años 2020 y 2030 193

APÉNDICE 4

Conceptos y términos básicos 243

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000). The number of people aged 65 and over is projected to increase to 16.5 million by 2020, and the number of people aged 75 and over to 8.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the health care needs of the elderly population. The Department of Health (2000) has set out a strategy for the NHS to meet the needs of the elderly population. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable. The strategy is based on the following principles: (1) to ensure that the elderly population has access to the services they need; (2) to ensure that the services are of high quality; (3) to ensure that the services are cost-effective; and (4) to ensure that the services are sustainable.

INTRODUCCIÓN

El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio climático (AR4, por sus siglas en inglés, IPCC, 2007) señala de forma inequívoca, a diferencia del Tercer Informe (TAR, por sus siglas en inglés, IPCC, 2001), que el sistema climático se está calentando y además, que esta anomalía es respuesta a las acciones del hombre por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La certeza de esta aseveración conlleva a una serie de preguntas sobre las consecuencias que estos procesos de escala global ocasionarían a nivel regional y local en cada país, con mayor o menor nivel de vulnerabilidad. El cambio climático global, indudablemente, generará impactos severos en las sociedades menos preparadas, afectando en el futuro el desarrollo sostenible de sus actividades socioeconómicas.

El Perú no es ajeno a este problema, pues en la última década, de forma más frecuente, se están observando eventos extremos más intensos, como las nevadas del 2004 en el sur del país, que ocasionaron graves pérdidas económicas, o las inundaciones en San Martín en diciembre del 2006, o las heladas tempranas en Huancayo en el 2007, que si bien no podemos aun relacionarlas directamente al cambio climático, nos dan la percepción de que la variabilidad climática está modificándose. Al respecto, estudios nacionales indican que existen tendencias marcadas sobre la disminución de la precipitación en algunas regiones del país, como en la cuenca del Mantaro, que refiere tasas de decremento de 5 a 54 mm/década, o situaciones contrarias como los incrementos de lluvia observados en la cuenca del río Urubamba, con tasas de 7 a 85 mm/ década, estos resultados, basados en observaciones de casi 40 años de registro, son indicadores de posibles cambios en los patrones climáticos que se relacionan directa o indirectamente al calentamiento global (PRAA, 2007).

Al respecto, también existen otros procesos que sabemos están directamente relacionados con el incremento de la temperatura global: el retroceso glaciar. El Perú, que posee más del 75% de los glaciares tropicales a nivel mundial, es testigo del acelerado retroceso de los glaciares más importantes a nivel nacional, Pastoruri, en la cordillera central, Chachani, Coropuna y el Misti Arequipa. Lo crítico de la desaparición de estos glaciares es que la mayoría de ellos, además de ser ecosistemas únicos para las regiones de alta montaña, son principalmente fuente de recursos de agua para una serie de demandas socioeconómicas en todas las cuencas asociadas: consumo poblacional, generación de energía eléctrica, agricultura, industria, etc.

Los impactos regionales del cambio climático global no son del todo conocidos, las incertidumbres asociadas al conocimiento del clima son amplias en el caso de nuestro país por su carácter andino. La Cordillera de los Andes genera en nuestro territorio una diversidad de climas y microclimas que responden de manera muy variada a los cambios climáticos globales, y considerando que una buena parte de nuestro territorio no cuenta con observaciones de variables meteorológicas de períodos largos, la certeza de saber cómo funciona el clima en regiones de alta montaña, o las regiones amazónicas, es poco contundente.

Sin embargo, en los últimos tiempos, se han desarrollado significativos avances en el ámbito científico y tecnológico para mejorar nuestra comprensión y modelamiento del sistema climático, lo que nos permite conocer mejor su presente y estimar con mayor confianza su futuro.

Los avances en las mejoras de los modelos físico-matemáticos del clima (modelos de circulación general de la atmósfera, MCG), permiten hoy disponer de información base para las evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación en regiones vulnerables a los impactos del cambio climático. Los MCG's simulan la dinámica del sistema climático, considerando los diferentes escenarios de emisión de GEI, generando a su vez diferentes escenarios climáticos. Para ejecutar estos procesos se requiere fuerte capacidad de cómputo que solo disponen los más importantes Centros Mundiales de Modelamiento del Clima, pero para poder utilizarlos en las evaluaciones de vulnerabilidad es necesario realizar pasos intermedios, ya que la información proveniente de estos MCG's poseen una baja resolución espacial que varía entre 100 a 300 Km, lo que representa una seria limitación para los países andinos, debido a que la complejidad de su topografía

requiere del análisis a escalas más regionales y locales. Los pasos intermedios implican el uso de una serie de metodologías para proporcionar el nivel de detalle requerido en base a la información global de los MCG's y obtener escenarios climáticos regionales que describan los impactos del cambio climático, asociados a las características propias del área de estudio, una cuenca, un departamento o un distrito. Finalmente, esta información generada es importante para desarrollar mejores evaluaciones de vulnerabilidad y establecer medidas de adaptación adecuadas para la planificación de las actividades socioeconómicas que en el futuro puedan ser afectadas.

En ese sentido, estudios interinstitucionales como el Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y Contaminación del Aire (PROCLIM - 2005) y regionales como el Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático (PRAA - 2007), ejecutados por el Consejo Nacional de Ambiente (CONAM), ahora Ministerio del Ambiente, han permitido generar información útil para la determinación de la vulnerabilidad actual y futura en regiones específicas y con ello diseñar medidas de adaptación acordes con las características locales de las áreas de estudio, tal como lo manifiesta el IPCC en su AR4, en la que reconoce la importancia de generar información de carácter regional.

El presente estudio tiene por objetivo generar información detallada sobre los posibles impactos del cambio climático, atendiendo la necesidad de los diferentes sectores socioeconómicos nacionales, los que requieren de información sobre el estado actual y futuro del clima y cómo éste determina los cambios de sus entornos sectoriales, en la agricultura, el transporte, la disponibilidad de energía eléctrica, la economía, etc. El análisis presentado es a nivel nacional y brindará información respecto a las tendencias e indicadores de eventos extremos climáticos de las temperaturas extremas y la precipitación en base a los últimos cuarenta años y sobre su comportamiento en el futuro en base a los escenarios de emisiones de CO₂, considerando el escenario A2 más pesimista. Es importante señalar que cada paso del proceso de elaboración de los escenarios climáticos regionales considera un aspecto de incertidumbre tanto por el conocimiento limitado de la variabilidad climática como por los métodos seguidos para generar información a nivel regional, los cuales van incorporando errores en cada paso seguido, es por ello que los resultados generados deben ser utilizados adecuadamente como proyecciones climáticas bajo el supuesto de una emisión dramática de los gases de efecto invernadero. Finalmente, estos resultados permitirán mejorar nuestro conocimiento sobre la vulnerabilidad del país y orientar políticas adecuadas de adaptación frente al cambio climático en el ámbito nacional y así contribuir a los objetivos del desarrollo del milenio.

1.1 OBJETIVOS

Los fines del presente estudio son los siguientes:

- Determinar las tendencias climáticas actuales a nivel nacional en base a datos observados.
- Estimar las proyecciones climáticas a nivel nacional para el año 2030, en base a los escenarios climáticos globales, haciendo uso de técnicas de downscaling dinámico y estadístico, para el escenario de emisión A2 (altas emisiones).
- Evaluar indicadores extremos de precipitación y temperatura, observados y simulados al año 2030.

1.2 MARCO TEÓRICO

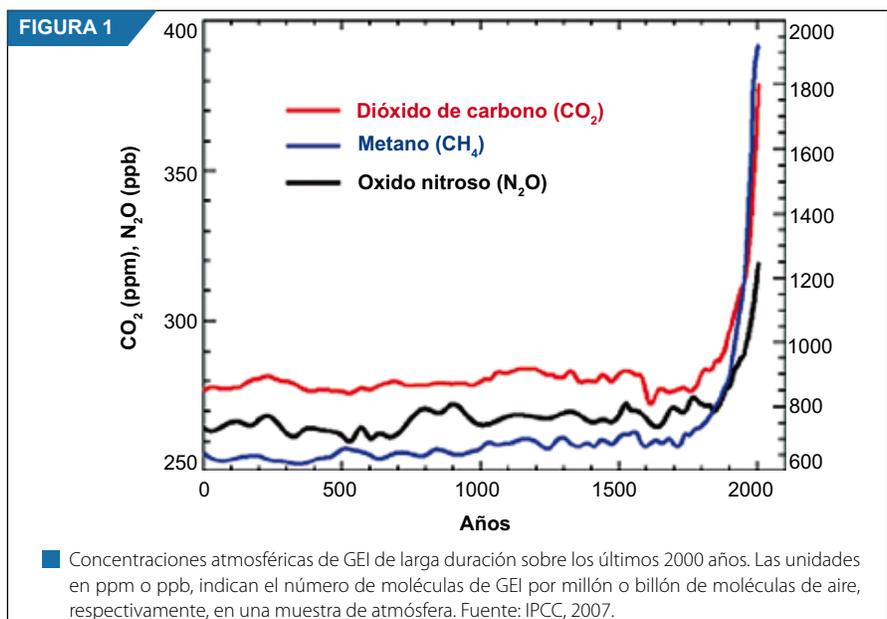
El clima es la descripción en términos de valores medios y de variabilidad de la temperatura, humedad, precipitación, viento, etc., de una localidad o región, en un período relativamente largo de tiempo, como 30 años, según la Organización Mundial de Meteorología. Asimismo, el clima es el resultado de una compleja interacción entre las cinco componentes del sistema climático: la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, la criósfera y la superficie terrestre; las cuales mantienen una dinámica propia que va generando variaciones en diferentes escalas de tiempo, eventos como El Niño/La Niña, que tienen duraciones de algunos años, o eventos como las eras glaciares que ocurren en lapsos de miles y millones de años sólo interrumpida

eventualmente por causas naturales, como las erupciones volcánicas y las variaciones en las emisiones solares, o por la actividad humana.

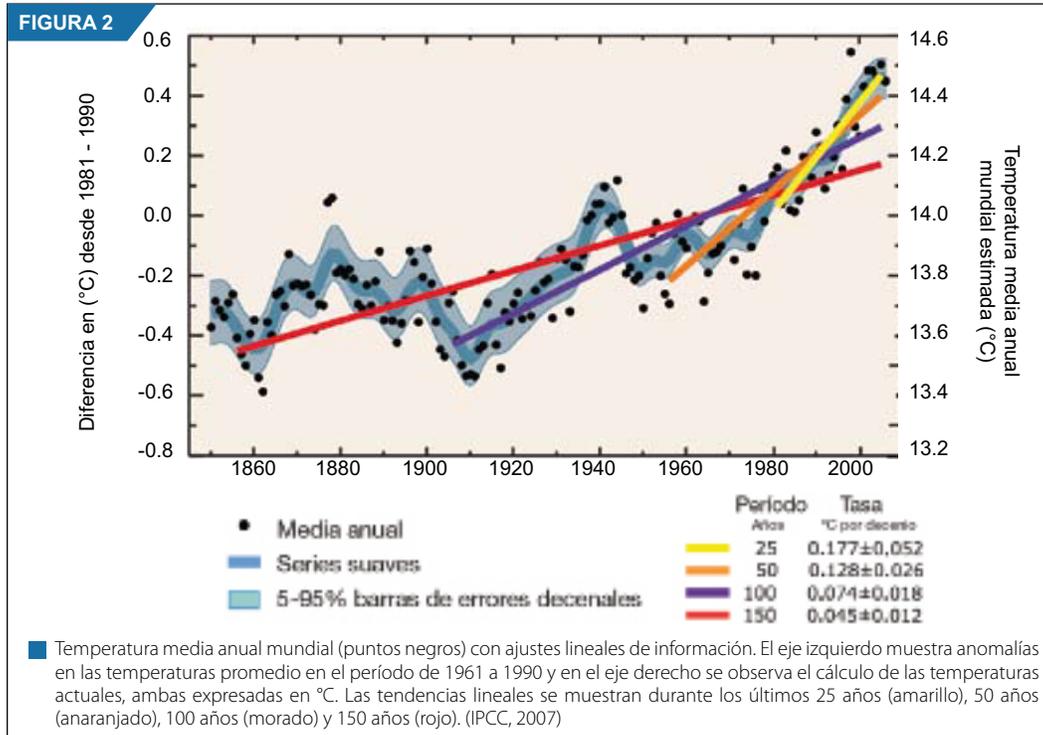
La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), define como cambio climático al cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, y es que en las últimas décadas la comunidad científica ha encontrado evidencias de una relación entre el cambio climático y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), provocado principalmente por las sociedades industrializadas como consecuencia del uso de combustibles fósiles. Este Capítulo brinda al lector algunos alcances sobre las tendencias actuales y futuras del clima global, basados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (2007).

1.2.1. Situación actual del cambio climático a nivel global

En el 2007, el IPCC concluyó que es "muy probable" (mayor de 90% de probabilidad) que los incrementos de gases de efecto invernadero generados por la acción del hombre hayan causado la mayoría de incrementos observados en el promedio mundial de las temperaturas desde mediados del siglo XX, y que es "extremadamente improbable" que haya sido causado solamente por la variabilidad climática sin forzamientos. Se ha observado que la concentración de dióxido de carbono en el año 2005 excede por mucho el rango natural de los últimos 650 000 años, tal como se ha determinado en los testigos de hielo (ver Figura 1). La quema de los combustibles fósiles y el cambio de uso de los suelos, son las principales causas de este incremento de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, ocasionando que las concentraciones de GEI se intensifiquen y la calienten.

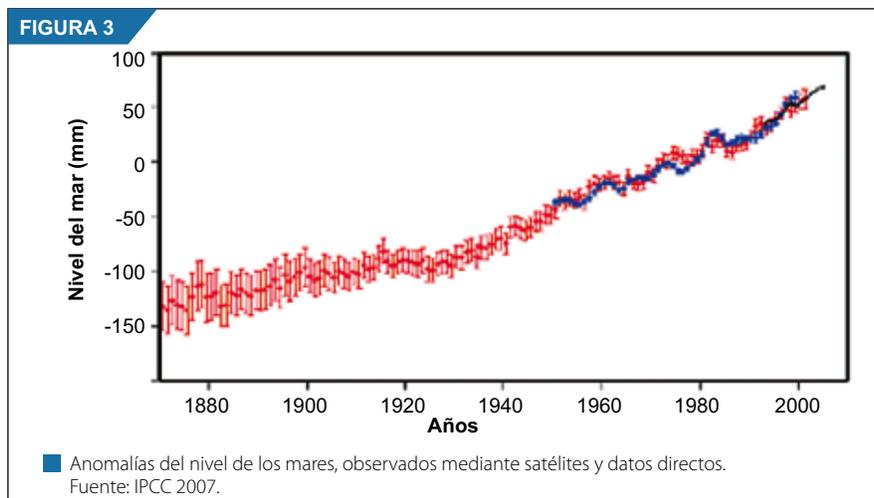


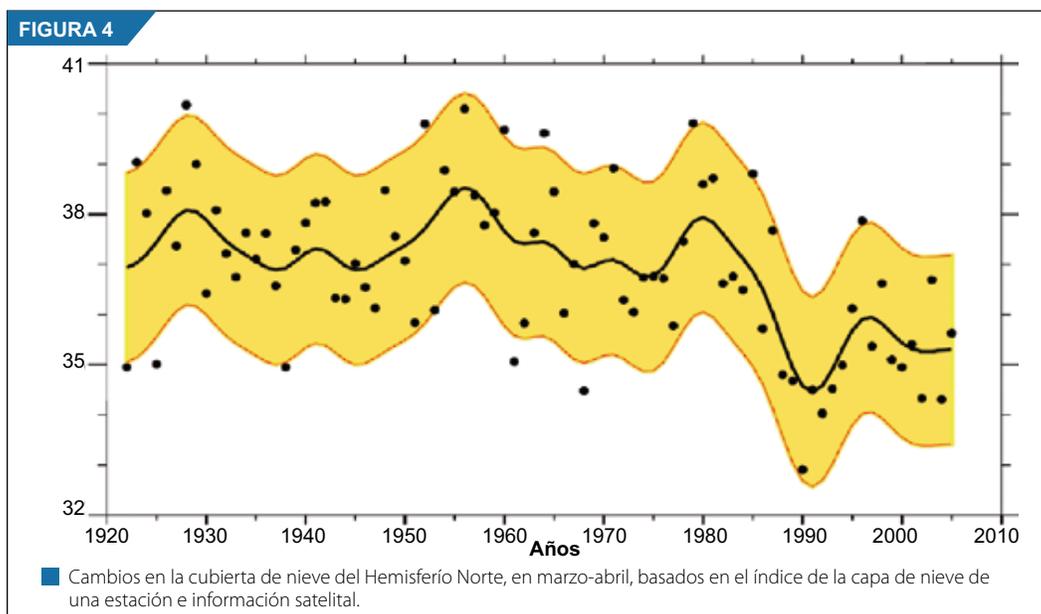
Mayores y mejores observaciones y estudios han permitido estimar que en los últimos 100 años (1906-2005) la temperatura global se ha incrementado en 0,74 °C, y el ritmo de calentamiento se está acelerando (ver Figura 2). Desde los inicios del registro de información (1850) se ha determinado que los 15 años más cálidos se han producido durante los últimos 20 años y 11 ocurrieron desde 1995. Análisis científicos posteriores han confirmado que la segunda mitad del siglo XX ha sido la fase más cálida durante al menos los últimos 1 300 años en el Hemisferio Norte. Sin embargo, es importante precisar que el ritmo de calentamiento no es uniforme en todo el planeta. Por ejemplo, durante el siglo pasado, las temperaturas árticas aumentaron doblemente la tasa del índice promedio global y Europa se ha calentado al menos 1 °C en el último siglo, a un ritmo más rápido que el promedio global.



Según las observaciones realizadas desde 1961, el calentamiento del aire y los océanos, está ocasionando el continuo aumento de la temperatura del mar, constatándose que el océano ha estado absorbiendo más del 80% del calentamiento adicional al sistema climático. Asimismo, esto contribuye al incremento del nivel del mar (ver Figura 3), ya sea por la expansión del volumen del océano, o por el derretimiento del hielo de los polos, determinándose un aumento de 17 cm durante el siglo XX.

La aceleración en los procesos de derretimiento de la cobertura de hielo es significativa, principalmente en el Polo Norte y Groenlandia, así como lo es la reducción de los glaciares de montaña y la cobertura de nieve a nivel mundial (ver Figura 4).





Los eventos climáticos extremos se han incrementado, y los patrones climáticos están cambiando: olas de calor y otros extremos del tiempo, así como variaciones en los modelos de circulación atmosférica, trayectos de tormentas y precipitaciones pueden ser ahora explicados de manera retrospectiva por el cambio climático causado por actividades humanas.

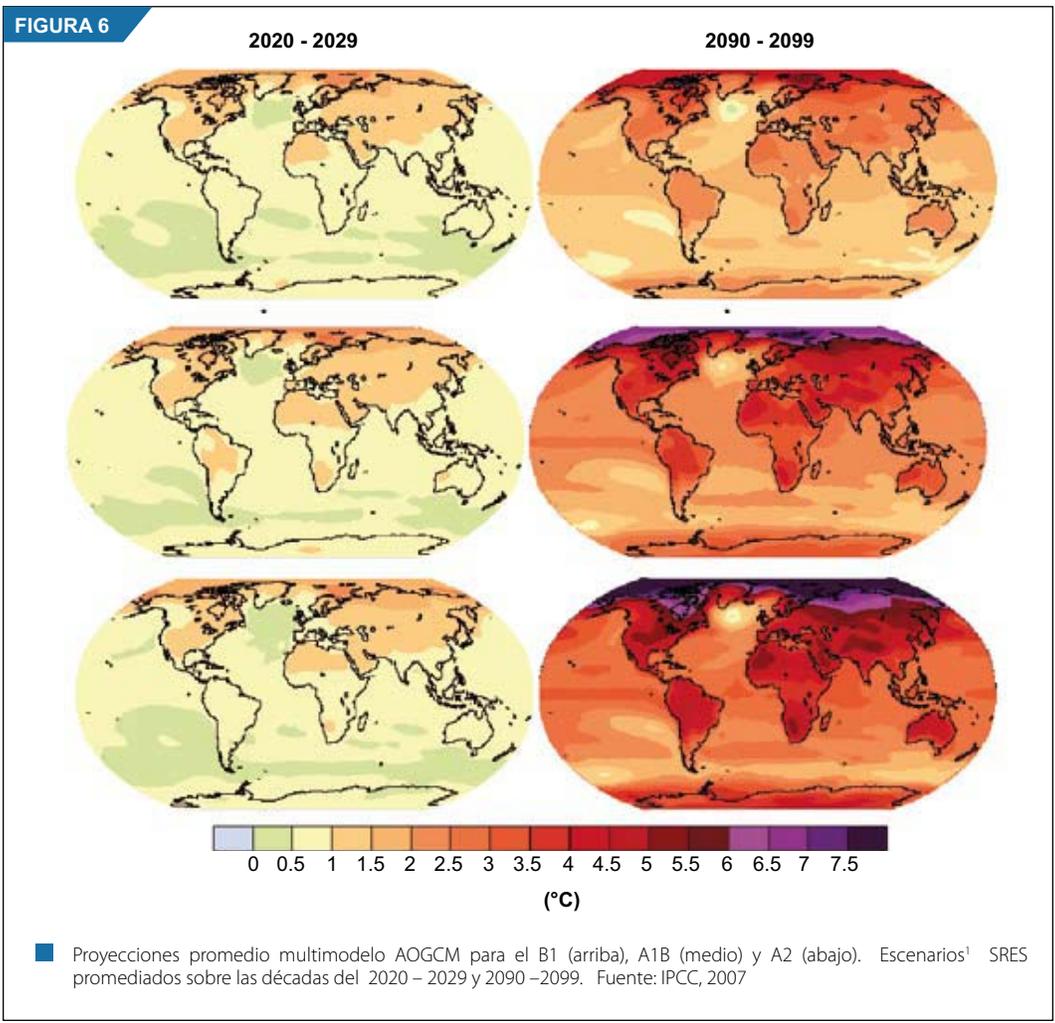
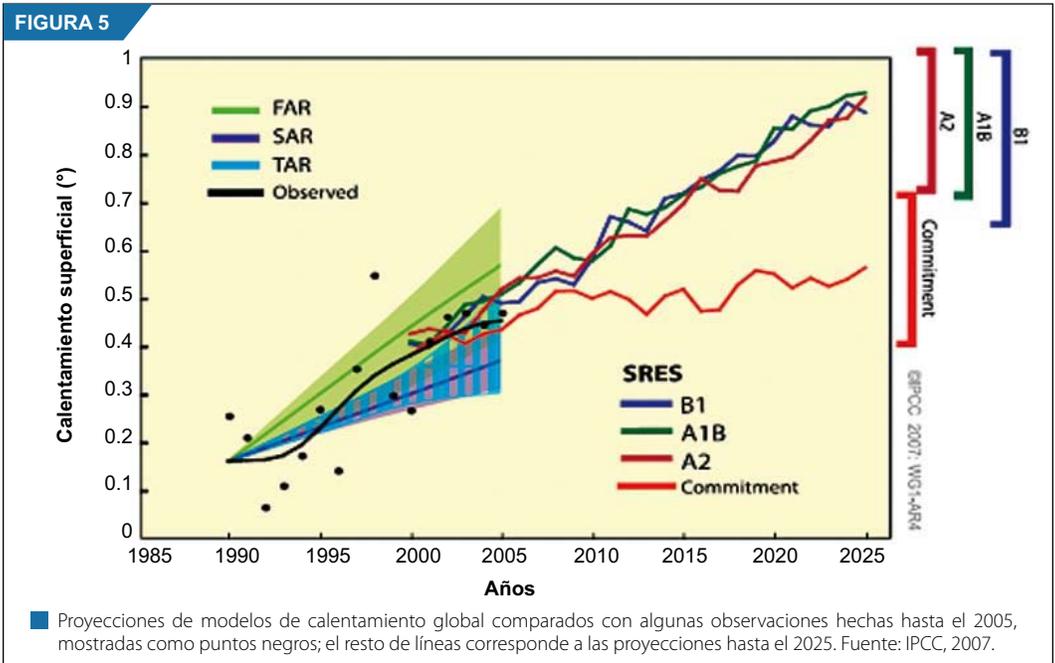
1.2.2 Perspectivas climáticas a nivel global hasta finales del siglo XXI

La Tierra seguirá calentándose en el futuro. Esta afirmación se basa en los resultados de diferentes modelos climáticos que fueron considerados por el Grupo de Trabajo I del IPCC en su último reporte sobre las proyecciones futuras del clima, las cuales indican que durante el siglo XXI, la temperatura media de la Tierra ascenderá entre 1,1 °C y 6,4 °C (ver Figura 5). Las proyecciones climáticas consideran los escenarios de emisión IEEE (Informe Especial de Escenarios de Emisión) del IPCC (2000), en los cuales existe un rango de posibles concentraciones de CO₂ como respuesta a las acciones de la sociedad en relación con su medio ambiente. En ese sentido, existen escenarios desde los más optimistas, que consideran desde un alto en las emisiones mundiales, hasta los más pesimistas, manteniendo las tendencias actuales.

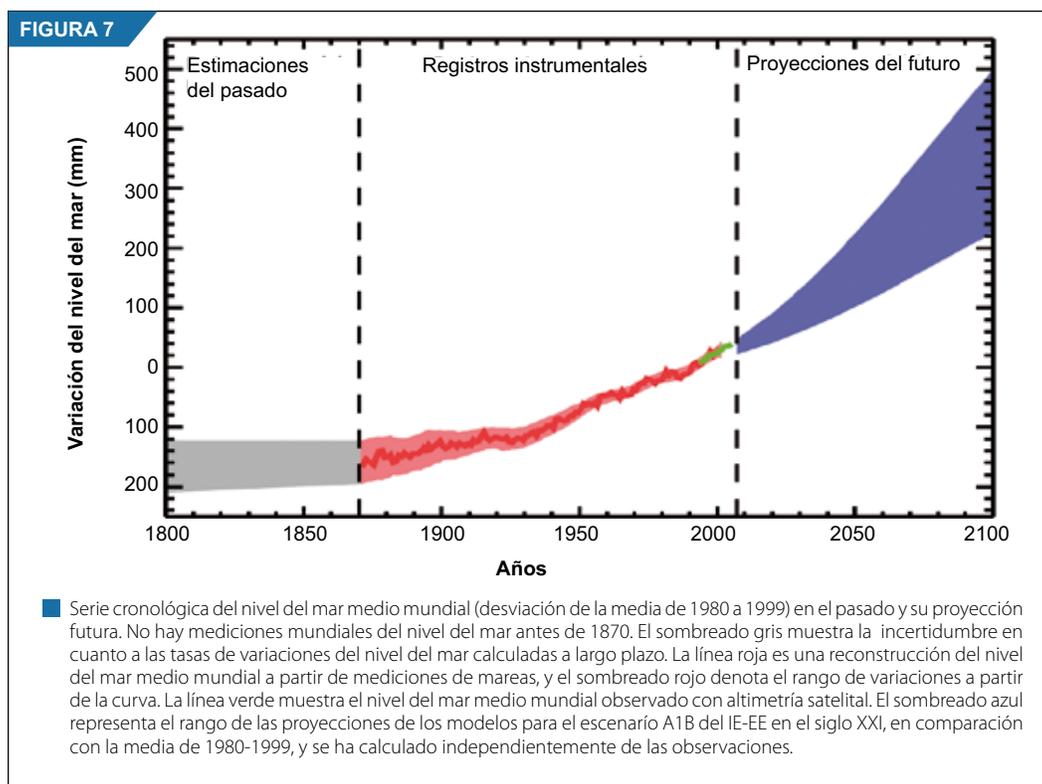
El IPCC proyecta como “muy probable” que en las tres próximas décadas habrá un calentamiento aproximado de 0,2 °C si las emisiones de gases de efecto invernadero no se reducen. Las mejores estimaciones utilizadas para calcular el promedio del calentamiento del aire en la superficie a nivel mundial van desde los 1,8 °C (para un rango de 1,1 a 2,9 °C) para el escenario más optimista (escenario B1) hasta los 4 °C (para un rango de 2,4 a 6,4 °C) para el más pesimista (escenario A1F1). A diferencia del anterior reporte del IPCC, la nueva evaluación considera un número mayor de modelos climáticos, los cuales han desarrollado mejoras en sus procesos de estimación del clima con mayor realismo y complejidad, así como la nueva información sobre el sistema climático.

Asimismo, se ha estimado que el incremento de la temperatura será mucho mayor sobre las grandes masas continentales del Hemisferio Norte, donde podría superar los 4 °C; mientras que en las grandes extensiones oceánicas del Hemisferio Sur, se espera un incremento de menos de 1 °C (ver Figura 6).

1 Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones – Ver resumen en: SENAMHI, 2005; <http://www.ipcc.ch>



Sobre el incremento en el nivel del mar, la mayoría de los modelos proyectan un incremento en un rango de 18 a 37 cm para el escenario más favorable y de 28 a 59 cm para el escenario más desfavorable o pesimista hasta el 2100, donde la expansión térmica por el calentamiento de los océanos por sí sola contribuye en un 70 al 75 % (ver Figura 7). La incertidumbre de estas proyecciones es menor que las del Tercer Informe del IPCC, debido a la mayor información sobre pérdida de masa glaciaria registrada que ha ayudado a mejorar la estimación de la expansión térmica.



La disminución de la cobertura de hielo sobre la región Ártica seguirá durante el siglo XXI, así como los glaciares de montaña y la cobertura de nieve. Mantos de hielo como el de Groenlandia seguirán contrayéndose, contribuyendo también al aumento del nivel del mar. Los modelos actuales indican que la pérdida de masa de hielo será más rápida que su recuperación, por el calentamiento global proyectado. Sin embargo, los modelos climáticos actuales no pueden explicar la dinámica observada a nivel mundial del flujo de hielo y hasta el momento no existe aun suficiente consenso.

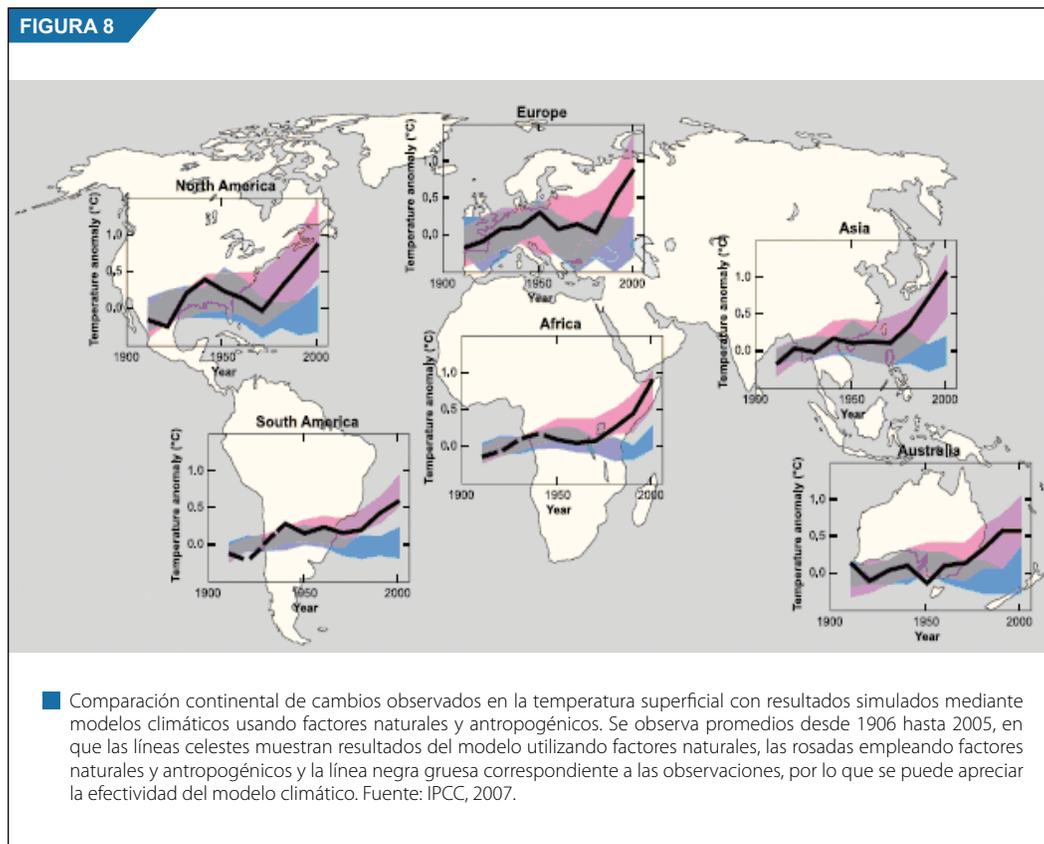
Según el IPCC, es probable (66% de probabilidad) que los tifones y huracanes se incrementen en intensidad. Respecto a la precipitación, es muy probable que incremente su intensidad en las altas latitudes, mientras que es posible que disminuya en la mayoría de regiones subtropicales.

1.2.3 Confiabilidad de modelos numéricos para proyectar el cambio climático futuro

Se tiene un nivel de confianza considerable en cuanto al hecho de que los modelos climáticos proporcionan estimaciones cuantitativas creíbles sobre los cambios climáticos futuros, en particular a escala continental y más allá de ésta. Esta certidumbre se deriva del hecho de que los modelos se basan en principios físicos aceptados y tienen la capacidad de reproducir las características observadas del clima actual y de cambios climáticos del pasado. La confianza que se tiene en las estimaciones de los modelos es mayor para algunas variables climáticas (por ejemplo: la temperatura) que para otras (por ejemplo: las precipitaciones).

Existen tres razones que el IPCC indica para tener confianza en el uso de modelos para las proyecciones climáticas:

- Una primera razón se deriva del hecho de que los principios fundamentales de estos modelos climáticos tienen en cuenta leyes físicas: la conservación de la masa, la energía y la fuerza.
- La segunda razón se basa en la capacidad de estos para simular aspectos importantes del clima actual. Los modelos han mostrado una capacidad importante y cada vez mayor para representar muchas características importantes del clima promedio. Asimismo, estos patrones han sido utilizados para evaluar la implicancia del forzamiento de los GEI en el calentamiento mundial observado durante los últimos 50 años. (ver Figura 8).



- Una tercera razón se deriva de la capacidad de estos para reproducir características de climas y cambios climáticos del pasado. Se han utilizado modelos para simular climas de la antigüedad, tales como a mediados del período holoceno cálido de hace 6 000 años o el último máximo glacial de hace 21 000 años.

No obstante, los modelos aún muestran errores significativos. Aunque, por lo general, estos son mayores a escalas más pequeñas, aún persisten importantes problemas a gran escala. Por ejemplo, todavía existen deficiencias para la simulación de la precipitación tropical El Niño/Oscilación del Sur y la Oscilación Madden - Julian. La razón fundamental para la mayoría de estos errores es que varios procesos importantes a pequeña escala no pueden representarse de manera explícita en los modelos.

1.2.4 Tratamiento de las incertidumbres

El tratamiento de las incertidumbres fue un tema abordado por el IPCC de forma transparente a fin de distinguir los niveles de confianza del conocimiento científico y las probabilidades de resultados específicos que se obtenían en los reportes de evaluación sobre cambio climático.

Existen dos tipos primarios de incertidumbre: de valor y de estructura. La incertidumbre de valor surge al no poder interpretar en su totalidad valores o resultados específicos y se calcula por metodologías estadísticas, expresándose probabilísticamente. La incertidumbre de estructura se manifiesta al no poder interpretar todos los procesos que regulan los valores o resultados y se define a través del criterio de confianza del colectivo de autores sobre la exactitud de un resultado.

El IPCC proporcionó una guía de incertidumbres que discierne entre niveles de confianza del conocimiento científico y las probabilidades de resultados específicos. Así, los autores pueden expresar con certeza que una situación es muy poco probable (por ejemplo, tirar los dados dos veces y sacar seis las dos veces), o que es tan probable como improbable (por ejemplo, tirar una moneda y que salga cara). La confianza y la probabilidad son conceptos diferentes pero, a veces, van unidos en la práctica.

Los términos utilizados para definir los niveles de confianza se basan en los descritos en la guía de Incertidumbres, es decir:

Terminología de los niveles de confianza	Nivel de confianza en acertar
Confianza muy alta	Al menos 9 de 10 probabilidades
Confianza alta	Al menos 8 de 10 probabilidades
Confianza media	Al menos 5 de 10 probabilidades
Confianza baja	Al menos 2 de 10 probabilidades
Confianza muy baja	Al menos 1 de 10 probabilidades

Los términos universales utilizados para definir la probabilidad de un resultado, siempre que éste se pueda calcular de manera probabilística, son:

Terminología de probabilidad	Probabilidad de resultado
Prácticamente cierto	> 99% de probabilidad
Sumamente probable	> 95% de probabilidad
Muy probable	> 90% de probabilidad
Probable	> 66% de probabilidad
Más probable que improbable	> 50% de probabilidad
Tan probable como improbable	De 33 a 66% de probabilidad
Improbable	< 33% de probabilidad
Muy improbable	< 10% de probabilidad
Sumamente improbable	< 5% de probabilidad
Excepcionalmente improbable	< 1% de probabilidad

CAPÍTULO 2

PERÚ: CONTEXTO FÍSICO Y SOCIAL



PERÚ: CONTEXTO FÍSICO Y SOCIAL

Cuando nos referimos al Perú, es inevitable destacar que nos encontramos frente a un país de una compleja geografía, principalmente por las elevaciones de la Cordillera de los Andes y las corrientes del Pacífico, las cuales conforman climas y paisajes generosamente diversos, que se reflejan en la costa desértica, la puna o la selva tropical de la cuenca amazónica, y todo ello confluye en un territorio de gran variedad de recursos naturales.

2.1 UBICACIÓN

Geográficamente, el Perú está situado en la costa central y occidental de América Meridional, inmediatamente debajo de la línea ecuatorial entre los 0°01'48" y los 18°21'03" de latitud sur, y los 68°39'27" y los 81°19'34,5" de longitud oeste y cuenta con un área total de 1'285,215.6 Km². (Ponce de León, 2000)

Es el vigésimo país más extenso de la Tierra y el tercero de América del Sur. Limita por el norte con Ecuador y Colombia, por el este con Brasil, por el sureste con Bolivia, por el sur con Chile, y por el oeste con el Océano Pacífico. Es de destacar que, de acuerdo con nuestra Constitución, el dominio marítimo del Perú se extiende hasta las 200 millas.

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

2.2.1. El mar peruano

El mar territorial del Perú es heterogéneo por la confluencia de dos corrientes marinas de características distintas. *La Corriente Peruana o de Humboldt*, de aguas frías y que se desplaza de sur a norte, hasta los 5° Latitud Sur, esto establece que la costa sea de clima templado y no tropical, y *La Corriente de El Niño*, de aguas cálidas y que ejerce su influencia permanentemente en la costa norte del país, y temporalmente más hacia el sur.

La presencia de estas corrientes determina hasta cuatro zonas marinas frente a nuestras costas:

- *El mar frío* o templado de la Corriente Peruana, desde los 5° Latitud Sur y hasta el centro de Chile, con temperaturas relativamente bajas.
- *El mar tropical*, al norte de los 5° Latitud Sur, con temperaturas cálidas.
- *La zona oceánica*, al oeste de la Corriente Peruana, con temperaturas cálidas.
- *La zona de transición*, entre el mar frío y el mar tropical, donde se mezclan las aguas frías y las cálidas, frente a las costas de Piura y Lambayeque.

2.2.2. La Cordillera de los Andes

La presencia de esta gran cadena de montañas, a lo largo del territorio, es lo que determina la heterogeneidad geográfica del Perú, expresada en:

- a. Tres grandes masas continentales: la costa, entre el mar y la Cordillera; la región andina o sierra, como masa montañosa; y la Amazonía, al este de los Andes.
- b. Tres cuencas hidrográficas: la del Pacífico, la del Atlántico y la del Titicaca.

- c. Distintas zonas en la sierra: la del páramo, al norte de la depresión de Porculla; la de la puna del centro y sur; y la del Altiplano, alrededor de la cuenca del lago Titicaca.

La *distribución altitudinal* de los Andes determina diferentes pisos verticales, desde el nivel del mar y de la selva amazónica hasta las altas cordilleras, en los flancos o vertientes occidentales y orientales. Por el mayor ancho hacia el sur se origina una porción árida de la sierra hacia el oeste y una húmeda hacia el este.

La compleja disección de la Cordillera es responsable de una gran heterogeneidad local en la distribución de las precipitaciones, originando bolsones de aridez en los valles interandinos paralelos a las cadenas de montañas.

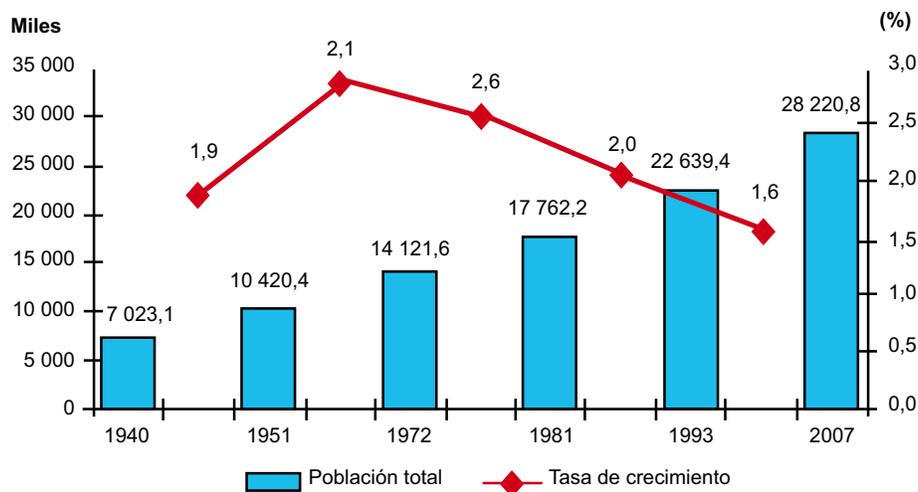
2.3 LA UBICACIÓN LATITUDINAL

La ubicación latitudinal del territorio peruano, desde casi la línea ecuatorial hasta poco más de los 18° L.S., es responsable de variaciones ecológicas como la duración del día y las horas de luz solar (menor al sur en el invierno). La conjunción de la latitud con la altitud de la cordillera y las corrientes marinas, determinan una variación importante de las condiciones climáticas y de la vegetación de sur a norte, en la costa, en las vertientes y sobre la Amazonía peruana.

2.4 POBLACIÓN Y CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO

La población total del Perú asciende a 28 millones 220 mil 764 habitantes (INEI, 2007)*. Su aumento, medido por la tasa de crecimiento promedio anual, refiere que ésta ha presentado un crecimiento promedio anual para el período 1993 – 2007 de 1,6 %, lo cual confirma la tendencia decreciente observada en los últimos 46 años. Entre los censos de 1981 y 1993, el crecimiento poblacional fue de 2,0% por año; este nivel fue mayor en el período intercensal 1972 – 1981 (2,6% anual).

**POBLACIÓN TOTAL Y TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL,
1940 – 2007**



Fuente: INEI- Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.

* Instituto Nacional de Estadística e Informática

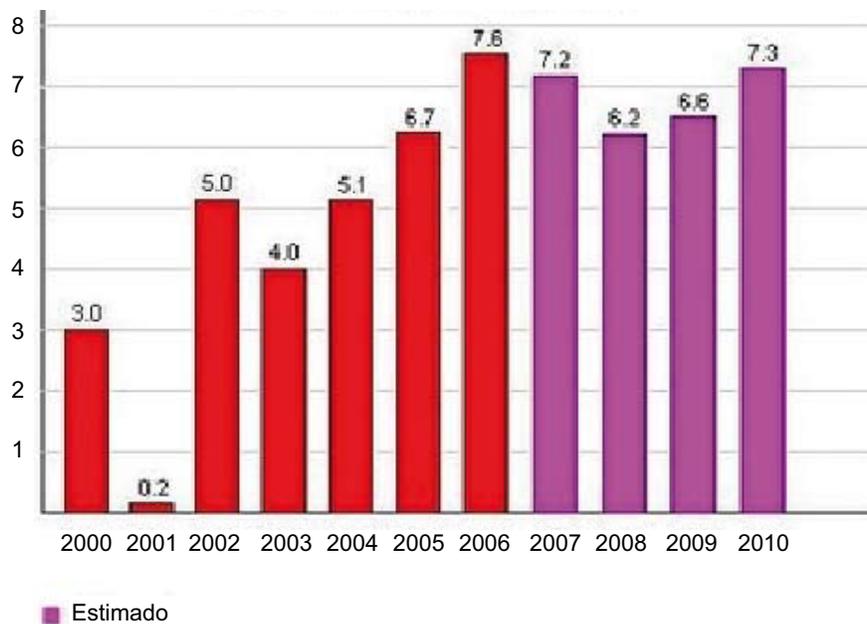
2.5 ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y PBI EN EL PERÚ

El Perú basa su actividad económica principalmente en la minería, pesca, agricultura, construcción y comercio. La mayoría de las exportaciones son materias primas o de elaboración primaria (69,5%), seguida por los productos de elaboración secundaria o industriales (29,6%) y con un mínimo porcentaje de exportación de servicios o producción terciaria (0,9%).

El PBI es un indicador económico que involucra la suma de todas las actividades productivas y de servicios de un país y como tal es un referente de la vida económica de una nación. Según información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el Perú, la evolución del Producto Bruto Interno de los últimos 10 años muestra un marcado dinamismo y actualmente ya sobrepasa los 60 mil millones de dólares. Por ejemplo, el crecimiento el año 2003 fue del 4% respecto del año anterior.

Recientemente, el Ministerio de Economía y Finanzas presentó el Marco Macroeconómico Multianual 2008-2010 (MMM, 2007) en el que señala el nivel que alcanzarían las principales variables macroeconómicas en los próximos periodos anuales.

CRECIMIENTO DEL PBI 2000-2010



Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2007

En cuanto al PBI, se prevé que crezca 7,2% en el año 2007, 6,2% en el 2008, 6,6% en el 2009 y 7,3% en el 2010. Al respecto, al margen de pequeñas variaciones, se confía en que la economía siga registrando altas tasas de crecimiento. El Perú requiere de una tasa promedio anual del 7% para reducir sustancialmente la pobreza y encaminarse rápidamente hacia el desarrollo, de cumplirse estas estimaciones el país se estaría aproximando a la velocidad adecuada.

2.6 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL PERÚ

2.6.1 Clasificación climática del Perú

La clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988) ha sido elaborado considerando factores que condicionan de modo preponderante el clima, como la latitud, la altitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur y la continentalidad. La información base de esta clasificación se sustenta en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de la cual se formularon los índices climáticos de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Climas de Werren Thorntwaite. De acuerdo a esta clasificación, el Perú posee hasta 27 tipos de climas en todo el territorio, los que figuran desde zonas de clima semiseco, frío con deficiencias de lluvia como Puno al sur del país, hasta zonas de clima lluvioso, cálido, con precipitaciones abundantes como Iquitos, al norte del país. Sin embargo, en general, se pueden diferenciar tres unidades geomorfológicas y climáticas denominadas costa, sierra y selva. La costa, área llana entre la línea litoral y las estribaciones de los Andes, es una región seca con escasa precipitación, salvo en la zona norte durante los eventos El Niño; la sierra es una región abrupta por la Cordillera de los Andes, que por su altitud e irregular topografía posee diversidad de climas, desde el templado hasta el polar; y finalmente la selva, región casi plana caracterizada por una exuberante vegetación, con lluvias abundantes de origen convectivo (Ver Mapa 03 del Apéndice 1).

2.6.2 Variación multianual de las temperaturas extremas y precipitación

En general, las mayores temperaturas se presentan en la costa norte y selva baja. Asimismo, las menores temperaturas se registran en zonas altoandinas, principalmente en el Altiplano. En cuanto a las precipitaciones; la costa central y sur presentan escasas a nulas precipitaciones; la sierra registra lluvias moderadas, y la selva norte y sur presentan precipitaciones muy intensas.

La temperatura máxima promedio multianual alcanza hasta 32 °C en la costa norte (Ricaplaya) y gran parte de la selva baja, mientras que los valores más bajos de las temperaturas máximas corresponden principalmente a la sierra central y sur del país, registrándose 12 °C en la zona de Pillones e llave. Ver Mapa N° 1 del Apéndice 2.

La temperatura mínima promedio multianual muestra valores desde -7 °C en el Altiplano hasta 22 °C en la selva norte. La costa norte, en promedio, registra 21 °C; la costa central y sur presentan valores que oscilan entre 12 °C a 17 °C; en la sierra norte los valores varían entre 3 °C a 10 °C; en la sierra sur, las temperaturas mínimas promedio presentan cambios entre -7 °C a 10 °C; mientras, en la selva los valores oscilan entre 16 °C a 22 °C. Ver Mapa N° 2 del Apéndice 2.

La precipitación total multianual presenta en la costa norte valores que varían entre 20 mm/año a 260 mm/año; contrariamente, en la costa central y sur las lluvias anuales no sobrepasan los 10 mm/año. En la sierra norte, las precipitaciones acumuladas oscilan entre 360 mm/año a 1 370 mm/año; en la sierra central, las lluvias acumuladas varían entre 270 mm/año a 1 200 mm/año; en tanto, en la sierra sur estos valores oscilan entre 250 mm/año a 870 mm/año, presentándose las mayores precipitaciones al lado oriental de la Cordillera de los Andes. En la selva, las precipitaciones acumuladas en un año, muestran valores que oscilan entre 1 000 mm/año a 5 800 mm/año, registrándose los mayores valores acumulados en Pongo de Caynará (San Martín) con 4 300 mm/año, Francisco Orellana (Loreto) con 3780 mm/año, Tingo María con 3 500 mm/año y San Gabán (Selva de Puno) con 5 800 mm/año. Ver Mapa N° 3 del Apéndice 2.

Las temperaturas máximas promedio multitrimestrales o estacionales presentan configuraciones similares a la temperatura máxima promedio multianual, con la diferencia en los valores más altos para la costa norte del período diciembre–febrero (verano) con un valor de 33 °C en la estación meteorológica de Ricaplaya; y en la selva en los meses de setiembre–noviembre (primavera) con un valor que alcanza

los 33 °C en la estación meteorológica de Iñapari. Las temperaturas máximas registradas en verano para la sierra y selva son ligeramente menores a los valores mostrados durante la primavera. Ver Mapas N° 4, 5, 6 y, 7 del Apéndice 2.

Las temperaturas mínimas multitrimestrales o estacionales presentan para el período diciembre–febrero (verano), en la costa peruana, valores que oscilan entre 15 °C a 20 °C; en tanto, el valor más bajo registrado en verano se aprecia en Imata (Arequipa) con -2,4 °C; asimismo, la selva muestra valores que oscilan entre 18 °C a 22 °C para el verano. Por otro lado, para el período junio–agosto (invierno) en la costa central y sur, las temperaturas varían entre 9 °C y 14 °C, mientras que en la sierra central y sur, estos valores se alteran entre -13 °C a 7 °C. Y en la selva, los valores de las temperaturas mínimas oscilan entre 16 y 21 °C. Ver Mapas N° 8, 9,10 y 11 del Apéndice 2.

Las precipitaciones para el período diciembre-febrero (verano) en la costa central y sur, presentan acumulados hasta de 5 mm; en tanto, en la costa norte totaliza hasta 110 mm para este trimestre. En la sierra y selva se presentan las mayores precipitaciones en esta fase, con acumulados que varían entre 50 mm a 500 mm, registrándose las menores precipitaciones en la vertiente occidental de los Andes; en la selva los valores acumulados para este trimestre alcanzan hasta los 2 400 mm. Ver Mapa N° 12 del Apéndice 2.

La precipitación multitrimestral del período marzo–mayo, muestra acumulados de lluvia que disminuyen significativamente en todo el territorio peruano en relación al trimestre anterior, excepto la selva norte, donde las precipitaciones se mantienen. Por otro lado, el período más seco corresponde al trimestre: junio-agosto, donde el acumulado de lluvias para la costa es menor a 5 mm, en la sierra hasta 100 mm y en la selva hasta 900 mm. En el período setiembre-noviembre, las lluvias aumentan ligeramente en la sierra y selva con respecto al trimestre anterior. Ver Mapa N° 13,14 y 15 del Apéndice 2.

2.6.3 Variación temporal y espacial de las temperaturas extremas y precipitaciones en eventos extremos: El Niño / La Niña

Días A. (SENAMHI, 2007), manifiesta que El Niño-Oscilación Sur (ENOS) es una perturbación del sistema Océano-Atmósfera en el Pacífico Ecuatorial, con importantes consecuencias para el clima a nivel mundial, a través de la alteración de los patrones globales de la presión atmosférica, circulación atmosférica, precipitaciones y temperaturas. El ENOS, tiene una fuerte y directa influencia sobre gran parte de Sudamérica tropical y subtropical (Garreaud y Aceituno, 2007), por medio de las teleconexiones, que son los cambios de la circulación atmosférica global inducida por anomalías océano-atmosféricas del Pacífico Ecuatorial. El ciclo del ENOS presenta dos fases: una cálida o positiva (El Niño), la cual se muestra con intervalos de 4 -5 años y otra fría o negativa (La Niña); así como períodos de transición caracterizados por temperaturas de agua de mar cercanas a su media climática. La transición de El Niño a La Niña tiende a ser rápida, mientras que de La Niña a El Niño tiende a ser más gradual. Ambas transiciones son influenciadas por la variabilidad intraestacional (Oscilación Madden-Julian, bloqueos de medias latitudes, sistemas de bajas y altas presiones, tormentas tropicales, etc.), según Kousky y Higgins (2007).

Las variaciones del clima que el Perú exhibe de un año a otro, conocido como variabilidad interanual, están en gran medida determinadas por la presencia del ENOS, y los eventos extremos asociados a éste, los que causan grandes pérdidas económicas por sus impactos, ya sea en forma directa o indirecta. En los siguientes párrafos se describen los principales impactos del ENOS en los regímenes térmicos y pluviométricos a nivel nacional, para lo cual se han analizado los eventos cálidos El Niño 1982/83 y El Niño 1997/98, ambos considerados los eventos más intensos del siglo pasado; y un evento frío: La Niña 1988/89, considerado uno de los más intensos de la fase negativa del ENOS.

a. “El Niño” 1982/83

La temperatura máxima promedio entre el período junio 1982 a mayo de 1983 alcanzó hasta 33 °C, en la costa norte; 24 °C a 32 °C en la costa central y sur, 14 °C a 22 °C en la sierra y 32 °C en la selva. Al considerar los promedios trimestrales, las temperaturas máximas más altas se presentaron entre diciembre '82 a mayo '83, alcanzando un promedio de 35 °C en la costa norte. En la sierra y selva, los valores más altos se presentaron en el trimestre setiembre-noviembre. Ver Mapas N° 16, 17, 18, 19 y 20 del Apéndice 2.

Las temperaturas mínimas en la costa presentan valores por encima de los promedios multianuales y, especialmente, en las estaciones de verano y otoño. En la sierra, las configuraciones de las isotermas son similares a los valores multianuales, destacando los valores más bajos registrados en la sierra sur con estimaciones menores a -14 °C (Imata) y para el trimestre junio-agosto. En la selva, las temperaturas mínimas en promedio presentan valores entre 28 °C y 32 °C, con escasa variación respecto a las estimaciones multianuales. Ver Mapas N° 21, 22, 23, 24 y 25 del Apéndice 2.

Las precipitaciones acumuladas entre el período junio 1982 a mayo de 1983 presentaron anomalías significativas en el norte del país; así, en la estación de Ricaplaya, donde el promedio multianual entre junio a mayo es de 257 mm, durante los mismos meses del período 1982/83, se registró un acumulado de 5 051 mm; representando una anomalía de 1 860%. Por otro lado, la sierra y selva norte presentaron precipitaciones mayores a lo habitual para el mismo período. Ver Mapa N° 26, 27, 28, 29 y 30 del Apéndice 2.

b. “La Niña” 1988/89

Es de considerar que “La Niña” comenzó en junio de 1988 y finalizó en mayo de 1989. En la costa norte la temperatura máxima promedio varió entre 28 °C a 32 °C, valores cercanos a los promedios multianuales; en tanto, en la costa central y sur, los promedios oscilaron entre 23 °C a 29 °C, los que fueron ligeramente menores a lo normal. En la sierra y selva peruana no se presentaron diferencias significativas respecto a los valores climáticos. Respecto a la variación trimestral de la temperatura máxima, lo más significativo se observa en la costa, donde los valores promedio alcanzaron hasta 33 °C en verano y 19 °C en invierno; en tanto, en la sierra los valores más altos se registraron en el trimestre setiembre-noviembre. En la selva y en los trimestres junio-agosto y setiembre-noviembre la temperatura máxima alcanzó promedios de 34 °C. Ver Mapas N° 31, 32, 33, 34 y 35 del Apéndice 2.

La temperatura mínima presentó variaciones significativas en la costa central y sur, donde la temperatura mínima promedió hasta 7 °C en Ica para el trimestre junio-agosto y cuando “La Niña” se encontraba en su fase de inicio. En la selva, las temperaturas mínimas se presentaron entre 18 °C a 21 °C, representando valores ligeramente inferiores a sus promedios multianuales. En la sierra, la temperatura mínima entre junio-agosto fue menor a -13 °C y en localidades ubicadas sobre los 4 000 m; excepto en zonas aledañas al lago Titicaca, donde los descensos fueron moderados por el efecto termorregulador del lago. Para el trimestre junio-agosto la selva sur presentó un valor promedio de 16 °C. Ver Mapas N° 36, 37, 38, 39 y 40 del Apéndice 2.

Las precipitaciones fueron mayores a los totales multianuales, destacándose 650 mm (Ricaplaya), 2 100 mm (Quiruvilca) y 6 700 mm (Pongo de Caynarachi), en la costa norte, sierra norte y selva norte, respectivamente. Asimismo, en la sierra sur (Capachica) precipitó 1 100 mm. En el resto de las regiones, las precipitaciones fueron menores a los valores multianuales. En los acumulados trimestrales muestran las mayores precipitaciones al trimestre diciembre-febrero y las menores precipitaciones al trimestre junio-agosto. Ver Mapas N° 41, 42, 43, 44 y 45 del Apéndice 2.

c. "El Niño" 1997/98

La costa presentó temperaturas máximas y mínimas que superaron a sus valores promedios multianuales hasta en 4 °C. Así, en la costa central se registró hasta 33 °C, como valor promedio de la temperatura máxima en verano.

Los valores de las temperaturas máximas en la costa fueron superiores a 28 °C; en tanto, en la sierra los promedios en las temperaturas máximas no presentan variaciones importantes respecto a las normales climáticas, y en la selva se presentó una mayor área con temperaturas máximas superior a 32 °C. Ver Mapas N° 46 al 50 del Apéndice 2.

Las temperaturas mínimas presentaron valores superiores a los normales (hasta en 4 °C) en la costa; en la sierra y selva el comportamiento de las temperaturas mínimas fueron similares a los promedios multianuales. En la selva se registraron temperaturas mínimas menores a 15 °C para el trimestre junio-setiembre. Ver Mapas N° 51 al 55 del Apéndice 2.

Las precipitaciones acumuladas entre junio 1997 a mayo 1998 fueron intensas en la costa norte, con valores hasta de 3 900 mm en Lancones; en la sierra norte, valores hasta de 4 000 mm en Santo Domingo-sierra de Piura. En la costa sur se presentaron acumulados significativos hasta de 45 mm en Punta Atico-Arequipa. En la sierra central, la lluvia totalizó puntualmente 2 000 mm en Choclococha (parte alta de Huancavelica); y la selva presentó acumulados de lluvia de 8 700 mm en San Gabán (entre Puno, Cusco y Madre de Dios). En el resto del país, las precipitaciones fueron menores a los totales multianuales. En los trimestres diciembre-febrero y marzo-mayo ocurrieron las mayores precipitaciones en todo el territorio, siendo el de menores precipitaciones el período junio-agosto. Ver Mapas N° 56, 57, 58, 59 y 60 del Apéndice 2.

CAPÍTULO 3

TENDENCIAS CLIMÁTICAS NACIONALES



TENDENCIAS CLIMÁTICAS NACIONALES

La detección de los cambios climáticos en series climatológicas y en los índices de los extremos climáticos sobre el Perú, además de ser un resultado científico importante, es una necesidad real para establecer algunos parámetros climáticos básicos del efecto de los cambios climáticos sobre el Perú. Estos parámetros serán la base fundamental para la planificación futura de las diversas actividades de la sociedad peruana.

Diversos estudios sobre tendencias climáticas de la precipitación total anual, en estaciones representativas de las regiones de la sierra y selva del Perú, para el período de 1951-2000 (Obregón y Marengo, 2006), muestran que las tendencias registradas no son estadísticamente significativas al nivel de 5% y, en la sierra y selva norte hubo un aumento de precipitaciones y en las otras regiones disminución, con valores mayores en la sierra sur que en la sierra central. En otro estudio sobre este tema, Obregón (2006), indica la necesidad de homogenizar temporalmente todas las series utilizadas en cualquier trabajo de este tipo. La razón principal se debe a la presencia de oscilaciones casi decadales o mayores que modulan la precipitación en las diferentes regiones del Perú, más que a la presencia de variaciones monotónicas (gradual) de largo plazo. Estas oscilaciones presentan correspondencia con la variabilidad de sistemas oceánicos y/o de circulación atmosférica, como son la Oscilación del Pacífico Norte (ODP), Oscilación Antártica (OAA), respectivamente.

Otro estudio, con mayor cantidad de datos (1964-2000), realizado por Sanabria y Zevallos (2006), para cinco zonas distribuidas en la costa y sierra sur del Perú, indican variaciones de la temperatura máxima y mínima entre 3 a 4 °C/década en el Altiplano y en zona costera estos valores son de 0,2 a 0,3 °C/década para las temperaturas máximas y de 0,2 a 0,5 °C/década para las temperaturas mínimas. También muestran que la precipitación anual en las cuencas altas de la costa norte y en el Altiplano se incrementó de 0,1 a 0,3 mm/década. Por otro lado, en Huancavelica y Ayacucho, disminuyó 0,2 mm/década.

Como parte del Programa Mundial de Investigación Climática (WCRP) de la Organización Mundial de Meteorología, el proyecto de Previsibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR), realizó varios estudios sobre los índices de extremos climáticos de las temperaturas. Los resultados de estas investigaciones (Vincent et al. 2005) identificaron la ocurrencia de tendencias positivas en la frecuencia de noches cálidas (TN90P) y tendencias negativas en la frecuencia de noches frías (TN10P) y en la amplitud térmica diaria para el Perú, en el período 1960-2000 no se obtuvieron resultados sobre extremos climáticos en el Perú.

Estudios recientes de tendencias de la precipitación y temperatura, así como de los extremos climáticos, fueron realizados en el departamento de Arequipa (Marengo et al. 2006 y Obregón et al, 2008). Sus resultados muestran que las tendencias de temperaturas (1971-2006), en general son positivas no significativas, con valores mayores registrados en la temperatura mínima, en los meses de otoño. Igualmente, la precipitación no presenta valores significativos, pero sí una regionalización de las tendencias. Al mismo tiempo, estas investigaciones confirman las tendencias observadas por Vincent, et al, (2005), en los extremos climáticos de las temperaturas, pero con mayor registro de observaciones (1940-2006) para las regiones altas de Arequipa (Imata). Por otro lado, en los análisis de las tendencias de los extremos climáticos de la precipitación, a largo plazo, se observan que éstos son modulados por algún tipo de oscilación mayor que la variabilidad interanual.

El presente Capítulo, basado en datos históricos observados a nivel nacional para el período 1965-2006, tiene las siguientes finalidades: 1. Detectar los cambios climáticos, caracterizando sus tendencias e índices extremos. 2. Analizar las sequías como extremo climático.

Los resultados del presente Capítulo servirán como base fundamental del conocimiento de la compleja variabilidad climática de largo plazo, desde un punto de vista global, así como herramienta para la identificación de regiones vulnerables al cambio climático y por consiguiente, para la planificación y gestión del desarrollo.

3.1 DATOS

Para realizar estudios de detección de cambios climáticos, es necesario que las series temporales climáticas utilizadas sean lo suficientemente largas, continuas y homogéneas. Esta premisa proporcionará grandes ventajas porque obtendremos las estadísticas más representativas que podrán caracterizar con mayor fidelidad los fenómenos climáticos. De este modo, los datos observados se convierten en la base de cualquier tentativa de detección de tendencias climáticas o cualquier otro tipo de análisis relacionado con el cambio climático.

La necesidad de contar con datos de buena calidad para este tipo de cálculos y análisis, conduce a preparar adecuadamente las series de datos que se utilizarán mediante un control de calidad detallado. Otra premisa, para el tipo de estudio propuesto que conduce a resaltar las características regionales, es la necesidad de contar con una adecuada distribución espacial dentro del área de estudio.

3.1.1 Datos básicos utilizados

La información básica utilizada en el presente informe son observaciones diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas del Banco de Datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú -SENAMHI- sobre todo el territorio nacional. Los períodos de observación varían bastante. La información detallada de las estaciones pluviométricas y climatológicas empleadas se encuentra en el Mapa 1 del Apéndice 1.

3.1.2 Control de calidad y llenado de datos

a. Datos diarios

La fuente de errores de cualquier tipo de dato puede ser clasificada en tres categorías:

- 1) consistencia interna;
- 2) aleatorios y;
- 3) no homogeneidad

Los errores de consistencia interna pueden resultar, por ejemplo, de la transposición de las observaciones (ejemplo: 35 mm por 53 mm). Los errores aleatorios pueden surgir por defecto de comunicación electrónica, degradación de los sensores de los instrumentos de medición y otras causas, los cuales muchas veces son difíciles de ser notados. Por último, los errores de no homogeneidad ocurren principalmente cuando existen cambios en las prácticas de observación y pueden ser detectados por ciertas discontinuidades, tendencias en los registros de los datos, etc.

Como primer paso para el control de calidad de los datos y selección de las estaciones base, para efectuar los análisis señalados, se consideraron los siguientes criterios:

- 1) Continuidad diaria de cada serie temporal, independientemente para la precipitación y la temperatura;
- 2) Análisis gráfico de la evolución de la variable con el tiempo;
- 3) Análisis diaria, mensual y estacional del promedio y variancia de la series;
- 4) Análisis de los valores discrepantes, "outliers".

Mediante el primer tipo de análisis se determinó el período común, de 1965 a 2006, pues la mayoría de las estaciones presentan registros observacionales dentro de esta etapa, por lo cual se escogió como el período base de los datos a utilizarse. Esto también, satisface la necesidad de contar con apuntes temporalmente homogéneos para realizar los cálculos y facilitar los análisis pertinentes sobre los índices de extremos climáticos y, posteriormente, obtener las series temporales de las variables climáticas para el cálculo y análisis de las tendencias en cumplimiento a los objetivos del presente informe.

Luego, a partir de los otros dos tipos de análisis, realizados en las estaciones previamente seleccionadas para el período escogido, los supuestos datos errados fueron reconocidos y separados cuando las estaciones presentaban distribuciones ajenas a las observadas en estaciones adyacentes de ésta. Finalmente, fueron separados los valores que pasaron 2,5 veces las variancias de las estaciones adyacentes.

Del conjunto de estos análisis se seleccionó las estaciones base, con datos diarios, para los cálculos de los índices de extremos climáticos. Luego, la condición principal para la selección final de las estaciones base, fue que las series temporales de cada variable presentasen más del 90% de datos diarios válidos continuos, dentro del período de 1965 a 2006 (42 años) o, hasta un 85% de datos discontinuos, pero que mostrasen datos al inicio y final del período escogido. Así, se seleccionaron 99 estaciones con datos de precipitación diaria.

b. Datos mensuales

A pesar que se han realizado muchos estudios climáticos sobre el Perú, no existen estudios extensivos sobre la calidad de los datos utilizados para estos fines. Todos los apuntes observados presentan discontinuidad de diverso orden que necesitan ser trabajados para poder obtener datos representativos, en la que es posible, con bastante aproximación a la realidad, completarlos adecuadamente para obtener resultados confiables y realistas de la variabilidad climática en el Perú, a partir de las series históricas.

Para la selección de las estaciones climáticas base de precipitación total mensual y temperaturas medias mensuales, inicialmente, se consideraron todas aquellas en las cuales los datos mensuales faltantes discontinuos fueron menores al 12% (60 meses), de toda la serie mensual para el período (1965-2006). Sin embargo, fue necesario aumentar el número de estaciones con series de precipitación y temperaturas con aquellas que presentaban hasta un 15% de datos mensuales faltantes. Esto se realizó, particularmente, en lugares donde había baja densidad o inexistencia de información sobre algunos departamentos, como fue el caso de estaciones con falta de información de precipitación sobre la ciudad de Iquitos, las que no cumplían las características requeridas inicialmente. En muchas estaciones, la falta de datos mensuales fue fundamental para ser seleccionadas, pues en la mayoría de los casos no reportaban apuntes completos para calcular los índices climáticos.

El paso siguiente fue completar datos mensuales de cada una de las series seleccionadas, conforme es indicado en el párrafo anterior. Así, para realizar estos estudios se utilizaron los métodos de interpolación denominado Kriging y el estadístico Auto-regresivo de primer orden (AR1).

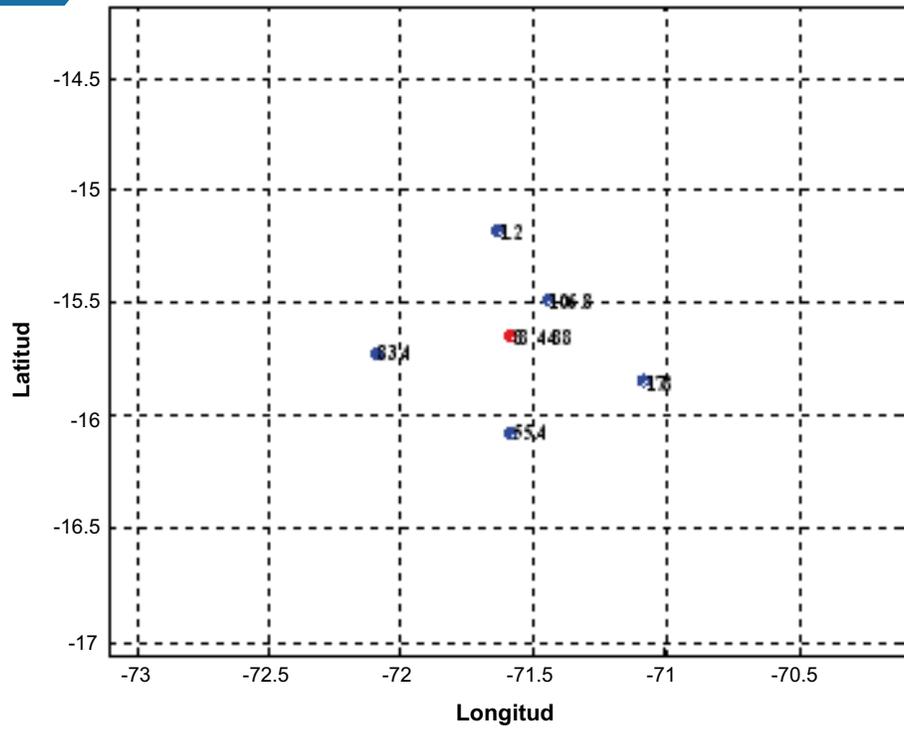
El método Kriging fue utilizado cuando existían datos suficientes (en más de 3 puntos de grilla) dentro del radio de $\pm 0,5^\circ$ de latitud/longitud. En este caso se determinó un valor estimado, puntual, del dato faltante a partir de otros existentes, como es mostrado en la Figura 9 y la serie de precipitación completa, indicando los datos que faltaban, como se muestra en la Figura 10.

Cuando no existían datos dentro del radio de $\pm 0,5^\circ$ al dato faltante o cuando la estación no tenía otra para correlacionarse, se utilizó el método Auto-regresivo para llenar hasta tres (3) datos continuos faltantes. Para utilizar este método, los datos son inicialmente estandarizados con la finalidad de remover señales como el ciclo anual, además de las tendencias lineales, y se calcula los datos faltantes, luego se reconstruye la serie temporal. Este sistema se puede realizar varias veces hasta completar la totalidad de los datos faltantes.

Un ejemplo se presenta en la Figura 11, en la que se completaron 7 datos, que representan el 2,8% del total de los ya existentes. A partir de esta nueva serie, mostrada en la Figura 12, se vuelve a calcular los datos que faltan. En caso que no se consiga completar la totalidad de datos, se puede utilizar otros criterios, como el de análisis armónico para el caso de temperaturas, y completar la totalidad de datos con o sin la ayuda de alguna otra estación cercana con la cual podría estar correlacionada.

Las series temporales, con datos completados, fueron sometidas a los siguientes análisis finales, para determinar la homogeneidad de cada una de las variables climáticas:

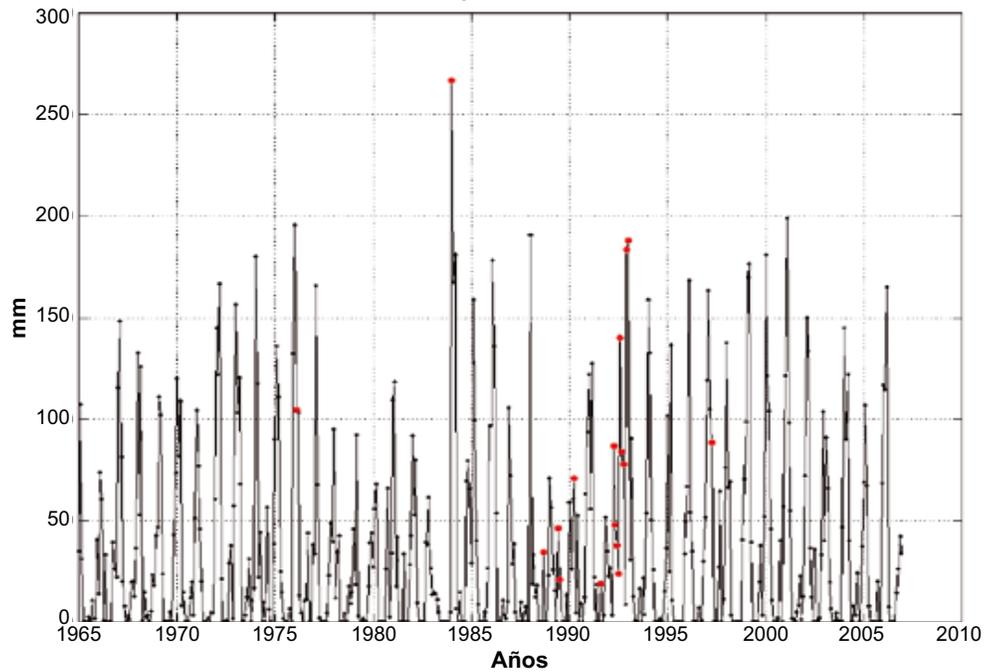
FIGURA 9



■ Ejemplo de interpolación utilizando el método Kriging. Los puntos azules representan a los datos observados. El punto rojo representa el dato calculado a partir de los otros (puntos azules).

FIGURA 10

Completar datos

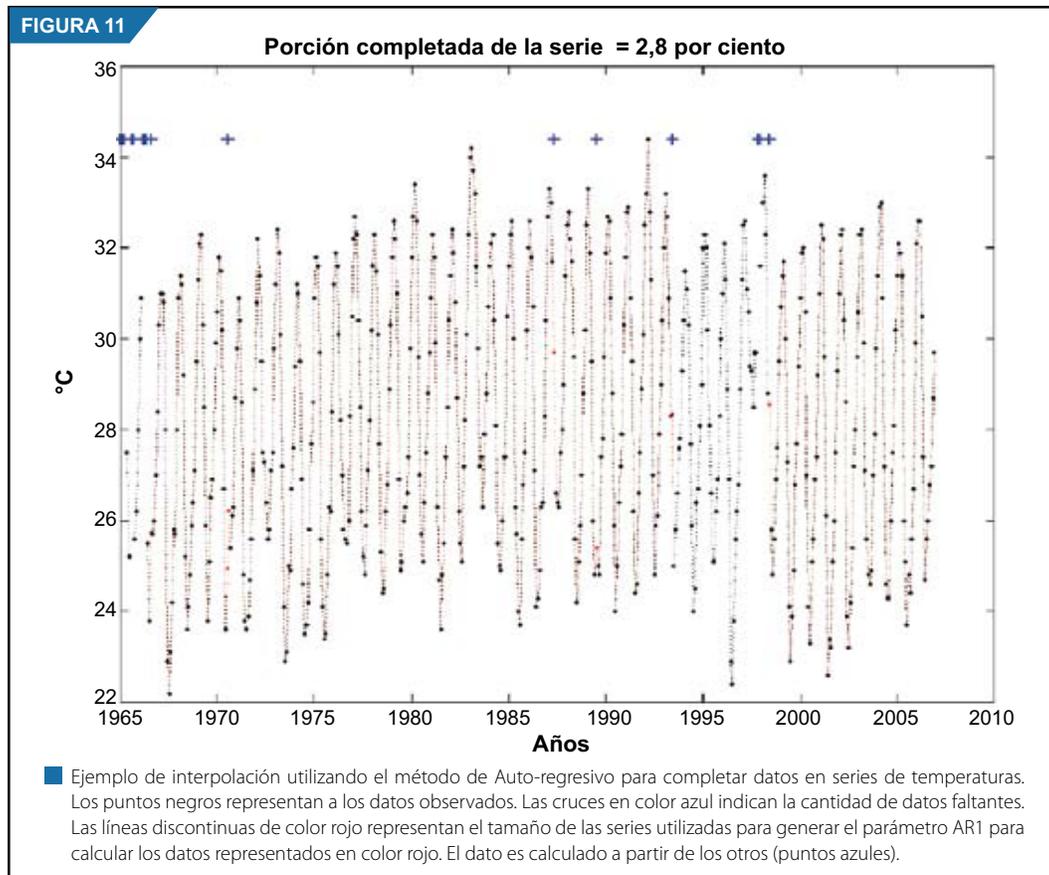


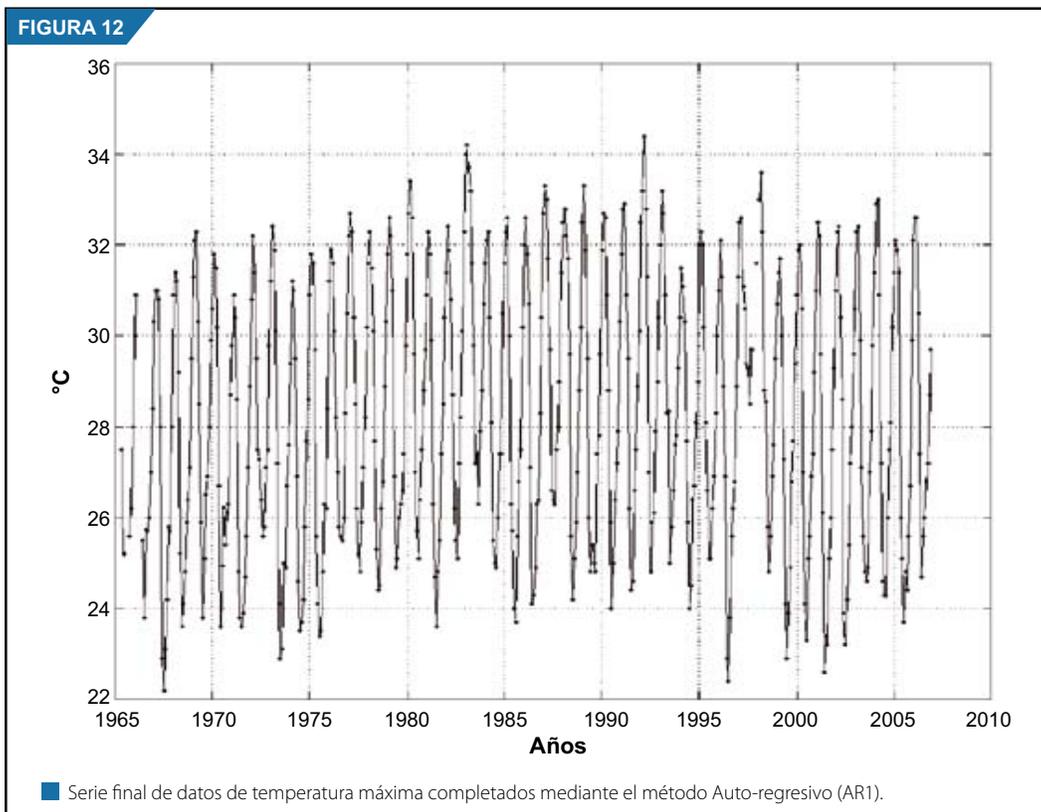
■ Ejemplo de interpolación utilizando el método Kriging en series de precipitación. Los puntos rojos representan los datos completados, calculados a partir de las series de datos adyacentes observados.

- 1) Análisis de promedios parciales y desvíos acumulativos del promedio;
- 2) Selección de la mejor serie correlacionada (homogénea);
- 3) Aplicación del método de doble masa.

La remoción de la heterogeneidad, cuando es observada, consiste en la corrección de la porción en que la heterogeneidad de la serie fue detectada por la curva de doble masa. Siguiendo este procedimiento, la inferencia de la heterogeneidad de la evolución temporal de las series climáticas puede ser alcanzada mediante un análisis gráfico. También los valores dudosos pueden ser localizados con facilidad desde que se encuentran asociados a saltos, tendencias y singularidades para un determinado período. Asimismo, los cambios en los promedios pueden ser detectados con facilidad en series largas. Los ajustes descritos no solamente remueven inconsistencias, con la finalidad de generar series temporales homogéneas, sino también reducen bastante, o idealmente eliminan el sesgo contenido dentro de toda la serie temporal.

Al concluir estos ajustes se seleccionaron 64 estaciones de precipitación total mensual, mostrados en la Figura 13a y descritos en la Tabla 2.4. También 29 estaciones con datos de temperatura máxima y mínima promedio mensual. La distribución de estas dos últimas series de datos están mostrados en la Figura 13b-c y descritas en las Tablas 2.5 y 2.6, respectivamente.





3.2 METODOLOGÍA

3.2.1. Estimación de la tendencia lineal

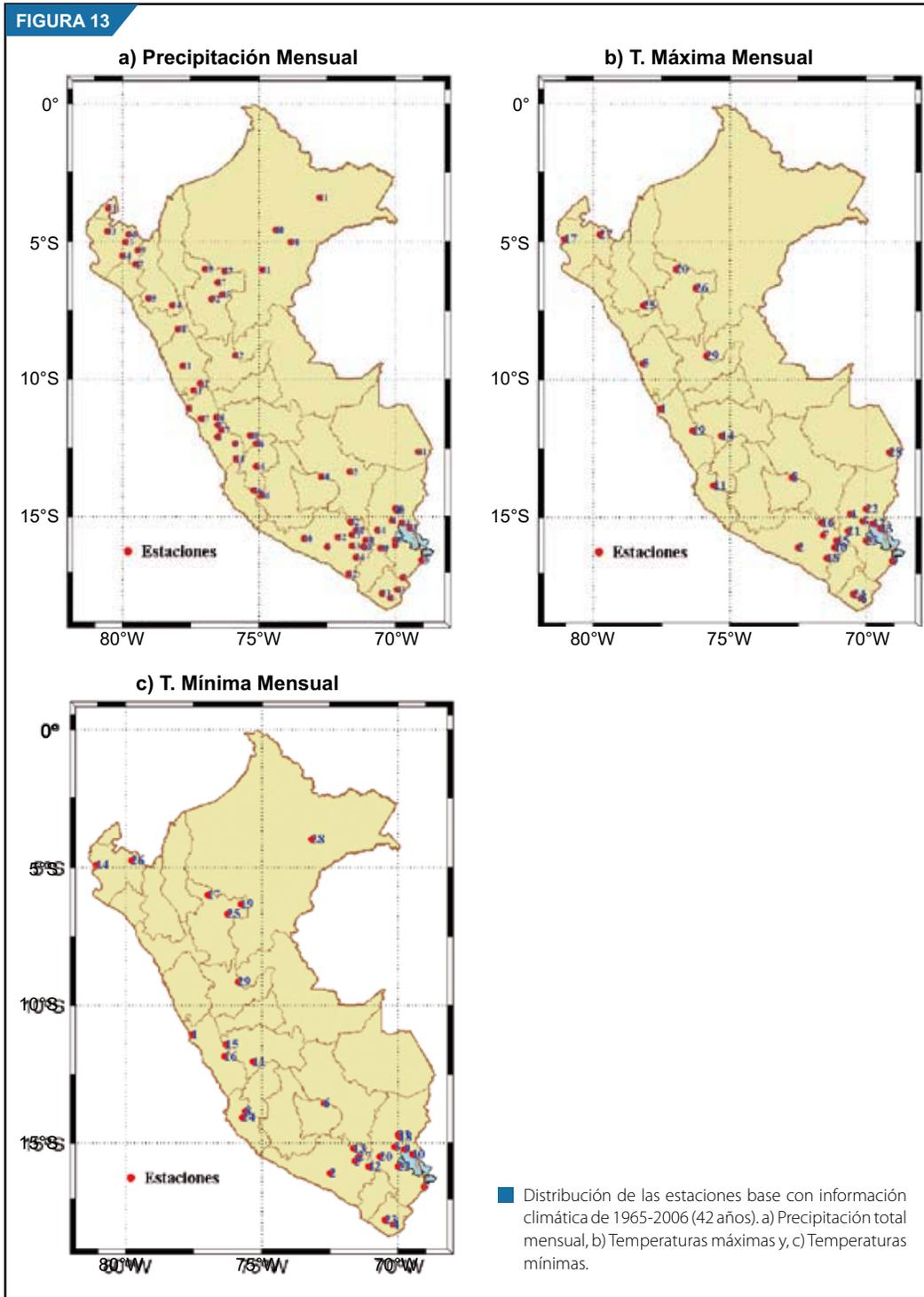
La magnitud de la tendencia lineal estimada de una serie temporal, denominada inclinación (razón de la variable por unidad de tiempo), puede ser estimada a partir del cálculo de los mínimos cuadrados de la inclinación estimada " β ", utilizando el método de Regresión Lineal. Sin embargo, " β ", calculado de esta manera, puede desviarse significativamente del verdadero valor de la inclinación cuando existen valores discrepantes ("outliers") en los datos de la serie temporal a ser calculada (Gilbert, 1987). Por ese motivo se utiliza un procedimiento muy simple, desarrollado por Sen (1968) y extendido por Hirsch et al. (1982).

En este método, la inclinación de las tendencias de la serie temporal es obtenido a partir del cálculo de las, $N' = n(n-1)/2$, inclinaciones estimadas a través de

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i}$$

Donde: x_j y x_i son valores de los datos en el tiempo j e i , respectivamente, y $j > i$. N' es el número de pares de datos de la serie en las cuales $j > i$. La mediana de estos N' valores de S_e es el valor estimado de la inclinación de la serie temporal, denominada como inclinación de Sen.

Debido a la alta variabilidad, tanto temporal y espacial de la precipitación, se hace necesario algún tipo de normalización en el tratamiento de estos cálculos, fundamentalmente para analizar la distribución



espacial de tendencias. Así, para obtener un mejor análisis y entendimiento de la distribución espacial de las tendencias de precipitación, en el presente informe se presenta la magnitud porcentual de las tendencias lineales de cada serie temporal en relación al promedio del período en estudio.

Este parámetro es calculado de la siguiente manera:

$$T = \frac{\bar{x} * d}{x_i} * 100$$

Donde: \bar{x} es la inclinación estimada de la serie temporal mediante el método de Sen, x_i es el promedio de la precipitación para el período y nd es el número de datos (años o meses) de la serie de datos considerados. Por ejemplo, nd es igual a 42 años para las precipitaciones (1965-2006). Para las tendencias lineales de las temperaturas máximas y mínimas fueron expresadas en °C/década.

3.2.2. Determinación de la significancia estadística de la tendencia lineal

Para la determinación de la significancia estadística de las tendencias lineales de la precipitación, temperaturas e índices climáticos se utiliza el test no paramétrico de Mann-Kendall. La ventaja de este test es saber utilizar la magnitud relativa de los valores de la serie temporal, filtrando valores extremos, en vez de utilizar los valores reales. Al mismo tiempo, es necesario tener presente que en este test los datos necesitan cumplir con las siguientes condiciones: ser variables aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas (iid). En conclusión, la autocorrelación de la serie necesita ser nula.

Estas condiciones limitan su aplicación en las series climatológicas, como la precipitación, debido a la fuerte dependencia mensual o estacional. Esto induce a la necesidad de tener en cuenta las características de este test cuando es aplicado a las series climatológicas, como la precipitación, para las series totales anuales, totales o promedios de una estación o determinado mes, que pueden ser considerados como independientes. Mayores detalles sobre esta metodología son encontrados en Kendall (1975), Hirsch y Slack (1984) e Gilbert (1983).

La hipótesis nula (H_0) considera que los datos: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (iid). El test estadístico de Mann-Kendall (S) es dado por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j)$$

Donde: la función sgn es:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_i - x_j) &= 1, & \text{sí } x_i - x_j > 0, \\ &= 0, & \text{sí } x_i - x_j = 0 \\ &= -1, & \text{sí } x_i - x_j < 0 \end{aligned}$$

Para las series con tamaño mayores que 10, la estadística (S) se aproxima a la distribución normal, cuando se hace la siguiente corrección: $S = S - \text{sgn}(S)$. Considerando la hipótesis nula y la ausencia de repetición de valores dentro de la serie, la variancia de (S), $[\text{Var}(S)]$, es definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{8}$$

Y con la corrección, debido a las repeticiones, la variancia queda:

$$\text{Var}(S) = \frac{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]}{8}$$

Donde: g es el número de grupos con datos repetidos y tp es el número de datos en el p -ésimo grupo. Luego S y $Var(S)$ son utilizados para el cálculo de la estadística Z , con distribución normal estandarizada:

$$Z = \frac{S - 1}{[Var(S)]^{1/2}}, \quad \text{si } S > 0,$$

$$Z = 0, \quad \text{si } S = 0,$$

$$Z = \frac{S + 1}{[Var(S)]^{1/2}}, \quad \text{si } S < 0$$

Los valores positivos (negativos) de Z indican tendencia ascendente (descendente). Con la finalidad de mejorar la interpretación y profundizar los análisis de las tendencias lineales, se calcularon las tendencias de las variables climáticas de la precipitación para los totales anuales y estacionales, y para las temperaturas, los promedios anuales y estacionales. Para las tendencias de los índices climáticos se consideran solamente los valores anuales. Las estaciones del año para el presente trabajo fueron definidas del siguiente modo: primavera (SON), verano (DJF), otoño (MAM) e invierno (JJA).

Si la hipótesis nula (H_0) es verdadera, la estadística Z tiene distribución normal estándar. Para testar, tanto las tendencias ascendentes como las descendentes, al nivel significativo α la H_0 es aceptada si el valor absoluto de Z es menor que $Z_{1-\alpha/2}$ (teste de dos lados). El valor $Z_{1-\alpha/2}$ es escogido a priori una vez que no tenemos conocimiento de la dirección de la tendencia. Este valor, α , en todos los test realizados para el presente informe, es de 0,05 (5%).

3.2.3. Determinación de los índices de los extremos climáticos

Para el cálculo de los índices de los extremos climáticos se utiliza datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima. Los índices utilizados en el presente informe están basados en la metodología de Frisch et al. (2002) y son empleados en el reporte del IPCC AR4 (Trenberth et al. 2006) para definir variaciones de los extremos en el clima del futuro. A continuación en la Tabla 1 se describen cada una de las definiciones de los índices calculados para el presente informe.

Estos índices no representan extremos considerados como raros, los cuales podrían afectar el tratamiento estadístico y la significancia de las tendencias debido al pequeño número de eventos registrados en el récord histórico. Algunos de estos índices están basados en un valor umbral fijo, posibilitando un fácil entendimiento de sus impactos. Otros índices están basados en percentiles, lo cual permite comparaciones entre estaciones.

3.2.4. Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)

La metodología utilizada en el análisis de sequías en el presente informe, es el Índice de Precipitación Estandarizada (en inglés SPI). La utilización del SPI es porque facilita un valor simple para medir la intensidad de la sequía, como una medida de su probabilidad de ocurrencia, para cualquier escala de tiempo deseado, el cual refleja el impacto de las sequías sobre la disponibilidad de los recursos hídricos.

Otra característica importante del SPI es su invariancia temporal que permite que eventos de corto plazo (período) o largo plazo (período) sean capturados con la misma metodología, en la que es posible experimentar condiciones de sequía para una escala de tiempo mientras se experimenta condiciones de humedad para otra escala. Esto hace que el SPI sea una herramienta muy versátil para reportar las condiciones de precipitación.

Tabla 1: Indicadores de los extremos climáticos

Indicador	Nombre del indicador	Definición	Unidad
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1\text{mm}$	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1\text{mm}$	días
R10mm	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que $PRCP \geq 10\text{mm}$	días
R20mm	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que $PRCP \geq 20\text{mm}$	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
RX1day	Cantidad máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
RX5day	Cantidad máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
TX10	Días fríos	Porcentaje anual en la cual la temperatura máxima es $TX < 10$ th percentil en relación a la climatología de 1971-2000	días
TX90p	Días calientes	Porcentaje anual en la cual $TX > 90$ th percentil en relación a la climatología	días
TN10p	Noches frías	Porcentaje anual en la cual la temperatura mínima es $TN < 10$ th percentil en relación a la climatología de 1971-2000	días
TN90p	Noches cálidas	Porcentaje anual en la cual $TN > 90$ th percentil en relación a la climatología	días

El Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) fue originalmente diseñado como un método para cuantificar y definir las condiciones de sequías (McKee et al., 1993 y 1995), posteriormente, se convirtió en una herramienta válida para todos los estudios de disponibilidad hídrica, sean estos de corta o larga duración (Hayes et al., 1999). El cálculo de los valores del SPI está basado en la distribución de la precipitación sobre períodos de tiempo relativamente largos (preferiblemente más de 50 años). A partir de los registros de precipitación mensual de 1965 a 2006 (42 años) para 64 estaciones distribuidas sobre el Perú, los totales mensuales de precipitación de cada estación fueron acumulados trimestralmente y anualmente y, luego, ajustados a una distribución de probabilidades Gama, condición necesaria para la aplicación del SPI (McKee, 1993; Abramowitz y Stegun, 1972) para determinar los valores mensuales, trimestrales y anuales. Esta distribución luego es transformada en normal estándar, para que así la media sea cero y el desvío estándar, la unidad.

Los valores del SPI corresponden así a la estandarización de los totales de las precipitaciones gama-transformados, por lo cual un índice igual a cero indica que no hubo desvíos en los valores de la precipitación, relativo a la precipitación promedio para el período analizado. Los valores positivos del SPI indican que la precipitación es superior al promedio y valores negativos indican que la precipitación es inferior al promedio. Así, períodos de sequía son caracterizados por los valores negativos del SPI (Tabla 2).

Tabla 2: El SPI e intensidad de las sequías

SPI	Severidad de la sequía	Probabilidad
> 0	Húmeda	50%
-0,99 a 0	Ligera	34,1%
-1,49 a -1	Moderada	9,2%
-1,99 a -1.5	Severa	4,4%
<= -2	Extrema	2,3%

Fuente: McKee, 1993.

La distribución gama está definida en la literatura (Wu et al., 2005) y es precisada mediante la siguiente ecuación:

$$G(x) = \frac{1}{b \Gamma(a)} \int_0^x t^{a-1} e^{-t/b} dt$$

Donde:

$G(x)$ – probabilidad acumulada
 β – parámetro de escala
 α – parámetro de forma
 x – variable aleatoria (precipitación mensual)
 $\Gamma(\alpha)$ – función gama

Los parámetros α e β son estimados por $a = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$ e $b = \frac{\bar{x}}{a}$. Donde:

$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum (\ln(x))}{n}$, siendo n el número de observaciones (Lloyd-Hughes e Saunders, 2002).

Luego del cálculo de la probabilidad acumulada, $G(x)$, siendo x la precipitación mensual, semestral y anual, se determinó el valor de Z (precipitación estandarizada) para la misma probabilidad, así se obtiene el SPI.

3.2.5. Teleconexiones de las sequías en el Perú

Los mecanismos atmosféricos de gran escala que modulan el tiempo y clima y, producen la precipitación sobre el Perú, son diversos, y asociados a las condiciones geográficas locales, resultan en los diferentes regímenes de precipitación observada.

Es conocido que la fase caliente del fenómeno ENOS causa anomalías de precipitación sobre el sur del Perú e inundaciones en la costa norte (Quinn y Neal, 1992). Así, esta relación estacional entre los SPI y la anomalía mensual de temperatura superficial del mar de El Niño 3.4, que es un índice del fenómeno ENOS, busca, además, confirmar el efecto de los eventos cálidos de ENOS en producir anomalías negativas en la precipitación y determinar la variabilidad de la intensidad de estas asociaciones en todo el Perú. Por otro lado, existen estudios sobre el impacto de la PDO en las precipitaciones. Resultados del trabajo

de Obregón y Marengo, (2006) muestran que la precipitación en la sierra central y sur son fuertemente modulados en escalas decadales por la Oscilación Decadal del Pacífico. El propósito es difundir estos resultados y determinar la existencia de posibles teleconexiones consistentes: espacial y estacionalmente. También, la diferencia de temperaturas superficiales de agua de mar (TSM) entre el Atlántico Tropical Sur y Norte (TSA-TNA), definida por Rajagopalan et al. (1998), está asociada a la posición latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y presenta alta variabilidad interanual y también decadal. Si la fuente principal de humedad atmosférica sobre las regiones de la selva y sierra del Perú es el Océano Atlántico, es de suponer que el transporte de humedad del Atlántico Tropical relacionado, principalmente, con la variabilidad interanual del dipolo de la TSM entre el Atlántico tropical sur y norte, cause algún efecto en la distribución de la precipitación y los eventos de sequías sobre el Perú

a) Correlaciones simultáneas

Con la finalidad de determinar estas posibles teleconexiones entre patrones de gran escala que modulan la ocurrencia de las precipitaciones a través de las diferentes estaciones del año y, por ende, las sequías en el Perú, se realizaron los análisis de correlaciones simultáneas entre las series temporales estacionales de los SPI y los índices del fenómeno de El Niño/Oscilación Sur (ENOS), el índice de la Oscilación Decadal de Pacífico (PDO en inglés) y la diferencia estandarizada entre las TSM del Atlántico Tropical Sur y Norte (TSA-TNA). Las series estacionales para cada uno de los índices océano/atmosféricos y para el SPI, fueron calculadas como anomalías estandarizadas, calculadas a partir de las medias mensuales de cada estación del año.

La correlación simultánea nos indica la relación lineal que existe entre dos variables, $x(t)$ e $y(t)$, durante el período de tiempo N . La magnitud del coeficiente de correlación (r), indica una medida útil de la proporción de la variabilidad en la cual ambas variables están asociadas. En el caso que el coeficiente de correlación sea estadísticamente significativa, existe la posibilidad de que haya una relación de física inherente. La correlación es definida de la siguiente forma:

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (x(t) - \bar{x}) \cdot (y(t) - \bar{y})}{S_x S_y}$$

Donde: $x(t)$ e $y(t)$ son las series temporales de tamaño N con promedios \bar{x} e \bar{y} , y desvíos estándar S_x y S_y , respectivamente.

b) Significancia estadística de las correlaciones

La significancia estadística de las correlaciones es calculada con el número de grados de libertad efectivo de las series, que son obtenidos mediante el método sugerido por Davies (1976), del siguiente modo:

$$N_{\text{ef}} = \frac{N}{T_d}$$

Donde: N_{ef} es el número efectivo de observaciones independientes; N el tamaño de la serie temporal y T_d es la escala temporal característica.

En el presente trabajo, para el cálculo de T_d se asume que las series son realizaciones de procesos autorregresivos AR(1) o procesos de ruido rojo, de tal modo que:

$$T_d = \frac{1 + r_x(1)r_y(1)}{1 - r_x(1)r_y(1)}$$

Donde: $r_x(\mathbf{1})$ es la autocorrelación de la serie base X y $r_y(\mathbf{1})$ es la autocorrelación de la segunda serie Y.

Posteriormente, la significancia al nivel de 95% de las correlaciones es obtenida mediante el test t-Student bilateral, basado en la hipótesis nula de correlación cero.

3.2.6. Análisis de las componentes principales

El Análisis de las Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística multivariada utilizada para examinar la estructura espacio-fase de las variables climático/atmosféricas, que constan de varias dimensiones, por lo cual es conveniente y necesario reducir la dimensión de estas a dimensiones menores, en las cuales la mayor proporción de la variabilidad sea representada.

En estudios con datos observados y de modelamiento, tanto meteorológicos como climatológicos, el APC es bastante conocido y utilizado con mucha frecuencia. Mayores detalles pueden ser encontrados en muchas referencias (p. e., Richman, 1986; Preisendorfer, 1988; Von Storch y Navarra, 1995; Von Storch y Zwiers, 1999).

Para el presente informe, el ACP se utiliza para determinar los patrones espacio/temporales de las sequías en el Perú, en base a las series temporales de los 64 SPI trimestrales (sequías agro meteorológicas), calculados como es indicado en el ítem 3.1. El motivo para utilizar las series trimestrales se debe a que estas presentan valores continuos, muy diferentes de los valores mensuales, que presentan muchos valores nulos como consecuencia de los períodos secos prolongados.

El cálculo del ACP se realizó a partir de la diagonalización de la matriz de dispersión o correlación C (MxM), obtenida a partir de la matriz de datos de los Índices de Precipitación Estandarizada (SPI), mensual normalizados, X(NxM), donde M = 64 corresponde al número de series de SPI (estaciones pluviométricas) y N = 504 es el número de meses del período del presente estudio (1965-2006). A partir de la matriz C se determinan grupos de patrones, mutuamente ortogonales, que incluyen la matriz E(MxM) y la matriz correspondiente, de coeficientes de expansión, Z(NxM), cuyas columnas son mutuamente ortogonales. Los patrones son denominados "funciones ortogonales empíricas" - FOE (o autovectores) y, en este caso, representan el patrón espacial, y los coeficientes de expansión son referidos como las "componentes principales" - CP, o series temporales de la matriz de coeficientes Z. Se enfatiza que la primera función ortogonal empírica e1 es la combinación lineal de las variables de entrada xj que explican la mayor fracción posible de la dispersión combinada de los X's. La segunda e2 es la combinación lineal que explica la mayor fracción posible de la dispersión residual y así sucesivamente.

En cualquier ACP es importante determinar cuántas FOE/CPs representan la señal y cuantas de ellas son las indeseadas "ruidosas" y, también la unicidad estadística de cada autovalor (FOE), que es determinado por la separación de sus respectivos autovalores. También se demostró que cuando los autovalores vecinos tienen magnitudes similares, ocurre una "degeneración efectiva", en las cuales dos o más FOEs se encuentran mezcladas. Para diagnosticar la unicidad y determinar el número de FOEs representativas del análisis, se utiliza la regla de North, (1984). Esta regla determina que para que los autovalores vecinos no puedan estar sujetos a mezclarse, la separación de un autovalor de los adyacentes, $\Delta\beta\alpha = \lambda\alpha - \lambda\beta$, debe ser mayor que su error de muestreo ($\lambda\delta\alpha = \lambda\alpha (2/n)^{1/2}$). Así, estos hacen parte de un "multiplet" degenerado y sus FOEs son una mezcla de las verdaderas FOEs.

3.2.7. Análisis de la Transformada de Onditas

La Transformada de Onditas (TO) proporciona una evaluación local de la amplitud y fase de cada harmónico, contrario a la tradicional transformada de Fourier, que proporciona la amplitud y fase media de cada harmónico sobre todo el período. Así, la TO es útil para detectar señales no estacionarias o fluctuaciones de carácter episódico.

También, la TO provee una ventana adaptativa tiempo-frecuencia que automáticamente se alarga cuando enfoca oscilaciones de alta frecuencia y se estrecha para bajas frecuencias. Estas características son adecuadas en los análisis de señales con componentes de múltiple escala. Por este motivo, la TO se considera ideal para el análisis de las series que son altamente no estacionarias con características episódicas y de múltiple escala, como se espera sean las series temporales de los patrones de las sequías en el Perú, resultado de los ACP.

La Transformada de Onditas (Wavelet) descompone una función continua $f(t)$ en términos de un grupo de onditas $y_{r,s}(t)$. Cada ondita es derivada de una función básica $y(t)$ mediante la traslación r (cambio de posición) y de la dilatación s (cambio de escala),

$$y_{r,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} y\left(\frac{t-r}{s}\right)$$

La Transformada de Onditas continua de la función $f(t)$ es definida como la integral de

$$W(r,s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int y^*\left(\frac{t-r}{s}\right) f(t) dt$$

Donde: y^* es el complejo conjugado de y . El factor $1/\sqrt{s}$ de la integral es utilizado para normalizar la energía de cada ondita. Esta ecuación muestra esencialmente la transformada de la función $f(t)$, del dominio temporal, para la función $W(r,s)$ en el dominio de la traslación y de la escala, o en el dominio $r-s$. Para una ondita dada, usualmente existe una relación que traslada r para el tiempo t , y la escala s para la frecuencia f , permitiendo obtener la relación $W(r,s) \rightarrow W(t,f)$. En conclusión, la Transformada de Onditas descompone la función $f(t)$ en el espacio tiempo-frecuencia, $t-f$.

Existen muchas funciones básicas utilizadas para generar varias onditas. En el presente trabajo se utiliza la función más ampliamente compleja de Morlet (Morlet et al., 1982a, 1982b). Esta función es compuesta de una onda plana modulada por un envelope Gaussiano. Las onditas generadas son denominadas onditas de Morlet. El patrón similar a ondas de esta ondita es particularmente adecuada para los análisis de las oscilaciones de las series temporales de cada patrón significativo determinado en los ACP de los índices de la precipitación estandarizada (SPI) mensual para el Perú. La función básica de Morlet es expresada como:

$$y(t) = e^{i w_0 t} e^{-t^2/2}$$

Donde: w_0 es la frecuencia no dimensional y tiene el valor de 6 para satisfacer la condición de admisibilidad (la función básica de Morlet debe tener cero como valor medio y estar localizado en ambos espacios: tiempo y frecuencia). Y las onditas generadas son:

$$y_{r,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} e^{i w_0 \left(\frac{t-r}{s}\right)} e^{-\left(\frac{t-r}{s}\right)^2/2}$$

La relación entre el espacio $r-s$ y el espacio $t-f$ para la ondita de Morlet (Torrence y Compo, 1998) son:

$$t_f = r \frac{w_0 + \sqrt{w_0^2 + 2}}{4\pi s}$$

Las series temporales de cada uno de los patrones espaciales de los SPI, determinados mediante los ACP, serán sometidas al Análisis de la Transformada de Onditas con la finalidad de determinar las oscilaciones en las varias escalas características de cada una de ellas y, con ello estimar su relación a la variabilidad interanual o mayores de las sequías.

3.3 RESULTADOS

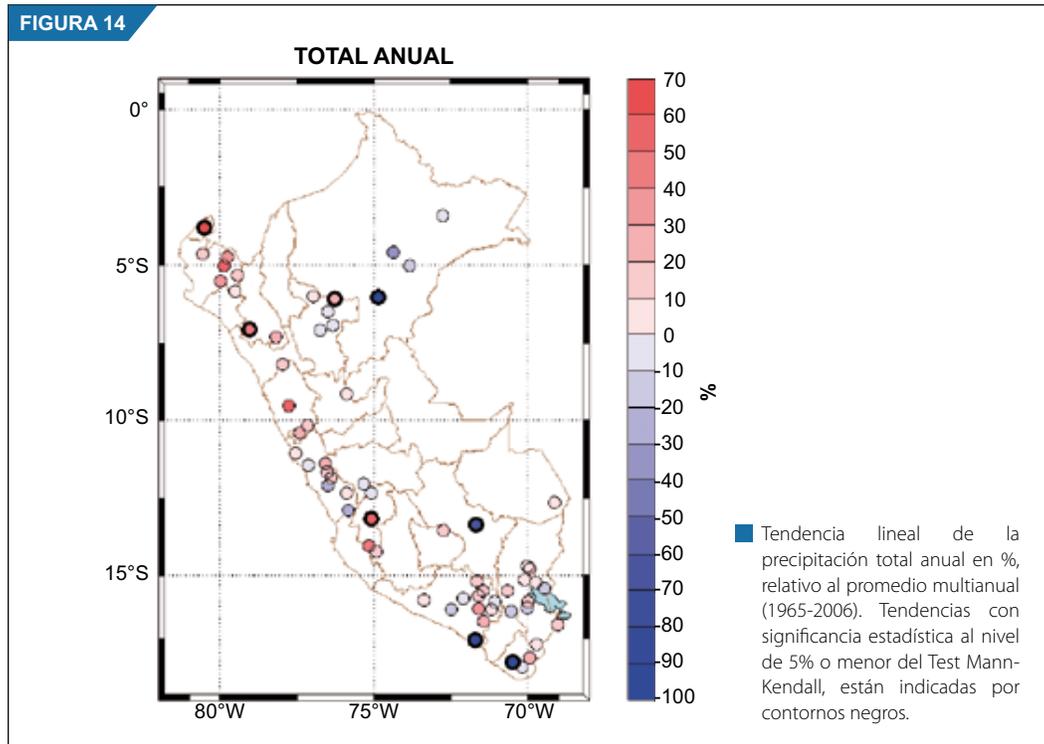
En el presente ítem se analiza en detalle la detección del cambio climático e índices de extremos climáticos nacionales.

3.3.1 Tendencias lineales de la precipitación

Las tendencias lineales de la precipitación anual total, calculadas en porcentaje, en relación al valor promedio del período analizado (1965-2006) para 64 estaciones distribuidas sobre el Perú, son mostradas en la Figura 14. Los valores extremos observados alcanzan porcentajes desde -94%, en la estación de Juancito, departamento de Loreto, hasta +70% en la estación de Rica Playa, departamento de Tumbes.

Sobre toda la costa norte del Perú se observa un incremento de los totales anuales de precipitación en los últimos 42 años (1965-2006). Esta característica se extiende hacia la costa central (parte norte de Lima) y la selva norte del Perú. Luego, las tendencias positivas continúan en toda la sierra central y llegan a la sierra sur, sobre Puno, particularmente las zonas más altas de Arequipa y Tacna. La extensión de estas tendencias positivas hacia la selva norte se observan en algunas estaciones aisladas, en medio de otras estaciones con tendencias negativas, particularmente sobre la región de la selva del departamento de San Martín. En la selva norte (Loreto) se observan tendencias negativas, centradas en la estación de Juancito. Contrariamente, en la selva central (Tingo María) y selva sur (Tambopata), las tendencias son positivas.

Asimismo, en la parte central y sur de la costa y lado occidental de la sierra se observan tendencias positivas y negativas no significativas sin un patrón regional visible. Es de observarse que entre el sur de Arequipa y Tacna estas tendencias se acentúan negativamente, alcanzando valores negativos intensos ente -82% y -84%, que son estadísticamente significativos. Por todo lo observado sobre la sierra y selva sur, aparentemente se muestra algún tipo de patrón regional climatológico de precipitaciones, particularmente en los departamentos de Puno, Arequipa y Madre de Dios.



Una localidad con tendencia negativa, significativa es Colquepata (Cusco), que registra un -68%. La falta de datos sobre la región central de la sierra y selva del Perú no permite obtener ni hacer algún tipo de relación entre las tendencias negativas registradas en la selva norte y la posible extensión hasta el departamento del Cusco, ya que cualquier conjetura realizada, referente a este hecho, no tendría ningún asidero por la falta de observaciones.

La mejor manera de tener una idea clara entre la variabilidad interanual de la precipitación total anual y su relación con las tendencias lineales, es mediante la distribución temporal de la precipitación total anual durante el período de estudio. En la Figura 15 se muestran la distribución interanual de la precipitación y sus tendencias de cuatro estaciones distribuidas sobre el Perú que pueden representar las características regionales de la precipitación, las que se localizan en la costa norte (Sondorillo), selva norte (Juancito), sierra central (Huayao) y sierra sur (Puno).

Las precipitaciones totales sobre Sondorillo son inferiores a 700 mm y muestran un ligero incremento constante de la precipitación a lo largo de los 42 años (17,7% del promedio en total). La variabilidad interanual no presenta claramente ninguna señal relacionado con el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS). La estación localizada en Juancito se caracteriza por una intensa disminución de precipitación, estadísticamente significativa, de -40 mm/año (-93% del promedio), principalmente desde la década de los años 1970 hasta fines de los años 1990. Luego ocurre un incremento de precipitación muy intenso que pasa, de un valor promedio cercano a 1000 mm en el quinquenio 1995-2000, a un pico de más de 3000 mm en el 2002. La variabilidad interanual no muestra ninguna modulación relacionada con el fenómeno ENOS ni alguna otra con un período mayor.

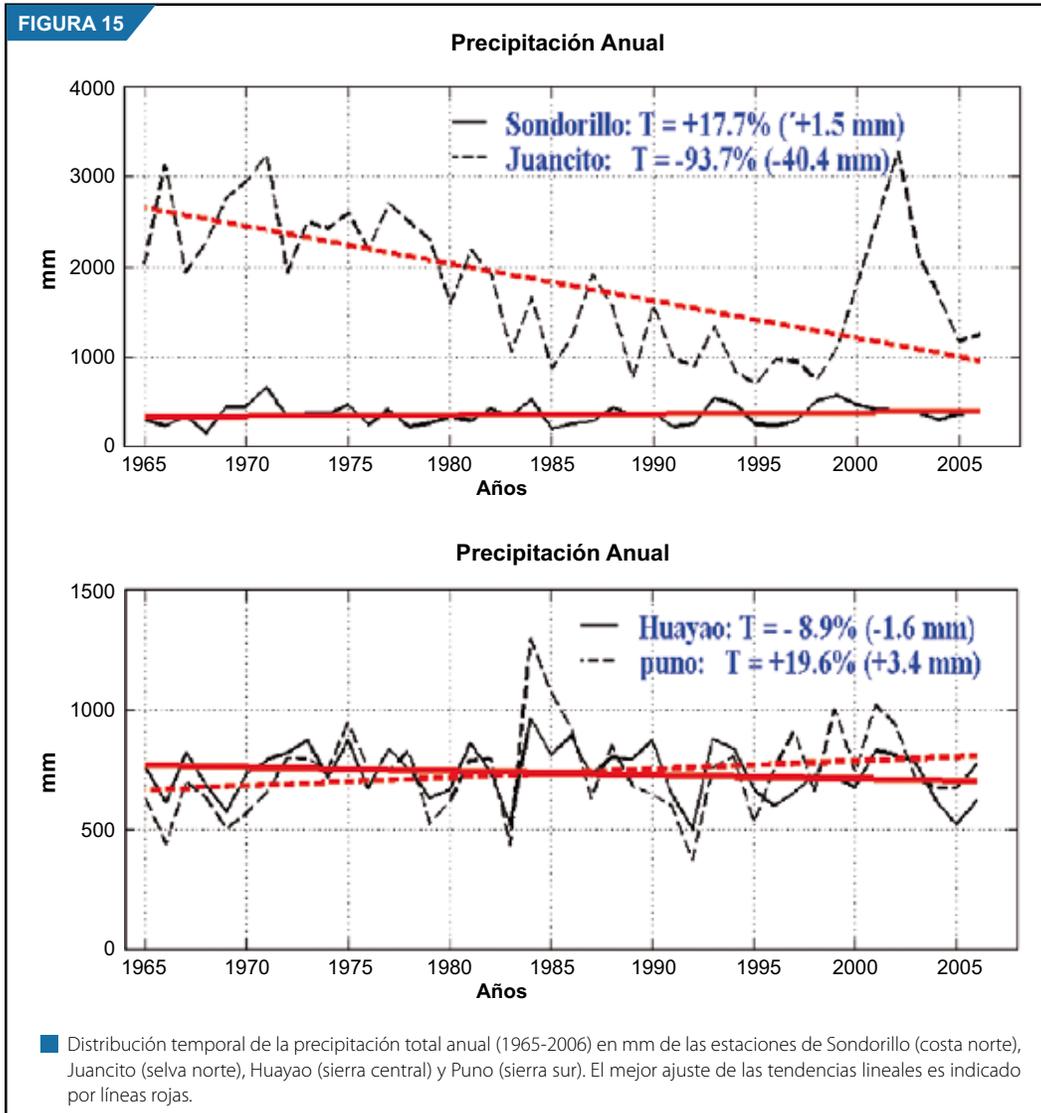
Las estaciones de la sierra, Huayao y Puno, presentan tendencias inversas, con valores bajos que no son estadísticamente significativos. Ambas estaciones registran variabilidad interanual idéntica, con bajas precipitaciones en los años de 1983 y 1992, aparentemente, asociados a los eventos positivos del ENOS, y altas precipitaciones en 1984 relacionadas a la fase fría del ENOS.

La distribución temporal de los totales anuales de precipitación de las cuatro estaciones, muestra la complejidad que se presenta sobre el Perú. Sobre la costa norte, aparentemente existe un incremento constante de la precipitación durante los últimos 42 años, conforme observado en la estación de Sondorillo. En la selva norte, donde la variabilidad de la precipitación interanual es baja, la principal característica parece ser la importante disminución de la precipitación desde la década de 1960 hasta fines del siglo pasado, cuando parece haber ocurrido un incremento muy brusco relacionado con el fenómeno ENOS, luego parece retornar paulatinamente a los niveles anteriores. Por otro lado, en la sierra, tanto central y sur, el efecto del fenómeno ENOS parece modular con mayor intensidad la variabilidad interanual de la precipitación total, y los valores de las tendencias son, relativamente, bajos.

La característica principal de la distribución anual de la precipitación sobre gran parte del Perú es la estacionalidad, con valores máximos registrados durante los meses de verano y los mínimos en el invierno. Esta característica impone la necesidad de realizar análisis estacionales de detección del cambio climático para la precipitación, entre ellos el cálculo de las tendencias de los totales estacionales de la precipitación.

La distribución de las tendencias estacionales de la precipitación en el Perú, para las estaciones de primavera (SON), verano (DEF), otoño (MAM) e invierno (JJA), se muestran en la Figura 16 a-d. Las tendencias se encuentran calculadas en % relativo al promedio estacional de todo el período de estudio (1965-2006).

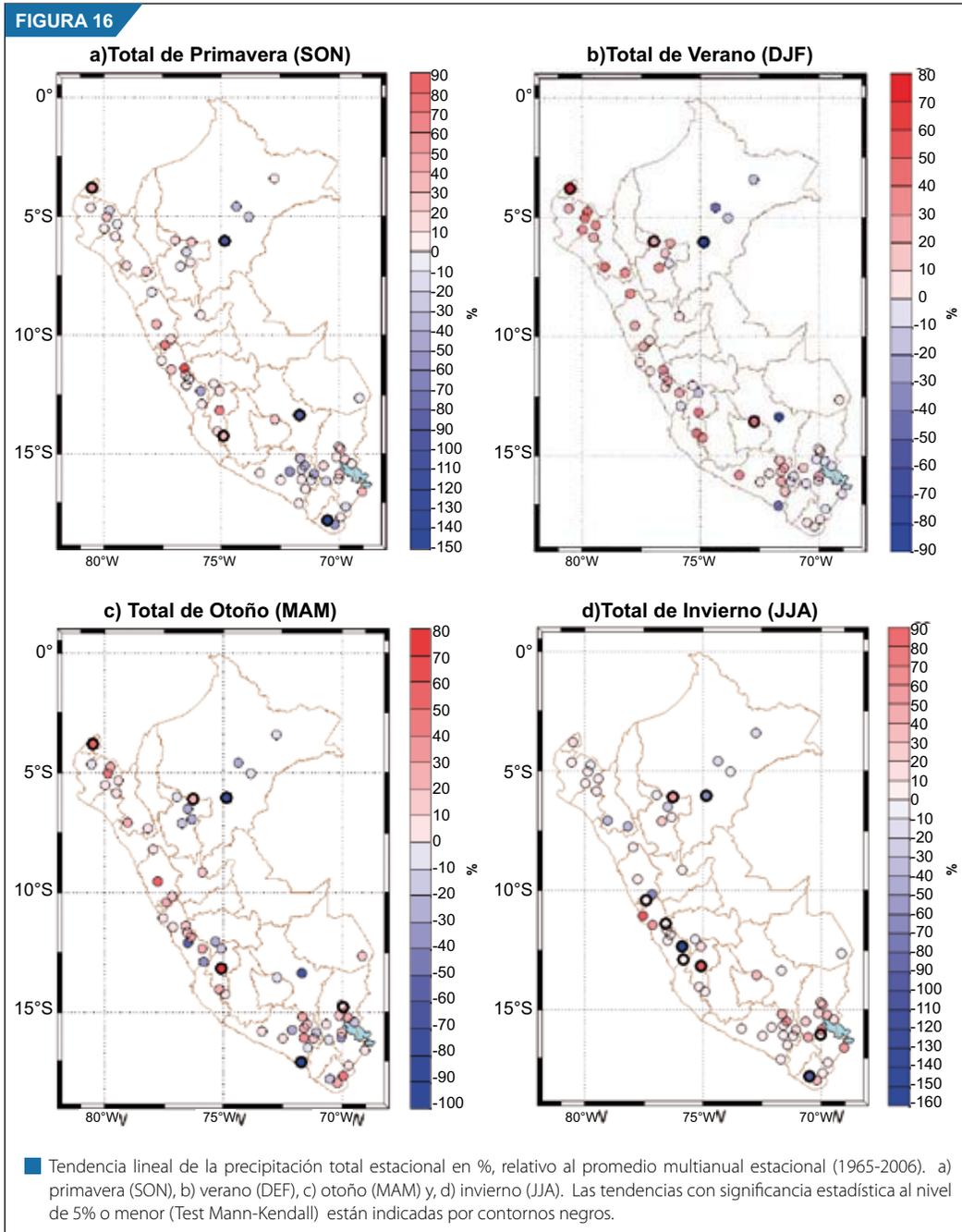
La estación de primavera (Figura 16 a) muestra tendencias con valores extremos entre -146% y + 87%, como lo observado en Sama Grande (Tacna) y en Huaros (Lima), respectivamente. El patrón espacial durante la primavera (SON) mantiene varias características de la distribución observada en la distribución de tendencias totales anuales (Figura 14) en la selva norte, incluyendo los departamentos de Loreto y San Martín, costa central (Ancash y Lima) y en la sierra sur en los departamentos de Huancavelica y estaciones aisladas sobre los departamentos del Cusco y Abancay. Las mayores diferencias se observan en la sierra norte, donde las tendencias negativas son predominantes, aunque de bajo valor, y en la sierra



sur, principalmente sobre las partes altas de Arequipa y Tacna, en que las tendencias de precipitación son negativas (inversas a las observadas en los totales anuales).

Durante la estación de verano (DEF), las tendencias de la precipitación estacional (Figura 16 b) se muestran muy similares a los totales anuales. Estas inclinaciones pueden explicarse porque durante esta estación se registran las mayores precipitaciones, que son proporcionales al total anual, sobre todo el Perú. Las diferencias entre los patrones anuales y los de verano parecen ser más en los valores absolutos de las tendencias que en el sentido, aumento o disminución. Las tendencias extremas alcanzan el valor mínimo de -88% en Juancito (Loreto) y el máximo de 72% en Rica Playa (Tumbes), que son las mismas estaciones que registran valores extremos en los totales anuales.

En las estaciones de otoño (MAM) e invierno (JJA) (Figura 16 c-d), los patrones de las tendencias de la precipitación total no cambian sustancialmente en relación a lo observado en los totales anuales y la estación de verano. Los valores extremos en el mes de otoño se observan desde -98% registrado en Pampa Blanca (Arequipa), a +72%, registrada en Choclococha (Huancavelica). Para los meses de invierno son de -152% en Carania (Lima) a +98% en Choclococha (Huancavelica).



La distribución de las tendencias durante la estación de otoño es muy próxima a la de verano, con diferencias en la selva norte, departamento de San Martín, y sobre la sierra central, donde aparecen tendencias opuestas en algunos lugares. El patrón espacial de invierno (Figura 16 d) parece ser similar que la primavera sobre toda la costa, sierra y selva norte y sobre la región sur también se aproxima un reflejo del patrón de los meses de verano. La costa y sierra central en cambio muestran un patrón muy propio con predominancia de tendencias positivas y algunas estadísticamente significativas, sobre el lado occidental de la Cordillera de los Andes. En medio de estas localidades se observa otras, muy dispersas, con tendencias negativas.

La distribución temporal de las precipitaciones estacionales de primavera (SON) en la costa norte (Sondorillo) y selva norte (Juancito) (Figura 16 a) presentan características similares a las distribuciones de los totales anuales, con tendencia negativa intensa en Juancito y bastante débil en Sondorillo. La variabilidad interanual es moderada y, aparentemente, no hay señales del efecto de los eventos ENOS durante todo el período de análisis. Al contrario, en la sierra central (Huayao) y sur (Puno), la variabilidad interanual es muy alta, particularmente de 1975 a 1985, pero las tendencias siguen en la misma dirección de los totales anuales.

El comportamiento de estas series temporales también no presenta ninguna señal evidente y continua del efecto del fenómeno ENOS. Sin embargo, estas parecen estar moduladas durante estos meses por alguna oscilación mayor porque la variabilidad interanual cambia bastante antes de 1975 y después de 1985.

Durante el verano (DEF), las distribuciones totales de las estaciones localizadas en la costa y selva norte (Figura 17 b) presentan variabilidad interanual y tendencias muy similares a los totales anuales. En estos meses es posible observar alguna señal del fenómeno ENOS de 1982/83 en las dos estaciones. También existe una disminución sustancial en Juancito y un ligero incremento en Sondorillo. En los otros eventos ENOS, prácticamente no se observa ninguna señal evidente. En las estaciones de la sierra central y sur, la variabilidad interanual es similar al total anual y muy diferente a los meses de primavera. Aquí se aprecia también una aparente oscilación de escala mayor que la interanual. Los eventos de la fase positiva del fenómeno ENOS de 1982/83 y 1991/92 son evidentes en ambas estaciones, causando déficit de precipitación.

Las estaciones localizadas en la costa y selva norte presentan distribuciones semejantes a las observadas en los totales anuales, y en las estaciones localizadas en la sierra central y sur son similares a las observadas durante los meses de primavera, con alta variabilidad interanual sobre todo en el período de estudio. También las estaciones de la sierra central y sur, durante estos meses, parece que presentan mayor sensibilidad a los eventos cálidos del ENOS, en relación a las estaciones localizadas en la costa y selva norte, según se observa en los eventos fuertes de 1982/83 y 1991/92. La Figura 17 c muestra la distribución temporal de la precipitación de los meses de otoño (MAM).

En los meses de invierno (Figura 17 d), las precipitaciones sobre la costa norte son prácticamente nulas y no muestran ninguna característica particular. La distribución en Juancito registra poca variabilidad interanual y fuerte relación con los eventos extremos del ENOS, como el caso de 1982 y, principalmente, el invierno de 2002, cuando las precipitaciones alcanzaron más de 1 000 mm. En la sierra central (Huayao) y sur (Puno), las precipitaciones muestran alta variabilidad interanual y la señal del ENOS se ve debilitada por otros eventos muy intensos como los de 1981 y 1990. Pero parece que existe alguna oscilación mayor que modula la precipitación en estas dos regiones, observadas en la alta variabilidad antes de 1975 y después de 1985, comportamiento inverso al observado durante los meses de primavera. Así, la causa de las tendencias negativas (positivas) en Huayao (Puno) parece estar asociada a estas oscilaciones mayores que modulan principalmente la intensidad de la variabilidad interanual.

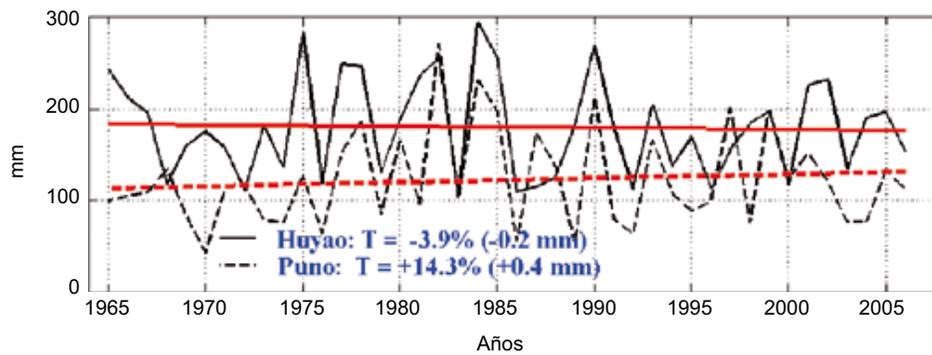
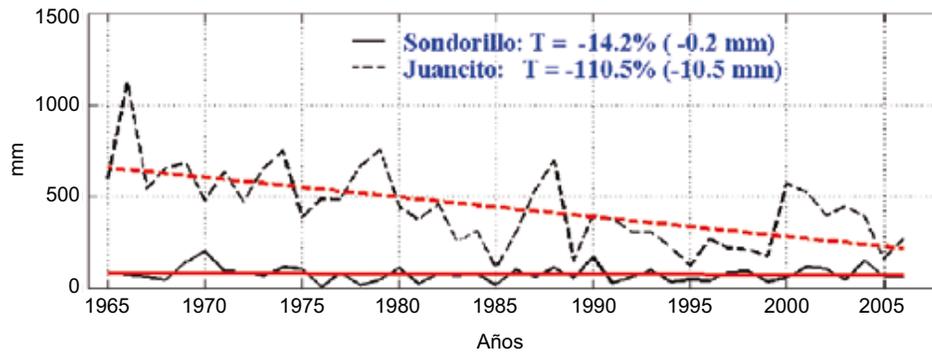
3.3.2. Tendencias lineales de las temperaturas máximas

La distribución espacial de las tendencias de las temperaturas máximas medias anuales (Figura 18) muestra predominancia de valores positivos, estadísticamente significativos al nivel de 5% sobre todo el Perú. Los valores extremos son de $-0,26$ °C/década, registrado en Pampahuta (Puno) y de $+0,52$ °C/década registrado en San Marcos (Cajamarca).

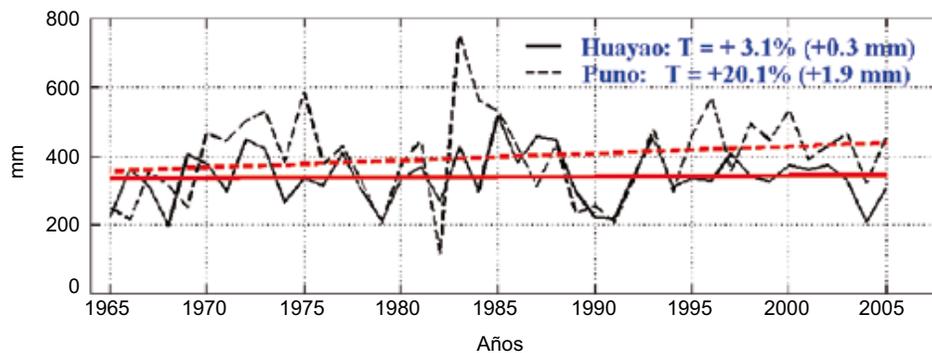
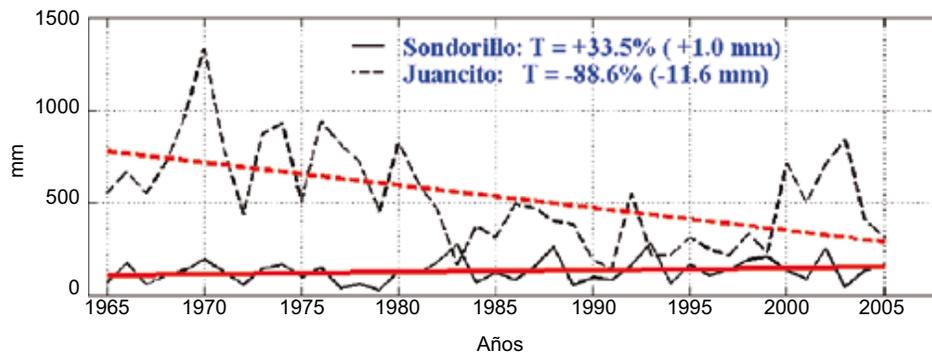
Entre 1965 y 2006 (42 años) se observa que sobre casi todo el Perú hubo un incremento de temperaturas máximas medias anuales, cuyas tendencias presentan valores estadísticamente significativos sobre casi la totalidad de las localidades de la sierra y, aparentemente la selva sur, donde la tendencia es significativa. En algunos lugares, muy regionalizados, se registraron disminuciones de la temperatura máxima anual, como son las localizadas en Puno, zona costera de Piura, San Martín y Tingo María. Y en la selva norte (San Martín), la tendencia negativa es estadísticamente significativa.

FIGURA 17

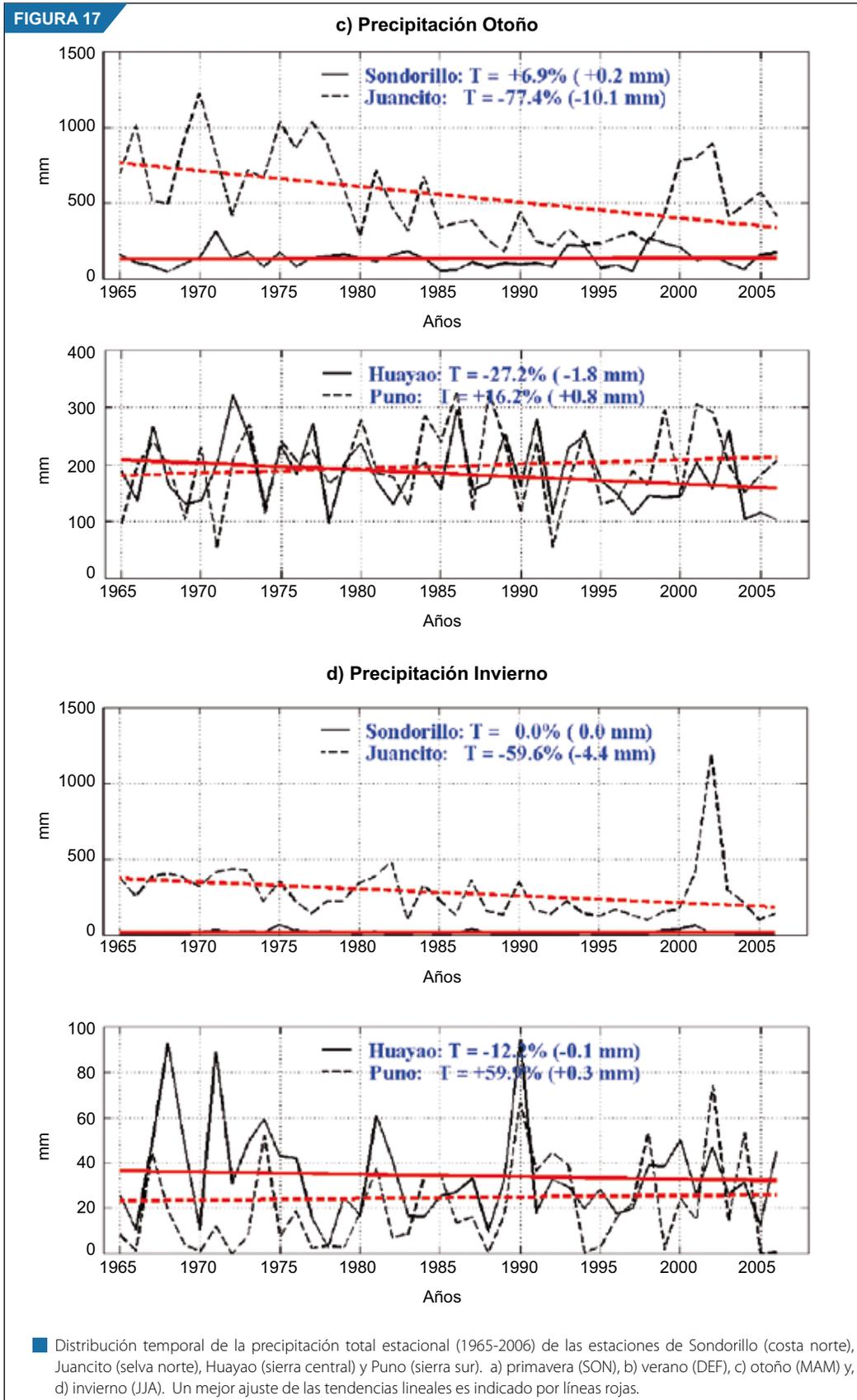
a) Precipitación Primavera

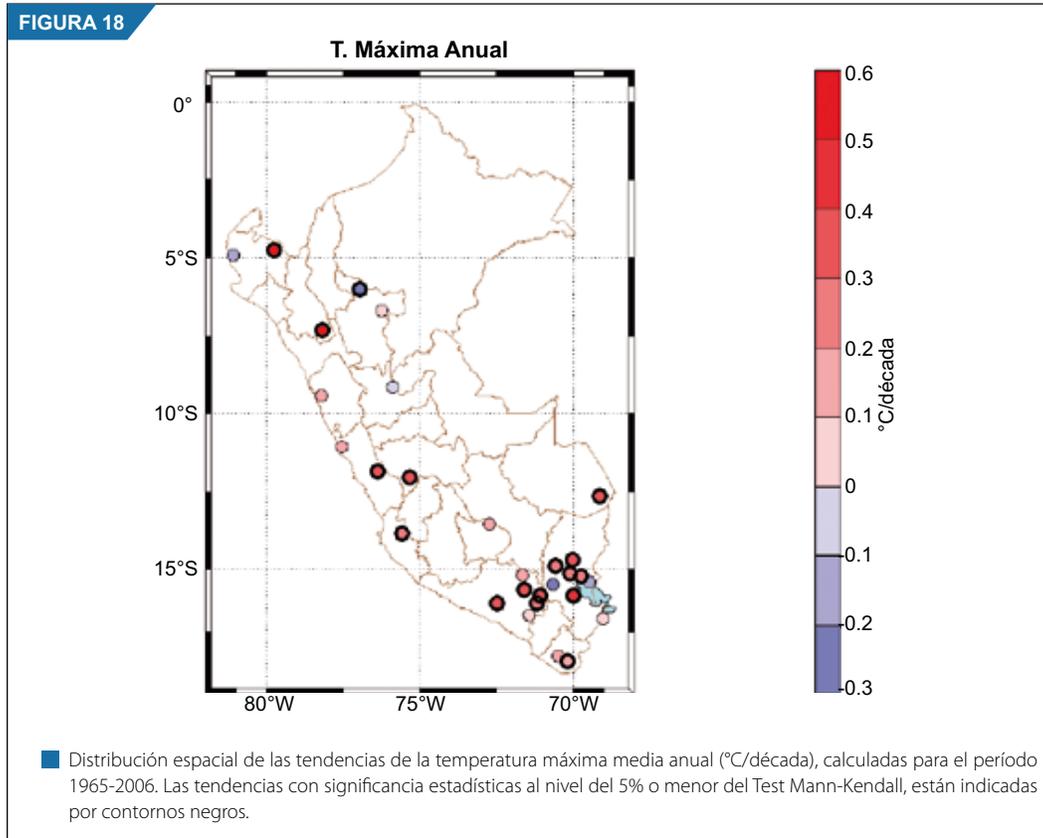


b) Precipitación Verano



■ Distribución temporal de la precipitación total estacional (1965-2006) de las estaciones de Sondorillo (costa norte), Juancito (selva norte), Huayao (sierra central) y Puno (sierra sur). a) primavera (SON), b) verano (DEF), c) otoño (MAM) y, d) invierno (JJA). Un mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas.



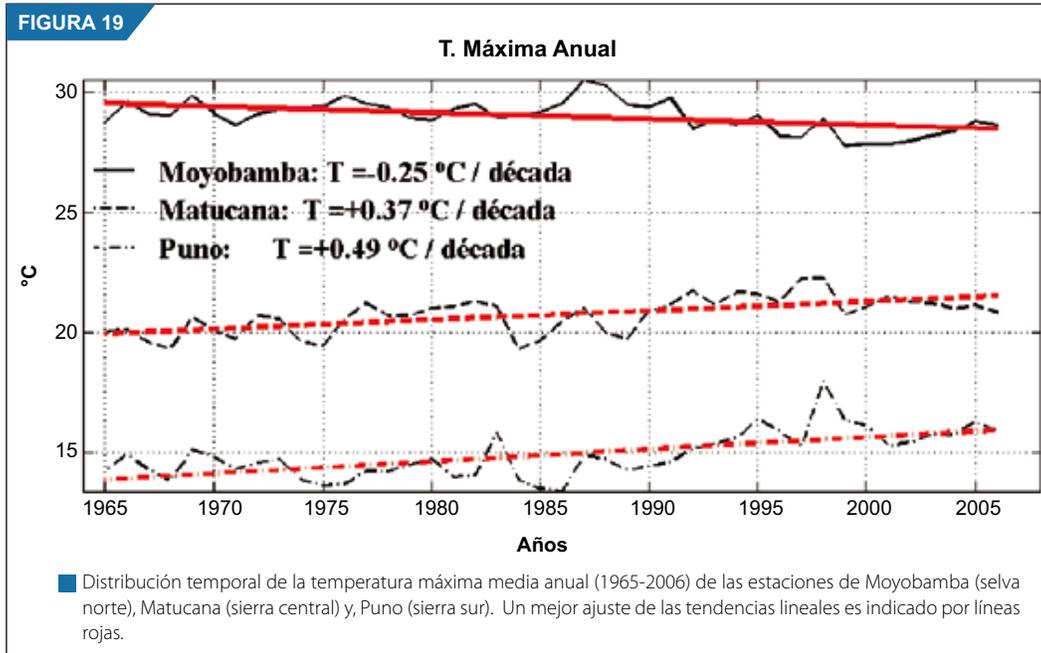


Así como para la precipitación, también para la temperatura máxima y mínima se escogieron estaciones representativas, de las que se podrá obtener una idea más clara de la variabilidad y tendencia de las temperaturas a través del período de estudio (1965-2006). En la Figura 19 se observa la distribución temporal y las tendencias de las temperaturas máximas anuales de tres estaciones seleccionadas que caracterizan la selva norte, sierra central y sierra sur. Dos estaciones (Puno y Matucana) presentan tendencias positivas, opuestas a la estación de la selva (Moyobamba). La variación temporal de la temperatura máxima media anual en las tres estaciones se caracteriza por presentar alteraciones monótonicas (cambio gradual continuo). Esta característica está asociada a la baja variabilidad interanual y, aparentemente, no está modulada por períodos mayores y las variaciones entre ellas no se encuentran en fase. Así, parece que la variabilidad de la temperatura máxima de estas estaciones son independientes unas de otras.

La única estación que parece sufrir el impacto del ENOS es la estación de Puno, como se muestra en la Figura 19, donde se observan ligeras alteraciones de temperatura durante los eventos cálidos de 1982/83 y 1997/98.

La distribución espacial de las tendencias de las temperaturas máximas medias estacionales (Figura 20 a-d) muestra patrones similares a la temperatura máxima media anual (Figura 18). Los valores de tendencias estacionales más bajos son registrados en las estaciones de verano (DEF) y otoño (MAM) en la selva norte, en la localidad de Moyobamba, con $-0,39$ y $-0,33$ °C/década, respectivamente. El valor máximo estacional fue registrado en el invierno (JJA), en Piura, localidad de Sausal de Chulucan, con $+0,67$ °C/década.

En la primavera (SON) y el verano (DEF) las tendencias positivas significativas abarcan todo el Perú, con excepción de algunas regiones aisladas, como en la costa de Piura. San Martín, y Puno donde las tendencias son negativas. El patrón espacial de otoño es idéntico al anual. Igualmente, el patrón de invierno, salvo por las tendencias negativas observadas en todas las estaciones de la selva norte (San Martín y Tingo María).

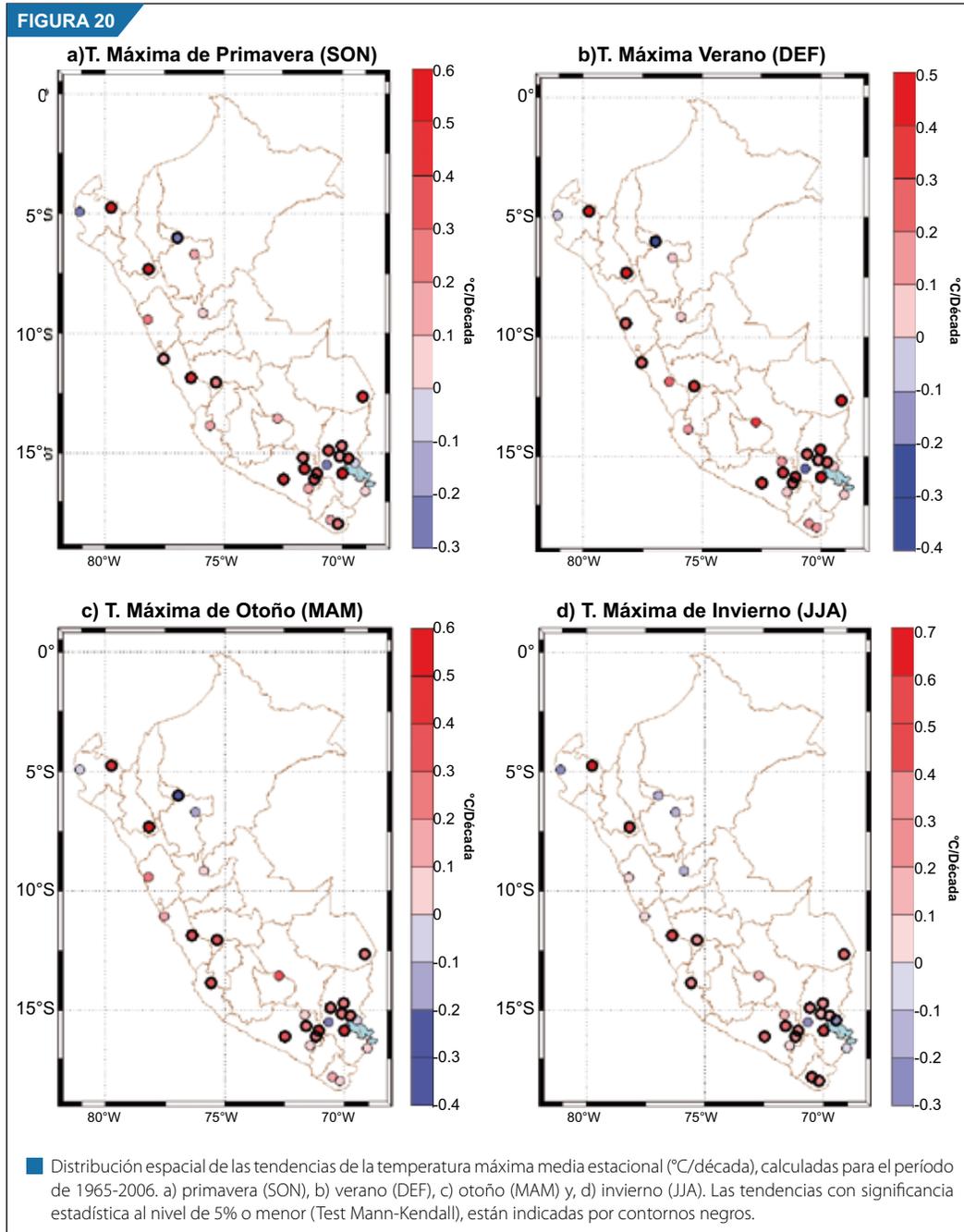


La distribución temporal de las temperaturas máximas estacionales de las tres estaciones que caracterizan la selva norte, sierra central y sur (Figura 21 a-d), muestra tendencia monótona durante las cuatro estaciones. La estación de Moyobamba (selva norte) presenta baja variabilidad en todas las estaciones del año y no registra ninguna señal del fenómeno ENOS. Sin embargo, durante las estaciones de otoño e invierno, esta presenta pequeños ciclos con ligeras anomalías positivas al final de la década de 1980 y anomalías negativas al concluir la década de 1990. La distribución de las estaciones de la sierra central y sur muestra que la variabilidad interanual durante los veranos es más amplia que en las otras estaciones y que ocurren de forma sincronizada durante todo el período del análisis. Otra característica observada es la relación directa que existe entre los eventos cálidos del ENOS y las temperaturas máximas de Puno y ligeramente en Matucana, particularmente durante el verano y otoño, como son observados en los eventos de 1982/83 y 1997/98.

3.3.3. Tendencias lineales de las temperaturas mínimas

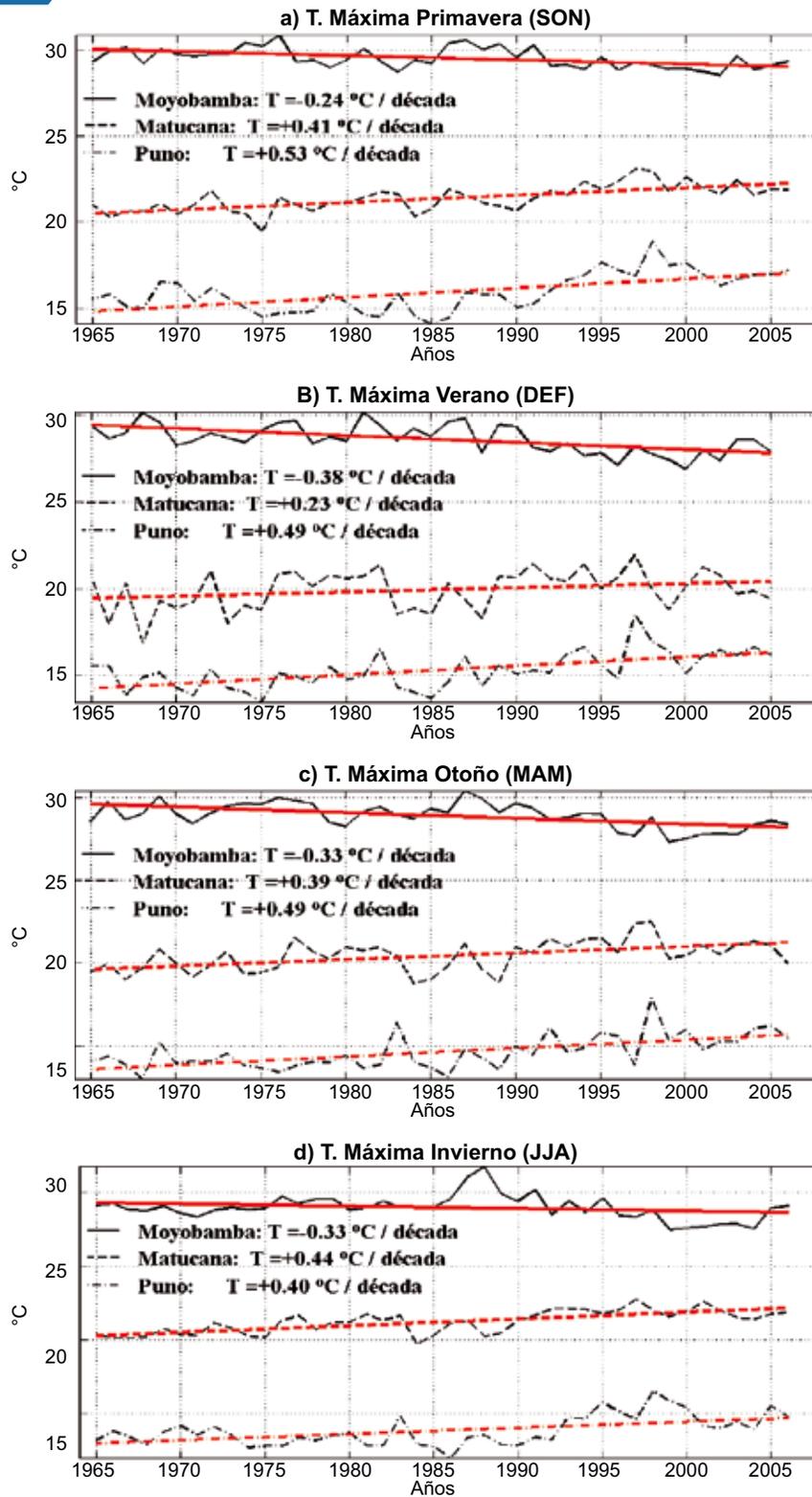
Una distribución espacial de las tendencias de las temperaturas mínimas medias anuales sobre el Perú, para el período de 1965-2006, se muestra en la Figura 22. También se observa un predominio de tendencias positivas. Asimismo, inclinaciones positivas y estadísticamente significativas son observadas en la sierra sur, departamentos de Arequipa y Tacna, en la costa norte y selva norte. Contrariamente, valores negativos son registrados en la sierra central y en Puno, en las zonas adyacentes del lago Titicaca. El valor mínimo de tendencia se registró en Puno, en la localidad de El Progreso con $-0,28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y el valor máximo en Piura, en la localidad de La Esperanza, con $+0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Este patrón presenta, en términos medios, una distribución de tendencias con valores en la misma dirección que el patrón de temperaturas máximas sobre la mayor parte del Perú. Las mayores diferencias son observadas en Puno, donde la mayoría de las estaciones en las cercanías del Lago Titicaca, registran tendencias negativas significativas.

La distribución temporal de las temperaturas mínimas medias anuales en las estaciones representativas de la selva norte (Moyobamba) y sur (Puno), muestra direcciones opuestas respecto a la sierra central (Matucana) ver Figura 23. Estas tendencias son exactamente opuestas a las observadas en la distribución de las temperaturas máximas anuales (Figura 19). La temperatura mínima en Puno aumenta gradualmente en medio de la baja variabilidad interanual, sin la presencia de alguna anomalía debido a la

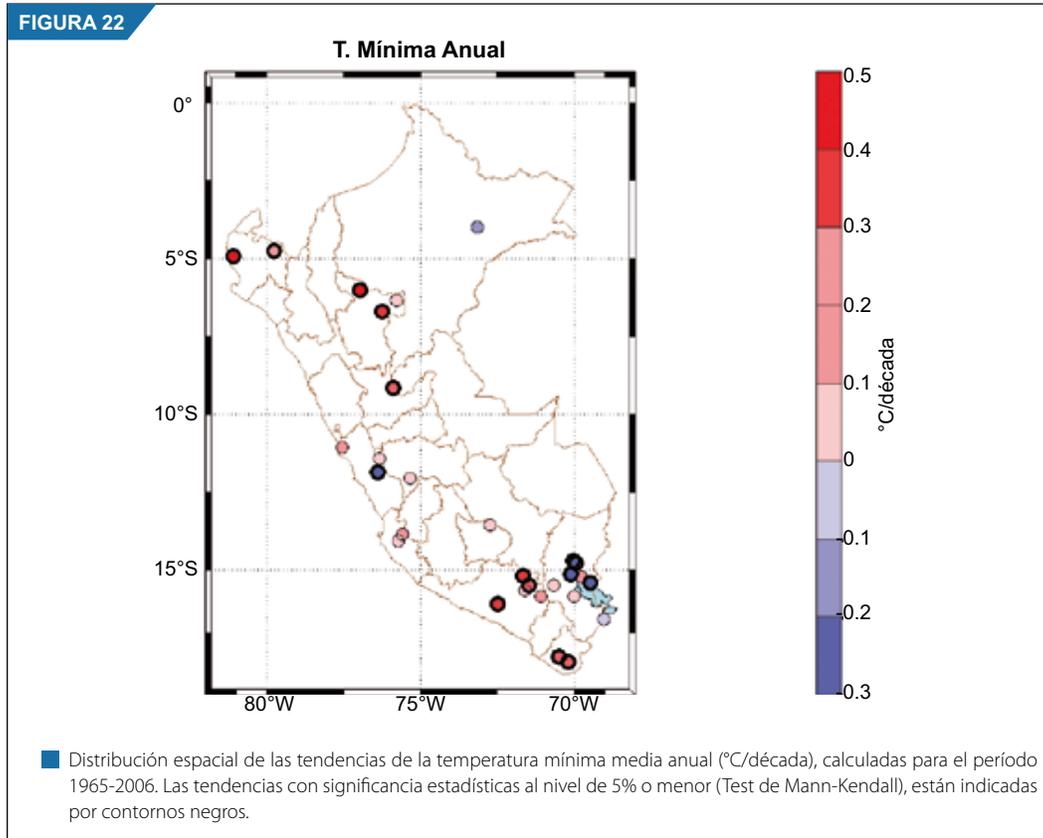


presencia del fenómeno ENOS. Por otro lado, las series anuales de temperatura mínima en la selva norte y sierra central, además de tener tendencias opuestas, presentan períodos de variabilidad interanual opuestos. Así, en la selva norte se observa baja variabilidad interanual entre el inicio de 1980 hasta 2006, después de una aparente oscilación de escala mayor mostrada desde comienzos del período de estudio, aparentemente asociada a una fuerte anomalía negativa ocurrida durante el evento ENOS de 1976/77, y en la sierra central esta característica se invierte, con una variabilidad interanual muy débil desde el inicio hasta finalizar la década de 1980, para luego ser semejante a la observada en la selva norte, antes de la década de 1980. Todo esto aparentemente está asociado al evento cálido de 1982/83, que causó anomalías positivas, y a la presencia de anomalías negativas muy intensas ocurridas en 1999.

FIGURA 21



■ Distribución temporal de la temperatura máxima media estacional (°C/década), calculadas para el período 1965-2006 de las estaciones de Moyobamba (selva norte), Matucana (sierra central) y Puno (sierra sur). a) primavera (SON), b) verano (DEF), c) otoño y, d) invierno (JJA). El mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas.

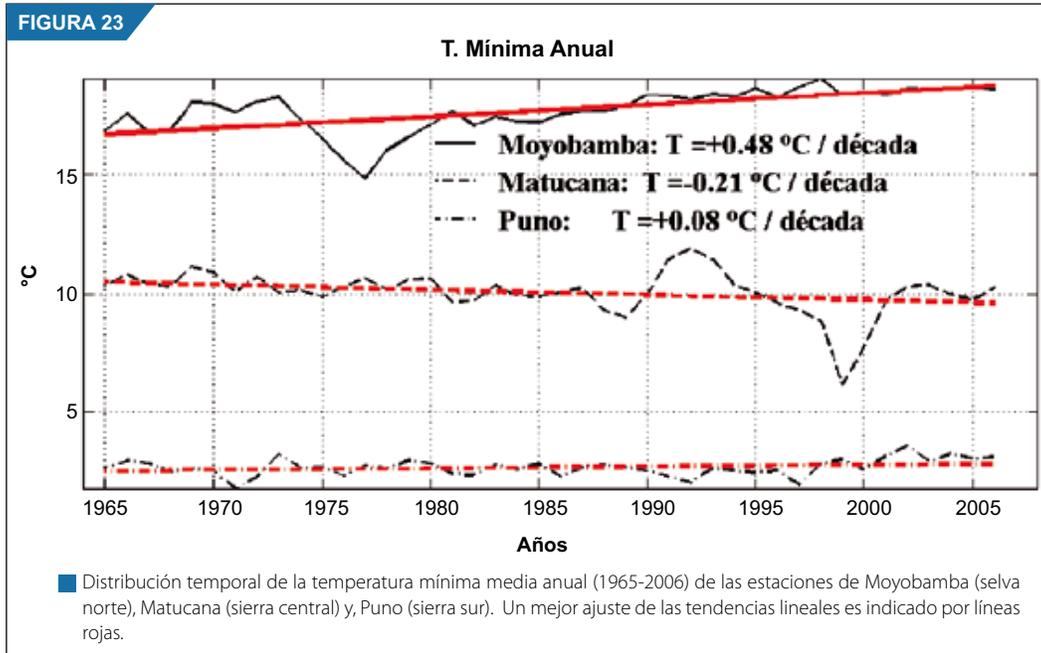


La distribución espacial de las tendencias estacionales de la temperatura mínima media (Figura 24 a-d) muestra un comportamiento menos persistente, estación tras estación, que la observada en la distribución estacional de las tendencias de las temperaturas máximas. Estas diferencias son más notorias en la costa y sierra central, que en la selva norte y sierra sur, donde la persistencia durante el año es mayor. Mientras que los rangos de las tendencias varía aproximadamente alrededor de 1,5 °C/década en la primavera y otoño, el mayor rango de variación estacional se observa en los meses de invierno, que alcanza 1 °C/década, producto de los valores extremos. Estos valores se observan de -0,63 °C/década, registrada en El Progreso (Puno), a +0,91 °C/década, registrada en La Angostura (Arequipa).

Otra característica que es necesario resaltar es el comportamiento caso bipolar entre las estaciones localizadas en las zonas altas de Arequipa y aquellas ubicadas en Puno, particularmente en la parte noreste del Lago Titicaca. Mientras en las zonas altas de Arequipa y Tacna las tendencias son positivas y estadísticamente significativas, en Puno ocurre que las tendencias son negativas y estadísticamente significativas. También las tendencias de Puno son menos persistentes durante el año, que las observadas en las zonas altas de Arequipa.

Las distribuciones temporales de las temperaturas mínimas medias estacionales de las tres estaciones representativas (Figura 25), muestran que las variabilidades de las temperaturas mínimas en la selva norte (Moyobamba) y de la sierra central (Matucana), son idénticas al de los totales anuales, particularmente durante los meses de primavera y verano.

La alta variabilidad interanual observada en Moyobamba antes de los años 1980, asociada a la ocurrencia de anomalías negativas durante el evento cálido del ENOS de 1977/78, está presente durante todo el año, con valor muy intenso durante la primavera (SON). También en la estación localizada en la sierra (Matucana) se muestran anomalías positivas, muy similares, durante las cuatro estaciones relacionadas al efecto del ENOS de 1991/92 y anomalías negativas durante las cuatro estaciones relacionadas con el ENOS 1997/98.



3.3.4. Tendencias del ciclo diurno en el Perú

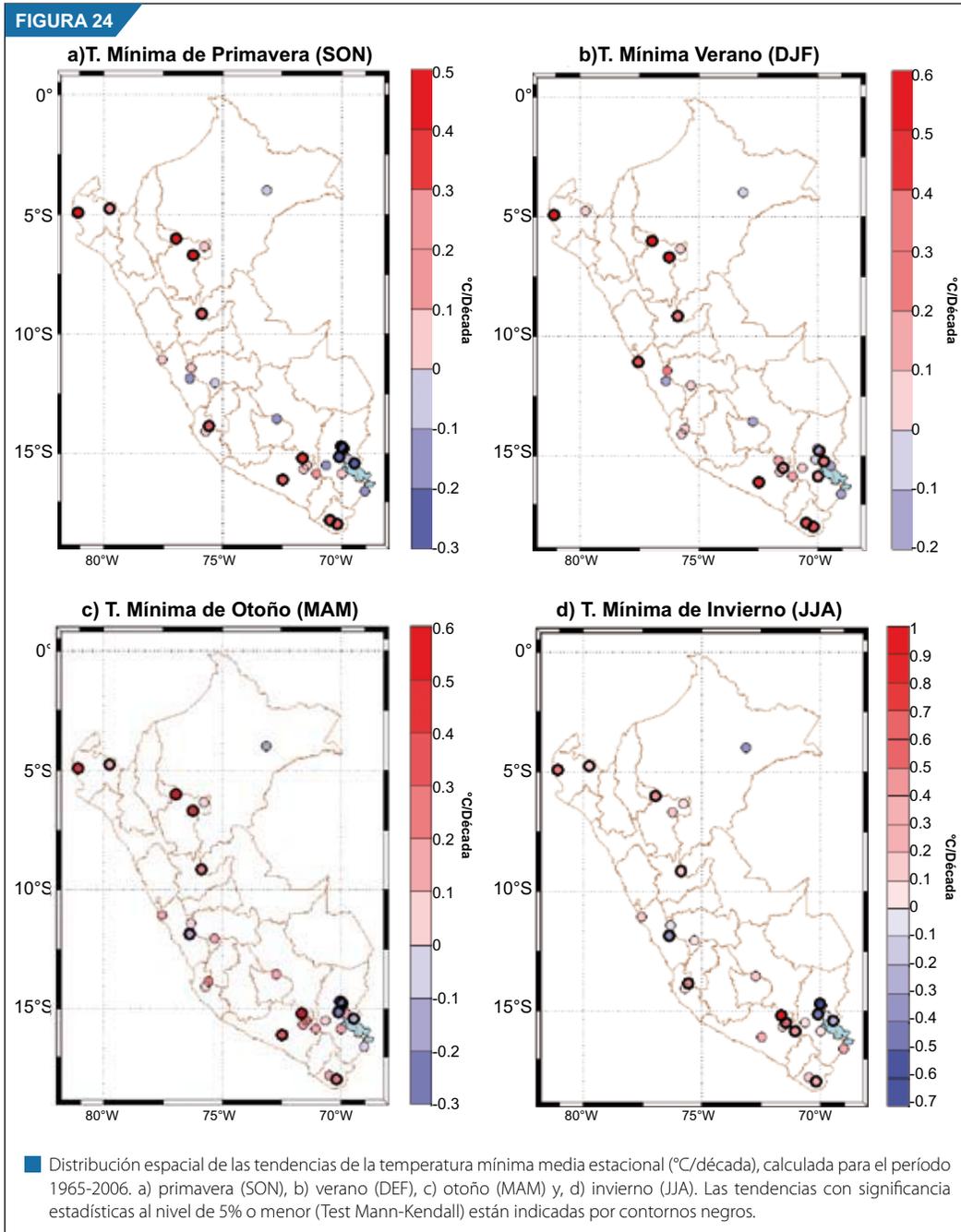
Las tendencias de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima, denominada ciclo diurno (amplitud diurna de las temperaturas extremas), calculadas para los valores medios anuales y estacionales de 23 estaciones son mostradas en las Figuras 26 y 27, respectivamente.

Las inclinaciones del ciclo diurno anual medio (Figura 26) muestra valores entre $-0,74 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en Moyobamba (San Martín) hasta $+0,62 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ registradas en El Progreso (Puno). La mayoría de las estaciones presentan valores estadísticamente significativos. En las estaciones de la selva norte se observan tendencias negativas, o sea, disminución de la amplitud diurna de las temperaturas que parecen ser más el resultado de la débil tendencia positiva o tendencia negativa observada en las temperaturas máximas medias anuales en esta región, que debido a las tendencias positivas de las temperaturas mínimas medias anuales. También la tendencia negativa registrada en la costa norte se debe al mismo mecanismo observado en la selva norte.

En la región de la sierra, con excepción de las zonas altas de Arequipa y Puno, se observan tendencias positivas y, en su mayoría estadísticamente significativas. Los incrementos del ciclo diurno, con excepción de las localizadas sobre la parte central de Puno, en las zonas adyacentes del Titicaca, se deben fundamentalmente a la mayor tendencia positiva de las temperaturas mínimas medias anuales observadas en estas zonas. Las tendencias máximas registradas en la parte central de Puno, opuesta a la mostrada en la selva norte, parecen ser una mezcla entre las tendencias positivas intensas de la temperatura máxima media anual y las tendencias negativas o tendencias positivas débiles de las temperaturas mínimas medias anuales.

En las zonas altas de Arequipa y Puno, la débil tendencia positiva y tendencia negativa de las temperaturas máximas, ante las intensas tendencias positivas de las temperaturas mínimas, son la causa fundamental de las tendencias negativas del ciclo anual. Este mismo mecanismo también puede explicar las tendencias negativas observadas en las estaciones de Tacna.

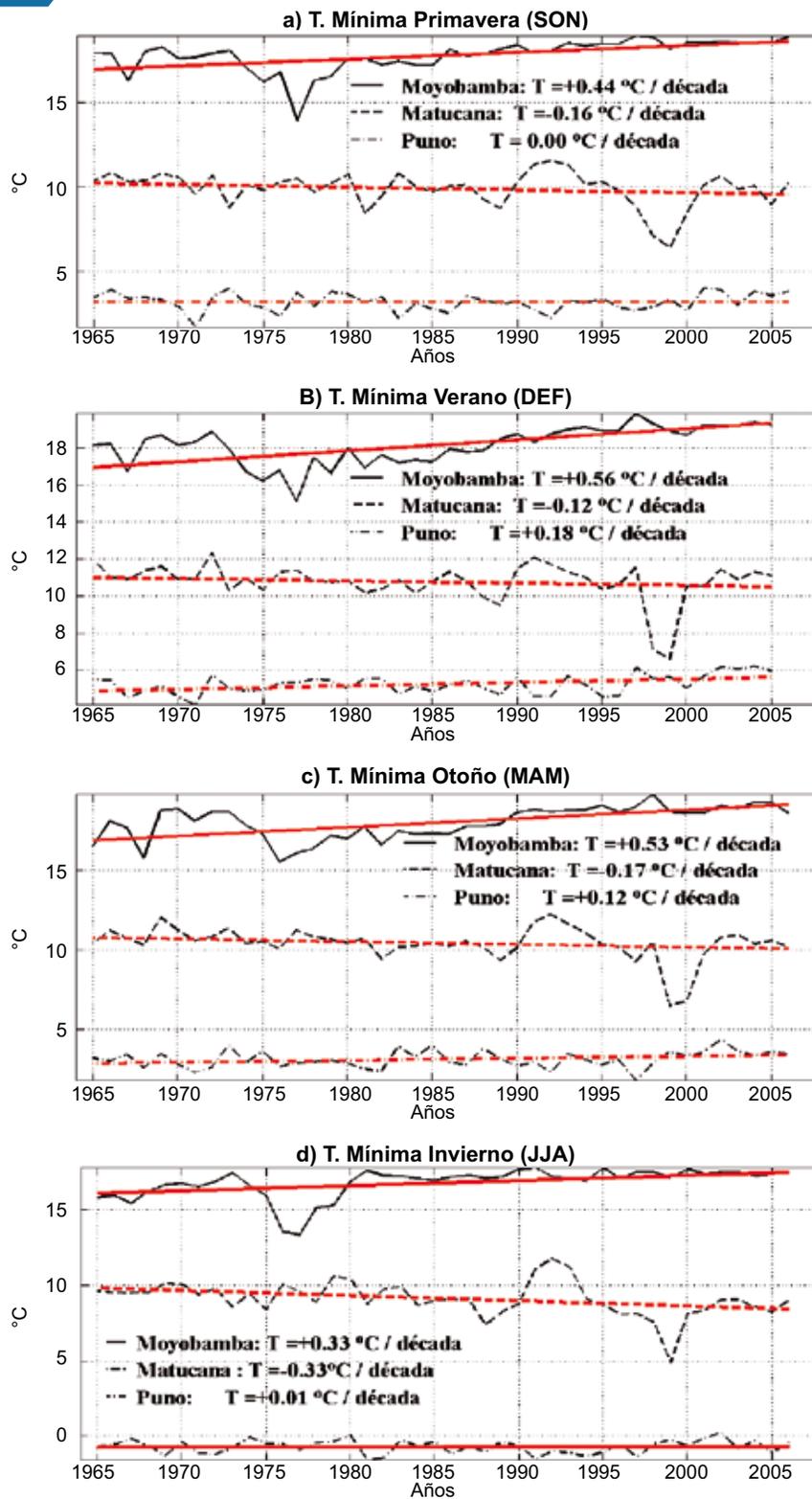
Las distribuciones estacionales de tendencias del ciclo diurno (Figura 27 a-d) muestran un patrón muy similar a las tendencias del ciclo diurno anual (Figura 26). El valor mínimo fue registrado en los meses de verano (DEF) en la localidad de Moyobamba (San Martín) con $-0,92 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Figura 27 b) y el valor



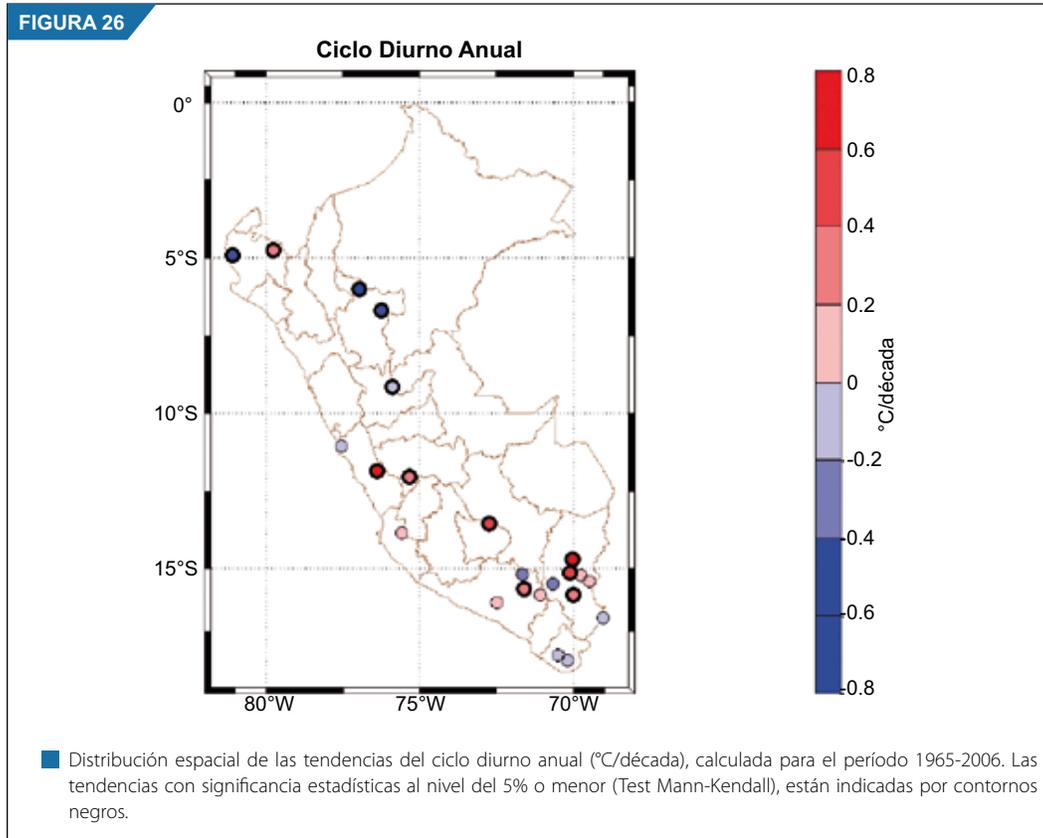
máximo se registró en invierno en La Angostura (Arequipa) con $+0,85\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Figura 27 d). En la selva norte las tendencias negativas observadas en las cuatro estaciones del año se deben al mismo mecanismo físico, indicadas en el caso del ciclo anual, que son debido a la ocurrencia de temperaturas negativas intensas o tendencias positivas débiles de la temperatura máxima media.

En la sierra y costa, principalmente en las estaciones de primavera (SON) y otoño (MAM), los patrones de las tendencias son semejantes a las del ciclo anual, también por las mismas razones explicadas en el caso del ciclo anual. En el invierno (JJA), ver Figura 27 d, en la zona sur de Puno y en Tacna se observan valores positivos, estadísticamente no significativos. En el departamento de Tacna se produce porque

FIGURA 25



■ Distribución temporal de la temperatura mínima media estacional (°C/década), calculada para el período 1965-2006 de las estaciones de Moyobamba (selva norte), Matucana (sierra central) y Puno (sierra sur). a) primavera (SON), b) verano (DEF), c) otoño y, d) invierno (JJA). El mejor ajuste de las tendencias lineales es indicado por líneas rojas.



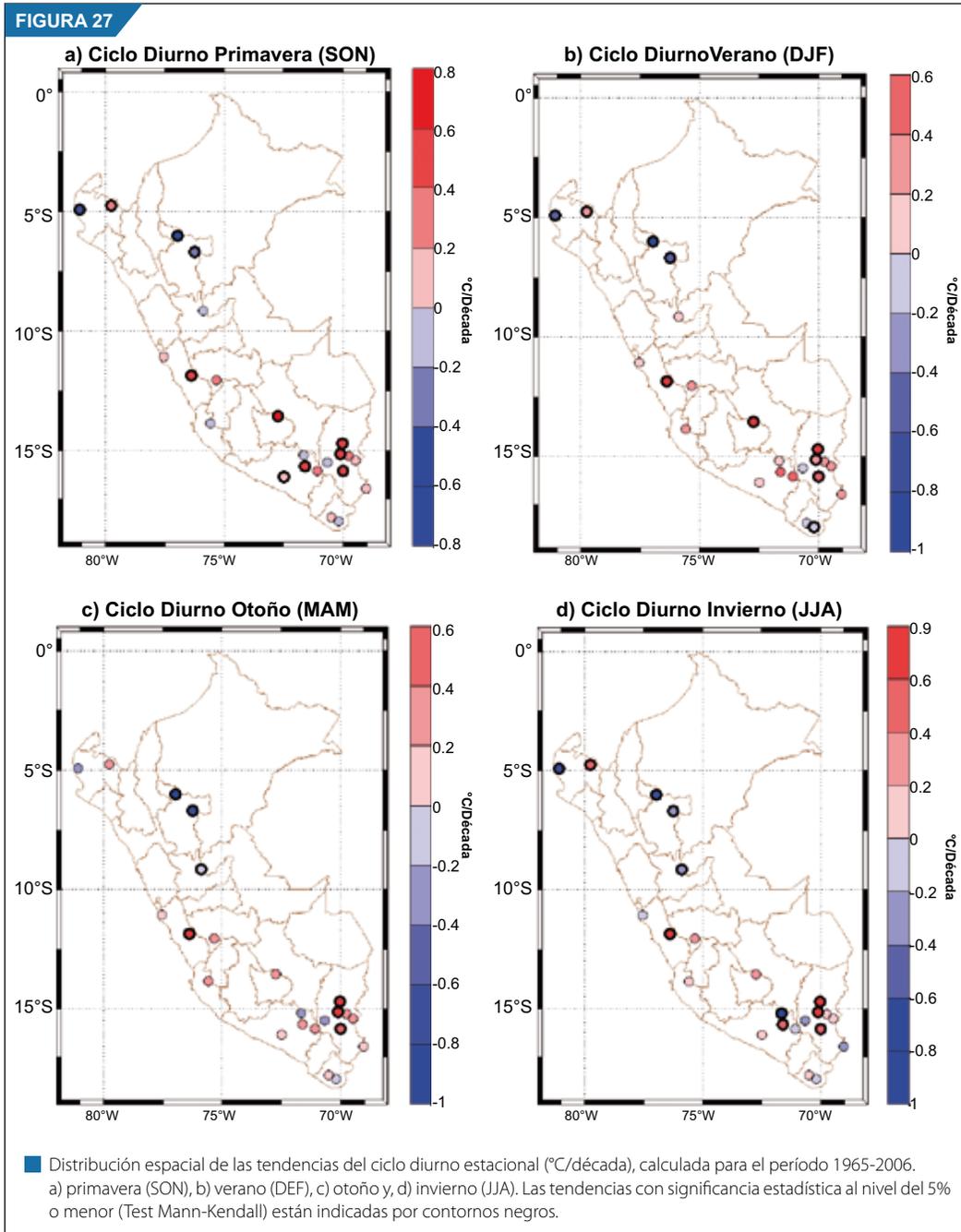
la tendencia de las temperaturas máximas medias de invierno son mayores que la tendencia de las mínimas medias y, en el extremo sur de Puno es porque la tendencia de la temperatura máxima media es negativa, en tanto que las tendencias de la temperatura mínima es positiva.

3.3.5. Tendencias lineales de los Índices de Extremos Climáticos

3.3.5.1. Índices de Extremos Climáticos de la precipitación.

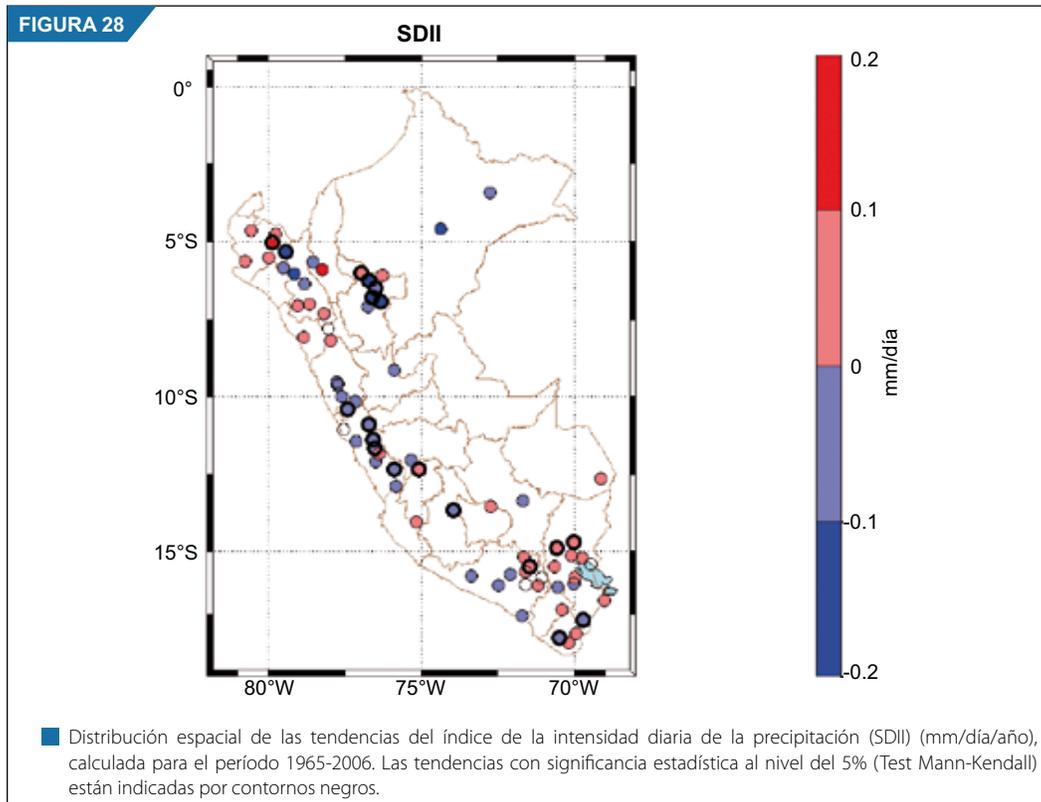
La distribución de la tendencia del índice de la intensidad diaria de la precipitación anual (SDII), es mostrada en la Figura 28. Este índice, en términos simples, indica la intensidad promedio diaria de la precipitación ocurrida durante un año y la tendencia muestra la posible variación de largo plazo, incremento SDII (+) o disminución SDII (-) de la intensidad de las lluvias en términos totales. Los valores de las tendencias son relativamente bajos, con un rango entre $\pm 0,2$ mm/día/año, lo que significa un incremento o disminución de unos 8 mm en la intensidad de las precipitaciones ocurridas en los últimos 42 años.

Este índice parece caracterizar una aparente regionalización de la precipitación sobre el Perú. Esto se basa en el signo de las tendencias, las que posiblemente reflejan el efecto de gran escala conjugado a las características orográficas regionales propias. Por ejemplo, los valores positivos, estadísticamente significativos, se encuentran dispersos sobre la costa y sierra norte y, en las zonas altas de Arequipa, Tacna y Puno. Por otro lado, valores negativos, estadísticamente significativos, se agrupan en la costa y sierra central, en la selva norte y en la sierra sur (vertiente del Océano Pacífico).



Las tendencias de los índices de máximo número de días consecutivos secos (CDD) y días consecutivos con precipitación (CWD), mostradas en la Figura 29 a-b, pueden ser interpretadas como indicadores de sequías y de inundaciones, respectivamente. Las tendencias del índice CDD presentan una distribución espacial muy similar a la tendencia del índice SDII en la costa y sierra norte, lo cual puede ser interpretado como la existencia de alguna relación directa entre estos índices.

Esta relación indica que: cuanto mayor es el CDD, la SDII es mayor, o viceversa, o sea, cuanto más prolongado sea el período seco, la intensidad de las precipitaciones es mayor. En cambio en San Martín, Tingo María y Loreto las tendencias de CDD, opuestas al índice SDII, indican que además de existir una disminución de la intensidad de las precipitaciones, también ocurre un incremento del período de días sin lluvia.

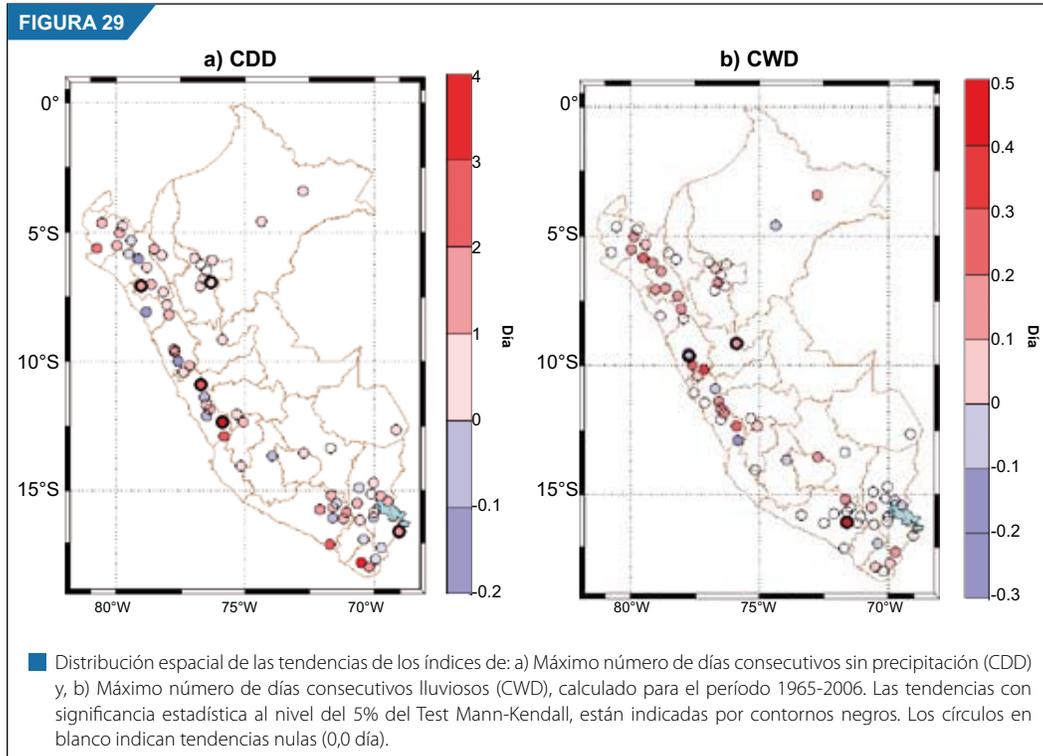


En la sierra central hay predominancia de tendencias positivas de CDD con algunas tendencias estadísticamente significativas, opuestas al índice SDII. Estas características podrían ser interpretadas como la disminución de las intensidades de la precipitación, al mismo tiempo la ocurrencia de un incremento de días sin lluvia, originando como resultado una disminución de la precipitación total, pero es lo que no se verifica en el análisis del ítem 3.3.1 (Figura 14). Este resultado es porque existen otros parámetros que es necesario considerar en estos análisis, tales como la existencia de precipitaciones extremas. La región sur muestra predominancia de valores positivos de CDD y SDII, lo cual parece tener el mismo comportamiento que en la costa y sierra norte, particularmente en las zonas altas de Arequipa y sobre Puno.

La distribución de tendencias del índice CWD muestra un predominio de valores nulos, donde la tendencia es prácticamente cero. Estos valores se distribuyen con mayor frecuencia en la sierra sur y selva norte (San Martín). Los valores positivos prevalecen sobre la sierra norte y central, y se extienden hacia la selva norte y central, donde se registra una tendencia estadísticamente significativa (Tingo María).

En la sierra sur se observa una mezcla de tendencias con valores positivos y negativos sin ningún patrón espacial definido, con un valor extremo de 0,48 días/año, registrado en Pampa de Arrieros (Arequipa). Así, este índice indica la existencia de un patrón regional que comprende la sierra norte y central, donde, aparentemente, hay un incremento de días sin precipitación, porque las tendencias no son estadísticamente significativas, y en su mayoría las tendencias son menores que 0,2 días/año (un total de 8 días en 42 años), lo cual prácticamente no tiene significado físico consistente. Por otro lado, las tendencias observadas en la sierra sur indican que las características locales son predominantes en estos lugares.

La tendencia de la precipitación máxima registrada en un día y el total máximo acumulado durante cinco días consecutivos, son representados por los índices RX1day y RX5day (Figura 30 a-b), respectivamente. Estos índices indican indirectamente la intensidad de las precipitaciones registradas y están relacionados, de algún modo, con la probable ocurrencia de inundaciones. Particularmente el índice RX5day es muy importante como indicativo de posibles huaicos y/o inundaciones, pues la persistencia y la cantidad de precipitación son condiciones básicas para la saturación del suelo.



La distribución espacial de la tendencia del RX1day (Figura 30 a) muestra una similitud con la tendencia del índice SDII (Figura 28) sobre casi todo el Perú. Esto indica una relación directa entre estos dos índices, lo cual muestra que las tendencias observadas en el índice SDII se deben fundamentalmente a la intensidad de la precipitación diaria. Las excepciones se observan en las estaciones localizadas en San Martín y Tingo María, donde las tendencias son opuestas. En estas regiones, por un lado, hay aumento de la intensidad de la precipitación diaria en la selva sur (aunque no son estadísticamente significativas) y disminución en parte de la selva norte (que sí hay una estación con significancia estadística), que conjuga con las tendencias de los índices CDD, lo que indica la acción opuesta de algún mecanismo que genera las precipitaciones sobre estas regiones o por lo menos de dos tipos de mecanismos diferentes, pero en la escala regional, en el departamento de San Martín, parece ser que la orografía tiene un papel muy importante en la intensidad de las precipitaciones registradas.

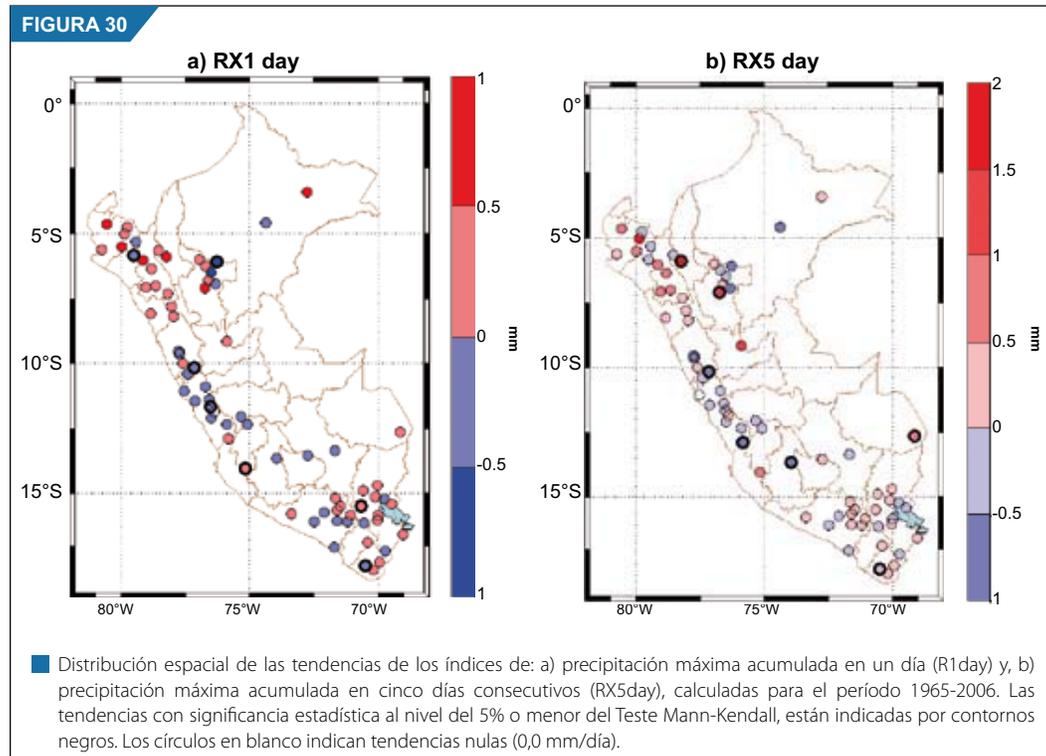
La tendencia del índice de la precipitación acumulada máxima en cinco días (RX5day) (Figura 30 b) muestra un patrón similar al observado con las tendencias de las precipitaciones máximas registradas en un día (RX1day), con valores ligeramente mayores. También se observa que el RX5day muestra tendencias positivas estadísticamente significativas en la selva y negativas sobre la sierra, lo que no ocurre en la distribución del Rx1day, donde se observan tendencias negativas y positivas, estadísticamente significativas, sobre la sierra fundamentalmente.

Los patrones de tendencia de estos dos índices, además de indicar diferencias marcadas de algunos mecanismos que generan la precipitación sobre la región de la selva, indican que la intensidad de las precipitaciones sobre la sierra y costa del Perú se encuentran bastante regionalizadas. Otro hecho de resaltar es la intensidad de las precipitaciones, las que posiblemente se originen por la influencia de factores regionales propios (orografía, posición geográfica) que responden a mecanismos de gran escala que generan estas precipitaciones.

Las tendencias muestran una polaridad entre la sierra y selva norte en ambas distribuciones, con incrementos sobre la sierra norte y disminución en la selva norte. En la región de la sierra central se observa

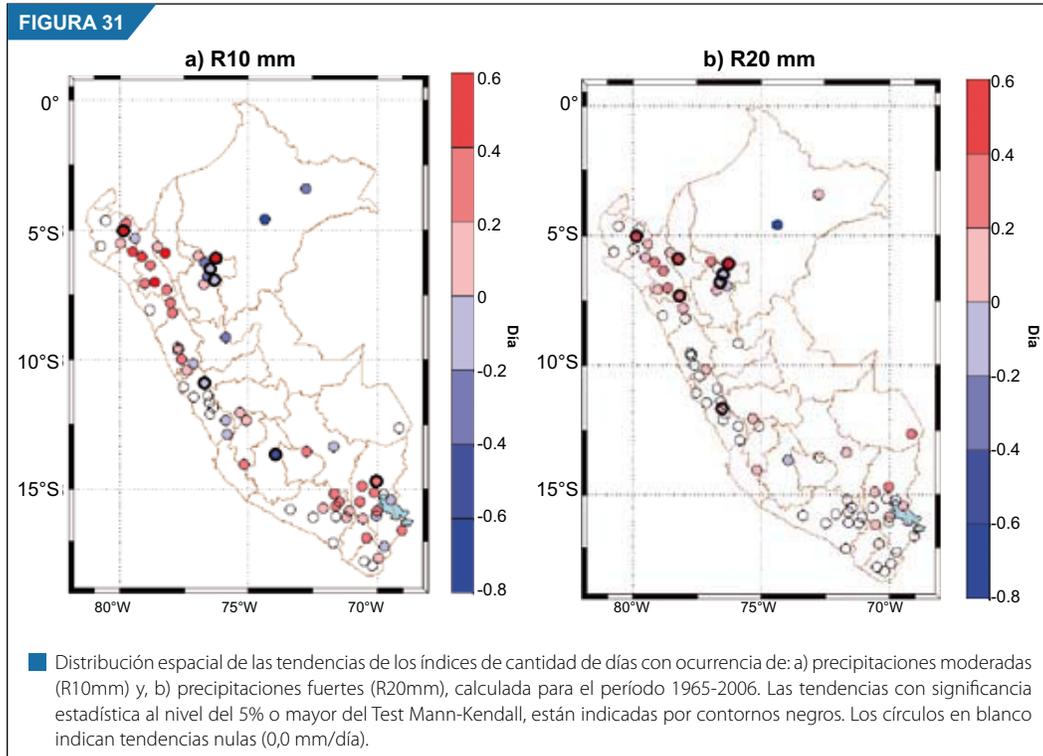
un predominio de tendencias negativas del RX1day y, en la sierra sur un predominio de las tendencias positivas. En la sierra sur, aparentemente las características locales no parecen modular las tendencias de las precipitaciones acumuladas en un día y cinco días.

La tendencia de precipitaciones moderadas (R10mm) y la tendencia de precipitaciones fuertes (R20mm), se pueden observar en la Figura 31 a b. En la distribución de las tendencias del índice R10mm se observa que la mayoría de las estaciones localizadas en el lado occidental de la Cordillera de los Andes no presenta ningún tipo de tendencia. Este se incrementa en la distribución del RX5day, donde se observa un predominio sobre todo el Perú de estaciones sin tendencia alguna durante el período del presente análisis.



También se observa que los patrones de las dos distribuciones en la sierra y selva norte, así como en la sierra sur, son muy semejantes, con tendencias muy regionalizadas. Los valores de las tendencias máximas de estos dos índices son muy próximos, lo que significa que existe incremento o disminución de días con lluvias moderadas y lluvias fuertes sobre las mismas regiones, en proporciones semejantes, con la salvedad de que son más consistentes en la selva norte, porque también los valores estadísticamente significativos están presentes en ambas distribuciones. Todo indica que las características locales son las que modulan este tipo de eventos en estas regiones.

Las tendencias del número de días muy lluviosos (R95p) y días extremadamente lluviosos (R99p) son graficados en las Figuras 32 a-b. La distribución de tendencias de días muy lluviosos sigue el patrón similar al de las tendencias del índice de R10mm, con estaciones que presentan tendencias nulas, principalmente a lo largo de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes. El contraste entre las tendencias de las estaciones localizadas en San Martín y la sierra norte, son menos visibles en esta distribución, pues se observan tendencias positivas significativas en ambas regiones. También las tendencias positivas registradas sobre el sur del Perú son más homogéneas que las observadas en otras distribuciones, lo que indica una regionalización de las precipitaciones indiferentemente de factores orográficos.



Otra de las características observadas es la presencia de tendencias negativas significativas en toda la sierra central, indicando con mayor evidencia que esta también es otra región que presenta características propias, aparentemente moduladas por efectos de gran escala, más que por factores geográficos propios.

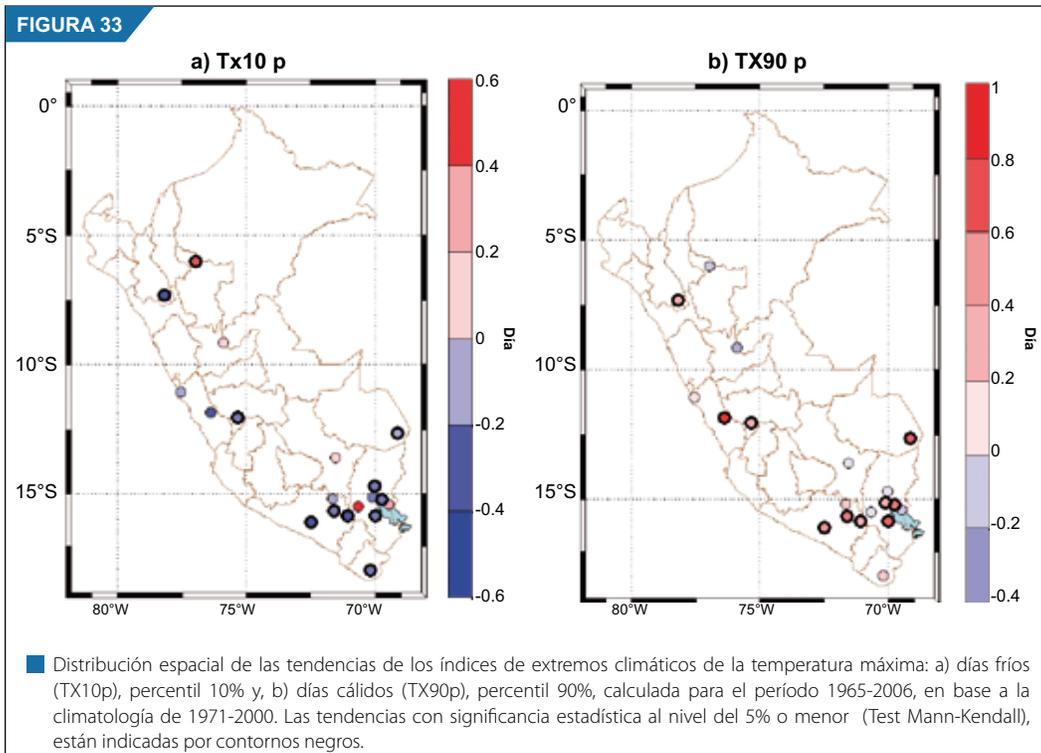
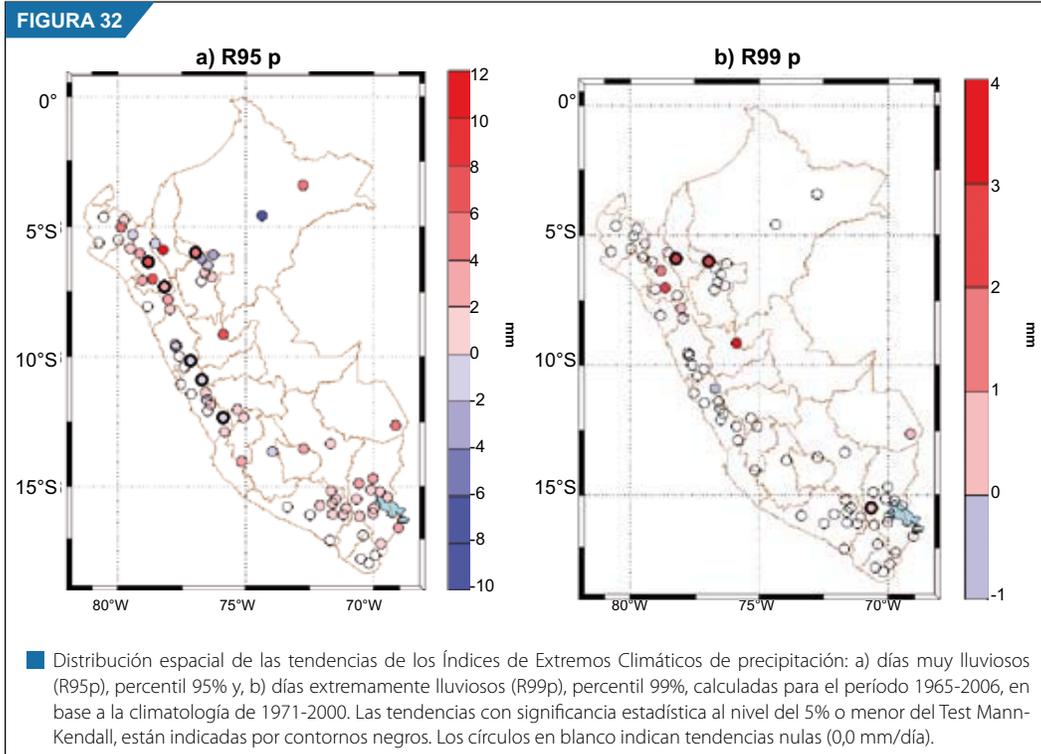
En referencia a las tendencias de los días extremadamente lluviosos (Figura 32 b), hay predominancia de valores nulos sobre todo el Perú, con pocas estaciones donde prevalecen las tendencias positivas y están distribuidas sobre la sierra norte, selva central y sur y, sierra sur. Una única estación es observada en la sierra central. Las tendencias indican que en la sierra y en el lado oeste de la selva norte ocurrieron incrementos significativos de precipitaciones extremas. Igualmente, aconteció al oeste de la zona central de Puno.

3.3.5.2. Índices de Extremos Climáticos de las temperaturas máximas

La tendencia del índice que indica el número de días muy fríos (TX10p) muestra predominancia de valores negativos, con valores estadísticamente significativos, distribuidos sobre toda la región de la sierra y selva sur del Perú, con excepción de tres localidades en la sierra sur, que presentan valores positivos distribuidos, una ubicada en el Cusco y dos en Puno. En la región de la selva se observan valores positivos en San Martín y Tingo María. Este patrón indica que hubo una disminución del número de días con temperaturas máximas inferiores al percentil 10% y significa que durante el período de análisis, los días fríos están paulatinamente disminuyendo, particularmente en la sierra sur.

El patrón de tendencias de los días cálidos (TX90p) (Figura 33) revela un modelo exactamente opuesto al de las tendencias de días fríos. La diferencia se observa en que la mayoría de las tendencias positivas de este índice presentan valores estadísticamente significativos. La intensidad es similar sobre toda la sierra y la selva sur.

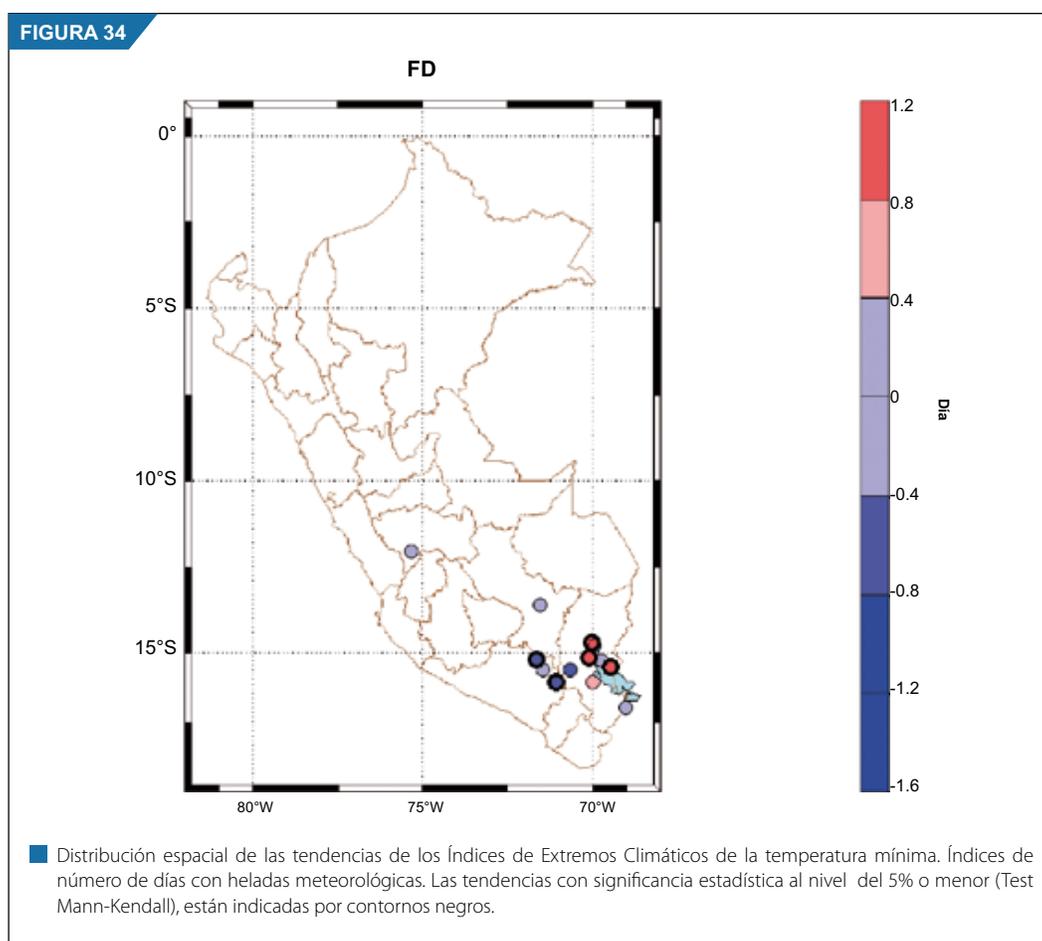
Es importante resaltar, que ambos índices de extremos de la temperatura máxima no presentan ninguna señal de la influencia termorreguladora del lago Titicaca. Los valores de las tendencias observadas en el Cusco y la selva central y norte, así como en Puno, aparentemente se deben a efectos regionales que modulan el balance de energía día a día del cual la temperatura máxima es producto.



3.3.5.3. Índices de Extremos Climáticos de las temperaturas mínimas

Las tendencias de días con heladas meteorológicas (temperaturas mínimas iguales o menores a 0,0 °C) se restringen, en este análisis, a la sierra central y sur del Perú (Figura 34). Las tendencias con valores negativos, estadísticamente significativos, distribuidas sobre las partes altas de Arequipa son contrastadas por tendencias positivas, estadísticamente significativas, observadas en las zonas adyacentes al lado norte del lago Titicaca.

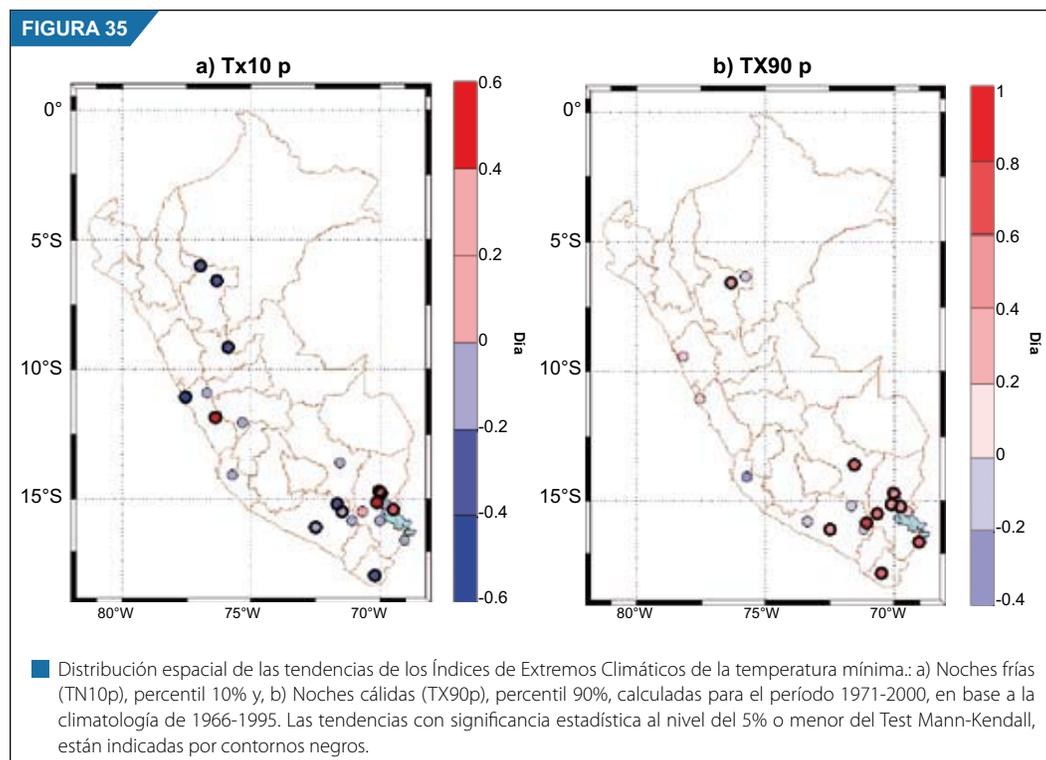
Todo parece indicar que en las zonas altas de Arequipa y otras localidades aisladas sobre la sierra del Perú, existe una disminución significativa de días con heladas meteorológicas y aumento en las zonas adyacentes del Titicaca. El número de heladas meteorológicas en las zonas altas de Arequipa disminuyeron en razón de hasta 1,6 días/año (aproximadamente en dos meses en los 42 años). Similarmente, en Puno aumentaron hasta en 1,2 días/año (cerca de un mes y medio). Este aparente efecto del lago Titicaca en este índice es necesario ser verificado por otros estudios y, de comprobarse, podría ser relevante para las condiciones agrometeorológicas para ciertos tipos de cultivo en estos lugares.



La tendencia de la distribución espacial del número de noches frías (TN10p) y número de noches cálidas (TN90p), durante el período de análisis, se puede observar en la Figura 35 a-b. El número de días con noches frías disminuyeron sobre casi todo el Perú, con excepción de algunas estaciones aisladas, localizadas sobre la sierra central (Marcapomacocha) y en las zonas adyacentes del lado norte de lago Titicaca (Figura 35 a). Esto indica que las noches frías cada vez fueron tornándose más cálidas durante el período de estudio. Los valores de tendencia negativa sobre la selva norte (San Martín y Tingo María) y sierra sur,

y localidades aisladas sobre la sierra norte y costa central, son predominantemente significativas. Una característica que refuerza el contraste de disminución/incremento de heladas meteorológicas entre la zona central de Puno y zonas altas de Arequipa, es la polaridad entre las tendencias positivas/negativas de las noches frías sobre estas mismas zonas andinas. También, se resalta que mientras en la región de la selva, zona central de Puno y sierra central, el número de días con temperaturas extremas van disminuyendo (TN10p), el número de días fríos (TX10p) también presenta este comportamiento inverso al observado en el resto del país.

La tendencia del número de noches cálidas (Figura 35 b) presenta un patrón casi homogéneo con valores positivos, estadísticamente significativos, sobre las zonas altas de Arequipa y Puno, que parece extenderse hacia el Cusco. Este patrón es inverso al de las noches frías en las zonas altas de Arequipa sin la polaridad observada en las tendencias en estas áreas y la parte central de Puno. Al contrario, los mayores incrementos de número de días con noches frías se registran al oeste de Puno y sierra de Arequipa (Imata y Pampa de Arrieros). Sobre la costa central se observan estaciones con tendencias positivas en Ancash y Lima y, negativas en la sierra de Ica. Igualmente, en la selva norte (San Martín) hay un contraste de tendencias, con un valor positivo estadísticamente significativo, seguido de otro valor negativo muy bajo.



3.3.6 Análisis de sequías

Un comprensivo análisis espacio/temporal de las sequías en el Perú, tomando las 64 series temporales del SPI, sirve como base, en términos medios sobre todo el territorio, para estimar: a) la variabilidad temporal del SPI y la ocurrencia porcentual de las tres categorías para cada uno de los tres tipos de sequías calculadas: meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas y; b) variabilidad espacial, donde las frecuencias de los tipos de sequías para cada categoría de intensidad: moderada, severa y extrema, son calculadas para cada lugar (estación pluviométrica). Estas variabilidades dan noción del riesgo a la ocurrencia de sequías en el Perú. También, en estas distribuciones se resaltan los eventos fríos (cálidos) del ENOS, determinados a partir de las anomalías negativas menores (mayores) que 1°C de la Tempera-

tura superficial del mar en El Niño 3,4, poco diferentes de lo recomendado por Trenberth (1997), con la finalidad de considerar solamente los eventos más intensos del ENOS pues experimentos efectuados no muestran diferencias significativas entre ambos.

Luego, el análisis de la variabilidad temporal (%) de la ocurrencia de los tres tipos de intensidad en las tres categorías, señalan los lugares o regiones donde hay mayor riesgo de cada una de estas sequías.

Las teleconexiones, determinadas a través de los análisis de las correlaciones, sirven como fuente para reconocer las forzantes de gran escala que modulan la variabilidad de la precipitación en las escalas anual y mayores y, cuyos eventos extremos producen, principalmente las sequías. Finalmente, los ACP muestran los patrones espacio temporales de las sequías en el Perú y, con el complemento de los análisis de la TO de las series temporales de estos patrones, se tendrá un conocimiento espacio/temporal más vasto de la ocurrencia de las sequías en el territorio peruano.

3.3.6.1. Análisis del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI).

a) Distribución temporal promedio de la intensidad de las sequías

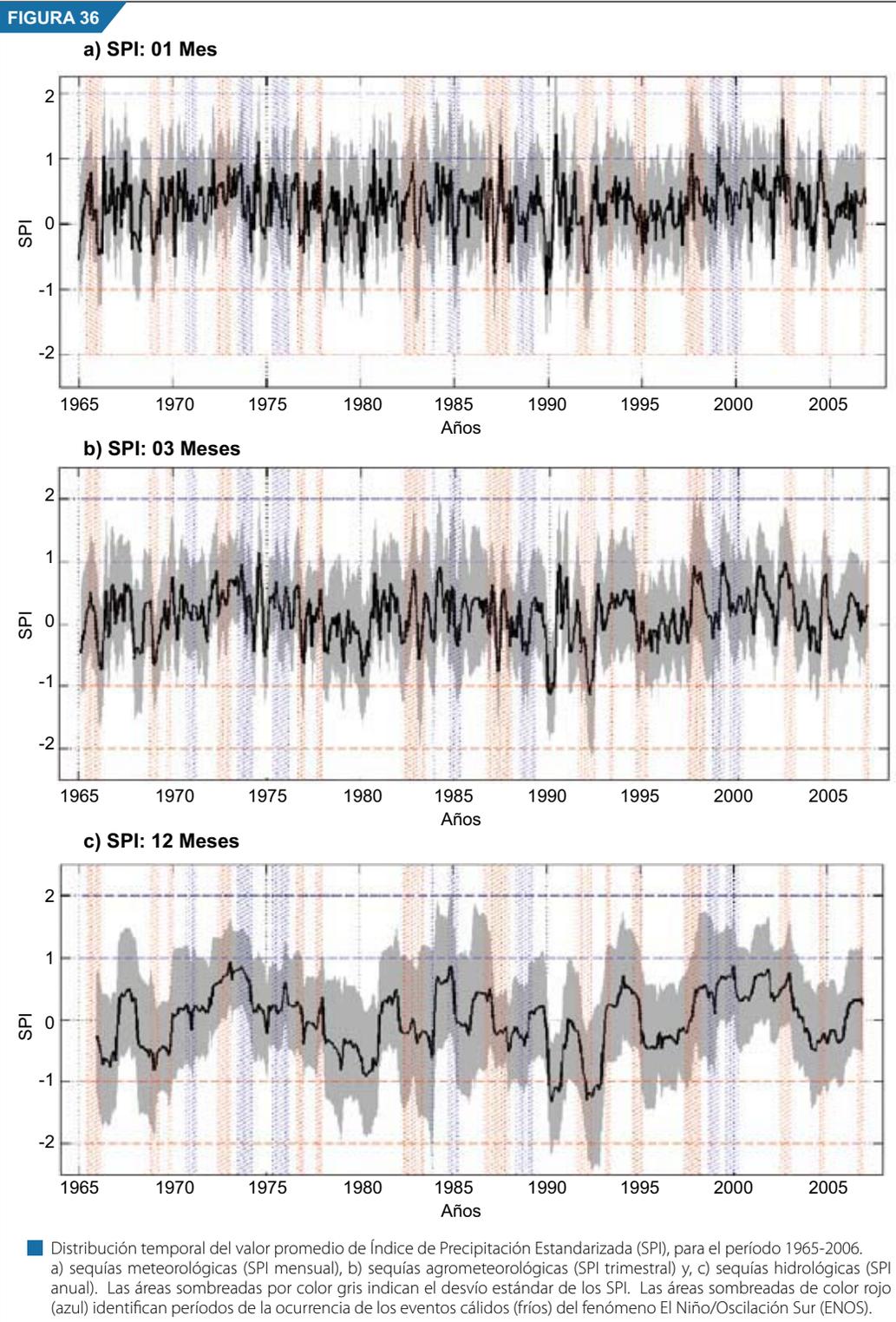
Según como se muestra en la Figura 36 a-c, la distribución temporal (1965-2006) de los promedios de los SPI de todas las estaciones (64) es utilizada en el presente trabajo para la escala de un mes (Figura 36 a), que caracteriza las sequías meteorológicas; de tres meses (Figura 36 b), que representan las sequías agrometeorológicas, y el de un año (Figura 36 c), que caracteriza las sequías hidrológicas. Adicionalmente, se muestran las fases cálidas y frías de los eventos ENOS.

Una característica común en estas tres distribuciones es la alta variabilidad espacial, indicada por los desvíos estándares de cada una de ellas, que varía bastante a través de los años, sin ningún patrón aparente. Esto indica que los eventos de sequías, característica natural del clima, son regionalizados y, en muy raras ocasiones, durante el período de estudio, parece haber ocurrido un evento que abarque todas o la mayor parte del país, como parece ser el evento de 1991/1992. Este evento, además de abarcar gran parte del país, fue muy intenso, originando una sequía hidrológica muy intensa.

Durante el período del presente trabajo, a través del método empleado (SPI), no parece haber evidencias de tendencias temporales, incremento o disminución de la ocurrencia de sequías en ninguno de sus tres tipos sobre todo el Perú, porque el valor medio durante todo el tiempo oscila alrededor del valor cero de los SPI, en las tres escalas. Este hecho parece controversial, pero puede ser explicado porque sobre el país, como un todo, la ocurrencia de eventos de sequías o de inundaciones son, fundamentalmente, de carácter regional o quizá local, debido en parte a la complejidad espacio temporal de la precipitación sobre el territorio peruano. Al mismo tiempo, estas distribuciones no indican una compensación simultánea entre regiones con eventos de sequías y otras con inundaciones, como podría suponerse.

Entre los tres tipos de sequías podemos diferenciar la variabilidad temporal, es decir, mes a mes, relacionado con la cantidad de precipitación acumulada en un mes, trimestre o año. La distribución del SPI mensual muestra alta variabilidad interanual e inclusive es posible observar algunas señales de variabilidad intraestacional. Esta variabilidad se va tornando más estable simultáneamente con el incremento de escala temporal calculada, como es el caso de los SPI anuales.

Finalmente, en estos gráficos se observa que los eventos de sequías sobre el territorio peruano, en promedio, no están asociados o causados directamente por todos los eventos cálidos del fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS) y, también no ocurre lo contrario ante la presencia de los eventos fríos. Pero, lo que se comprueba es que algunos de los eventos cálidos muy intensos del ENOS, sí causaron sequías intensas, como son muy visibles el caso de los eventos cálidos de 1965/66, 1982/83, 1991/92. Por otro lado, el evento frío de 1999/2000 parece haber originado algún tipo de persistencia de altas precipitaciones, propiciando un SPI con ligera tendencia de valores positivos. Asimismo, muchos eventos de sequías, como es el caso de los últimos años de la década de 1970 e inicios de 1980, comienzos del último quin-



queno de 1990, algunos años del último quinquenio de 1960, entre otros, no están asociados a ningún tipo de evento del ENOS, pero, sin duda las anomalías de circulación de gran escala son necesarios ser estudiadas, ante la posibilidad que estos patrones se presenten nuevamente, pues son parte de la variabilidad natural del clima.

Entre los tres tipos de sequías, las meteorológicas son las que registran menor intensidad y son muy localizadas temporalmente, pero estas características se intensifican y abarcan un mayor período de tiempo, en concomitancia con el incremento de la escala del SPI, como es observado en la distribución del SPI anual (Figura 36 c). Inclusive, la duración de estas sequías hidrológicas va más allá del término del evento, posiblemente debido al efecto acumulativo de la precipitación. En conclusión, esto es debido a la memoria del sistema suelo/clima que está siendo afectada.

b) Distribución temporal del área del Perú afectada por las sequías

La distribución de las frecuencias porcentuales de las sequías extremas, severas y moderadas, registradas sobre todo el territorio (64 estaciones) durante el período de 1965 a 2006, es mostrada en la Figura 37 a-c, para las tres escalas temporales (tipos) de sequía (meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas). También se muestra los períodos de actuación de los eventos fríos y cálidos del ENOS, con la finalidad de asociar la intensidad y el área afectada por las sequías en cada una de estas fases.

Asimismo, se observa que la distribución de las sumas de frecuencia de las tres intensidades de sequías en la escala meteorológica presenta muy alta variabilidad interanual, con picos intermitentes, y un valor máximo de 60% de las estaciones utilizadas, registrado en el verano de 1989/90 y un valor máximo secundario observado en el verano de 1991/92. según se muestra en la Figura 37 a. En las otras dos escalas se repiten los mismos valores máximos, pero son mostrados con más notoriedad en la escala de sequías hidrológicas (escala anual).

La variabilidad interanual del porcentaje de estaciones afectadas por las tres intensidades de sequías, disminuye proporcionalmente con la escala temporal de las sequías, como es el caso de las hidrológicas (Figura 37 c). En la distribución temporal de las frecuencias de sequías, principalmente en la escala hidrológica (anual), se observa etapas en que ocurrieron hasta tres períodos con sequías en la mayoría de las localidades analizadas, como son los casos que se inicia en el último quinquenio de la década de 1960 y continúa hasta inicios de la década de 1970; el segundo empieza a fines de la década de 1970 y se extiende hasta la mitad de la década de 1980 y, el último sucedido en el primer quinquenio de la década de 1990. También, se observan períodos en los que las sequías ocurrieron en pocas localidades, como es el caso del primer quinquenio de las décadas de 1970 y del 2000.

La distribución temporal de estos tres tipos de sequías, comprueba que éstas son parte normal del clima y refuerza las características observadas en la distribución temporal del SPI promedio (Figura 36), al mismo tiempo muestra que la alta variabilidad interanual de las sequías meteorológicas y agrometeorológicas pueden ser interpretadas como las escalas más sensibles de respuesta a cualquier déficit de precipitación.

Por otro lado, se observa que no todos los eventos de sequía están relacionados directamente con los eventos cálidos del ENOS, pues aparecen indicios que ocurren sequías, principalmente meteorológicas, inclusive en períodos afectados por los eventos fríos, como son los casos del verano 1973/1974, 1984/1985 [sequías meteorológicas (agro meteorológicas) alcanzaron 40% (20%) de las estaciones]. Los eventos cálidos del ENOS, como el indicado en el ítem anterior de 1965/66, 1982/83, 1991/92, parecen causar sequías sobre vastas regiones del Perú, principalmente el evento de 1991/92, en el cual el 60% de las localidades estudiadas fueron afectadas por sequías entre moderada y extrema, con un valor que alcanzó el 20% (30%) de localidades donde se registraron sequías agrometeorológicas (hidrológicas). Otras épocas en las que se registraron sequías muy intensas, particularmente hidrológicas, fueron entre los años de 1966/67, 1979/80 y 1990 que no están asociados directamente a ningún período del evento ENOS.

Las características de las distribuciones temporales del porcentaje de estaciones (territorio) afectadas por sequías, aparentemente muestran una modulación de escala mayor que la interanual, que parece no está directamente relacionada con el ENOS. La distribución de frecuencias de la sequía hidrológica es muy visible con períodos intensos que abarcan mayormente localidades estudiadas, como son el último quinquenio de la década de 1960, entre fines de la década de 1970 e inicios de 1980 y el primer

quinquenio de la década de 1990, intercalados por períodos con bajos porcentajes de áreas afectadas por sequías, como son los años de 1970/1975 y 1998/2004.

c) Distribución espacial de frecuencias de las sequías

La frecuencia de ocurrencia, porcentaje de ocurrencia en relación a todo el período en estudio, en las tres escalas de sequía (meteorológica, agro meteorológica e hidrológica) para las tres categorías de intensidad de sequías fueron contabilizadas independientemente para las 64 estaciones distribuidas sobre el territorio peruano. Estas son agrupadas en función a su intensidad: moderada (Figura 38 a-c), severa (Figura 39 a-c) y extrema (Figura 40 a-c).

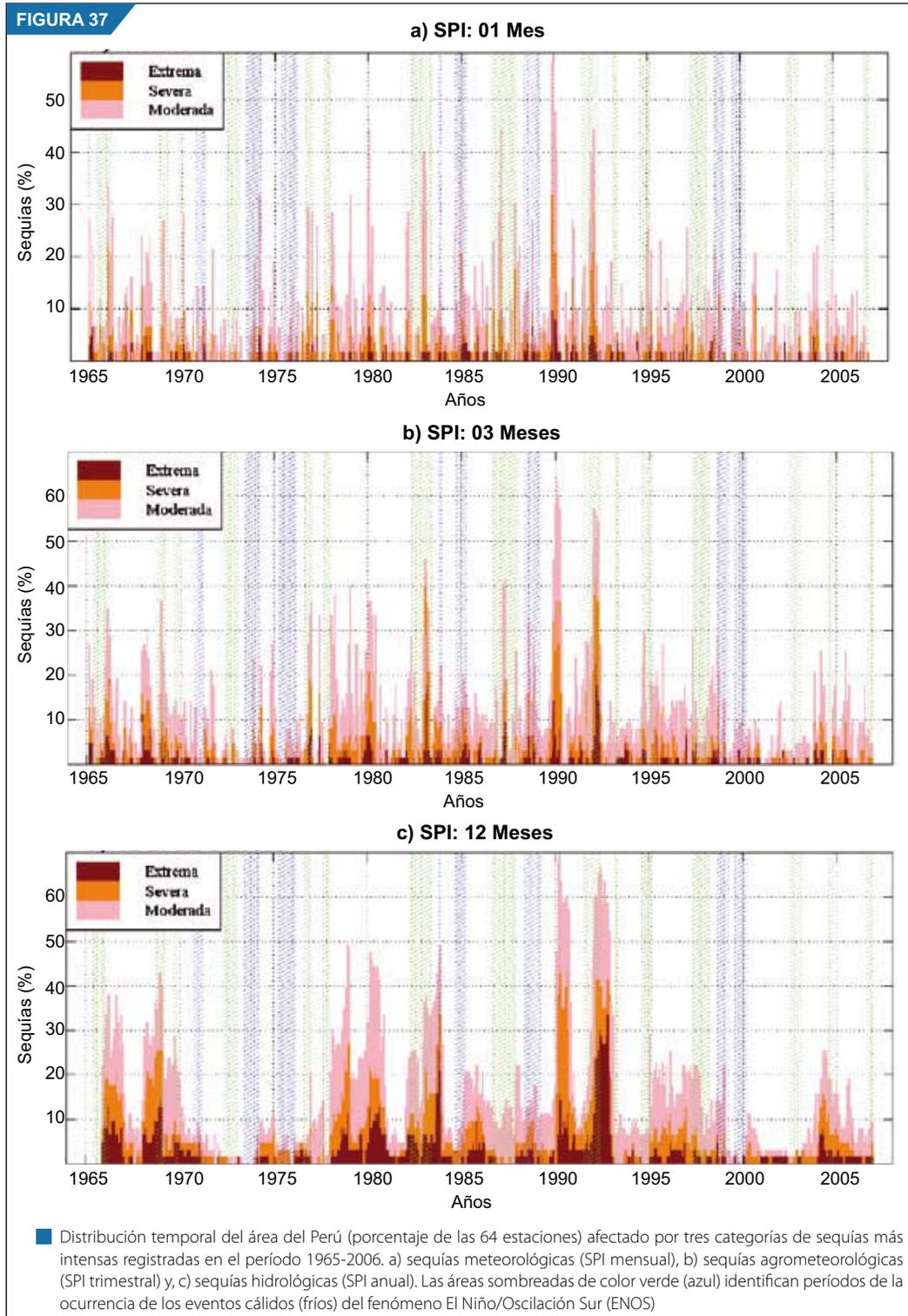
En general, las sequías meteorológicas (mensuales) y agrometeorológicas (trimestrales) presentan patrones espaciales de porcentaje de ocurrencia bastante parecidos en cada uno de los tipos de intensidad y se diferencian de los patrones de sequías hidrológicas (anual) en la distribución espacial en las tres escalas y, principalmente, en la intensidad de las frecuencias de ocurrencia. Esta diferencia alcanza valores mayores en más de dos veces de las frecuencias registradas en las otras dos escalas temporales (meteorológicas y agrometeorológicas) en cada una de las intensidades y están restringidas a puntos aislados localizados en la vertiente occidental de la sierra norte y sur.

Las sequías meteorológicas (SPI mensual) de intensidad moderada presentan frecuencias inferiores a 2% en toda la costa y lugares de la sierra localizados en la vertiente del océano Pacífico (Figura 38 a). Estas sequías se hacen más frecuentes en toda la sierra con valores predominantes ente 6% a 8% y valores entre 8% a 10% sobre la selva, donde se registran extremos entre 10% y 12% en San Martín (cuenca del río Mayo), además de algunos valores dispersos sobre la sierra central y sur.

Asimismo, las sequías moderadas de la escala agrometeorológica (Figura 38. b) presentan una distribución espacial similar al de la escala meteorológica (un mes), con valores inferiores a 2% restringidos localidades dispersas sobre la costa y sierra de Arequipa. También valores de frecuencia entre 6% y 10%, son registrados en la sierra y selva y, valores mayores, con frecuencia entre 10% y 12% se mostraron en gran parte de la selva norte. La frecuencia máxima se observó en la localidad de Colquepata (Cusco), con una frecuencia entre 16% y 18%. La distribución de frecuencias de las sequías hidrológicas (Figura 38 c) moderadas muestra valores muy bajos (menores que 2%) sobre la costa norte y sur, mientras valores entre 6% a 12% se aprecian sobre la sierra y selva. Asimismo, no se observa señal alguna con características regionales como se contempla en las sequías moderadas de las otras dos escalas temporales anteriores. Frecuencias altas de este tipo de sequía se registran dispersas sobre la sierra de Arequipa (Pampa de Arrieros), Cusco (Colquepata) y en la selva norte (Juancito).

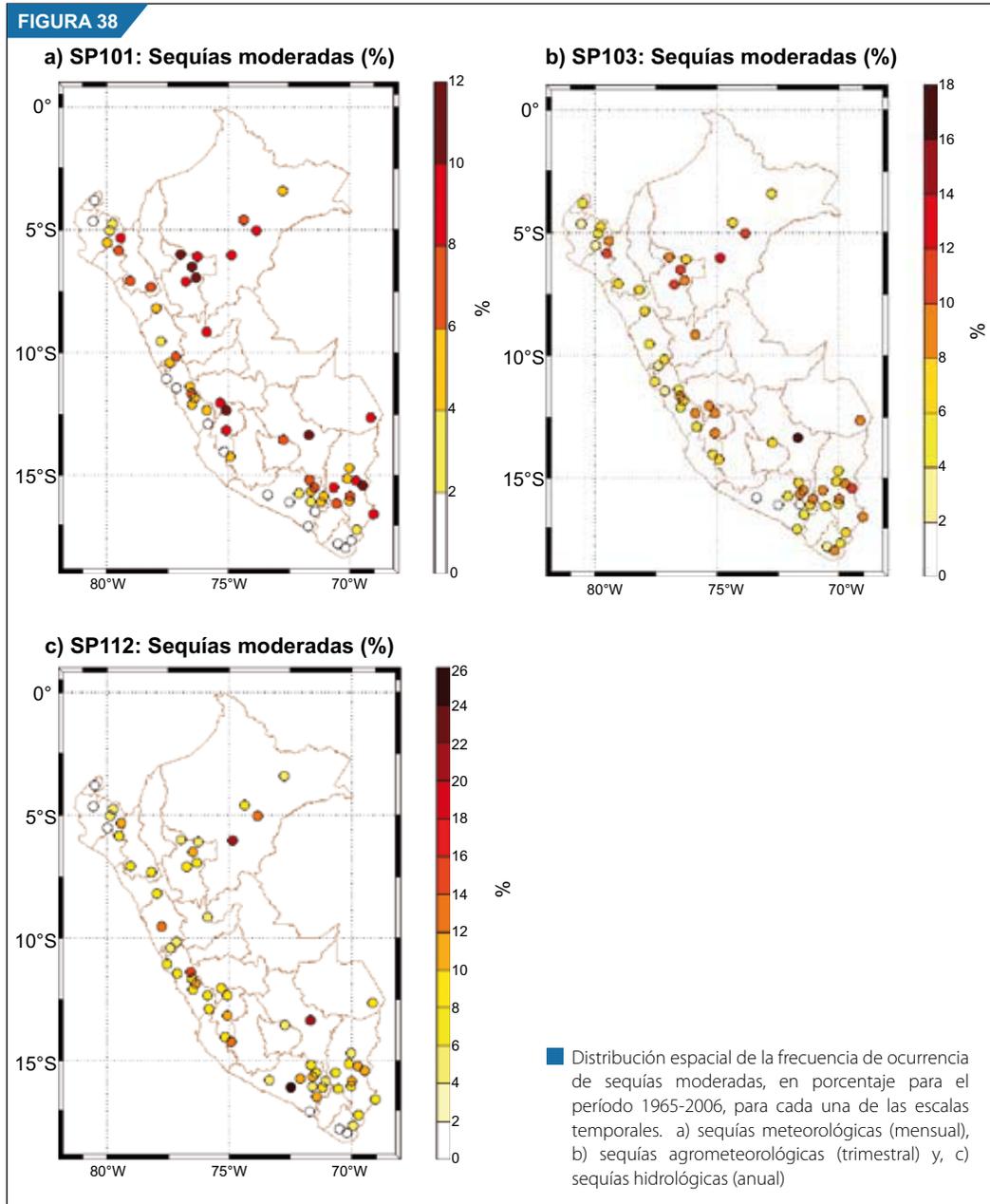
Este tipo de intensidad de sequías (moderadas) en las escalas temporales de un mes y trimestrales, muestran una clara diferencia de frecuencias de ocurrencia, aunque aparentemente pequeña, de 2% a 4%, entre las regiones localizadas sobre el lado oeste de la Cordillera de los Andes y el resto de la sierra y selva del Perú. Esta diferencia, en todo el Perú, parece ser mayor en la escala meteorológica que en la agrometeorológica, donde las frecuencias parecen ser más homogéneas sobre gran parte de las estaciones. Esta diferencia prácticamente desaparece en la escala anual, en que con excepción de tres estaciones dispersas sobre la sierra y selva, las frecuentes sequías de esta naturaleza (moderadas) son posibles de ocurrir con la misma continuidad sobre todo el Perú con, aparente, mayor posibilidad sobre las zonas altas de Arequipa, algunas localidades de la zona central de Puno y otras sobre las partes más altas de la sierra.

Los patrones de distribución de las sequías severas en las escalas temporales mensual y trimestral (Figura 39 a-b) siguen el modelo de las sequías moderadas en las mismas escalas temporales. El patrón de las sequías severas en esta intensidad es muy diferente del modelo de sequías moderadas hidrológicas (Figura 39 c). Las frecuencias mínimas se restringen a la región costera, en mayor proporción en la escala mensual (sequía meteorológica) que la trimestral. La distribución de frecuencias en la escala mensual (Figura 39 a) parece señalar con poco más de precisión el contraste entre las frecuencias de sequías observadas en las estaciones de la sierra, sobre el lado occidental de la Cordillera de los Andes y el resto de



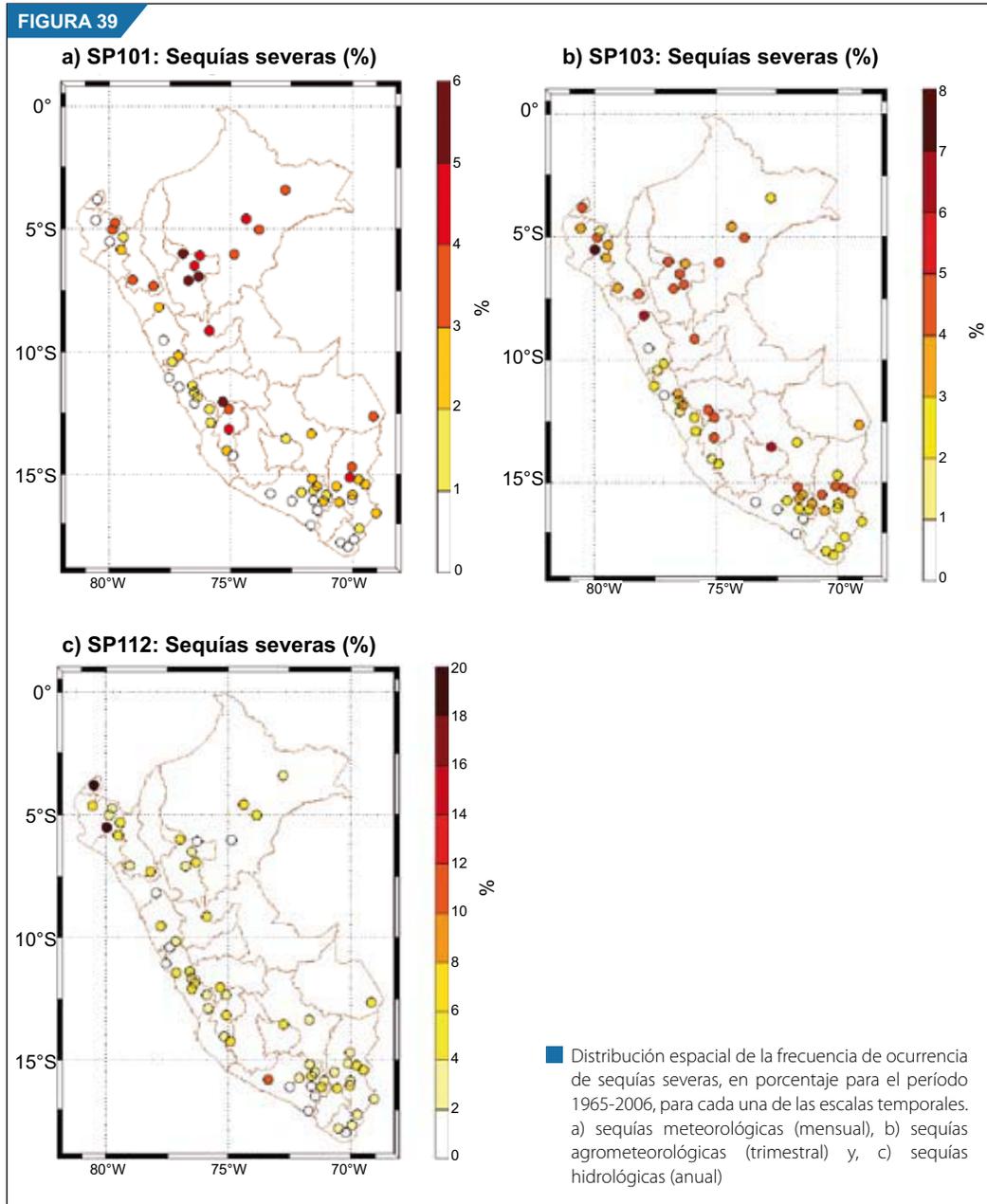
la sierra y selva. Estas últimas regiones parecen más propensas a la ocurrencia de sequías en esta escala temporal, particularmente la selva norte.

En la escala trimestral (Figura 39 b) el contraste observado en la anterior escala se intensifica, lo que origina una distribución de frecuencias ligeramente más homogéneas sobre toda la sierra y selva del



Perú. Otra característica importante de la distribución de las frecuencias de las sequías severas en esta escala (trimestral), es la aparente regionalización de la ocurrencia de sequías. Estas regiones parecen agruparse entre Arequipa y Puno, que se extiende para Huancavelica, Junín y Lima, y todas las regiones del norte del Perú. Los valores, de las frecuencias de las dos escalas son similares, lo que podría indicarnos que en este tipo de intensidad hay una fuerte interdependencia entre los dos. Finalmente, las sequías severas anuales (Figura 39 c), muestra valores bajos y homogéneos de frecuencias de ocurrencia de este tipo de sequías. También los valores extremos se observan en la sierra norte (Piura y Tumbes) y Arequipa. Estos valores posiblemente están más asociados a la aridez de estas regiones que a la variabilidad del período de lluvias.

Las sequías meteorológicas extremas (Figura 40 a-c) muestran que durante los 42 años la mayoría de las localidades registraron frecuencias de sequías menores a 1%, con excepción de la selva norte, que registró valores entre 2%-3%, con un máximo entre 5%-6%. Este comportamiento contrasta con el de las otras

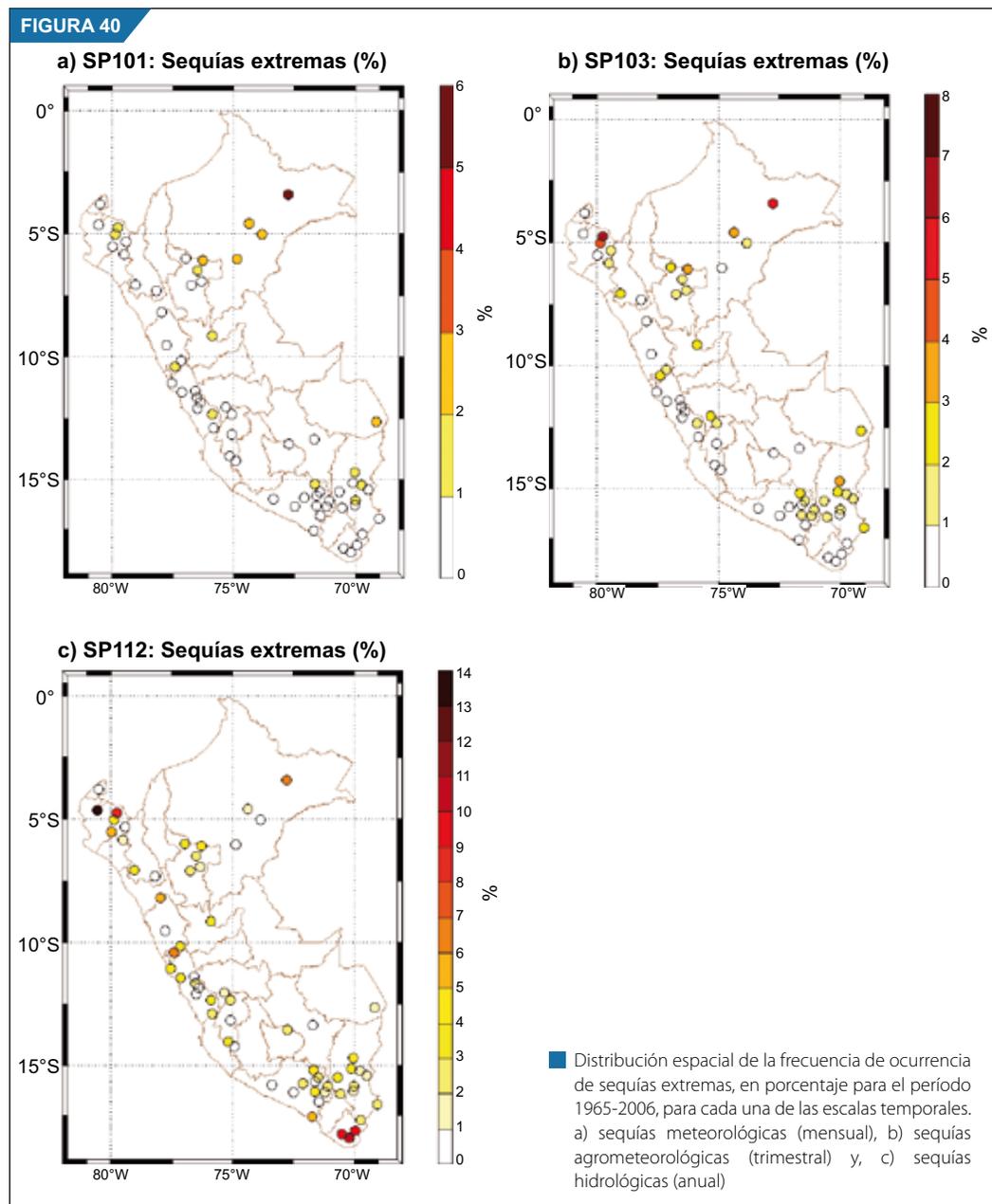


dos intensidades de sequías (moderadas y severas), donde la escala anual (hidrológico) presenta mayor cantidad de estaciones que registran valores con baja frecuencia. Otra característica importante que se observa en este tipo de intensidad de sequías es el agrupamiento de estaciones con valores similares, siendo más visible y con mayor cantidad de estaciones, la escala anual (Figura 40 c). Las sequías meteorológicas muestran dos áreas sobre el Perú, donde las estaciones con frecuencias entre 1% y 4% se encuentran más o menos agrupadas. Estas estaciones se localizan entre Arequipa y Puno, y sobre la selva norte, entre San Martín y Loreto. En la escala de tres meses, estas áreas son más prominentes y aparece otra área en la sierra central, entre el sur de Ancash y Andahuaylas. Finalmente, la escala anual (Figura 40 c) muestra frecuencias similares sobre las mismas áreas un poco más expandidas. En el sur abarca las zonas altas de Arequipa, Puno y Tacna, en la sierra central se adhieren otras estaciones sobre la misma área y; en la sierra norte hay un ligero aumento de estaciones y disminución en Loreto. Estos patrones espaciales de las sequías extremas indican que su ocurrencia, además de presentarse con características regionales,

existe más probabilidad de registrarse un evento extremo prolongado, como es la sequía hidrológica, que un evento relativamente corto, como es el caso de la sequía meteorológica en estos lugares.

3.3.6.2. Teleconexiones de la distribución de las sequías

En esta parte del trabajo se analizan y discuten los análisis de correlaciones trimestrales, calculadas para las tres estaciones del año que abarcan el período lluvioso de la mayor parte del territorio peruano (SON, DEF y MAM), entre los índices de las anomalías estandarizadas de la TSM de El Niño 3,4 (Niño 3,4), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la diferencia de las temperaturas de agua de mar superficiales entre el Atlántico tropical sur y norte (TSA-TNA), con las anomalías estandarizadas de los SPI. Estos análisis podrán indicarnos posibles teleconexiones que existen entre las series temporales del SPI mensual (meteorológico) con las características de gran escala relacionados a cada uno de esos patrones de circulación.



a) Correlaciones entre los SPI e índices océano/atmosféricos.

Las correlaciones estacionales entre las anomalías estandarizadas de la TSM de El Niño 3,4, índice que representa el fenómeno ENOS, con el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) mensual (escala meteorológica) de cada una de las 64 estaciones distribuidas sobre el Perú, para el período lluvioso (setiembre-mayo), son mostradas en la Figura 41 a-c. La distribución de los coeficientes de correlación (cc), con valores estadísticamente significativos al nivel de 95%, muestra que estas son muy escasas, muy aisladas y no persisten ni por dos estaciones astronómicas continuas, aunque el signo de los coeficientes permanecen durante las tres estaciones, directa o inversa, y están localizadas preferentemente sobre la región de la sierra.

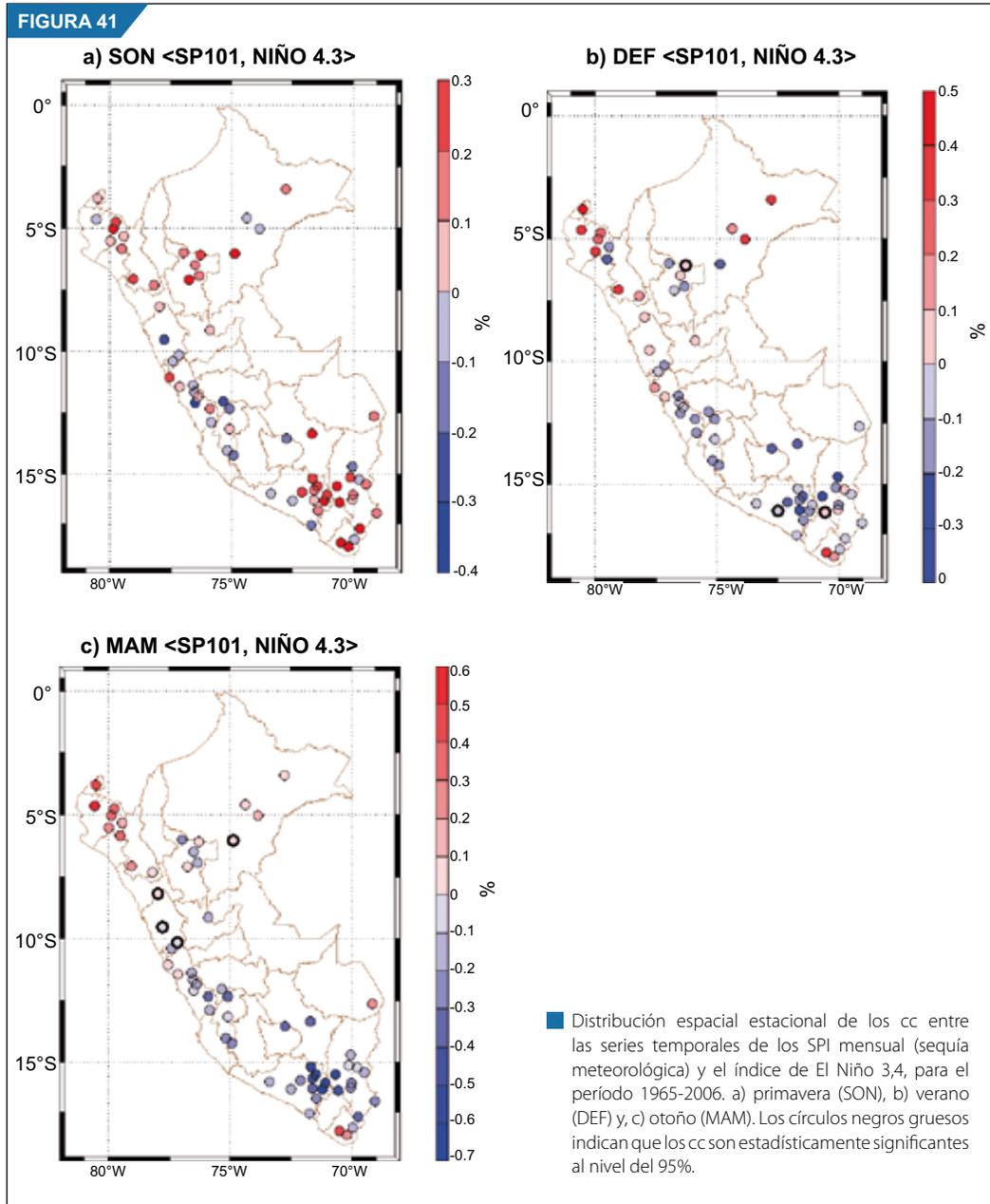
Al inicio del período lluvioso sobre la mayor parte del Perú (SON), la relación entre los SPI y los eventos ENOS (Figura 41 a) parecen agruparse en tres grandes regiones del Perú que presentan relaciones opuestas entre ellas: la sierra sur, comprendida por los departamentos de Puno y Arequipa, aparentemente extendiéndose por la selva; las regiones del norte del Perú presentan relaciones directas entre ambas anomalías, y la zona sierra central entre Ancash y Apurímac, que registran relaciones inversas y, en algunos lugares muy intensos, aunque no significativos. Aún cuando los valores de los cc son altos y no estadísticamente significativos, esta distribución indica que durante esta estación la ocurrencia de algún evento cálido del ENOS causaría anomalías positivas de precipitación (excesos de lluvias), principalmente, sobre la sierra sur, sierra y selva norte. Lo opuesto se esperaría sobre la mayor parte de la sierra central, departamentos desde Apurímac, Ayacucho hasta Ancash, donde los cc entre los SPI y anomalías de El Niño 3,4 son inversos, lo cual sugiere que los eventos cálidos del ENOS podrían favorecer a la ocurrencia de sequías durante la estación de primavera (SON) sobre esta región.

En la estación de verano (DEF), el patrón espacial de los cc entre las anomalías de los SPI y de TSM de El Niño 3,4 (Figura 41 b) muestra valores negativos sobre la mayor parte del Perú, con predominancia de valores bajos (inferiores a 0,2). Valores positivos se encuentran limitados en gran parte de la sierra occidental norte y selva norte, con excepción de algunas localidades de la sierra de Piura y Lambayeque, parte este de San Martín y suroeste de Loreto. Esta distribución, aunque solo se observen tres localidades que muestran correlaciones estadísticamente significativas, indica que los eventos cálidos del ENOS (anomalías positivas de la TSM) afectan directamente mediante los patrones de circulación de larga escala que generan la precipitación sobre la mayor parte del Perú, ocasionando sequías y, al mismo tiempo generan anomalías positivas de precipitación sobre la región norte de Perú relacionado, posiblemente, al efecto directo de la circulación Walker.

El patrón de distribución espacial de los cc, observado durante verano (DEF), persiste en los meses de otoño (MAM), en la cual se registran valores de cc estadísticamente significativos al nivel de 95% en toda la sierra de Ancash. Esta referencia indica que los eventos del ENOS claramente originan anomalías de precipitación sobre este departamento y, al mismo tiempo, muestran una división entre las anomalías positivas de precipitación en la sierra norte y anomalías negativas al sur de este departamento. Así, estos dos últimos patrones de distribución indican que los eventos cálidos del ENOS podrían causar sequías sobre la mayor parte del territorio peruano durante estos meses de máxima precipitación y en el final de la estación lluviosa, contraria al inicio del período lluvioso, especialmente en la zona sur. Asimismo, continúa la relación directa en la costa norte y sierra occidental norte, lo que indica que ante un eventual fenómeno de El Niño se registrarán anomalías positivas de precipitación.

Es importante indicar que los valores de cc persistentes, registrados durante todas las estaciones en las localidades de (Tacna), indican que los eventos cálidos del ENOS son favorables para que no ocurran sequías sobre estos lugares.

La distribución temporal estacional de los cc entre los SPI y el índice del PDO (Figura 42 a-c), muestra que los patrones estacionales de primavera y otoño son muy similares a los modelos estacionales observados entre los SPI y El Niño 3,4 (Figura 41 a y c), principalmente en las regiones sur y norte. Las mayores diferencias se encuentran en el oeste de la selva norte (San Martín), donde en ambas estaciones se observa relaciones inversas. Por otro lado, el patrón de la estación de verano (Figura 41 b) es diferente del patrón

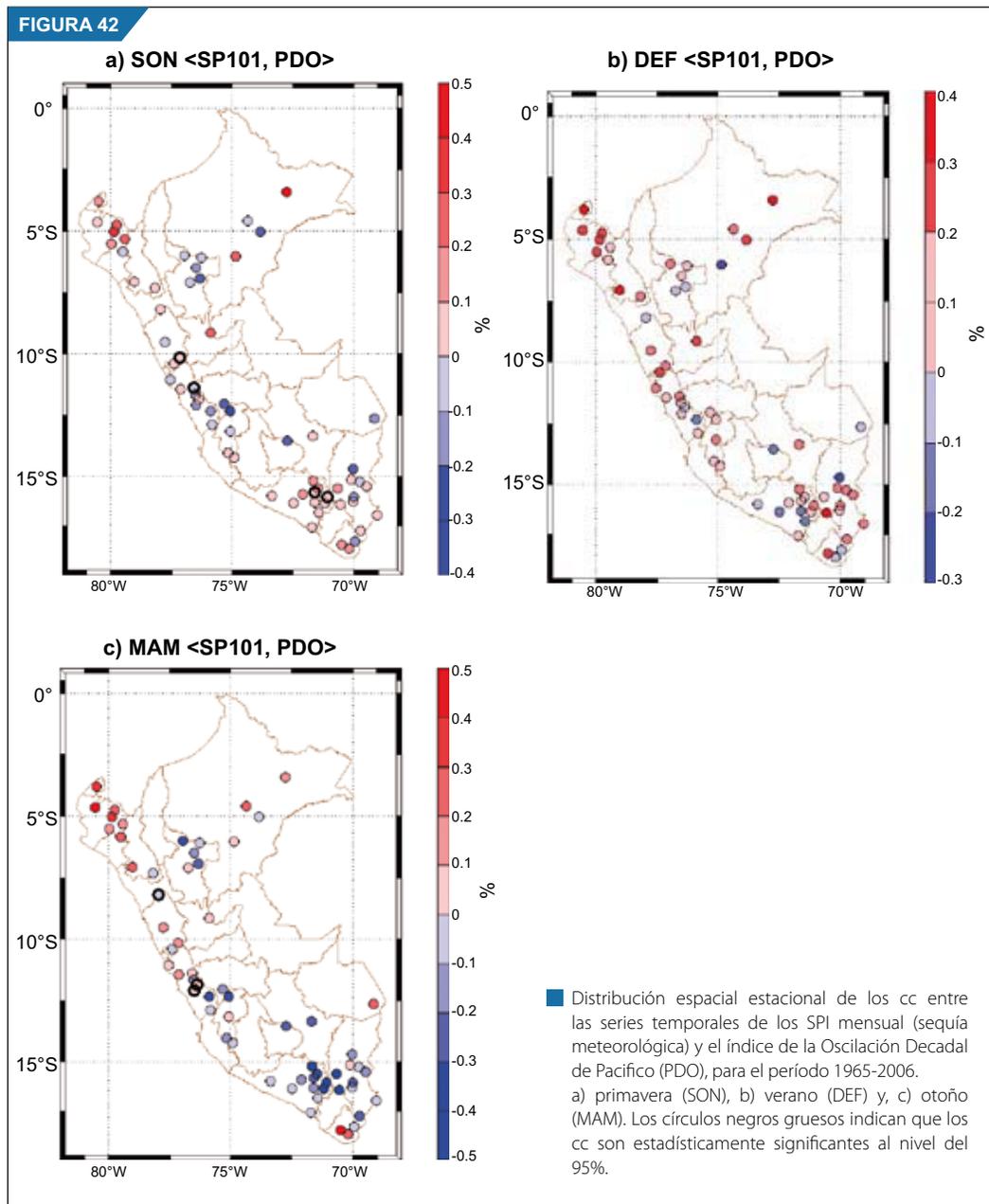


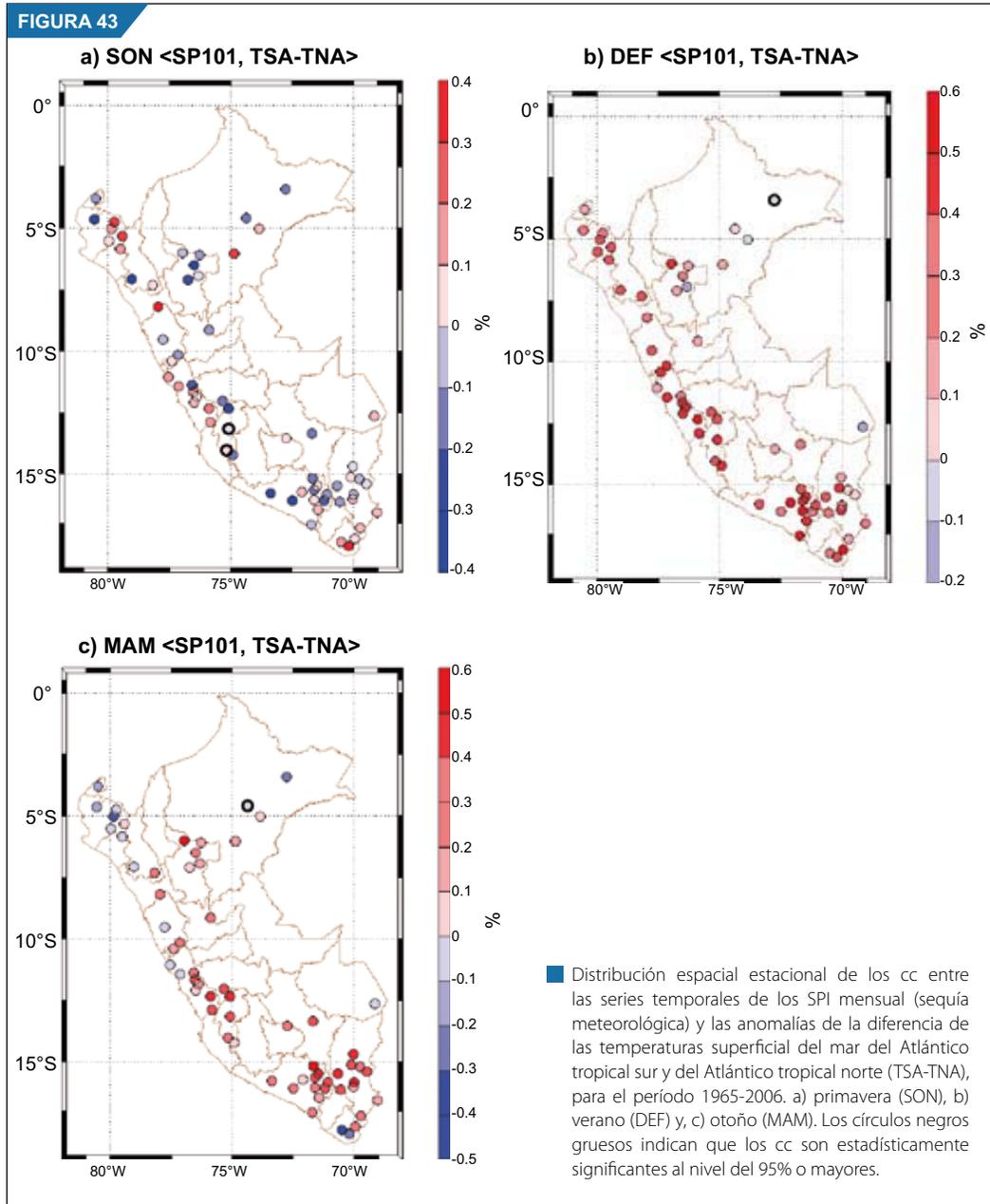
de correlaciones con la TSM de El Niño 3,4, observándose predominancia de valores positivos de cc, con algunos valores negativos aislados, principalmente en la sierra sur y selva norte (San Martín), pero ningún cc es estadísticamente significativo. Esto indica que durante el verano, el PDO (fase positiva) tiende a causar anomalías positivas de precipitación sobre la mayor parte del Perú.

La similitud de los dos patrones de los cc del SPI con El Niño 3,4 y el PDO al inicio y fin del período lluvioso, indica que los dos fenómenos actúan en la misma dirección en cada una de estas estaciones del año sobre las mismas regiones del Perú. Es decir, que anomalías del mismo signo de ambos índices ocasionan el mismo efecto sobre las mismas localidades, pero como el período de oscilación de estos patrones de circulación varía (El Niño es interanual, de 2-7 años y el PDO es decadal) se podría esperar que, dependiendo de la modulación de estos índices, los períodos de sequías variarían en intensidad de acuerdo a la fase en que estos se encuentren y, parece que las localidades que se ubican en la sierra sur y

central son más sensibles durante el inicio del período lluvioso (SON). Lo contrario ocurría en la estación de verano para la mayor parte del Perú, donde ambos fenómenos se opondrían, con excepción de la costa y sierra norte, donde sí ocasionarían el mismo efecto: inundaciones o sequías dependiendo de la fase del ENOS y el PDO.

Las correlaciones estacionales entre el SPI y el TSA-TNA (Figura 43 a-c) muestran patrones de cc bastante diferentes en el período lluvioso. Durante la primavera (Figura 43 a), cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), intrínsecamente relacionada con la diferencia de TSA-TNA, se localiza en el hemisferio norte durante estos meses, los cc entre los SPI y las anomalías de TSA-TNA muestran una aparente regionalización, con relación inversa (valores negativos) sobre la mayor parte del Perú, sobresaliendo valores positivos en la sierra norte, vertiente occidental de la sierra central, zonas altas de Arequipa y Tacna. Esto





significa que la colocación al norte de la posición normal de la ZCIT (TNA > TSA) se torna el patrón más favorable para la ocurrencia de anomalías positivas de precipitación y, por ende inhibición de sequías, sobre casi todo el Perú, preferentemente en el lado oriental de la Cordillera de los Andes y selva norte. Existe la posibilidad que ocurra lo contrario (sequías) en la sierra norte, sierra central (vertiente occidental) y en el extremo sur de la sierra sur.

El patrón de primavera cambia completamente para las estaciones de verano (DEF) y otoño (MAM). Valores de cc positivos sobre casi todo el Perú son registrados en pleno período máximo de lluvia (DEF), con valores muy altos sobre toda la sierra, aunque sin ningún valor que sea estadísticamente significativo. En otoño (Figura 43 c), cuando la posición de la ZCIT alcanza el extremo sur, los patrones observados en verano cambian sobre la costa y sierra norte, que se extienden hasta la sierra central por la vertiente occidental, presentando relaciones inversas.

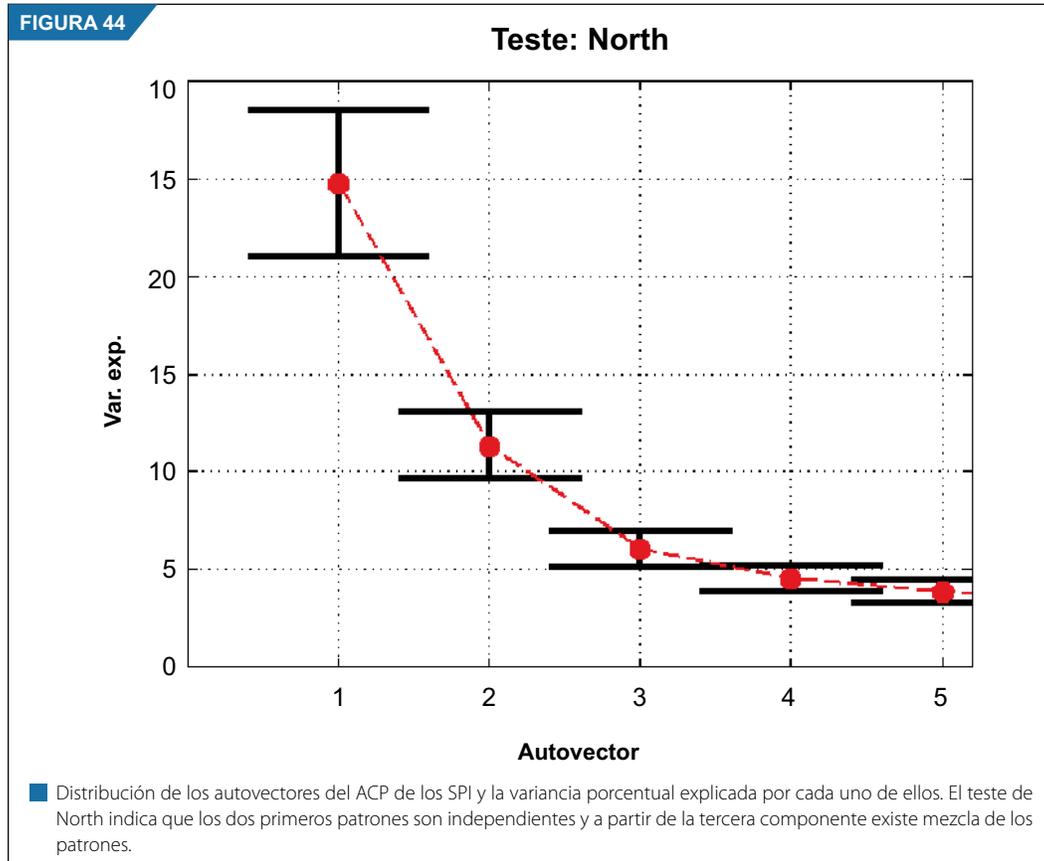
Estos patrones son los esperados, porque cuanto más al sur se encuentre la ZCIT, durante estas dos estaciones astronómicas, hay menos probabilidades de registrarse deficiencias de lluvias, salvo en la selva norte y selva sur en las dos estaciones y en la costa y sierra norte occidental durante el otoño por presentar relaciones inversas. Una explicación plausible de esto es que, cuanto más al sur se localiza la ZCIT, principalmente durante la estación de verano, la precipitación será abundante en todo el Perú, con excepción de la selva y sierra norte, debido al flujo de vapor de agua facilitado por la circulación regional. Las áreas de la selva norte y, posiblemente la sierra norte, donde hay déficit de precipitación, se deben a la subsidencia producida por la posición de la ZCIT y, en el lado occidental de la sierra central, probablemente a condiciones de subsidencia.

b) Análisis de las componentes principales de los SPI

En el ACP de los SPI, mediante el test de "North", se determinó que solamente dos patrones son independientes, conforme se muestra en la Figura 44. También estos dos patrones explican el 36% de la variancia total de las sequías que ocurren en el Perú, según el método utilizado para su cálculo.

El patrón espacial de la primera componente de los Índices de Precipitación Estandarizada (Figura 45 a), que explica el 24,7% de la variancia total, muestra valores positivos sobre prácticamente todo el territorio peruano, con excepción de dos localidades de Loreto y una en Tacna, con autovalores negativos muy pequeños, superiores que $-0,05$. Los mayores autovalores positivos están localizados en toda la sierra, concentrando la mayor densidad de los autovalores en la sierra sur (Arequipa y Puno) y parte de la sierra central.

La amplitud de la serie temporal de esta primera componente (Figura 45 b) muestra valores negativos muy intensos durante los veranos de 1989/90 y 1991/92. Además de estos años, también se registran valores altos en los años 1966, 1976, 1980, 1983, 1987. Igualmente, valores positivos altos son registrados



en los años 1974, 1984, 1990, 1997, 1999 y 2002. El producto de la amplitud de estas series con autovaleores negativos indica la ocurrencia de sequías de intensidad proporcional al producto de ambos. Así, las sequías más intensas que se registran con este patrón, en 42 años, ocurrieron sobre todo el Perú, principalmente con mayor intensidad en la sierra central y sur, en los veranos de 1989/90 y 1991/92, seguida de los otros años que registran series negativas. Al mismo tiempo, este patrón también indica la ocurrencia de altas precipitaciones, principalmente en los años 1974 y 1990.

El análisis de la Transformada de Onditas (wavelet) (Figura 45 c), sugiere que la serie temporal de este primer patrón es conformado por oscilaciones anuales muy intensas, contrastantes y estadísticamente significativas, desde el inicio del período de estudios hasta inicios de los años 1990. Estas oscilaciones del ciclo anual están relacionadas con los valores extremos de la amplitud, sea negativa (años muy secos), como los años 1966 y 1983, o positivos (años muy húmedos) como los años 1974, 1984 y 1990. La oscilación bienal (2-3 años) muy intensa, estadísticamente significativa, observada entre 1989 y 1994, fue la causante de las deficiencias extremas de precipitación sobre el territorio peruano en los veranos de 1989/90 y 1991/92.

La oscilaciones anuales intensas y significativas observadas entre 1974 y 1994, parecen estar asociadas a una oscilación casi decadal, con valores estadísticamente significativos entre 1975 y 1995. Esta oscilación parece estar relacionada con la Oscilación Decadal del Pacífico (Mantua et al., 1997), que durante estos años se encontraba en su fase cálida. El espectro global de las onditas muestra que las oscilaciones anuales son significativas igual que la oscilación casi decadal que muestra un pico entre 12/13 años. También se observa un pico intenso de 2-3 años, significativo, producto de la oscilación ocurrida entre 1989 y 1994, además de oscilaciones débiles observadas a fines de las décadas de 1960 y 1990.

La distribución espacial y temporal de la primera componente, así como el análisis de onditas de la serie temporal, indican que las sequías más intensas observadas durante todo el período del presente estudio, están relacionadas con una oscilación bienal muy intensa, que hace parte del espectro de oscilaciones ENOS, denominada por Barnett, (1991) de oscilaciones del ENOS de alta frecuencia (2-3 años) y, moduladas por oscilaciones casi decadales con períodos de 12-13 años, que aparentemente es reflejo de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

El segundo patrón espacial del ACP explica el 11,3% de la variancia total (Figura 46 a) y muestra valores negativos sobre gran parte de la sierra central oriental y sur, principalmente sobre todo Puno y las zonas más altas de Arequipa, donde se observan los mayores valores, y se extienden hacia la selva. En el resto de las regiones se registran valores positivos, con valores muy intensos sobre la sierra norte y el lado occidental de la sierra central y sur.

La serie temporal de esta componente muestra alta variabilidad interanual, con valores positivos muy intensos en los años 1967, 1983 y 1997/1998 que, conjugados con los valores del patrón espacial, significa que en estos años se registraron sequías muy intensas siguiendo este patrón, principalmente durante los años 1983 y 1997/98, en la sierra sur y central de Perú y altas precipitaciones sobre la costa y sierra norte. También valores negativos intensos se observaron durante los años 1968, 1978, 1979, 1985 y 1988, que indican que los patrones observados durante los períodos con valores positivos se invierten y se registran anomalías positivas de precipitación en la sierra sur y central y sequías sobre el resto del Perú. De todos estos años, 1983 y 1987 están asociados a los eventos cálidos del ENOS y el año 1985 está asociado a un evento frío.

El análisis de onditas de las serie temporales de este segundo patrón (Figura 46 c), muestra una oscilación interanual con un período de 3-7, años prácticamente durante todo el período de estudio y es estadísticamente significativo durante toda la década de 1980. Esta oscilación se ve reflejada en el espectro global de las onditas con un pico de 4-6 años muy intenso pero no es estadísticamente significativo. Además, se observa oscilaciones bienales al final de las décadas de 1960 y 1990, que están asociadas a anomalías intensas negativa y positiva en las series temporales, respectivamente.

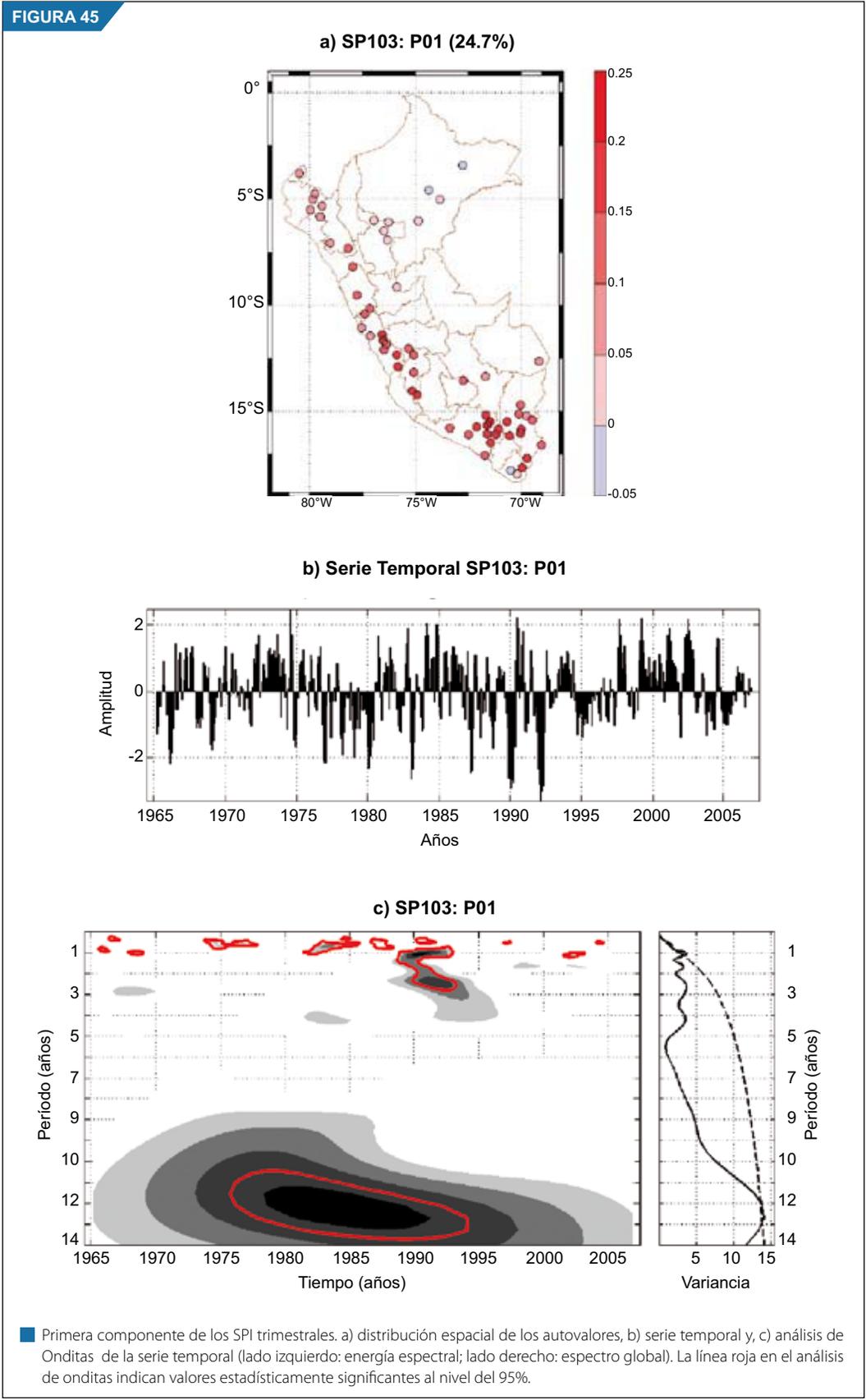
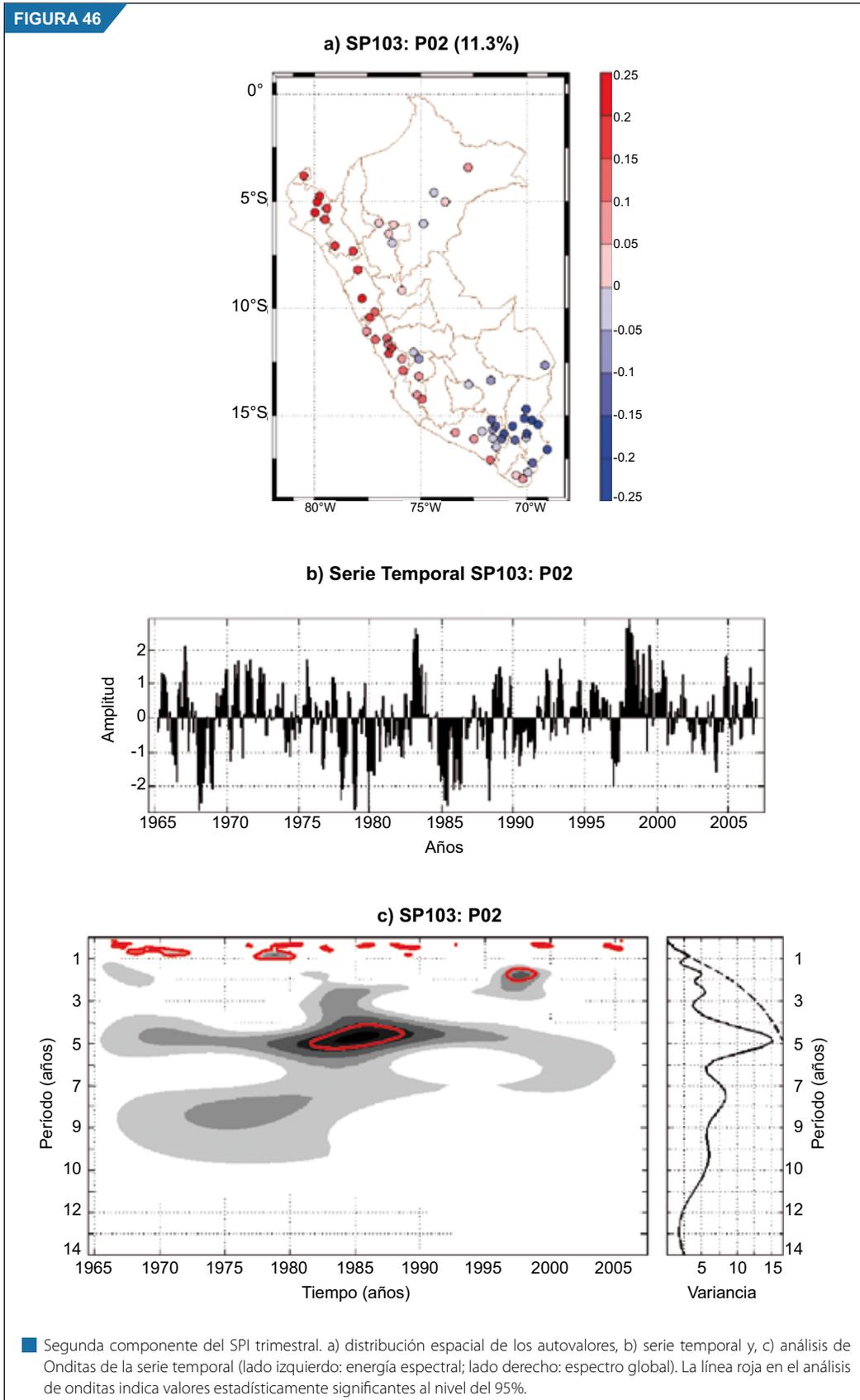


FIGURA 46



En resumen, el segundo patrón del SPI trimestral representa el patrón de variabilidad de los eventos ENOS de baja frecuencia (Barnett, 1991), que modula la precipitación en el Perú, con períodos de oscilación entre 3-7 años. Este patrón es persistente en todo el período del presente estudio, ocasionando sequías muy intensas sobre la sierra sur, que se expande a lo largo de la sierra central y algunos lugares de la selva norte. La distribución espacial típica de este patrón se registró entre 1982 y 1985, cuando se presentaron anomalías positivas entre 1982/83 y posteriormente anomalías negativas en 1984/85, y el análisis de TO indica que estos eventos de sequía seguida de inundaciones, está relacionado con la oscilación de 3-7 años, estadísticamente significativa, ocurrida entre 1982 al 1989.

3.3.6.3 Distribución estacional de las sequías ocurridas durante los eventos cálidos del ENOS

Se describe el comportamiento trimestral promedio del período lluvioso (setiembre- marzo) de los SPI durante la ocurrencia de los eventos cálidos más intensos del ENOS ocurridos durante el período del presente estudio. Estos son: 1982/83, 1991/92 y 1997/98.

La reconstrucción estacional de los SPI utilizando las dos primeras componentes principales para 1982/83, causada por el ENOS en las escalas trimestral y anual, muestra que en la estación de primavera (Figura 47 a) se registran altas precipitaciones sobre casi todo el Perú, con intensidades máximas sobre las zonas altas de Arequipa y Puno en la escala trimestral, similares a las correlaciones entre los SPI y las anomalías de El Niño 3,4, pero con condiciones normales en la escala anual. En el departamento de San Martín se observan sequías severas durante esta estación, que altera el aparente patrón sobre el territorio nacional, posiblemente debido a factores muy locales. Alguna señal de un evento de sequía aparece durante el verano de 1982/83 (Figura 47 b) abarcando todas las regiones del centro y sur del Perú, con sequías moderadas y severas, centradas en el departamento de Puno (Arequipa) en la escala trimestral (anual). En las demás regiones hay predominancia de excesos de precipitación centrados en las regiones de la costa y sierra norte.

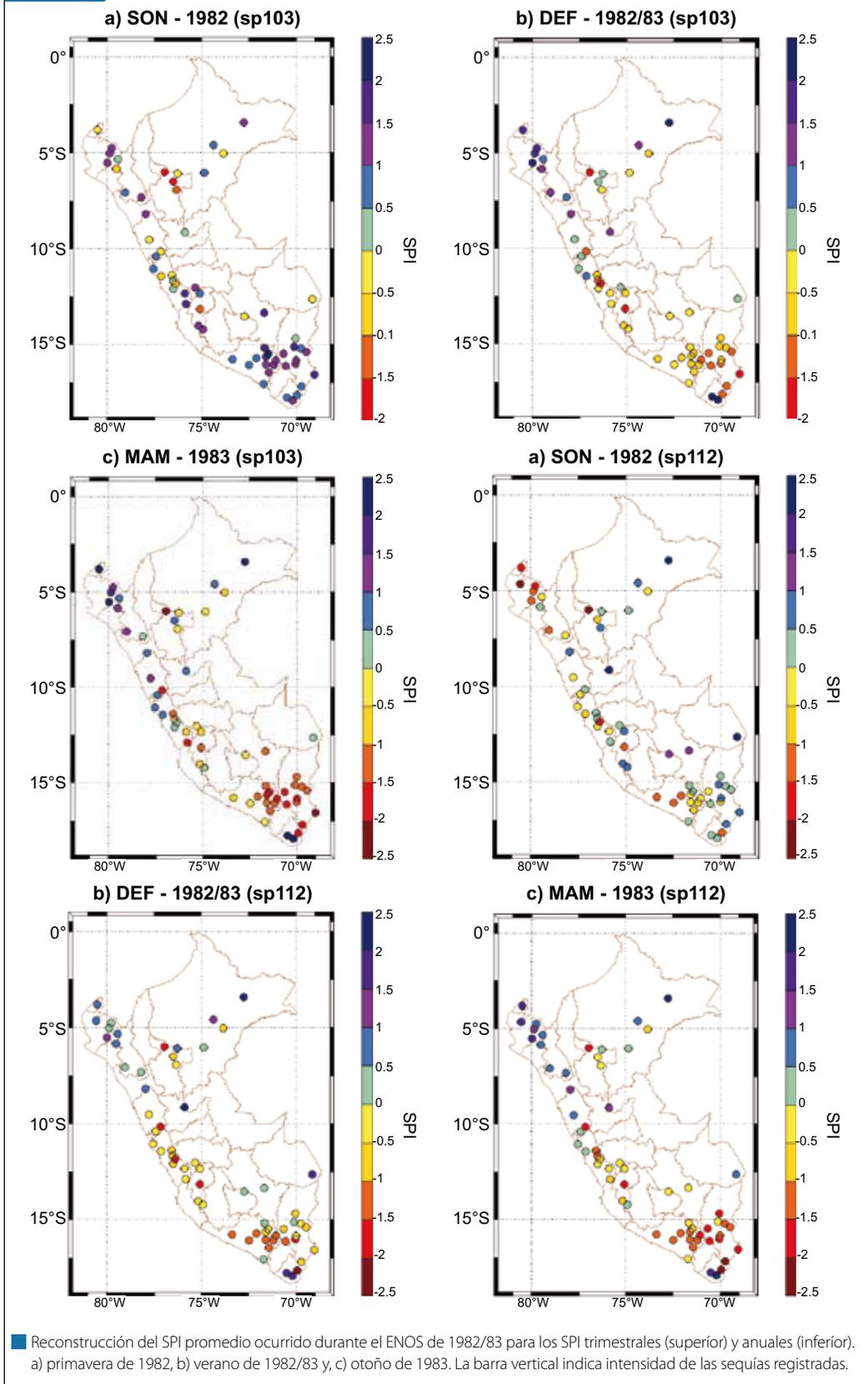
En los meses de otoño (MAM) (Figura 47 c) las sequías se intensifican en el sur del Perú, tornándose sequías extremas sobre los departamentos Tacna y Puno en las dos escalas, durante esta estación del año, y se expanden hacia la sierra central y selva norte. Por otro lado, en ambas escalas se observan altas precipitaciones en la sierra norte, que se expanden por la vertiente oriental hacia la sierra central.

Durante el evento ENOS de 1991/92, la distribución de los SPI (Figura 48 a-c) presenta en la escala trimestral un patrón muy diferente del observado en el evento de 1982/83. En la primavera de 1991, la distribución de los SPI trimestrales muestran sequías severas y extremas en zonas aisladas sobre la sierra y selva, pero el SPI anual registra predominancia de valores positivos sobre el sur del Perú y sequías extremas sobre la selva norte (Loreto). En el verano de 1991/92 se inicia la sequía y afecta todo el Perú, con valores máximos centrados en la región sur (Puno) y sierra central en la escala trimestral. En la escala anual, el patrón sigue la misma tendencia del trimestral, aunque con valores inferiores (Figura 48 b).

En la estación de otoño, las sequías se intensifican sobre la mayor parte del Perú en las dos escalas, centradas en los mismos lugares en que fueron observados en el verano, sierra sur y central.

Durante el evento cálido del ENOS de 1997/98 (Figura 49 a-c), los patrones espaciales de los SPI trimestrales en las escalas trimestrales y anuales son muy diferentes a los observados en los eventos de 1982/83 y 1991/92. Durante este evento no se registraron sequías en las regiones observadas en los dos eventos anteriores, en los cuales se registraron sequías extremas en la región sur del Perú y condiciones contrarias en la región norte. En la primavera de 1997 se registran, en puntos muy aislados de la selva, sequías ligeras y en la mayor parte del Perú se observan valores positivos del SPI, que significan anomalías de precipitación positivas. En la escala anual se pueden distinguir sequías moderadas y severas sobre la sierra y selva central y norte, mientras que en toda la región sur se observan valores positivos del SPI, casi exactamente opuesto a los patrones observados en los eventos anteriores (1982/83, 1991/1992)

FIGURA 47



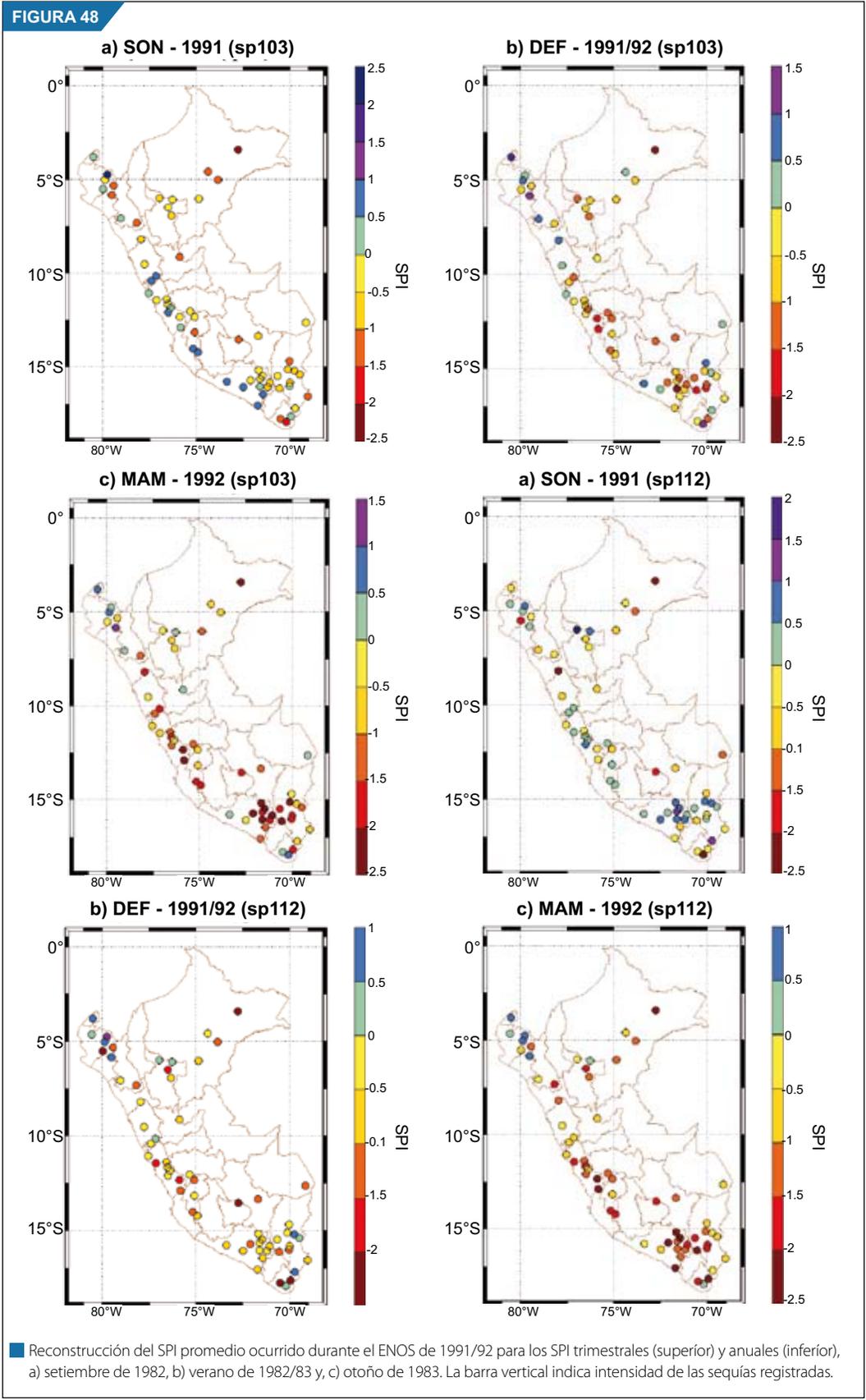
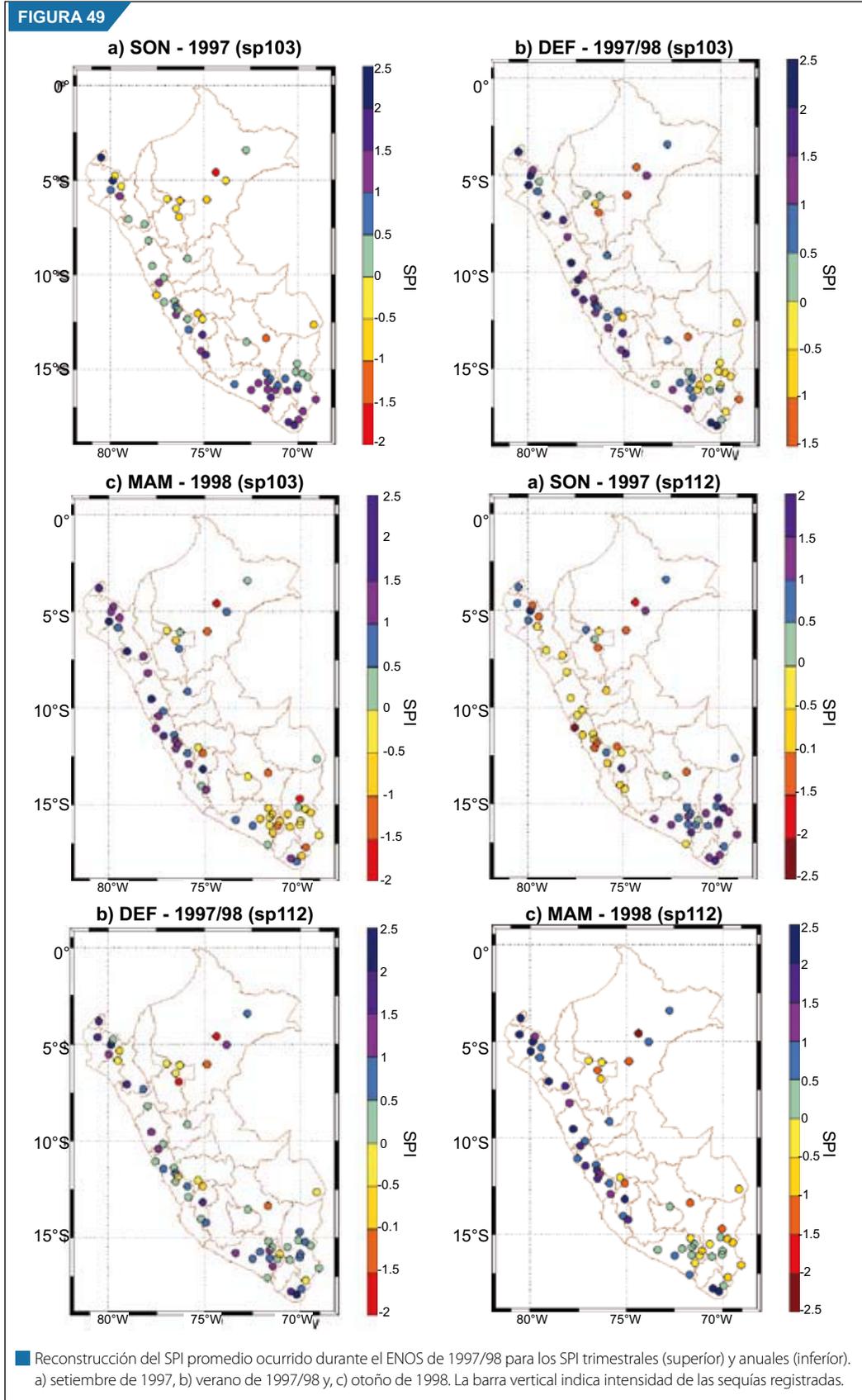


FIGURA 49



En los meses del verano de 1997/98, los patrones del SPI en la escala trimestral, en la región sur, cambian y se registran sequías moderadas sobre localidades aisladas de Puno, así como en algunas zonas de la selva norte; mientras en el resto de país los valores positivos se intensifican, siendo mayores en la sierra norte y central. En la escala anual, los valores del SPI sobre la región sur disminuyen ligeramente, con respecto a la estación anterior, pero no llegan a convertirse en precipitaciones. Las sequías observadas sobre la sierra central cambian para valores positivos y las sequías registradas en la selva norte, continúan presentándose.

Luego en los meses de otoño aparecen signos de la ocurrencia de una sequía de moderada a severa sobre la región sur en localidades aisladas en ambas escalas. Asimismo, en la selva norte persiste la sequía moderada, mientras en el resto de país se observan pequeñas variaciones en la intensidad de los valores positivos, principalmente en la sierra central y norte.

CAPÍTULO 4

ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LA DÉCADA DEL 2020 Y 2030



ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LA DÉCADA DEL 2020 Y 2030

El clima de una región es el resultado de una serie de factores en diferentes escalas espaciales, desde los forzamientos locales, como la topografía, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, etc., hasta los forzamientos de gran escala, como la circulación de mesoescala o las teleconexiones, que pueden condicionar características propias de la región, por lo que deben ser considerados en los análisis de señales de cambio climático. Sin embargo, este proceso puede volverse extremadamente complicado y caracterizado por un alto grado de incertidumbre, Giorgi, 2008.

Los escenarios climáticos que a continuación se presentarán, han sido construidos a través de la metodología del downscaling dinámico para las variables precipitación y temperaturas extremas. Este proceso añade información regional de pequeña escala a la señal climática del modelo global, y así se mejora la simulación de los detalles espaciales climáticos. Asimismo, de los escenarios obtenidos se han evaluado las proyecciones de los extremos climáticos como el percentil 95 de las precipitaciones y el percentil 90 de las temperaturas extremas, los que son de importancia en la evaluación del potencial impacto del cambio climático, tanto en la parte de la humanidad como en los sistemas naturales.

4.1 INTERCOMPARACIÓN DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Los modelos climáticos globales o Modelos de Circulación General (MCG), son algoritmos matemáticos que representan los principales procesos físico y dinámico del sistema climático, mediante la solución de ecuaciones referentes a las leyes y principios de conservación de masa, energía y momento, que gobiernan dichos procesos en cada componente del sistema y de las interacciones de masa y energía entre sí (Castro, 2007; SENAMHI, 2005; IPCC, 2001). Estos patrones son herramientas de primera importancia en la simulación del clima actual y pasado, así como en la generación de escenarios futuros del clima, por lo que es necesario el uso de computadoras de gran capacidad de procesamiento.

Al considerar la importancia de realizar estudios de impacto y vulnerabilidad potenciales frente al cambio climático, se hace necesario proyectar los posibles escenarios y tendencias del clima futuro, para lo cual los MCG adquieren gran importancia, pues son capaces de simular bajo diferentes escenarios de emisión (3), escenarios plausibles de cómo el clima puede cambiar en el futuro. En el presente trabajo se han analizado seis MCG (ver tabla 1), que se relacionan con dos trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, definidas en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) del IPCC (2007 a); estos son los escenarios de emisión A2 (4) y B2 (5). El cambio en emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) proveniente de fuentes energéticas y/o industriales, y para el año 2030, muestran un aumento consistente del 25 – 90% con respecto al año 2000, mientras para el año 2100 desde un 90% hasta 250%, (IPCC,2007).

-
- (3) Trayectorias de emisiones de gases con efecto invernadero, definidas en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) del IPCC, en función de escenarios socioeconómicos que describen el pensamiento estructurado de la población.
 - (4) **A2:** Describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. El índice de natalidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico, están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.
 - (5) **B2.** Describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Los MCG utilizados por el IPCC y analizados en el presente trabajo, son listados en la siguiente tabla (ver más información en SENAMHI, 2005):

Tabla 3
Modelos de Circulación General de la Atmósfera utilizados en las simulaciones del IPCC, juntamente con las instituciones en que fueron procesados

Centro	País	Acrónimos	Modelo
Max Planck Institute für Meteorology	Alemania	MPIfM	ECHAM5/OPYC3
Hadley Centre for Climate Prediction and Research	Inglaterra	HCCPR	HADCM3
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Australia	CSIRO	CSIRO-Mk2
National Centre for Atmospheric Research	EEUU	NCAR	NCAR-PCM
Canadian Center for Climate Modeling and Analysis	Canadá	CCCma	CGCM2
Center for Climate System Research (CCSR) - National Institute for Environmental Studies (NIES)	Japón/EEUU	CCSR/ NIES	CCSR/NIES AGCM + CCSR OGCM
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	EEUU	GFDL	R30

En el presente Capítulo se hace una comparación de la climatología de los modelos citados en la Tabla 3, con la data observada o clima actual proveniente del Climate Research Unit (CRU, por sus siglas en inglés), para el período 1961 – 1990 (New et al., 1999), con la finalidad de detectar posibles errores sistemáticos o BIAS (sesgos), a tomar en cuenta en la regionalización dinámica.

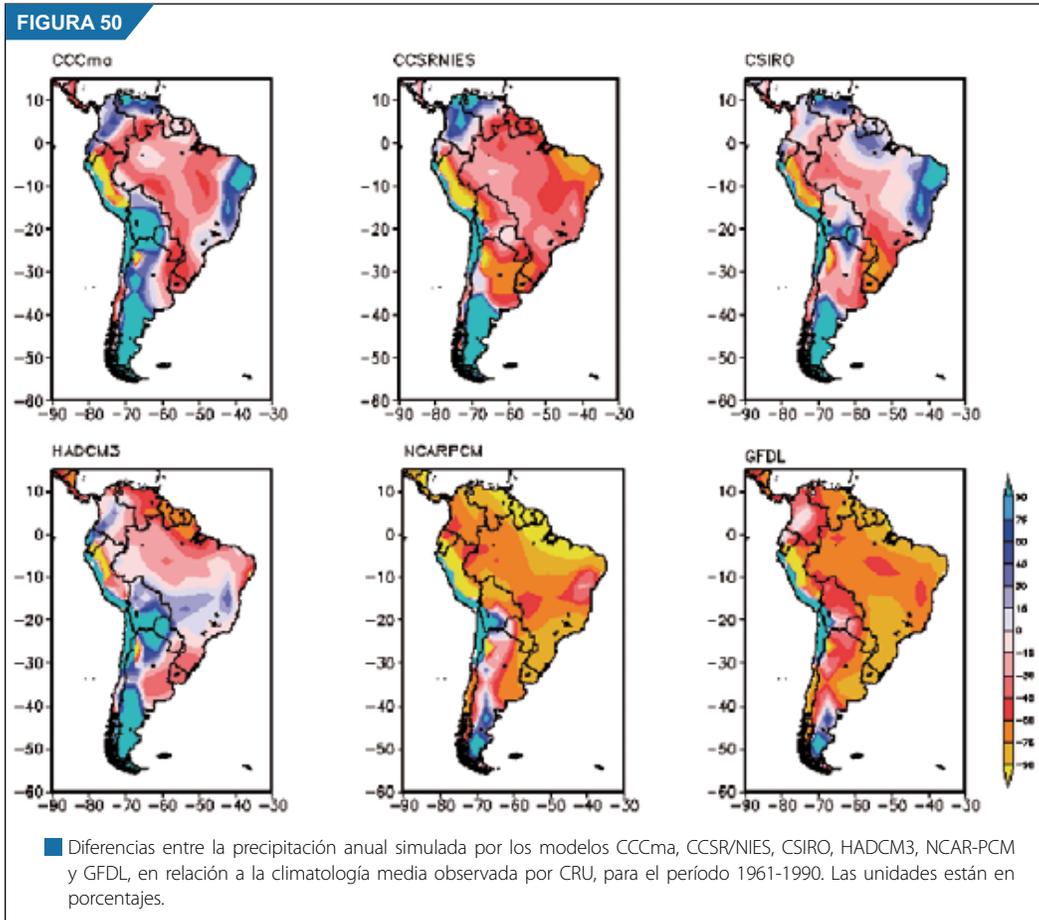
La diferencia entre la precipitación media anual de los modelos y la climatología observada (CRU) en términos porcentuales, se puede observar en la Figura 50. Todos los modelos presentan un bias seco en la región andina y amazonía del Perú, siendo particularmente más seco en la región de los Andes (90%).

A nivel de la región sudamericana, de los seis modelos analizados, el NCAR-PCM y el GFDL muestran bias más negativos (secos) en gran parte de la región, no obstante presentan un bias húmedo o más lluviosos en la costa occidental (70%). En tanto, el HadCM3, presenta un bias seco de menor rango en la Amazonía peruana y sierra sur (15-30%). Similares resultados fueron encontrados por Marengo et al. (2007), cuando evaluó los modelos globales sobre Sudamérica entre el período de 1961 a 1990, mostrando que los patrones CCSR/NIES, HadCM3 y CSIRO registraron mejor skill en la representación de las lluvias sobre el Perú, al presentar las menores diferencias de precipitación entre -1 a 1 mm día-1.

En referencia a la temperatura máxima (Figura 51), el modelo CCCma presenta un bias bastante frío en gran parte de la región sudamericana, especialmente en los trópicos (4°C); el CCSR/NIES presenta un bias bastante cálido sobre los Andes peruanos (5 °C), seguido del CSIRO, este último con un bias más cálido en la frontera sureste de Brasil. El NCAR-PCM presenta un bias frío restringido a un sector de la amazonía peruana (3 °C) y un bias cálido en un sector de la sierra central sur.

En lo que se refiere a la temperatura mínima (Figura 52), el HADCM3 y el CCSR/NIES presentan bias más cálidos en la región tropical (5 °C), mientras que el CCCma y el CSIRO muestran bias fríos al este de los Andes tropicales (5 °C) y bias cálidos sobre los Andes y oeste adyacente (4 °C). El modelo NCAR-PCM, en términos generales, presenta un bias cálido que se acentúa sobre los Andes y muestra además un bias frío en la amazonía peruano-boliviana (4 °C).

Lo más resaltante del modelo CSIRO, es su predominante bias cálido de la temperatura máxima en los subtrópicos y al mismo tiempo, un bias particularmente frío de la temperatura mínima sobre esta misma región.



Todos los modelos (con excepción del CSIRO), presentan bias más cálidos de la temperatura mínima, en mayores áreas respecto a la temperatura máxima, siendo la región de los Andes en donde bias positivos de la temperatura mínima predominan, incluso en el modelo CSIRO. Sobre la amazonía peruana, solo el CCCma y el CSIRO presentan bias fríos de la temperatura mínima (4 °C), seguido, aunque en menor grado, del NCAR-PCM.

4.1.1 Proyecciones de la temperatura sobre Perú al año 2050, en base a los modelos globales

Según se muestra en la Figura 53, las proyecciones de aumento de las temperaturas máximas y mínima del aire en cinco modelos globales del IPCC hasta el 2050, para los puntos de grilla sobre Perú en los escenarios de emisión A2 y B2. La línea negra gruesa, representa la media o promedio de la temperatura del conjunto de todos los modelos.

Las proyecciones de los cinco modelos globales, analizados en este estudio, indican en promedio anomalías positivas, es decir, calentamiento. Según estos modelos, se espera un aumento promedio de la temperatura máxima de hasta 1 °C hacia el año 2030, y hasta 2 °C al término del año 2050, en ambos escenarios. El modelo HADCM3 es el que proyecta un calentamiento extremo de hasta 6 °C en el escenario extremo A2 y hasta de 5 °C en el escenario B2, presentando una mayor dispersión a partir del 2030. El modelo NCAR-PCM, muestra un enfriamiento o al menos valores menores al promedio en el escenario A2 a partir del 2010, de hasta -1 °C. El modelo CCCma se presenta más estable, casi acompañando a la proyección promedio, mientras que los modelos CSIRO y CCSRNIES, presentan alta variabilidad, es decir, son más fluctuantes y proyectan anomalías positivas como negativas (calentamiento y enfriamientos), en comparación a los demás modelos; no obstante, este último modelo es el único que reproduce los

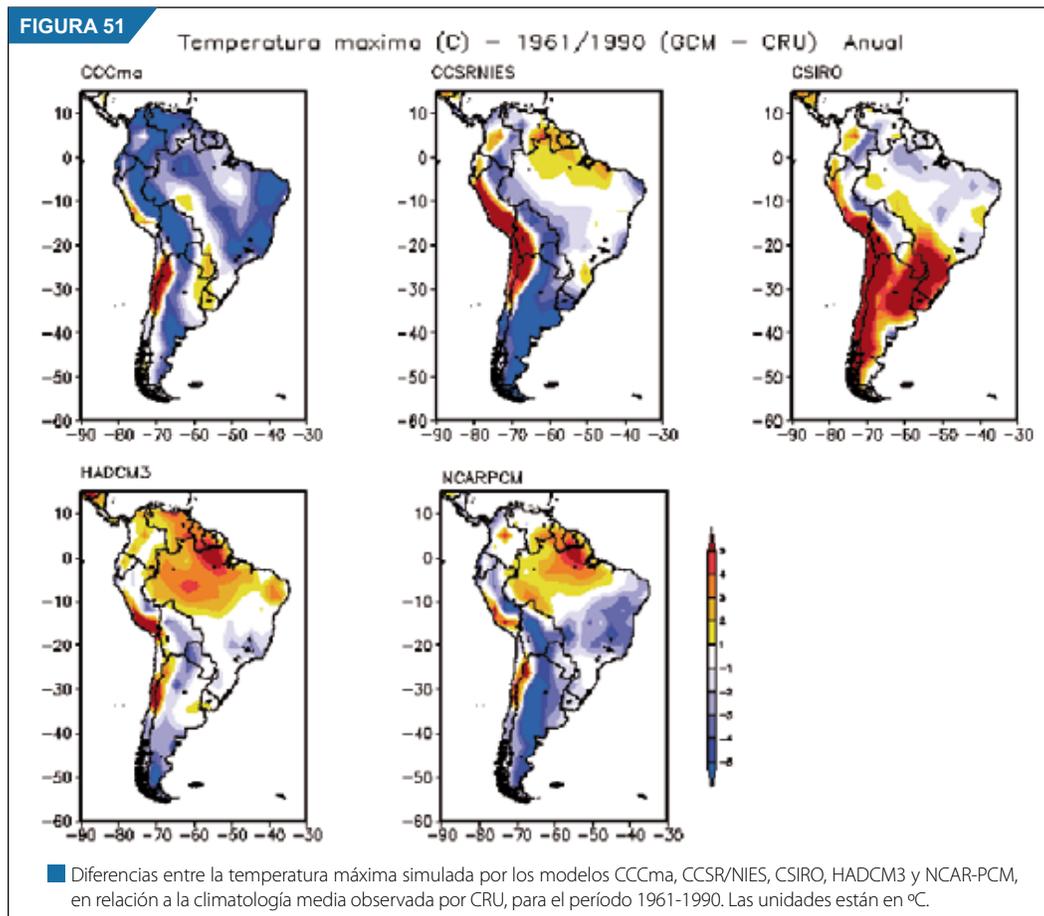
eventos El Niño 1972/73, 1982/83 y 1997/98, pero sólo para el caso de la temperatura máxima y en el escenario A2.

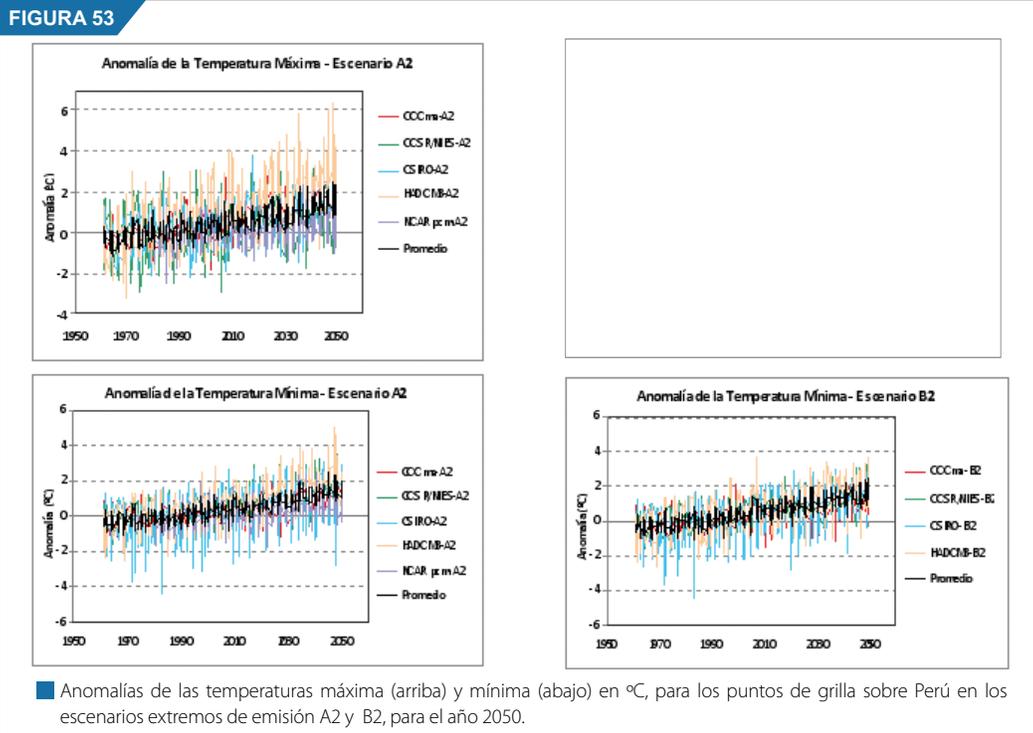
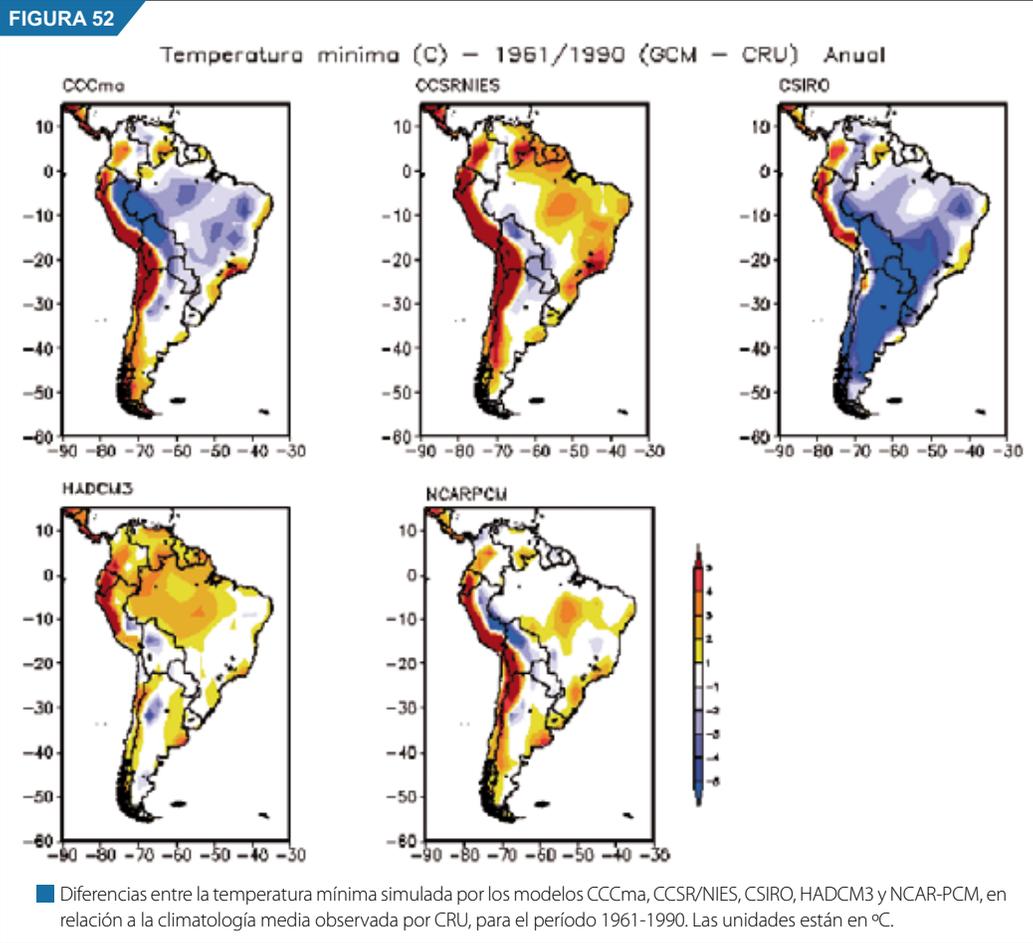
En cuanto a la temperatura mínima, el incremento promedio es similar a la temperatura máxima. La alta variabilidad mostrada por el modelo HADCM3, disminuye. El modelo CSIRO el que presenta mayores fluctuaciones, con un sesgo al enfriamiento en ambos escenarios. Ninguno de los modelos simula las altas temperaturas detectadas durante años de El Niño, excepto el modelo HADCM3, que con cierta habilidad simula El Niño 1982/83, pero solo en el escenario B2.

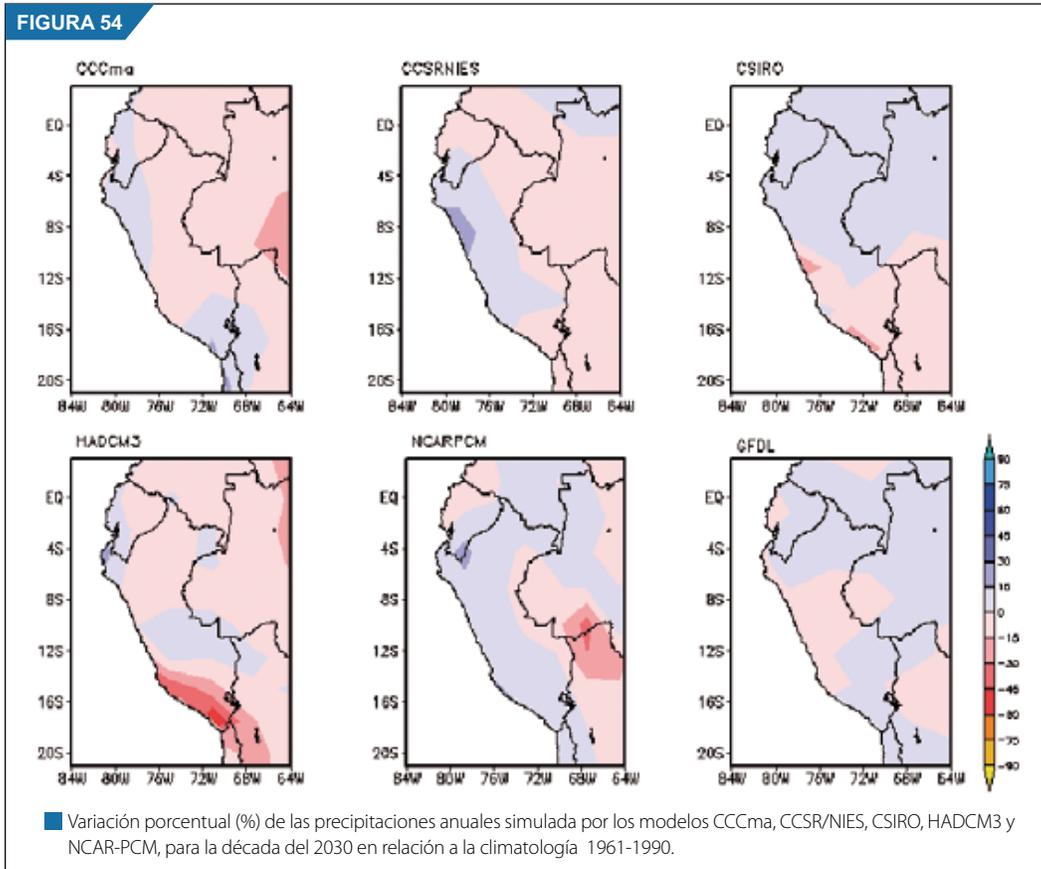
4.1.2 Proyecciones de la precipitación sobre Perú en base a los modelos globales al 2030

Una variación porcentual de las precipitaciones en el Perú para el período entre 2025 -2035 simulados por los modelos globales, se muestra en la Figura 54. Todos los modelos muestran distribución diferente en el país. Sólo en la parte de la costa norte todos los modelos están de acuerdo con incrementos hasta del 15% sobre esta zona, situación asociada al incremento de la temperatura superficial de agua de mar (TSM). Similares resultados encontró Marengo, 2007 con mayor intensidad sobre el período 2041 al 2100.

Los modelos de la sierra y selva discrepan, mostrando muchas diferencias entre sí. Solo 2 modelos de los 6 muestran incrementos hasta 15%, predominando las deficiencias que llegan hasta un 45% sobre la vertiente occidental de la sierra sur (modelo HADCM3). En la selva se muestran 3 modelos de los 6 que presentan incrementos hasta del 15%.







Si bien es cierto los MCG nos permiten hacer proyecciones de cómo se presentaría el clima en el futuro, también es cierto que debido a sus bajas resoluciones (normalmente entre 300 y 500 Km), no nos permiten conocer los cambios del clima en áreas como la costa, regiones de alta montaña, cuencas; siendo la regionalización dinámica o downscaling dinámico una alternativa para simular en una grilla de menor escala, el efecto de la línea costera, cuerpos de agua y cobertura superficial en el clima local.

4.2 EL DOWNSCALING DINÁMICO

El downscaling dinámico es la técnica por la cual un patrón regional, toma valores desde un modelo madre de rejilla gruesa (condiciones de frontera e iniciales provenientes de un MCG), y resuelve las ecuaciones de la atmósfera y el océano, relacionadas con los MCG, pero sobre una rejilla fina, es decir, de mejor resolución que la rejilla madre. Además, el modelo regional utiliza otras variables de superficie como la topografía, tipo de suelo, etc.

En el presente estudio, el downscaling dinámico se realizó con el modelo regional RAMS, el cual fue forzado por el modelo global del NCAR por ser el que mejor performance presentó en la simulación de lluvias intensas en la costa norte del Perú, asociadas a la fase cálida del ENOS, evento climático que modula la variabilidad interanual del clima en nuestro país.

4.2.1 Datos preliminares

El modelo regional RAMS fue inicializado con el modelo global NCAR-PCM T42 del National Center Atmospheric Research – NCAR de Estados Unidos (SENAMHI, 2005).

Los datos utilizados en este estudio son archivos en formato binario correspondientes al Escenario de Emisión A2 (Nakicenovic y Swart, 2000), con una frecuencia de 6 horas procesadas anteriormente, en el desarrollo del proyecto PROCLIM con el modelo RAMS, para el Dominio Perú a una resolución horizontal de 60 Km (SENAMHI, 2005), divididos en dos períodos: histórico de 1983 al 2003, y proyección de 2004 al 2035.

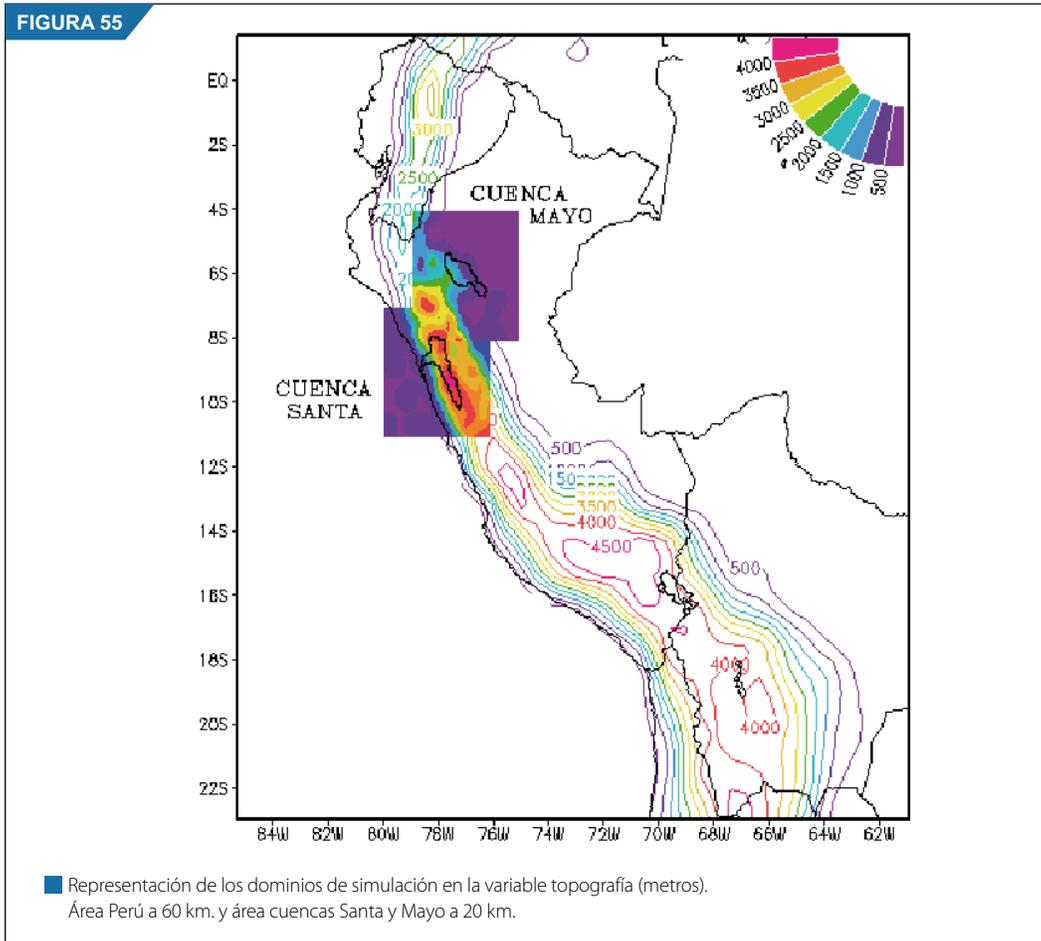
4.2.2 Simulación regional

En este estudio se establecieron 3 dominios para la simulación:

- a) Dominio Perú: diseñado en el estudio de PROCLIM (Senamhi,2005), con resolución de 60 km, Figura 55.
- b) Dominio de las cuencas *: Realizado para dos cuencas: Mayo y el Santa, Figura NN, con resolución de 20 km, cuyos datos de entrada fueron los escenarios de Perú a 60 Km.

Las características de la simulación fue la siguiente:

- La simulación regional fue de anidación unidireccional, a través del cual la información del modelo regional RAMS no regresa al modelo global y de este modo se añade información regional de pequeña escala a la señal climática de gran escala.
- El período de simulación comprendió desde 1983 al 2035 y el paso de tiempo utilizado por el modelo RAMS para la integración de las ecuaciones de la atmósfera, fue de 50 segundos.
- Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) fueron inicializados cada 10 días de los valores climáticos estándar de RAMS, los que provienen de una base de datos mensuales a nivel global.
- La humedad de suelo fue inicializada usando un esquema similar, es decir, utilizando la condicional inicial de la atmósfera del modelo a gran escala, (temperatura y humedad), para inicializar los perfiles de humedad del suelo.
- Los dominios anidados de 20x20 (sobre las cuencas Santa y Mayo), cada 10 días fueron reinicializados en las grillas internas, tomando como frontera atmosférica y de suelo el dominio de Perú de 60 Km (SENAMHI, 2005). Esta reinicialización afectaría los primeros 1-2 días para cada 10 días de simulación; por lo cual estos datos fueron removidos de los resultados.
- En esta simulación, la temperatura superficial del mar (TSM) del modelo regional estuvo fija, con valores apropiados para la última mitad del siglo XX (SENAMHI, 2005).



4.3. VARIABLES ANALIZADAS

Se obtuvieron dos variables: temperatura extremas (máxima, mínima) y precipitación acumulada, para el dominio de Perú y para las cuencas Santa y Mayo*. Estas variables luego de ser promediadas a nivel diario y posteriormente a nivel mensual, fueron interpoladas a punto de estación, por el método de interpolación de la inversa de la distancia, posteriormente se eliminaron los bias del modelo (incorporación de variabilidad climática estacional) con las siguientes relaciones:

$$\text{MAP} = \text{CLIMOBS} + (\text{VARSCENR} - \text{VARCLIM}) \quad \text{Para temperatura y precipitación (Hulme et al, 2000).}$$

$$\text{MAP} = \text{CLIMOBS} * (\text{VARSCENR} / \text{VARCLIM}) \quad \text{Para precipitación en la costa (Lenderkin, 2007)}$$

Donde:

MAP = Valor del modelo con inclusión de la variabilidad climática.

CLIMOBS = Climatología mensual observada durante el período 1970 - 2000.

VARSCENR = Valor mensual del escenario proveniente del modelo.

VARCLIM = Climatología mensual del modelo durante el período 1983 - 2003.

* Los resultados de estos estudios son publicados separadamente del presente estudio.

Los mapas de escenarios climáticos son mostrados por décadas centradas (Hulme y Lu, 2000), y corresponden a los años 2015-2025 y 2025-2035 para el año 2020 y 2030, respectivamente. Asimismo, están agrupadas en distribuciones estacionales a lo largo del año, promedios y acumulados anuales, dependiendo de las variables.

Asimismo se presentan mapas de anomalías al 2030, de las temperaturas extremas y en el caso de la precipitación, esta es presentada como porcentaje con respecto a su normal climatológica. Adicionalmente se obtiene la variación del percentil 90 para la temperatura y percentil 95 para la precipitación al 2030, respecto a la climatología observada por cada una de las estaciones meteorológicas, indicando cambios respecto solo a la intensidad, (Hyndman, 1996).

Todos los mapas finalmente fueron acabados utilizando el sistema de información geográfica, y para los mapas de temperaturas extremas se utilizaron interpolaciones que relacionaban estas variables con la altitud, mientras los mapas de precipitaciones fueron trazados manualmente y digitalizados.

Las descripciones se realizan anual y trimestralmente, utilizando la división climatológica regional que se muestra en la Figura 56, que ha sido realizada por el SENAMHI, 2008, en la cual se muestra regiones que tienen similitud en las condiciones hidrometeorológicas. La Figura 56 muestra las divisiones por cada región geográfica, presentando para la región costera, tres zonas denominadas norte, central y sur, mientras que en la región de la sierra se tiene una división de 7 zonas: sierra nor-occidental, sierra norte oriental, sierra central occidental, sierra central oriental, sierra sur occidental, sierra sur oriental y el Altiplano. En la selva tenemos 4 zonas: selva norte, selva central alta, selva central baja, y selva sur.

4.4 ESCENARIOS PROYECTADOS AL 2020 Y 2030

4.4.1 Temperatura máxima

En el tema de la evolución térmica a menudo se recurre simplemente a la temperatura media y su comportamiento, para evaluar tendencias al cambio. Sin embargo, la media por sí sola no refleja otras tendencias al cambio que pueden esconderse en otros parámetros térmicos y que señalan mejor estos cambios (Miro et al. 2004).

Las proyecciones detalladas del cambio climático sobre la Cordillera Sudamericana se encuentran severamente obstaculizadas por su compleja topografía. Los modelos climáticos regionales que envuelven a los modelos acoplados océano-atmósfera y conectados a modelos hidrológicos y glaciológicos y más aún a modelos ecológicos, son necesarios para proporcionar los instrumentos adecuados a los tomadores de decisión para hacer efectiva la política climática (Rauscher et al. 2008; Karmalkar et al. 2008; Urrutia and Vuille 2008, and others), citado en: A Framework For a Proposed IAI Initiative ACCORD/CIMA Initiative Members.

El aumento de las temperaturas máximas se prevé que se produzcan en las altas montañas de Ecuador, Perú, Bolivia y norte de Chile (Bradley et al., 2006). Este cambio de temperaturas en las regiones de montaña de la zona intertropical, debido a su densidad poblacional, a la práctica de la agricultura en la zona y la deglaciación existente, merece un interés particular de su potencial cambio climático (Bradley et al., 2004). Es importante indicar también que en el Hemisferio Sur los aumentos de temperatura proyectados son de $>2,5$ °C para la zona de montaña desde ~ 10 °S (en Perú), pasando por Bolivia hasta ~ 40 °S (en Chile/Argentina).

Así, otros análisis determinan que las variaciones de valores positivos de la temperatura hacia finales del siglo en el Pacífico y Atlántico Sur, será de $1,0$ °C y de $2,5$ °C sobre los Andes y centro de Sudamérica (Informe presentado por: Alves, L et al., 2008).

En relación del impacto térmico sobre la Amazonía, el estudio realizado por Ambrizzi et al. (2007), en el que utilizando tres modelos regionales integrados numéricamente para América del Sur, a partir de

FIGURA 55



■ División climatológica regional (SENAMHI, 2008).

datos iniciales del modelo climático global del Hadley Center, concluye que para el período 2071-2100, ocurrirá el mayor calentamiento en la Amazonía con aumento de temperaturas entre 4-8 °C para el escenario A2 (escenario pesimista) y entre 3-5 °C para el escenario B2 (escenario optimista).

Por lo anteriormente descrito se observa que se están realizando muchos trabajos en la detección del comportamiento de la variable temperatura sobre la región de Sudamérica, si bien esto resulta impor-

tante, a nivel de país, necesitamos conocer realmente en qué rango los valores anteriormente mencionados finalmente se reflejan, por lo que en el presente estudio se elaboran los escenarios climáticos futuros para los períodos 2020 y 2030 a nivel de Perú (0° S - 18° S, 82° W - 68° W), teniendo como base el clima medio 1983-2003 y se analiza también el extremo climático: percentil 90 de la temperatura para el año 2030, siendo los resultados los siguientes:

4.4.1.1 Proyección Anual

Según estudios, en las Tablas 2, 3 y 4 se muestran las proyecciones anuales y cambios de la temperatura máxima para el 2020 y 2030 por regiones y a nivel nacional (ver Mapas 01 – 10 del apéndice 3), los valores de las variaciones están expresadas en términos de °C, lo cual solo se ha realizado para la década del 2030, pues los resultados para la década del 2020 son similares, Ver mapas 01, 06, 11 del apéndice 3.

a) Costa

Los cambios proyectados de mayor significancia al 2030 de la temperatura máxima en esta región costera, son principalmente sobre la costa norte, que van desde 0,4 a 1,2 °C. En tanto en la costa sur, los cambios no son significativos (ver Tabla 4).

Tabla 4:
Temperatura máxima anual proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente, en la costa

Regiones		Promedio anual al 2020 °C	Promedio anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C	Localidades principales
Costa Norte	Extremo Norte	28,0 - 34,0	28,0 - 34,0	0,8 - 1,2	El Salto, Rica Playa, La Esperanza, Chusís, Reque
	Norte	22,0 - 32,0	24,0 - 32,0	0,4 - 1,2	Trujillo, Laredo, Buena Vista
Costa Central		20,0 - 28,0	22,0 - 28,0	0,0 - 0,4	Paramonga, Huayán, Lima, Callao, Cañete
Costa Sur		18,0 - 28,0	20,0 - 28,0	0,0 - 0,4	Ica, Ocucaje, Copará, Caravelí, Punta Atico, Pampa Blanca, Punta Coles, Sama Grande, Calana

b) Sierra

Las temperaturas máximas entre el 2020 y 2030 no sufren variaciones significativas, por lo que el análisis de cambios proyectados al 2030 oscilan entre 0,4 a 1,6°C, siendo la Sierra Norte oriental la que tiene el mayor valor de cambio de hasta 1,6°C (ver Tabla 5). En relación al Altiplano el calentamiento sería del orden de 0,4 a 0,8 °C al 2030.

Tabla 5: Temperatura máxima anual proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la sierra

Regiones		Promedio anual al 2020 °C	Promedio anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C	Localidades principales
Sierra Norte	Occidental	18,0 - 28,0	18,0 - 28,0	0,4 - 1,2	San Pablo, Llapa, Salpo, Cachicadan, Callancas, Contumazá.
	Oriental	16,0 - 26,0	16,0 - 26,0	0,4 - 1,6	Weberbauer, San Marcos, Cajabamba, Celendín.
Sierra Central	Occidental	10,0 - 22,0	12,0 - 22,0	0,0 - 0,4	Sihuas, Recuay, Oyon, Huarochiri, Cusicancha, Santiago de Chocorvos, Huancayo, Marcapomacocha.
	Oriental	12,0 - 24,0	12,0 - 24,0	0,4 - 1,2	Huánuco, Tarma, Acobamba.
Sierra Sur	Occidental	14,0 - 18,0	12,0 - 18,0	0,4 - 0,8	Puquio, Coracora, Orcopampa, Cotahuasi, Chuquibamba, Arequipa, El Fraile, Omate, Yacango, Candarave, Tarata.
	Oriental	16,0 - 24,0	16,0 - 24,0	0,4 - 1,2	Curahuasi, Granja Kayra, Chalhuanca, Cusco.
Altiplano		12,0 - 18,0	12,0 - 18,0	0,4 - 0,8	Cuyo Cuyo, Progreso, Muñani, Ayaviri, Arapa, Huancane, Capachica, Puno, Sacuce, Mazo Cruz.

c) Selva

Para esta región, las temperaturas máximas entre el 2020 y 2030 no muestran incrementos significativos, proyectándose hacia el 2030 un cambio de hasta 1,6 °C, principalmente en la selva norte y temperaturas de hasta 34 °C en selva norte y sur (Ver tabla 6).

Tabla 6: Temperatura máxima anual proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la selva

Regiones		Promedio anual al 2020 °C	Promedio anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C	Localidades principales
Selva Norte		20,0 - 34,0	20,0 - 34,0	0,4 - 1,6	Santa María de Nanay, San Ramón.
Selva Central	Baja	28,0 - 32,0	28,0 - 32,0	0,4 - 0,8	Pucallpa.
	Alta	20,0 - 30,0	20,0 - 30,0	0,0 - 0,8	Oxapampa, Satipo, La Merced, Tingo Maria.
Selva Sur		20,0 - 32,0	20,0 - 34,0	0,0 - 0,8	Puerto Maldonado, San Gabán, Tambopata.

Según estimaciones, para la proyección anual al 2030, las temperaturas máximas del aire serán más cálidas hasta en 1,6 °C respecto a la climatología actual en casi todo el territorio. Con valores en la región costa entre 20 a 32 °C, y de hasta 34°C en el extremo norte de la costa, en la región sierra fluctuará entre 12 a 28 °C y en la región selva variará con valores entre 20 a 34 °C. La configuración espacial entre los períodos 2020 y 2030 se presentan con una mayor amplitud para este último período.

4.4.1.2 Proyección estacional

Las temperaturas máximas al 2020-2030 y sus anomalías proyectadas al 2030 en las regiones costa, sierra y selva, se muestran en los Mapas 12 – 15, Apéndice 3 y en las tablas 5, 6 y 7 a nivel estacional.

a) Costa

La distribución espacial y valores de la temperatura máxima proyectada a nivel estacional al 2020 y 2030, en la costa peruana, mostrarían variaciones más intensas en el período de invierno (JJA) y primavera (SON), con valores de 1,2-2,0 °C y 1,2-1,6 °C, respectivamente, principalmente en la costa norte (extremo norte). Por otro lado, no se aprecian cambios significativos en la estación de verano (DEF). (Ver mapas 12 – 15 del Apéndice 3 y tabla 7).

Tabla 7: Temperatura máxima estacional proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la costa (°C)

Regiones			Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	△	Prom	△	Prom	△	Prom	△
Costa Norte	Extremo Norte	2020 2030	28 - 34 28 - 32	-0,4 - 0,0	26 - 32 26 - 32	-0,8 - 0,0	24 - 30 26 - 32	1,2 - 2,0	26 - 34 28 - 34	1,2 - 1,6
	Norte	2020 2030	26 - 34 26 - 32	-0,4 - 0,4	26 - 32 26 - 30	-1,2 - 0,4	24 - 28 24 - 30	0,4 - 2,0	22 - 34 22 - 34	0,4 - 1,6
Costa Central		2020 2030	22 - 28 22 - 30	0,0 - 0,8	20 - 28 20 - 30	0,0 - 0,8	18 - 26 18 - 26	-0,4 - 0,4	22 - 30 20 - 28	-0,4 - 0,0
Costa Sur		2020 2030	22 - 32 22 - 34	-0,4 - 0,8	20 - 30 20 - 32	0,0 - 0,8	20 - 26 20 - 26	0,0 - 0,4	22 - 28 22 - 28	0,0 - 0,8

b) Sierra

Según análisis, en la Tabla 8, se muestran las mayores variaciones para las estaciones de otoño (MAM) e invierno (JJA) de hasta 1,6 °C, principalmente en la sierra sur oriental en otoño y en la sierra norte oriental y sierra central oriental durante el invierno.

En la zona del Altiplano, las variaciones no son muy significativas, excepto en otoño con valores de hasta 1,2°C.

c) Selva

En la región de la selva las variaciones más intensas se presentan durante la estación de primavera (SON), principalmente sobre la selva norte, con valores de hasta 2,4 °C, que van en concordancia con los estudios realizados por Ambrizzi et al. (2007), citado por: Nobre et al.. Igualmente, sobre esta zona de la selva norte para las otras estaciones del año, las variaciones se proyectan a presentar valores de hasta 1,6 °C. Para la selva sur, los períodos de mayores variaciones están en invierno y primavera, igualmente con valores de hasta 1,6 °C. En la selva central, las variaciones no son muy marcadas, excepto la selva central baja durante la estación de verano (DEF) con valores de hasta 1,2 °C, ver Tabla 9.

Tabla 8: Temperatura máxima estacional proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la sierra (°C)

Regiones			Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	△	Prom	△	Prom	△	Prom	△
Sierra Norte	Occiden	2020 2030	16 - 32 16 - 32	0,4 - 0,8	16 - 30 18 - 30	-0,4 - 0,4	18 - 24 18 - 26	0,8 - 1,2	20 - 26 20 - 26	0,8 - 1,2
	Oriental	2020 2030	14 - 24 14 - 26	0,4 - 1,2	14 - 24 16 - 24	0,4 - 1,2	16 - 26 16 - 26	0,4 - 1,6	16 - 26 16 - 26	0,4 - 1,2
Sierra Central	Occiden	2020 2030	10 - 24 12 - 24	-0,4 - 0,8	10 - 22 10 - 22	0,4 - 1,2	10 - 20 10 - 20	0,4 - 0,8	10 - 20 10 - 20	0,0 - 0,8
	Oriental	2020 2030	12 - 24 10 - 24	0,4 - 1,2	14 - 20 14 - 22	0,0 - 0,8	12 - 20 12 - 22	0,8 - 1,6	14 - 22 14 - 22	0,0 - 1,2
Sierra Sur	Occiden	2020 2030	10 - 22 10 - 22	0,4 - 0,8	12 - 20 12 - 20	0,4 - 1,2	10 - 18 10 - 18	0,4 - 1,2	12 - 18 14 - 18	0,0 - 0,8
	Oriental	2020 2030	12 - 22 20 - 22	0,4 - 0,8	14 - 20 14 - 20	0,8 - 1,6	14 - 18 14 - 20	0,0 - 0,8	14 - 20 14 - 22	0,0 - 1,2
Altiplano		2020 2030	10 - 18 10 - 18	0,4 - 0,8	12 - 18 12 - 18	0,4 - 1,2	10 - 16 12 - 16	0,4 - 0,8	12 - 18 14 - 18	0,0 - 0,4

Tabla 9: Temperatura máxima estacional proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la selva (°C)

Regiones			Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	△	Prom	△	Prom	△	Prom	△
Selva Norte		2020 2030	26 - 34 26 - 36	0,8 - 1,6	24 - 32 24 - 34	0,4 - 1,6	24 - 32 24 - 32	-1,2 - 1,6	26 - 34 28 - 36	0,4 - 2,4
Selva Central	Alta	2020 2030	24 - 30 24 - 32	0,4 - 0,8	24 - 30 24 - 30	-0,4 - 0,0	22 - 30 22 - 30	0,4 - 0,8	28 - 34 28 - 34	0,0 - 1,2
	Baja	2020 2030	30 - 32 30 - 34	0,8 - 1,2	28 - 32 28 - 34	-0,8 - 0,0	28 - 32 28 - 32	0,0 - 0,4	30 - 34 30 - 36	1,2 - 2,0
Selva Sur		2020 2030	28 - 32 30 - 34	0,0 - 0,8	22 - 32 22 - 32	-0,8 - 0,0	22 - 32 22 - 32	0,0 - 1,6	22 - 34 22 - 34	0,4 - 1,6

4.4.1.3 Proyección al 2030 del percentil 90 de la temperatura máxima

Según estudios, en el mapa 16 del Apéndice 3 se muestra el índice de extremo climático, variación del percentil 90 de la temperatura máxima para el año 2030. Este índice está asociado a días muy cálidos, y significa que para el período proyectado, los días muy cálidos estarán incrementándose, especialmente en la zona sur del territorio nacional (sierra sur oriental y occidental y en el Altiplano).

4.4.2 Temperatura mínima

Estudios de cambios futuros del clima a escala regional en Sudamérica se han centrado en dos parámetros: la temperatura y precipitación, mas no en la temperatura mínima.

En el presente ítem se analiza las proyecciones, producto del downscaling dinámico CCSM (NCAR)- RAMS (SENAMHI) al 2020 y 2030 de la temperatura mínima en el área de influencia del territorio peruano, así como los cambios proyectados al 2030, a nivel anual y estacional.

4.4.2.1 Proyección anual

Los resultados muestran que la temperatura mínima del aire cercana a la superficie al 2030, aumentaría en el país, respecto al clima actual entre 0,4 y 1,4 °C, principalmente en el sector de la costa y selva norte (Piura, Chiclayo y al este de Iquitos), sector central (Cerro de Pasco, Huancayo, Huancavelica) y parte del sector sur andino (Ayacucho, Abancay).

Asimismo, se proyecta al 2030, en la región de la selva, el área de temperaturas mínimas de 22-24 °C configuraría mayor amplitud espacial. En la costa, el área de 20-22 °C presentaría reducción, respecto al 2020. En el Altiplano andino las temperaturas aumentarían hasta en 0,82 °C respecto al 2020.

a) Costa

Se proyecta al 2020 y 2030 cambios en la distribución de la temperatura mínima en la región costera central y norte del país, que van desde 0,8 a 1,6 °C. En tanto en el sur, los cambios no son tan significativos (ver mapas 17, 22, 27 del Apéndice 3 y Tabla 10).

Tabla 10: Temperatura mínima anual proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la costa

Regiones		Promedio anual al 2020 °C	Promedio anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C	Localidades principales
Costa Norte	Extremo Norte	16,0 - 22,0	16,0 - 24,0	1,2 - 1,6	El Salto, Rica Playa, La Esperanza, Chusis, Reque.
	Norte	12,0 - 22,0	14,0 - 20,0	0,4 - 1,2	Trujillo, Laredo, Buena Vista.
Costa Central		10,0 - 20,0	12,0 - 18,0	0,4 - 0,8	Paramonga, Huayán, Lima, Callao, Cañete.
Costa Sur		10,0 - 18,0	10,0 - 18,0	0,0 - 0,4	Ica, Ocucaje, Copará, Caravelí, Punta Atico, Pampa Blanca, Punta Coles, Sama Grande, Calana.

b) Sierra

Las temperaturas mínimas al 2030 se proyectan ligeramente más cálidas en relación al 2020, principalmente en la región occidental central y sur del país y parte del Altiplano (ver mapas 17, 22 - Apéndice 3 y Tabla XX). Al 2030 se observaría el aumento sostenido de las temperaturas mínimas hasta en 1,22 °C en la región occidental y principalmente en el sector central andino, respecto al clima actual (ver mapa 27 de Apéndice 3 y Tabla 11).

La proyección de aumento de la temperatura mínima y máxima en la sierra es consistente con lo encontrando por Alves, L. et al., (2008) donde determinan que las variaciones positivas de la temperatura hacia finales del siglo sería de 2,5 °C sobre los Andes.

Por otro lado, el aumento de las temperaturas proyectadas máxima y mínima, en promedio, sería consistente con la tendencia actual y con lo investigado por Vuille y Bradley (2000) que basados en la compilación de 268 estaciones entre 1 °N y 23 °S (Andes tropicales), observaron el incremento significativo de la temperatura del aire cercana a la superficie entre 0,10-0,11 °C/década en los últimos sesenta años, desde 1939, siendo sustancialmente el aumento a mediados de la década de los setenta de 0,32-0,34 °C/década. Asimismo, Mark (2002) y Mark and Seltzer (2005 a), quienes basados en 29 estaciones de baja y alta altitud, observaron que en la región central del Perú (9°-11°S) la tendencia hacia el incremento de la temperatura media es a razón de 0,35-0,39 °C/década entre 1951 y 1999.

Tabla 11: Temperatura mínima anual proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente, en la Sierra

Regiones		Promedio anual al 2020 °C	Promedio anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C	Localidades principales
Sierra Norte	Occidental	2,0 - 14,0	4,0 - 14,0	0,4 - 1,2	San Pablo, Llapa, Salpo, Cachicadan, Callancas, Contumazá.
	Oriental	4,0 - 16,0	6,0 - 16,0	0,4 - 0,8	Weberbauer, San Marcos, Cajabamba, Celendín.
Sierra Central	Occidental	-2,0 - 12,0	-2,0 - 12,0	0,4 - 1,2	Sihuas, Recuay, Oyón, Huarochiri, Cusicancha, Santiago de Chocorvos.
	Oriental	0,0 - 14,0	2,0 - 12,0	0,4 - 1,2	Huánuco, Tarma, Acobamba.
Sierra Sur	Occidental	-10,0 - 10,0	-6,0 - 10,0	0,4 - 0,8	Puquio, Coracora, Orcopampa, Cotahuasi, Chuquibamba, Arequipa, El Fraile, Omate, Yacango, Candarave, Tarata.
	Oriental	-8,0 - 12,0	-12,0 - 12,0	0,4 - 1,2	Curahuasi, Granja Kayra, Chalhuanca, Cusco.
Altiplano		14,0 - 4,0	14,0 - 6,0	0,4 - 0,8	Cuyo Cuyo, Progreso, Muñani, Ayaviri, Arapa, Huancané, Capachica, Puno, Sacuce, Mazo Cruz.

c) Selva

Las temperaturas mínimas al 2020 y 2030 no mostrarían aumentos significativos de temperatura, pero proyectan una mayor amplitud espacial de los valores de las temperaturas de 20 a 22 °C al 2020 y de 22 a 24 °C al 2030, principalmente en la selva norte, (ver mapas 17, 22- Apéndice 3 y Tabla 10).

Los mayores cambios respecto al clima actual se observan en la selva norte, con anomalías hasta de 1,6 (ver mapa 27 del Apéndice 3 y Tabla 12).

Tabla 12 Temperatura mínima anual proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente, en la Selva

Regiones		Promedio anual al 2020 °C	Promedio anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C	Localidades principales
Selva Norte		18,0 - 24,0	20,0 - 24,0	0,4 - 1,6	Santa María de Nanay, San Ramón.
Selva Central	Baja	18,0 - 22,0	18,0 - 22,0	0,4 - 0,8	Pucallpa.
	Alta	16,0 - 22,0	18,0 - 24,0	0,0 - 0,8	Oxapampa, Satipo, La Merced, Tingo María.
Selva Sur		18,0 - 20,0	18,0 - 22,0	0,0 - 0,8	Puerto Maldonado, San Gabán, Tambopata.

4.4.2.2 Proyección estacional

En las estaciones de otoño e invierno se proyectan al 2030 los mayores cambios de la temperatura mínima, con aumentos sustanciales hasta de 2 °C, respecto al clima actual, principalmente en Chiclayo, Chimbote y al noreste de Iquitos. En tanto, en las estaciones de primavera, la temperatura llegaría hasta 1,2 °C (Piura, Chiclayo, al noroeste de San Martín y al este de Iquitos) y en verano hasta 1,6 °C (extremo norte costero, al noreste de Moyabamba, sierra central, Cusco y noreste de Abancay y al sur de Ayacucho).

a) Costa

Al año 2030, los mayores cambios en la temperatura mínima, hasta en 2 °C por encima del clima actual, se observarían en la costa norte, en las estaciones de otoño e invierno. En tanto, en primavera en la región de la costa central y sur, el aumento sería alrededor de 0,4 °C. En verano, los cambios en la temperatura mínima se verían alternados con valores de -0,8 a 0,8 °C, en relación al clima actual (ver mapas 18-21, 23-25 y 28-31 del Apéndice 3 y Tabla 13).

Tabla 13: Temperatura mínima estacional proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la costa (°C)

Regiones			Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)
Costa Norte	Extremo Norte	2020 2030	16 - 24 16 - 24	0,8 - 1,6	16 - 24 20 - 24	1,2 - 2,0	14 - 22 16 - 22	0,8 - 2,0	16 - 22 16 - 22	0,4 - 1,6
	Norte	2020 2030	16 - 22 16 - 22	-0,4 - 1,2	12 - 22 12 - 20	0,8 - 1,6	12 - 20 12 - 18	1,2 - 1,6	12 - 22 08 - 18	0,4 - 1,2
Costa Central		2020 2030	16 - 20 16 - 22	0,0 - 0,8	12 - 20 12 - 18	0,4 - 1,2	10 - 20 08 - 18	0,8 - 2,0	12 - 20 10 - 18	0,0 - 0,4
Costa Sur		2020 2030	10 - 18 10 - 18	-0,8 - 0,8	10 - 20 08 - 18	0,0 - 1,2	08 - 16 08 - 16	0,4 - 1,2	10 - 18 08 - 18	0,0 - 0,4

b) Sierra

A nivel estacional, en gran parte de la región andina, en otoño las temperaturas mínimas aumentarían hasta en 2 °C relativo a los valores actuales. A excepción del Altiplano, la sierra occidental norte y sur llegarían hasta 1,6 °C. En tanto, en la primavera los aumentos serían menores entre 0,4 °C y 1,2 °C en el Altiplano, sierra central oriental y sierra sur occidental.

En verano se observarían aumentos hasta en 1,6 °C en la sierra central y sur, que estarían asociados a cielos con mayor cobertura nubosa y no necesariamente a lluvias en esta región. En invierno (estación seca de la región andina), las temperaturas aumentarían y estarían atribuidas probablemente a cielos con mayor cobertura nubosa, que podrían verse reflejadas en la disminución de la intensidad de las heladas meteorológicas de tipo advectivo y radiativo en las zonas mayor a los 4 000 msnm, regiones que tienen una fuerte oscilación térmica diaria, (ver mapas 18-21, 23-25 y 28-31 del Apéndice 3 y Tabla 14).

Tabla 14: Temperatura mínima estacional proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la sierra(°C)

Regiones			Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)
Sierra Norte	Occiden	2020 2030	6 - 20 6 - 20	0,4 - 1,2	6 - 20 6 - 20	1,2 - 1,6	2 - 16 2 - 16	0,4 - 1,2	2 - 16 8 - 18	0,4 - 1,2
	Oriental	2020 2030	2 - 18 2 - 16	0,4 - 0,8	2 - 24 2 - 24	1,2 - 2,0	0 - 22 0 - 24	0,4 - 1,6	0 - 22 2 - 24	0,0 - 1,2
Sierra Central	Occiden	2020 2030	0 - 10 0 - 12	-0,4 - 1,6	2 - 12 2 - 12	1,2 - 2,0	-4 - 12 -4 - 12	0,4 - 1,6	-4 - 12 -2 - 12	0,0 - 1,2
	Oriental	2020 2030	0 - 12 2 - 12	0,0 - 1,6	2 - 12 2 - 12	0,8 - 2,0	2 - 12 -2 - 12	0 - 0,8	0 - 12 2 - 12	0,0 - 0,8
Sierra Sur	Occiden	2020 2030	-4 - 12 -4 - 12	0,4 - 1,6	6 - 12 6 - 12	0,4 - 1,6	-12 - 12 -14 - 8	0,4 - 1,2	-10 - 12 -8 - 10	0,0 - 0,8
	Oriental	2020 2030	-2 - 12 -2 - 12	0,4 - 1,6	2 - 12 4 - 12	0,8 - 2,0	-10 - 10 -8 - 10	0,4 - 1,2	-4 - 12 -4 - 12	0,4 - 1,2
Altiplano		2020 2030	-12 - 8 -12 - 8	0,4 - 0,8	-14 - 4 -14 - 4	1,2 - 1,6	-14 - 0 -14 - 6	0,4 - 1,2	-14 - 2 -14 - 8	0,0 - 0,4

c) Selva

Las temperaturas mínimas a nivel estacional aumentarían al 2030 en otoño e invierno, principalmente en la selva norte del país, llegando hasta 2,0 °C relativo a los valores actuales. En el resto de la región, los aumentos oscilarían entre 0,4 y 1,6 °C. Estos aumentos de la temperatura podrían estar asociados a la disminución de la intensidad y cobertura espacial de los friajes.

En verano y primavera (período lluvioso de la región) en la selva norte el aumento de temperatura llegaría hasta 1,6 °C. En el resto de la región se proyecta aumentos de la temperatura hasta 1,2 °C. Estos aumentos podrían estar asociados a cielos con mayor cobertura nubosa y no necesariamente a lluvias en la selva (ver mapas 18-21, 23-25 y 28-31- del Apéndice 3 y Tabla 15).

Tabla 15: Temperatura mínima estacional proyectada al 2020 y 2030, y el cambio proyectado al año 2030 en relación al clima presente en la selva(°C)

Regiones			Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)	Prom	Δ(°C)
Selva Norte		2020 2030	16 - 24 16 - 24	0,4 - 1,6	20 - 24 16 - 24	0,8 - 2,0	14 - 24 16 - 24	0,0 - 2,0	20 - 24 20 - 26	0,4 - 1,6
Selva Central	Alta	2020 2030	16 - 20 16 - 22	0,4 - 0,8	16 - 22 16 - 22	0,4 - 1,6	14 - 22 10 - 18	0,4 - 1,2	16 - 22 16 - 22	0,0 - 0,8
	Baja	2020 2030	18 - 20 16 - 22	0,0 - 0,8	16 - 24 18 - 22	0,4 - 1,2	14 - 22 14 - 22	0,8 - 1,6	18 - 22 18 - 22	0,4 - 0,8
Selva Sur		2020 2030	16 - 22 16 - 22	0,0 - 0,4	16 - 22 16 - 22	0,4 - 0,8	14 - 20 10 - 18	0,4 - 0,8	16 - 22 14 - 22	0,4 - 1,2

4.4.2.3 Proyección al 2030 del percentil 90 de la temperatura mínima

Según exámenes, en el mapa 32- Apéndice 3 se muestra el índice de extremo climático variación del percentil 90 de la temperatura mínima para el 2030, este índice proyecta la variación de las noches cálidas con temperaturas mínimas superiores al percentil 90% y significa que para el 2030, las noches cá-

lidas presentarían un comportamiento regionalizado en el país. Así, en gran parte de la costa las noches cálidas tenderían a disminuir y en la región andina aumentarían de forma sostenida, siendo consistente esta región con la proyección de los cambios positivos en la temperatura mínima y confirmada con la tendencia actual de aumento de noches cálidas.

4.4.3 Precipitaciones

Las lluvias en la actualidad muestran un comportamiento complejo, asociado mayormente a la topografía. Los escenarios futuros también presentan una distribución dependiente no solo de la topografía, por lo cual es difícil resumir la distribución de las lluvias a nivel nacional en una línea, sino que esta muestra incrementos y deficiencias en todas las regiones.

4.4.3.1 Proyección anual

Las precipitaciones para ambas décadas futuras se ha estimado que tendrán un comportamiento muy similar a su climatología, tanto en su distribución como en su intensidad. Así, solo se han calculado las anomalías o variaciones porcentuales para el año 2030, respecto a su promedio climatológico.

Los escenarios proyectados al 2030 presentan valores entre +10% y -10% sobre la sierra y selva del país, que son similares a los obtenidos por Marengo, 2007 sobre Sudamérica con los modelos globales, cuyo promedio de 6 modelos globales para el período 2010- 2040 muestra sobre el Perú anomalías de +- 0,2 mm/día, representando aproximadamente hasta un 15% de deficiencias o incrementos. En el análisis del Capítulo anterior sobre los modelos globales, también se observa valores similares, pero no hay una configuración común sobre la distribución de las lluvias en la sierra y selva del Perú, a excepción de la costa norte, donde sí se presentan todos los modelos e incrementos de precipitaciones; similar panorama muestran los escenarios regionalizados con RAMS.

Estos escenarios registran incrementos hacia la parte oriental de la selva y mayormente decrementos en la sierra, los que probablemente estarían asociados a un menor transporte de humedad que sólo impactaría sobre esa zona.

a) Costa

La costa continuaría siendo mayormente desértica, con lluvias en ambas décadas que no superarían los 10 mm/anuales entre Ancash y Moquegua, 50 mm/anuales en Tacna y entre 10 a 100 mm /anuales en La Libertad, Lambayeque y Piura. Mientras la zona de Tumbes tendría lluvias por encima de 200 mm/anuales.

Las variaciones porcentuales de las precipitaciones para el año 2030, en esta región, mayormente se presentarían deficiencias del orden del 10 al 30% entre La Libertad y Tacna. Estas deficiencias numéricamente no son grandes, ya que las precipitaciones en la costa peruana son normalmente muy bajas. Se estima un incremento de hasta un 20% por encima de sus promedios en los departamentos de Tumbes y Piura.

La descripción y la variación al año 2030, por zonas de la costa, son mostradas en la tabla 16.

Tabla 16: Precipitación acumulada anual proyectada al 2030, y variación porcentual al año 2030 en relación al clima presente en la región costa

Regiones	PP acumulada anual al año 2030 (mm/anales)	Cambios proyectados al 2030 (Variación porcentual %)	Localidades principales
Costa Norte	5 - 200	Entre +10 y +20 % - 10%	Gran parte de la zona Norte de Piura y La Libertad
Costa Central	5 - 50	Hasta el -30%	Toda la región
Costa Sur	5 - 50	Hasta -20%	Ica y Arequipa

b) Sierra

Asimismo, en los mapas 33 y 38, se observa que las precipitaciones seguirán con el mismo comportamiento de sus promedios climáticos, es decir, mayores lluvias en las zonas ubicadas en la vertiente oriental respecto a la occidental. En gran parte de la vertiente occidental las lluvias totalizarían entre 50 a 200 mm/anales, a excepción de las partes altas de Piura y Lambayeque, que totalizarían lluvias de 1 000 mm/anales. En la vertiente oriental las lluvias totalizarían entre los 200 a 1 000 mm/anales.

Las variaciones porcentuales de las precipitaciones para el año 2030 no tienen una similar tendencia, en general, se presentarían deficiencias como aumentos. Incrementos del 10% por encima de sus valores normales se proyectan en la sierra norte occidental, parte sur de la sierra central occidental (Lima, Ica y Huancavelica), parte sur de la sierra central oriental (Junín) y parte sur de la sierra suroccidental (Arequipa, Moquegua y Tacna). Deficiencias de hasta 10% se presentarían en la sierra norte oriental (Cajamarca), las mayores deficiencias entre 10% y 20% en la zona suroriental (Ayacucho, Apurímac), parte norte de la sierra central oriental (Huánuco y Pasco).

La descripción y la variación al año 2030 por zonas de la sierra, son mostradas en la tabla 17.

c) Selva

Las lluvias totalizadas en forma anual que representan los años 2020 y 2030, se muestran en los mapas 33 y 38, respectivamente. Estos mapas indican que los núcleos de máximas lluvias continuarían en esta región.

Las precipitaciones totalizarían entre los 1 000 a 5 500 mm/año. Las máximas cantidades anuales estarán ubicadas en la selva sur con 5 500 mm/anales (selva de Puno, San Gabán), 4 000 mm/anales sobre el límite de los departamentos de San Martín y Loreto (Pongo de Caynarachi) y 3 500 mm/anales sobre la parte nororiental de Iquitos, 3 000 mm/anales sobre la selva de Huánuco y Ucayali y otro núcleo de similar valor en la zona sur de Ucayali. Este último núcleo presentará valores por encima de sus promedios climatológicos.

Respecto a las variaciones porcentuales para el año 2030, mapa N° 43, se proyecta mayormente incrementos de hasta el 10% sobre la selva sur, parte de la selva central, provincias de Moyobamba y Rioja del departamento de San Martín y zona suroriental del departamento de Loreto. Incrementos que superan el 10% sobre la zona de selva alta de Puerto Maldonado, límite con Cusco. Asimismo, se presentarían deficiencias de hasta un 10% en gran parte del departamento de San Martín, Huánuco, parte oeste y norte del departamento de Loreto y las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo en la selva central.

La descripción y la variación al año 2030 por zonas de la selva son mostradas en la tabla 18.

Tabla 17: Precipitación acumulada anual proyectada al 2030, y variación porcentual al año 2030 en relación al clima presente en la región sierra

Regiones		PP acumulada anual al año 2030 (mm/anuales)	Cambios proyectados al 2030 (Variación porcentual %)	Localidades principales
Sierra Norte	Occidental	200 - 1000	Entre +10 y 10%	Toda la región
	Oriental	500 - 1000	Hasta + 10% - 10%	Sobre la zona este Sobre la zona oeste.
Sierra Central	Occidental	100 - 1000	Hasta un - 20% Hasta un +20%	Parte norte (Áncash, Lima y Pasco). Parte sur: Junín, Lima y Huancavelica).
	Oriental	500 - 1000	Hasta un - 20% Hasta un 20%	Huánuco, Pasco. Junín y Huancavelica.
Sierra Sur	Occidental	100 - 500	- 20% + 20%	Parte norte: Ayacucho, Arequipa. Parte sur: sobre Moquegua y Tacna.
	Oriental	500 - 1000	- 20%	Apurímac y parte del Cusco.
Altiplano		500 - 1000	Hasta -10% + 10%	Sobre el sur occidental del Lago Titicaca. Sobre el norte del Lago.

Tabla 18: Precipitación acumulada anual proyectada al 2030, y variación porcentual al año 2030 en relación al clima presente en la región selva

Regiones		PP acumulada anual al año 2030 (mm/anuales)	Cambios proyectados al 2030 (Variación porcentual %)	Localidades principales
Selva Norte		1 000 a 4 000	- 10% + 10%	Parte oeste Parte este
Selva Central	Baja	2 000 a 3 000	+ 10%	Región Ucayali.
	Alta	2 000 a 3 000	- 10% + 10%	Parte norte: Huánuco y provincias de Padre Abad y Coronel Portillo de Ucayali Pasco y Junín.
Selva Sur		1 500 a 5 500	- 10% + 10% y + 20%	Gran parte de la selva sur. Madre de Dios y Cusco.

4.4.3.2 Proyección estacional

Las precipitaciones serán presentadas para cada una de las estaciones astronómicas en el Perú al 2020 y 2030 y solo la variación porcentual del año 2030, por tener mucha similitud en los totales de cada trimestre y en la distribución espacial en ambas décadas.

Las tablas resumen para la costa, sierra y selva, a nivel estacional de precipitación, están indicadas en los números 19, 20 y 21, respectivamente.

4.4.4 Verano: Trimestre diciembre- febrero

En este trimestre climatológicamente las precipitaciones totalizan las mayores cantidades, debido a la interacción de los diversos sistemas atmosféricos generadores de las lluvias (como la Zona de Convergencia Intertropical, alta de Bolivia, vientos alisios asociados al transporte de la humedad del aire, etc.). Estas precipitaciones en el verano son significativas a nivel nacional.

Los escenarios futuros para los años 2020 y 2030 son mostrados en los mapas 34 y 39, mientras la variación porcentual del año 2030, en el mapa 44.

Las precipitaciones en los años 2020 y 2030 se proyectan de manera muy similar en ambas décadas a nivel nacional, asimismo, con cantidades parecidas a sus valores climatológicos, pero que han determinado para la década del 2030, deficiencias en gran parte del país que incluye en especial la sierra. Estos escenarios podrían asociarse, ya que durante esta década al incrementarse la temperatura del aire, se necesita mayor cantidad de humedad para lograr saturarse y originar las lluvias, así como la ZCAS estaría más intensa impactando sobre la selva central y sur del Perú, con mayores lluvias. Similar resultado encontró Marengo, 2007, con el modelo HADCM3 para el período 2010-2040.

a) Costa

Las precipitaciones normalmente en la costa sur y central son bien escasas, solo la parte norte presenta precipitaciones que totalizan entre 50 y 100 mm/trimestre. Las proyecciones para los años 2020 y 2030 indican similares valores a su climatología, entre 5 a 10 para la costa central y sur, mientras en la costa norte, es entre 50 a 200 mm/trimestre, especialmente sobre Piura y Tumbes, presentando valores por encima de sus promedios. Estos resultados estarían asociados al incremento de la TSM costera, que contribuiría a una mayor frecuencia e intensidad de lluvias.

Las variaciones porcentuales indican deficiencias entre 10 al 20% en la costa sur y central, mientras en la costa norte solo parte del departamento de Piura y Tumbes tienen incrementos hasta el 10%, presentando deficiencias entre 10 al 20% sobre las provincias de Paita y Talara.

b) Sierra

Las precipitaciones totalizadas para los años 2020 y 2030 en este trimestre, son muy similares, en forma general presentarían cantidades que varían según los pisos altitudinales, especialmente en la vertiente occidental entre 100 a 500 mm/trimestre. Presenta tres núcleos de máximas lluvias, situados en las provincias de Ayabaca (Piura), Yauli (Junín) y entre las de Vilcashuamán, Sucre (Ayacucho) y Andahuaylas (Apurímac) con precipitaciones que superan los 500 mm/trimestre.

La variación porcentual al 2030 muestra en esta región mayormente deficiente, a excepción de los departamentos de Junín y Huancavelica y la provincia de Yauyos (Lima), lugares que presentarían incrementos entre 10 a 20%, así como la provincia de Ayabaca (Piura). Mientras las deficiencias llegarían hasta 20% sobre la vertiente occidental sur y el departamento de Ancash.

c) Selva

Los totales de las precipitaciones en este trimestre, para ambas décadas, varían entre los 200 a 2 300 mm/trimestre. Los núcleos máximos de lluvias continuarían presentándose en esta región, así con un núcleo de hasta 2 300 mm/trimestre en la zona límite de Madre de Dios y Puno (provincia de Tambopata, provincia de Carabaya y Sandía). Otro núcleo de 1 500 mm/trimestre, también se presentaría en la parte nororiental del departamento de Loreto, provincias de Maynas y Caballococha. También núcleos de 1 000 mm/trimestre ubicados en la provincia de Alto Amazonas en Loreto, provincia de Padre Abad y provincia de Coronel Portillo, en Ucayali.

En la variación porcentual para el año 2030 sobre la selva, mapa 44, se observa que la región no muestra una tendencia definida, presentando incrementos que no superan el 10% especialmente en la selva central y el norte de la provincia de Maynas en Loreto (selva norte) y deficiencias que no alcanzan el 10% en el resto de la región. Estos incrementos y deficiencias podrían considerarse como parte de la variabilidad normal durante la época de lluvias, pero estas proyecciones son promedios que representan una década de años, por lo cual ya toma una significancia, especialmente las deficiencias. En San Martín y especialmente entre las provincias del Huallaga, Mariscal Cáceres, Bellavista y Picota, las deficiencias serán moderadas superando el 10%.

4.4.5 Otoño: Trimestre marzo – mayo

Los escenarios para la estación de otoño son mostrados en los mapas 35 y 40 para las décadas del 2020 y 2030, respectivamente, mientras en el mapa 45 se observa la variación porcentual de este trimestre.

Ambas décadas son similares a su climatología, es decir, las mayores lluvias se concentran en la región de la selva, y menores cantidades en la región de la sierra. Los escenarios indican un incremento de las precipitaciones en gran parte del país, tal vez asociado a una posición más al sur de la zona de convergencia intertropical, lo cual generaría inestabilidad y advección de aire húmedo. Asimismo, existe un incremento de lluvias en la costa norte, asociado al incremento de la TSM.

a) Costa

Los escenarios son coherentes con la climatología, es decir, lluvias en menores cantidades en la zona central y sur, solo el norte presentará mayores cantidades. Los totales acumulados en este trimestre estarían entre 5 a 200 mm/trimestre.

b) Sierra

Para los años 2020 y 2030, las lluvias se presentarían de manera muy semejante en cantidades y en distribución en toda esta región, a excepción de la sierra noroccidental, (provincia de Ayabaca), en que la década del 2030 sería más lluviosa que la década del 2020. En el 2030 se proyecta lluvias de 700 mm/trimestre, mientras en el 2020 solo llegarían hasta los 500 mm/trimestre. Las lluvias en toda la región se presentarían entre 50 a 200 mm/trimestre, con mayores cantidades sobre la vertiente oriental.

Las anomalías porcentuales en esta región, presentarían incrementos por encima de 10% en la sierra norte, mientras en la central y sur hay mayor predominancia de deficiencias superiores al 10%. El Altiplano presentará incrementos superiores al 10%.

c) Selva

Climáticamente durante este trimestre, las lluvias continúan siendo importantes para esta región. Este mismo comportamiento se ha proyectado para los años 2020 y 2030, en que las lluvias totalizarían entre 500 y 1 000 mm/trimestre. También se mantienen los núcleos de máximas lluvias, con menores valores en las zonas del trimestre anterior; así, sobre la zona de ceja de selva sur que comprende la selva de Puno y la provincia de Tambopata, en Madre de Dios, las lluvias presentarían un núcleo de hasta 1 300 mm/trimestre; sobre la provincia de Alto Amazonas, limitando con San Martín y la provincia de Maynas, al noreste de Iquitos presentarían núcleos de 1 000 mm/trimestre.

En este trimestre al 2030, las precipitaciones presentarán incrementos hasta del 10% en toda la región a excepción de la zona que comprende las provincias de Alto Mayo y Loreto, así como en las provincias orientales de San Martín, que presentarían deficiencias de hasta un 10%.

Las variaciones porcentuales indican para la década del 2030, habría incrementos significativos hasta del 30% en la costa norte y de menores de 10% en la costa sur (Arequipa a Tacna). Las deficiencias están concentradas en la costa central.

4.4.6 Invierno: Trimestre Jun-Ago

Los escenarios futuros de ambas décadas han representado la climatología del país, con precipitaciones insignificantes en la costa, cantidades pequeñas en la sierra, manteniendo precipitaciones significativas en la selva, pero menores cantidades que el verano. Las lluvias en este contexto serían principalmente asociadas a los ingresos de los frentes con interacción de las inestabilidades (vaguadas) de la atmósfera media que serían más frecuentes al presentar mayor calentamiento en el Pacífico, los que afectarían la parte sur del Perú, conllevando a incrementos de lluvias sobre esta zona.

Según investigaciones, los mapas 36 y 41 muestran las precipitaciones acumuladas trimestralmente para las décadas del 2020 y 2030, respectivamente; mientras el mapa 46 muestra la variación porcentual con respecto al año 2030.

a) Costa

Las lluvias en las décadas del 2020 y 2030 presentarían cantidades hasta 5 mm/trimestre en toda la costa, cuyos valores son ligeramente menores al comportamiento normal.

Con esta distribución espacial, las deficiencias en general estarían entre los 10 al 40%, especialmente en la costa norte (provincias de Sechura y Paita) y costa central (desde Trujillo hasta Ica). Estos valores de deficiencias no son intensos, ya que sus valores normales para esta época presentan cantidades muy pequeñas, por lo cual alguna disminución de lluvias se manifiesta con grandes valores de deficiencias.

b) Sierra

Las décadas muestran (mapas 41 y 46) que las lluvias serían más uniformes, con menores valores respecto a los trimestres anteriores. Las cantidades estarían oscilando entre 5 a 50 mm/trimestre, cuyos menores valores estarían a todo lo largo de la vertiente occidental.

Las variaciones porcentuales de las precipitaciones para el año 2030 presentarían deficiencias a nivel general, especialmente en la sierra norte, mientras en la central y sur, alterna la distribución espacial con incrementos en forma localizada. Las deficiencias estarían entre 10 a 30%, presentando los mayores valores en la vertiente occidental.

c) Selva

Las lluvias en ambas décadas presentarían valores entre 100 a 700 mm/trimestre, proyectándose las máximas precipitaciones en la ceja de selva sur, la selva norte de la provincia de Maynas (Loreto) y sobre el norte de la provincia de Lamas (San Martín).

Sobre la selva central y sur, las precipitaciones son más uniformes, presentando valores entre 100 a 200 mm/trimestre, siendo los mayores valores hacia la selva alta.

Las variaciones porcentuales de las precipitaciones para el trimestre muestran deficiencias en gran parte de la selva norte, mientras en la selva central y sur las deficiencias se presentarán en la selva baja y los incrementos en la selva alta. Las deficiencias y los incrementos serían entre -10% a +10%.

4.4.7 Primavera: Trimestre setiembre-noviembre

Climáticamente, en este trimestre comienza el período lluvioso, especialmente en la sierra e incrementando las lluvias tanto en frecuencia como en intensidad en la selva. Similar distribución espacial se evidencia en los escenarios que se presentan en los mapas 37 y 42, que representan la precipitación acumulada para el trimestre de primavera en los años 2020 y 2030, respectivamente.

Las anomalías o variaciones porcentuales para el año 2030 son presentadas en el mapa N° 47.

a) Costa

Las lluvias en este trimestre estarían entre 0 a 5 mm/trimestre en gran parte de la costa, representando valores que están por debajo de sus promedios, durante las décadas del 2020 y 2030. La costa norte, especialmente Tumbes durante el 2030 tendría mayores precipitaciones que llegarían hasta los 10 mm/trimestre, indicando una década lluviosa en esa zona en relación a la década del año 2020.

Las variaciones porcentuales para el año 2030 en la costa central y sur presentarían deficiencias que llegarían hasta los -20% sobre Ica. En la costa norte, las deficiencias estarían localizadas en la parte sur de Piura y Chiclayo con valores hasta -30%. Tumbes mostraría incrementos de hasta 30% sobre sus valores promedios.

b) Sierra

Las lluvias para ambas décadas son similares en toda la región, presentando las menores precipitaciones en la vertiente occidental, mientras en la oriental las lluvias totalizarían mayores cantidades asociadas al ingreso o exposición directa de la humedad sobre sus pendientes (lluvias orográficas).

Las precipitaciones totalizarían entre 5 a 300 mm/trimestre. Los valores mayores se presentarían en la sierra oriental norte y central.

Las variaciones porcentuales para el año 2030 en esta región no son uniformes, alterna incrementos y deficiencias, lo que indica una distribución muy irregular de las lluvias y que estas serían de forma localizada, asociada a la orografía abrupta de esta región. Las variaciones estarían entre -20 a +30%.

c) Selva

Las precipitaciones en ambas décadas, 2020 y 2030, se incrementan con respecto a la estación de invierno. Los núcleos de máximas precipitaciones se localizan en la ceja de selva sur con 1 200 mm/trimestre (provincia de Tambopata), 1000 mm/trimestre en la selva norte (provincia de Alto Amazonas y Lamas), 800 mm/trimestre en la selva central (provincias de Leoncio Prado y Padre Abad) así como en Maynas, (Loreto). Las lluvias en promedio se proyectan entre 200 a 1 200 mm/trimestre..

En el año 2020, en la selva central alta, las precipitaciones totalizarían 700 mm/trimestre, las cuales son cantidades menores a las que se presentarían en el año 2030, deduciendo que en la década del 2020, en la selva central, las lluvias estarían por debajo de sus promedios.

Las variaciones porcentuales para el año 2030, en esta región, no son uniformes, presentando deficiencias hasta un 10% sobre la parte oeste de la selva norte, la selva alta de Huánuco y la zona este de la selva sur. Los incrementos serían hasta un 10% sobre la selva central principalmente.

4.4.8. Proyección al 2030 del percentil 90 de la precipitación

Un problema principal en la estimación de impactos del cambio climático son los potenciales cambios en la variabilidad del clima y por ello los eventos extremos (o extremos climáticos) que podrían acompañar este cambio climático, se constituyen en piezas importantes a ser analizadas. Tebaldi et al, 2006, manifiesta que en los datos observados, así como en las futuras proyecciones, se confirma que los cambios en las colas de las distribuciones de las precipitaciones y temperaturas no ocurren en la misma proporción del cambio con la media (o promedio), especialmente en la precipitación.

En ese sentido, para evaluar los extremos climáticos en la precipitación a nivel nacional, se ha realizado el cálculo del percentil 95 (p95th) de las precipitaciones observadas para las estaciones meteorológicas, de igual manera se calculó el p95th para la década del 2030 y se analizó el cambio de la intensidad con respecto a la climatología observada para cada estación meteorológica.

La variación del percentil 95 para el año 2030, nos indica que las precipitaciones máximas a nivel nacional tienen tendencia al decrecimiento respecto a las máximas observadas (promedio del 1971-2000), esta distribución se asociaría con la tendencia del decrecimiento de las precipitaciones promedio para esta década, según se observa en el Mapa 48.

Las variaciones positivas que significan incrementos de los valores máximos de estas precipitaciones se presentarían aisladamente, especialmente en las provincias de Chupaca y Concepción (Junín), Castrovirreyna (Huancavelica), Huarochirí y Yauyos (Lima), algunas localidades de Puno como Lampa, Azángaro, Huaraya Moho y Yunguyo (Puno), así como en zonas de la selva norte. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Tebaldi, et al, 2006, en la cual en el escenario promedio de los diferentes escenarios globales, para la zona de Sudamérica, especialmente el Perú, muestra incrementos del percentil 95, para fines del siglo XXI, pero hay que considerar que estos resultados de los modelos globales tienen una resolución gruesa comparados con los regionales, por lo que no pueden representar las características locales, especialmente de topografía compleja como el Perú. Adicionalmente, Marengo, 2007, concluye que un consenso entre modelos con la significancia estadística es difícil ser mostrado sobre Sudamérica tropical.

Tabla 19: Precipitación acumulada estacional proyectada al 2030, y la variación porcentual proyectada al año 2030 en relación al clima presente en la costa (°C)

Regiones	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)
Costa Norte	5 - 100	Hasta - 20% sobre La Libertad, Lambayeque y provincias de Talara y Paita + 10% sobre las provincias de Piura y Sechura	5 - 200	+ 30% especialmente en Piura	0 - 5	Hasta - 40%	5 - 10	Hasta - 30% sobre la parte oeste de Piura y Chiclayo + 20% sobre Tumbes
Costa Central	5 - 50	Entre -20% a 30% especialmente en Áncash	5 - 50	Entre - 10% a - 20%	0 - 5	Hasta - 40%	0 - 5	- 10%
Costa Sur	5 - 50	Hasta - 20%	5 - 10	+ 10% sobre la provincia de Ica y desde Camaná a Tacna - 10% sobre Chincha, Nasca y Caravelí	0 - 5	Hasta - 40%	5 - 10	Hasta - 20% sobre Ica + 10% sobre Moquegua y Tacna

Tabla 20: Precipitación acumulada estacional proyectada al 2030, y la variación porcentual proyectada al año 2030 en relación al clima presente en la sierra (°C)

Regiones		Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
		PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)
Sierra Norte	Occidental	100 - 500	+ 10% en Piura - 10% todo el resto de la zona	200 - 700	Entre +10 y +20%	5-10	- 20%	5 - 100	- 20% sobre Cajamarca + 20% sobre La Libertad y Piura
	Oriental	100 - 500	Hasta - 10%	200 - 500	Entre + 10 y + 20%	10 - 100	- 10% gran parte de la zona. La parte occidental de Amazonas (+ 10%)	100 - 300	Hasta -20% sobre Cajamarca y Amazonas. + 10% sobre La Libertad
Sierra Central	Occidental	100 - 500	Hasta el -20% en toda la zona, a excepción de la provincia de Yauyos - Lima (entre +10 a +20%)	50 - 200	Hasta -20% en toda la zona, a excepción de las zonas al norte y noreste de Huaraz y provincia de Yauyos (+10%)	5 - 50	Hasta el -30% en Ancash y el norte de Lima +20% sobre la parte central y sur de Lima y Huancavelica	5 - 100	Hasta el -10% en Ancash y el norte de Lima. +20% sobre la parte central y sur de Lima y Huancavelica
	Oriental	200 - 500	Hasta -20% en Huánuco, Pasco y provincias de Yauli y Junín. +20% sobre el resto de la zona (Huancavelica)	100 - 500	+10% sobre gran parte de la zona. Hasta -10% sobre la parte sur de la provincia de Satipo	50 - 100	Hasta 20% sobre Huánuco, Huancavelica y norte de Ayacucho +10% sobre Pasco y Junín	50 - 300	Hasta +30% sobre Junín, Huancavelica y Ayacucho. Hasta -10% en Huánuco.
Sierra Sur	Occidental	100 - 200	Hasta - 20%	50 - 200	Hasta -20% sobre el sur de Ayacucho y Arequipa. Hasta +40%, especialmente en Moquegua.	5 - 10	Hasta -40% entre Arequipa y Tacna. Hasta +30% sobre el sur de Ayacucho y provincias de Aplao y Chivay	5 - 50	Hasta 20% sobre la parte media y -10% sobre las partes altas de Moquegua y Arequipa.
	Oriental	200 - 500	Hasta un -20% sobre Apurímac y parte occidental de Cusco +10% sobre la parte oriental del Cusco.	100 - 500	Hasta un 20% sobre Apurímac y las provincias de Anta y parte oeste de La Convención. +20% sobre Paucartambo y Cusco.	10 - 50	Incrementos hasta 30%	50 - 300	Incrementos hasta 20%
Altiplano		200 - 700	- 10%	100 - 700	Hasta + 20%	10 - 100	-10% en toda la zona a excepción de la zona límite con Cusco.	50 - 300	-10% en toda la zona, a excepción de la zona de límite con Cusco (+10%)

Tabla 21: Precipitación acumulada estacional proyectada al 2030, y la variación porcentual proyectada al año 2030 en relación al clima presente en la selva (°C)

Regiones		Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
		PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)	PP acum. anual	Δ(%)
Selva Norte		200 - 1500	Entre -10% y -20% gran parte de la zona. Hasta +10% zona norte y sur de la provincia de Maynas y Requena.	200-1000	Hasta +10% mayormente en toda la zona -10% sobre las provincias de Loreto y Alto Amazonas y parte oriental del Dpto. de San Martín.	100 - 700	Hasta -10% en toda la zona, a excepción de las provincias de Ríoja y Moyobamba (+10%)	200-1000	Hasta -10% zona occidental +10% sobre la zona oriental.
Selva Central	B A J A	200-1000	+10% (provincia de Atalaya y parte sur de la provincia de Coronel Portillo -10% norte de Pucallpa y la provincia de Purús	200 - 700	+ 10 %	100 - 200	- 10%	500	+ 10%
	A L T A	200-1000	-10% en toda la zona, a excepción de Junín (+ 10%)	500 - 700	+ 10%	100 - 200	- 10%	500 - 800	+ 10% sobre Pasco y Junín a excepción de Huánuco (-10%)
Selva Sur		500-2300	-10% en Madre de Dios +10% provincia de La Convención Cusco	200-1300	+ 10%	100 - 700	+10% sobre la prov. de Manú, Madre de Dios y La Convención -10% en Tambopata y Tiahuanamán.	200-1200	+10% sobre la provincia de Manú y la selva alta. -10% sobre la zona límite con Brasil.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se desarrolló en el marco de la Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático para apoyar los esfuerzos nacionales en el desarrollo y mejora de las capacidades nacionales, facilitando el proceso de integración de la temática del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y reducción de la pobreza a nivel nacional. En el presente Capítulo se hace mención de las principales conclusiones sobre el cambio climático en el Perú, basados en los resultados del análisis de información climática, determinación de índices y tendencias climáticas en los últimos cuarenta años y las proyecciones futuras al 2020 y 2030, habiéndose elaborado para ello escenarios de precipitación y temperaturas utilizando la técnica de downscaling dinámico, en la cual se requirió del análisis de las salidas de seis modelos globales de circulación general y del modelo regional RAMS, en el contexto del escenario extremo de emisión A2 del IPCC. Estas metodologías han sido desarrolladas en diversos estudios por el equipo de trabajo del Centro de Predicción Numérica del SENAMHI, en el marco de proyectos nacionales y regionales en coordinación con el Ministerio del Ambiente.

La generación de escenarios climáticos nacionales, así como la permanente coordinación con investigadores y especialistas de centros internacionales de reconocida trayectoria en estudios de cambio climático, como el CPTEC de Brasil, MPI de Alemania, MRI de Japón, entre otros, proporcionan al Servicio una sólida base para el desarrollo y generación de proyecciones futuras del clima regional como herramienta de base para el análisis de vulnerabilidad frente al cambio climático.

5.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente estudio son las siguientes:

5.1.1. Sobre las tendencias del clima actual

- Una de las principales limitaciones para obtener información, con mayor calidad y confiabilidad, sobre los cambios climáticos y extremos climáticos que están ocurriendo en las últimas décadas en el Perú, son la falta de datos observados, los que representan las interacciones complejas del sistema climático que presenta variaciones con diversos períodos de ocurrencia. Esta carencia se presenta por la baja densidad espacial de estaciones sobre la mayor parte de las regiones del Perú (pocas estaciones y mal distribuidas espacialmente) y con información relativamente corta (limita obtener tendencias lineales fortalecidas, en las que las oscilaciones de períodos largos, como las decadales, sean minimizadas), además de la necesidad de seleccionar temporalmente los datos para homogenizar la variabilidad y no obtener resultados tendenciosos, en que los análisis se restringen entre 1965 y 2006 (42 años).
- La precipitación total anual muestra incrementos (tendencia positiva) marcados sobre la costa norte del país, mientras que la selva norte presenta disminuciones (tendencias negativas) desde la década de 1960 hasta fines del siglo pasado. El análisis temporal de los últimos 40 años indica que mecanismos de circulación de gran escala modulan la precipitación en períodos, principalmente, decadales o mayores para estas regiones. En el caso de la variabilidad interanual, los eventos ENOS son los responsables, pero su incidencia es mínima, restringida a los eventos más intensos. Por otro lado, la sierra central y sur muestran una variabilidad interanual muy similar, pero con tendencias

opuestas, donde los eventos ENOS parecen ser la principal fuente dinámica que modula, con mayor intensidad, estas regiones.

- Las tendencias lineales de la temperatura máxima media anual y estacional muestran un predominio de valores positivos (aumento) sobre todo el territorio con valores de $+0.2$ °C/década en promedio y, en general, estos son estadísticamente significativos en las zonas altas del sur del Perú. También se observa que temperaturas máximas son afectadas por los eventos intensos del ENOS, generando anomalías positivas de diferente intensidad en todo el Perú, caracterizando la variabilidad interanual. Además, se observa evidencias de la posible modulación de estas temperaturas por oscilaciones mayores que la variabilidad interanual.
- Las tendencias anuales y estacionales de las temperaturas mínimas promedio son en su mayoría positivas con valores de $0,1-0,2$ °C/década, con excepción de varias estaciones que están localizadas en la parte norte del lago Titicaca. Las variaciones temporales muestran que el incremento o disminución de esta variable son graduales (monotónicas) en todo el período del presente análisis y se muestra nítidamente que estas temperaturas son moduladas por oscilaciones mayores que la interanual en mayor intensidad que las observadas en las temperaturas máximas. Además, la distribución temporal de la temperatura mínima muestra que estas temperaturas son afectadas por las fases del fenómeno ENOS, que altera la variabilidad interanual, dependiendo de su intensidad y la ubicación de la localidad donde se observa la temperatura. Es importante resaltar que las tendencias de las temperaturas mínimas medias incrementaron, en promedio, ligeramente en menor proporción que las temperaturas máximas.
- Las tendencias observadas de las temperaturas máxima y mínima, en promedio, en todo el Perú para los 41 años (1965-2006) analizados, es de $0,1$ °C/década a $0,2$ °C/década. Estos valores se encuentran dentro del rango calculado para todo el globo terrestre por el IPCC4, entre los años de 1981 a 2005, que es de $0,18$ °C/década. Como se indicó anteriormente, las tendencias de las temperaturas presentan valores regionales muy particulares que, posiblemente, además de la influencia antropogénica existen otras en algunas estaciones, como las islas de calor, debido al crecimiento de las ciudades y a alteraciones en las propiedades del suelo por alteraciones en el medio ambiente, como deforestación, etc.
- Entre las características de los índices de extremos de precipitación se destaca que la tendencia del índice de intensidad promedio (SDII) de la precipitación en la sierra central es la más homogénea respecto de la sierra norte y sur. También se observa que este índice de precipitación es influenciado por las características geográficas locales predominantes, como puede comprobarse en la distribución al oeste de la selva norte (San Martín). Igualmente, el índice de precipitación máxima registrada en un día (Rx1day), muestra que en la sierra norte y central siguen los patrones observados en las tendencias de los totales de precipitación. Por otro lado, el índice que indica la cantidad de precipitación acumulada en cinco días (RX5Day), registra que la región de la sierra central es la que a través de los años se está presentando la menos propicia para la ocurrencia de inundaciones y huaicos. Al contrario, la sierra norte y sur, particularmente, zonas altas de Arequipa y región centro oeste de Puno, son las que potencialmente podrían convertirse en regiones riesgosas para este tipo de eventos hidrológicos, principalmente la sierra norte, pues presenta un incremento de días extremadamente lluviosos.
- La tendencia del índice de los períodos secos (DD) no posee una dirección con características regionales coherentes, sino presenta patrones muy locales o restringidos a pequeñas regiones, donde algunos lugares dispersos sobre el Perú, presentan valores positivos significativos. Por otro lado, la tendencia del índice de los períodos lluviosos presenta un predominio de valores positivos en todo el país, además de presentar regiones con tendencias coherentes, como es el caso de la sierra norte. Esto indicaría que existe un incremento, aunque no estadísticamente significativo de días lluviosos, con días de precipitación acumulada diaria cada vez mayor, pero que la intensidad media es bastante dispersa en todo el territorio, desde que en algunos lugares disminuyó y en otros se incrementó, posiblemente debido a efectos orográficos propios de la región.

- Los índices de los extremos climáticos de las temperaturas, muestran una disminución de los días fríos y aumento de días cálidos en la mayoría de las estaciones indicadas en el presente trabajo, con excepción de la selva norte, donde esta peculiaridad es opuesta. La característica más sobresaliente de la tendencia del índice de número de días con heladas meteorológicas (FD) y las noches frías (TN10p) son la presencia de valores negativos (disminución de días con heladas) en las partes altas de Arequipa, contrastadas con las localizadas en las zonas adyacentes del Titicaca. Este patrón indica que las regiones más altas están cada vez más cálidas, lo cual es un problema para las regiones altoandinas, que aceleraría los deshielos de los nevados permanentes. Esto causaría en un primer momento un incremento de caudales y luego una disminución drástica que afectaría la agricultura y el agua para consumo humano en muchas regiones del Perú, donde la principal fuente de agua son los nevados permanentes. Por otro lado, el patrón del índice de noches cálidas (TN90p) muestra un incremento, con valores significativos en la sierra sur, pero sin características de bipolaridad observada entre las zonas adyacentes del Titicaca y las zonas altas de Arequipa. Aparentemente, los valores de temperaturas mínimas son dañados por el efecto térmico del lago Titicaca. Este aspecto es necesario profundizar con estudios regionales, donde incluso se considere la variabilidad interanual y de largo plazo (caso exista) de la temperatura del lago.
- Las sequías, uno de los fenómenos hidrometeorológicos más complejos que causan efectos nocivos contra la sociedad, son analizadas desde un punto de vista práctico, debido a las limitaciones de información. Las sequías más intensas ocurridas en el período de estudio (1965-2006) se presentaron en la fase positiva del fenómeno ENOS, alterando la distribución normal de las precipitaciones sobre varias regiones del Perú. Pero es necesario enfatizar que existen eventos de sequías que no están relacionados con los eventos ENOS, como son los casos de 1980 y 1990, u otro como el evento cálido del ENOS de 1997/98 que no originó sequías. Estas características conducen a la necesidad de realizar estudios más amplios, enfatizando características locales, determinando, si es posible, efectos de circulación en escala regional y/o de escala sinóptica con la variabilidad de la circulación de gran escala. Se debe enfatizar que durante el período de estudio no se han observado tendencias, sea de incremento o disminución, de eventos de sequías, sino fluctuaciones en sus valores medios con poca persistencia.
- Una característica muy peculiar encontrada en los análisis de sequías se observa en la región de la selva, donde se registra la mayor frecuencia de sequías moderadas, severas y extremas en la escala meteorológica y agrometeorológica. Esto se debe probablemente a la baja variabilidad del ciclo hidrológico, con precipitaciones máximas, relativamente altas en la distribución mensual, registrando menos períodos secos y/o meses con baja precipitación, que luego del ajuste a la distribución normal, los valores mínimos, son considerados como extremos. En la sierra sur, la mayor frecuencia de sequías en las tres escalas son las moderadas, seguida de las severas. Las sequías en la escala anual (hidrológica), en las tres intensidades, no presentan patrones regionales, sino características muy locales, que están distribuidas en la sierra norte y extremo de la sierra sur. Estos lugares, posiblemente presenten este comportamiento porque son zonas con poca precipitación que registran ciertas características que se asemejan a regiones áridas.
- La causas físicas de las sequías determinadas, durante el período lluvioso (setiembre-marzo), por medio de teleconexiones (correlaciones) entre los patrones de circulación de gran escala (ENOS, PDO y TSA-TNA) y los índices de precipitación sobre el Perú, muestran variación estacionalmente en intensidad y, por lo menos, en una estación del año el patrón de correlaciones cambia de signo en alguna región. Esta característica se aprecia con más nitidez en los patrones de correlación con las anomalías de El Niño 3.4, en el cual, el verano y otoño son inversos al de primavera (inicio del período lluvioso) en la sierra sur del Perú, aunque en la sierra norte persiste el mismo el signo. Las características de distribución espacial de actuación de estos patrones de teleconexiones permiten identificar tres regiones con peculiaridades muy particulares de ocurrencia de sequías: la sierra sur, centrados entre las zonas altas de Arequipa y Puno, que se extienden hasta la sierra central, la costa y sierra norte, que en algunos casos se prolongan hacia la selva norte y la sierra central, que es considerada una región de transición que recibe influencias de las otras dos regiones.

- Un resumen de la actuación del ENOS en la distribución espacio/temporal de la precipitación puede delimitarse del siguiente modo: al inicio de la estación lluviosa las anomalías positivas de El Niño 3,4 producen precipitaciones mayores que la normal sobre la mayor parte del Perú, con excepción de la zona de transición (sierra central), luego se invierte en las otras dos estaciones astronómicas y sigue un patrón de déficits de precipitación en la sierra sur, que se extiende hasta la sierra central, mientras en la costa y sierra norte se presentan precipitaciones mayores que las normales.
- Los resultados de los análisis multivariados de las Componentes Principales de las sequías sobre el territorio peruano, muestran dos patrones espacio/temporales de ocurrencia de sequías con características bien definidas. Un patrón que abarca todo el territorio, centrado en la sierra sur (Arequipa y Puno) y extendiéndose hacia la sierra central (Huancavelica y Lima), caracterizado por presentar ciclos anuales intensos y conspicuos, además de ciclos bienales esporádicos (2-3 años) que son parte del espectro de la oscilación de frecuencia alta del fenómeno ENOS, que están modulados por variaciones decadales muy intensas. Un ejemplo de este patrón es la sequía registrada en 1991/92. El segundo patrón se caracteriza por presentar sequías muy intensas centradas en la sierra sur (Puno) y se expanden hacia la sierra central y selva norte, mientras en el resto del Perú el comportamiento es opuesto, con abundantes precipitaciones, centradas en la sierra norte, que se extienden por la vertiente occidental de los Andes hasta la sierra central. Este patrón también presenta ciclos anuales conspicuos, aparentemente complementarios al del primer patrón, algunas oscilaciones bienales no muy intensas y principalmente una oscilación de 3-7 años (espectro de oscilación de baja frecuencia del ENOS) durante todo el período de estudio, con valores intensos en la década de 1980. Las sequías ocurridas en 1982/83 fueron moduladas por este patrón y, también, este patrón estuvo asociado con la oscilación bienal de 1997/98 que configuró un evento cálido del ENOS, pero que no originó sequías típicas de estos eventos.
- La distinción entre los tipos de sequías y la intensidad con la que actuaron en el territorio peruano durante el período del presente estudio (1965-2006) revelan que las sequías más intensas ocurrieron en el período lluvioso 1991/92. Un conjunto de características desfavorables parece que actuaron en conjunto en este período: además de la ocurrencia de la fase cálida del ENOS, modulada por la Oscilación Decadal del Pacífico, también fue acondicionada por el patrón de las temperaturas del Atlántico tropical, adversos para la ocurrencia de lluvias sobre el Perú. También, durante el período lluvioso de 1982/83, los patrones de las sequías agrometeorológicas e hidrológicas fueron las más intensas y las que se presentaron con menor frecuencia. Por último, el evento ENOS 1997/98, asociado a una oscilación bienal muy intensa, con una débil modulación del ciclo de 3-7 años, causó sequías muy débiles en gran parte del territorio, salvo en lugares muy dispersos de la sierra y selva norte las sequías llegaron a ser moderadas o severas. En conclusión, es posible detectar los mecanismos de actuación de los diversos patrones de circulación de gran escala que generan las sequías en el Perú, particularmente los relacionados a los eventos cálidos del ENOS, que es el principal fenómeno que genera estas anomalías. Estos mecanismos asociados a diversos patrones de circulación no actúan en forma independiente, sino de forma muy compleja, principalmente porque la amplitud y período de oscilación de cada uno de ellos son diferentes y la interacción no lineal de estos hace que los patrones de precipitación sobre el Perú tengan una respuesta diferente para cada evento del ENOS.
- Los resultados, a pesar de los problemas de la falta de información, son satisfactorios y servirán como base para estudios posteriores de evaluación de riesgo y vulnerabilidad climáticos, útiles para procesos de planificación y adaptación al cambio climático. También, es necesario, entre estas particularidades, contar con una red de observación hidrometeorológica planificada exclusivamente para realizar monitoreo climático permanente, lo cual podrá mejorar el conocimiento de muchas lagunas aún desconocidas sobre la variabilidad climática en el Perú, en las diferentes escalas, tanto espaciales como temporales.

5.1.2 Sobre las proyecciones del clima al 2030

- La proyección anual al 2030 de la temperatura máxima es de 1,6 °C respecto a su climatología actual en casi todo el territorio.
- Estacionalmente la temperatura máxima sobre la región de la costa al 2020 y 2030 mostraría variaciones positivas más intensas en el período de invierno (JJA) y primavera (SON), con valores de +1,2 a +2,0 °C y de +1,2 a +1,6 °C, respectivamente, principalmente en el extremo norte costero. Las variaciones más importantes en la región sierra, se presentarían en las estaciones de otoño (MAM) e invierno (JJA) de hasta +1,6 °C, principalmente en la sierra sur oriental en otoño y en la sierra nororiental y sierra central oriental durante el invierno. En la zona del Altiplano las variaciones no son muy significativas, excepto en otoño con valores de hasta +1,2 °C. En la región de la selva las variaciones más intensas se presentarían durante la estación de primavera (SON), principalmente sobre la selva norte, con valores de hasta 2,4 °C, en las otras estaciones las variaciones se presentarían valores de hasta +1,6 °C. En la selva sur los períodos de mayores variaciones se darían en invierno y primavera, con valores de hasta +1,6 °C. En la selva central las variaciones no son muy marcadas, excepto la selva central baja durante la estación de verano (DEF) con valores de hasta +1,2 °C.
- La temperatura mínima del aire cercana a la superficie al 2030 aumentaría en el país respecto al clima actual entre 0,4 y 1,4 °C, principalmente en el sector de la costa y selva norte (Piura, Chiclayo y al este de Iquitos), sector central (Cerro de Pasco, Huancayo, Huancavelica) y parte del sector sur andino (Ayacucho, Abancay).
- Se proyecta que al 2030 en la región de la selva el área de temperaturas mínimas de 22-24 °C configuraría mayor amplitud espacial. En la costa, el área de 20-22 °C presentaría reducción, respecto al 2020. En el Altiplano andino las temperaturas aumentarían hasta en 1,2 °C al 2020.
- A nivel estacional, los mayores cambios de la temperatura mínima al 2030 se proyectan en la estación de otoño e invierno, con aumentos sustanciales hasta de 2 °C, respecto al clima actual; principalmente en Chiclayo, Chimbote y al noreste de Iquitos. En tanto, en la estación de primavera llegarían hasta 1,2 °C (Piura, Chiclayo, al noroeste de San Martín y al este de Iquitos) y en verano hasta 1,6 °C (extremo norte costero, al noreste de Moyabamba, sierra central, Cusco y noreste de Abancay y al sur de Ayacucho).
- Para el 2020 y 2030 no se evidencian grandes cambios en la distribución espacial de las lluvias y están muy relacionadas a su climatología. Las precipitaciones anuales para el 2030 muestran deficiencias mayormente en la sierra entre -10 y -20% y en la selva norte y central (selva alta) de hasta -10%. Los incrementos más importantes se presentarían en la costa norte y selva sur entre +10% a +20%.
- A nivel estacional se presentarían irregularidades en el comportamiento de las lluvias, siendo significativas las deficiencias en gran parte del país en la estación del verano, mientras en el otoño las lluvias se presentarían por encima de sus valores normales. En invierno y primavera se alterna incrementos y deficiencias en la distribución espacial entre -30 y + 20% sobre sus promedios.
- También existiría una marcada tendencia al incremento de los días cálidos a nivel nacional, siendo más intenso en la sierra sur del territorio. Con respecto a las noches cálidas, no existe un patrón sino un comportamiento regionalizado, donde en gran parte de la costa se tendería a la disminución, mientras que en la sierra se tiende al incremento, siendo consistente con la proyección de los cambios positivos en la temperatura mínima al 2030 y con la tendencia actual de aumento de noches cálidas, principalmente en la sierra sur. En el caso de las precipitaciones máximas para el 2030, la tendencia es a la disminución en gran parte del país y sólo en forma localizada se incrementarían respecto a los valores actuales.

5.2 RECOMENDACIONES

Se ha observado la deficiencia de información climática en importantes zonas del país, por ello es necesario recopilar mayor cantidad de información de estaciones privadas que tengan registros con períodos largos de información, verificar la calidad de estas con la finalidad de complementar el análisis desarrollado en el presente trabajo y explicar de manera más plausible las características decadales y multidecadales que modulan el clima de largo plazo en el Perú, así como fomentar la implementación de un mayor número de estaciones que permitan, en el mediano plazo, contar con series climáticas suficientes para cubrir la mayor parte del país. Esto ayudará a tener un conocimiento mayor y claro del efecto de estas oscilaciones en el clima actual y en los futuros escenarios climáticos. También, la información de este sistema permitiría evaluar y mejorar el entendimiento de los procesos físicos climáticos e identificar los procesos de retroalimentación y, principalmente, en un futuro cercano servir de base para determinar, mediante los modelos climáticos, la proporción de la variabilidad de largo plazo atribuida a los efectos antropogénicos en varias regiones del Perú.

Una variable que necesita ser evaluada imprescindiblemente, conforme las demás variables climáticas, son las series temporales de las descargas de ríos. Esta variable hidrológica provee información muy importante en el ámbito de una cuenca, porque las descargas son una medida indirecta de la precipitación de toda la cuenca y de los diversos procesos hidrometeorológicos que ocurren dentro de ella. Además, los cambios ocurridos en las series históricas de las descargas, a través de los años, son fuente de información que involucra factores antropogénicos de los cambios del clima como los cambios de uso del suelo en términos globales de toda la cuenca. Así, los análisis de esta variable son necesarios que formen parte de todo estudio relacionado al cambio climático, ya que permite generar información relevante para el tema de la seguridad energética del país.

Es necesario tener presente que los resultados obtenidos en el análisis de tendencias e indicadores son representativos de las estaciones utilizadas y no pueden ser interpolados para escalas menores y presentadas como mapas con distribuciones continuas, los que son obtenidos con una mayor densidad de información. Esto es debido a que las características geográficas regionales de mesoescala (cientos de km) que modulan el día a día de las condiciones de tiempo y clima local y/o regional, no son capaces de revelar las verdaderas condiciones de lugares donde no hay información, aún cuando estas interpolaciones consideren la altitud y la latitud, simplemente porque no llevan consigo la información física adecuada que considere los efectos de la orientación de los valles, circulaciones de mesoescala, propiedades físicas del suelo, entre otros.

Es importante la toma de medidas y acciones para disminuir la vulnerabilidad de las áreas que muestran mayor incidencia de sequías, con cambios de tecnologías y políticas gubernamentales. Esto se hace indispensable ante la evidencia de los cambios del clima observados en los últimos cuarenta años y que en el contexto del cambio climático podrían amplificarse las vulnerabilidades de ciertos sectores socioeconómicos. El análisis de sequías en la selva norte, identificada como tal por la metodología utilizada, debe ser examinado con cuidado, ya que a pesar de que su impacto en las actividades socioeconómicas no es percibido como tal y podría sí estar causando alteraciones en otro nivel de análisis como en los ecosistemas amazónicos.

Al considerar las limitaciones de la información histórica disponible, y conociendo además que existen incertidumbres inherentes al modelo y a las proyecciones climáticas, los resultados del presente estudio deben ser considerados solo como una aproximación del clima futuro, haciéndose énfasis en las tendencias identificadas más que en los valores absolutos, las cuales nos indican las posibles tendencias que tomarían en las próximas décadas la precipitación y las temperaturas extremas y en base a estas tendencias evaluar las vulnerabilidades al cambio climático y tomar medidas de prevención ante la evidencia de la intensificación de los extremos climáticos, como están proyectados en el presente documento técnico.

BIBLIOGRAFÍA

re, C. A.
mulated
ch Insti-
rforme

nergética
lad Ener-
olegio

Alves, L. M., Pesquero, J. F., Marengo, J. A., Nobre, C. A. (2008): Future changes in climate over Brazil as simulated by 20km mesh MRI-JMA (Meteorological Research Institute and Japan Meteorological Agency) AGCM. Informe presentado al MRI.

Avalos, G., 2008: Cambio climático y seguridad energética en el Perú. En: Chiri A. F. y Luyo J. E., La Seguridad Energética, un reto para el Perú en el Siglo XXI. Eds. Colegio de Ingenieros del Perú, 256 – 281.

Bradley, R. S.; Keimig, F. T.; Diaz, H. F. (2004): Projected temperatura changes along the American cordillera and the planned GCOS network. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L16210, doi: 10.1029/2004GL020229.

Bradley, R. S.; Vuille, M.; Diaz, H. F.; Vergara, W. (2006): Threats to wáter supplies in the Tropical Andes. *Science*, 312, 5781, 1755-1756.

Frich, P., Alexander L. V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Tank AMGK and Peterson T. 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.

Garreaud, R. D., Aceituno, P., 2007: Atmospheric circulation over South America: Mean features and variability. Chapter 2 in *The Physical Geography of South America*. Eds. Oxford University Press.

Hewitson, B.C. and R.G. Crane, 1996: Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, 7, 85-95.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R.; SMITH, R.A. (1982). "Nonparametric tests for trend in water quality". *Water Resources Research*, 18: 107-121.

Hulme, M. and Lu, X., 2000: How to factor interannual climate variability into Climate Scenaríos. A note prepared for the DETR Fast-Track Impacts Group.

Hyndman, R.J., y Y. Fan, 1996. "Sample quantiles in statistical packages". *The American Statistician*, 50, 361-367.

IPCC, 2001: Tercer Informe de Evaluación. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. J. T. Houghton et al. Eds., Cambridge University Press, UK, 881 pp.

IPCC, 2007: Cuarto Informe de Evaluación. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Alley, R. et al. Eds., Cambridge University Press, UK.

Kendall, M.G., 1975: "Rank correlation methods", 4th Ed., Charles Griffin, London.

Kousky, V., Higgins, R., 2007: An Alert classification System for Monitoring and Assessing the ENSO Cycle. *Weather and Forecasting*. 22, 353 -371.

Lenderink G.; Buishand A. y Deursen W., 2007: Estimates of future discharges of the river Rhine using two escenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(3), 1145-1159.

Mann, H.B., 1945: Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-249.

- Marengo, J., Obregón, G. y Valverde, M., 2007: Elaboración de escenarios climáticos para la Región Arequipa. "Medidas Piloto de Adaptación al Cambio climático en el Perú". GTZ.
- Mark, B. G., 2007: Tracing Tropical Andean Glaciers, over space and time: some lessons and transdisciplinary implications, *Global Planet Change*.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J. e Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on Applied Climatology, 8, Boston. American Meteorological Society, Boston: PREPRINTS, 1993. p.179 – 184.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J. e Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple times scales. In: Conference on Applied Climatology, 9, Boston. American Meteorological Society, Boston: PREPRINTS, 1995. Pp. 233 – 236.
- Ministerio de Energía y Minas, 1998. Estudio de evaluación ambiental territorial y de planeamiento para la reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa (Online).
- Miro, J. J.; Estrela, M. J. (2004): Tendencia de la temperatura en los meses de julio y agosto en la comunidad Valenciana en las últimas décadas: Cambio en la frecuencia de días calurosos. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, Nº 4, Santander, 389-398.
- Morales-Arno, B., 1998. Glaciers of Peru. In: Williams, R.S., Jr., and Ferrigno, J.G., eds., *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386 (Glaciers of South America)*.
- Nakicenovic, N. and Swart, R., 2000. Emissions Scenarios. 2000, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Nobre, C. A.; Sampaio, G.; Salazar, L. F.; (2007): Mudanças climáticas e Amazonia. *Ciencia e Cultura (SBPC)*, v.59, p 22-27.
- Obregón, G. O., Marengo J. A. 2006: Tendencias y Variabilidad de la Precipitación en el Perú. Variabilidad Climática y Cambio climático, Impacto en el logro de las metas del milenio. IV Encuentro RUPSUR 2006. Santiago de Cali, Colombia. 8-10 de noviembre de 2006.
- Pielke et al., 1992. A Comprehensive Meteorological modeling System RAMS. *Meteorol. Atmos. Phys.* 49, 69-9.
- Ponce de León, R. G. 2000: Perú: visión global y de síntesis. Auge Editores SA. Lima – Perú.
- Pouyaud, B., Zapata, M., Yerren, J., Gómez, J., Rosas, G., Suárez, W., and Ribstein, P. (2005). Avenir des ressources en eau glaciaire de la Cordillère Blanche. *Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques* 50, 999-1021.
- Quinn, W. H. y Neal, V. T. 1992. The Historical record of El Niño events. in *Climate since AD 1500*, R. S. Bradley, P. D. Jones, Eds. (Routledge, London, 1992), pp. 623-648.
- Rajagopalan, B., Y. Kushnir, and Y. M. Tourre (1998), Observed Decadal Midlatitude and Tropical Atlantic Climate Variability, *Geophys. Res. Lett.*, 25(21), 3967–3970
- Sanabria, J., y Zevallos L., 2006: tendencias térmicas y pluviométricas indicadores de un cambio climático en la sierra sur y zonas costeras del Perú de 1960 al 2006 (estudio diagnóstico). Estudio técnico del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, s/p.
- Sen, P.K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.

SENAMHI y OSE, 1986. Boletín Agroclimático del Perú. Proyecto PADI – EIA. Características climáticas por departamentos.

SENAMHI, 1988: Mapa de Clasificación Climática del Perú. Método de Thornthwaite. Eds. SENAMHI Perú, 50 pp.

SENAMHI, 2005: Climate change scenarios in Peru to 2050: Piura river basin. Autores: Rosas G., Díaz A., Ávalos G., Oria C., Acuña D., Cornejo A., Metzger L., Fano G., Carrillo M., Miguel R., PROCLIM. Eds. SENAMHI Perú, 170 pp.

SENAMHI, 2007: Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro para el año 2100. Autores: Ávalos G., Díaz A., Oria C., Acuña D., Metzger L., Rosas G. y Miguel R., PRAA. Eds. SENAMHI Perú, 124 pp.

SENAMHI, 2008: Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030. Autores: Obregón G., Díaz A., Rosas G., Ávalos G., Acuña D., Oria C., Metzger L., Llacza A. y Miguel R., Eds. SENAMHI – MINAM, Perú, 100 pp.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Vincent, L.A., T.C. Peterson, V.R. Barros, M.B. Marino, M. Rusticucci, G. Carrasco, E. Ramirez, L.M. Alves, T. Ambrizzi, M.A. Berlato, A.M. Grimm, J.A. Marengo, L. Molion, D.F. Moncunill, E. Rebello, Y.M.T. Anunciação, J. Quintana, J.L. Santos, J. Baez, G. Coronel, J. Garcia, I. Trebejo, M. Bidegain, M.R. Haylock, D. Karoly: Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18: 5011-5023. 2005.

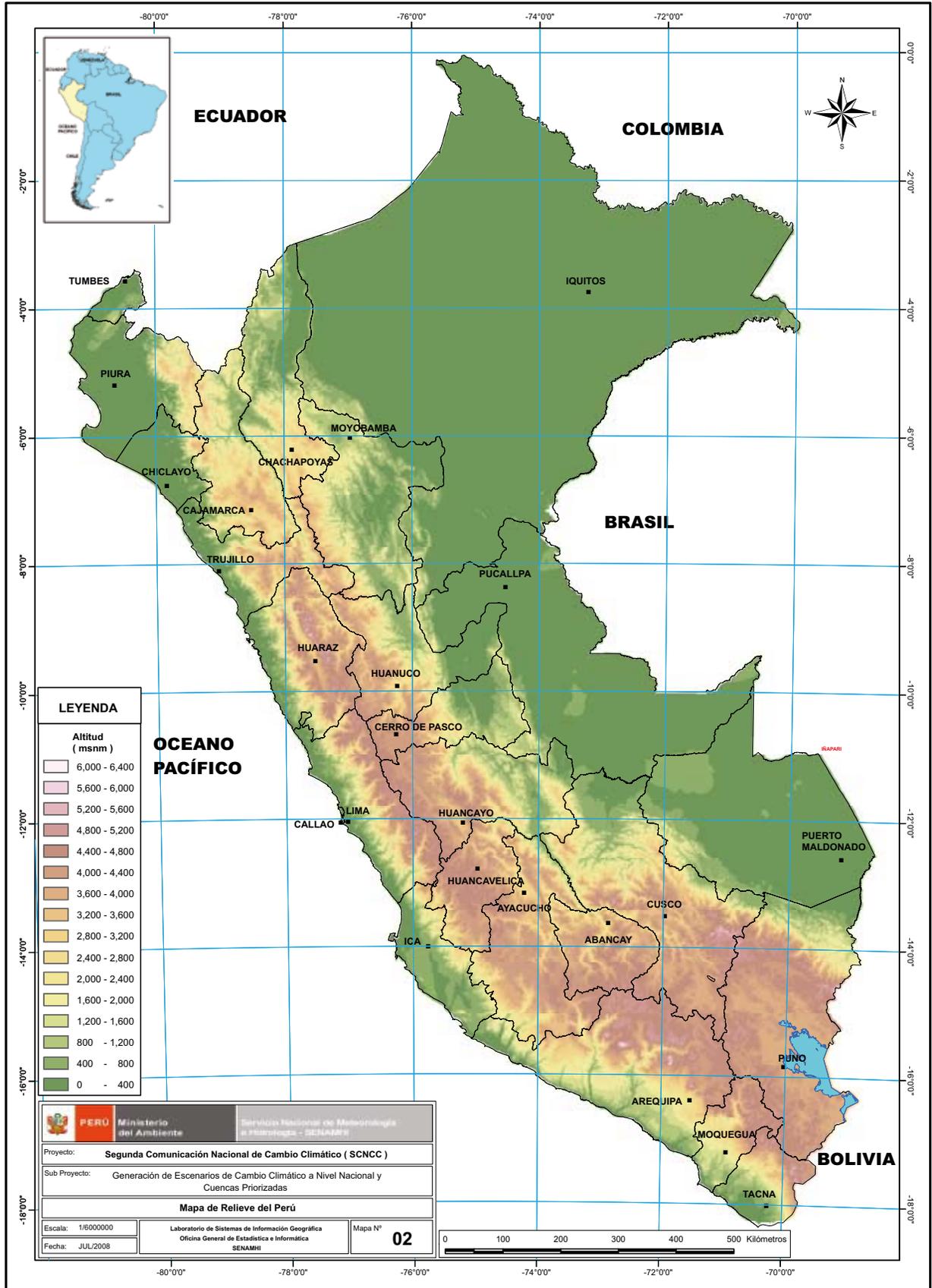
Vuille, M., 2007: Climate change in the Tropical Andes – Impacts and consequences for glaciation and water resources. Part I, II and III. A report for CONAM and the World Bank.

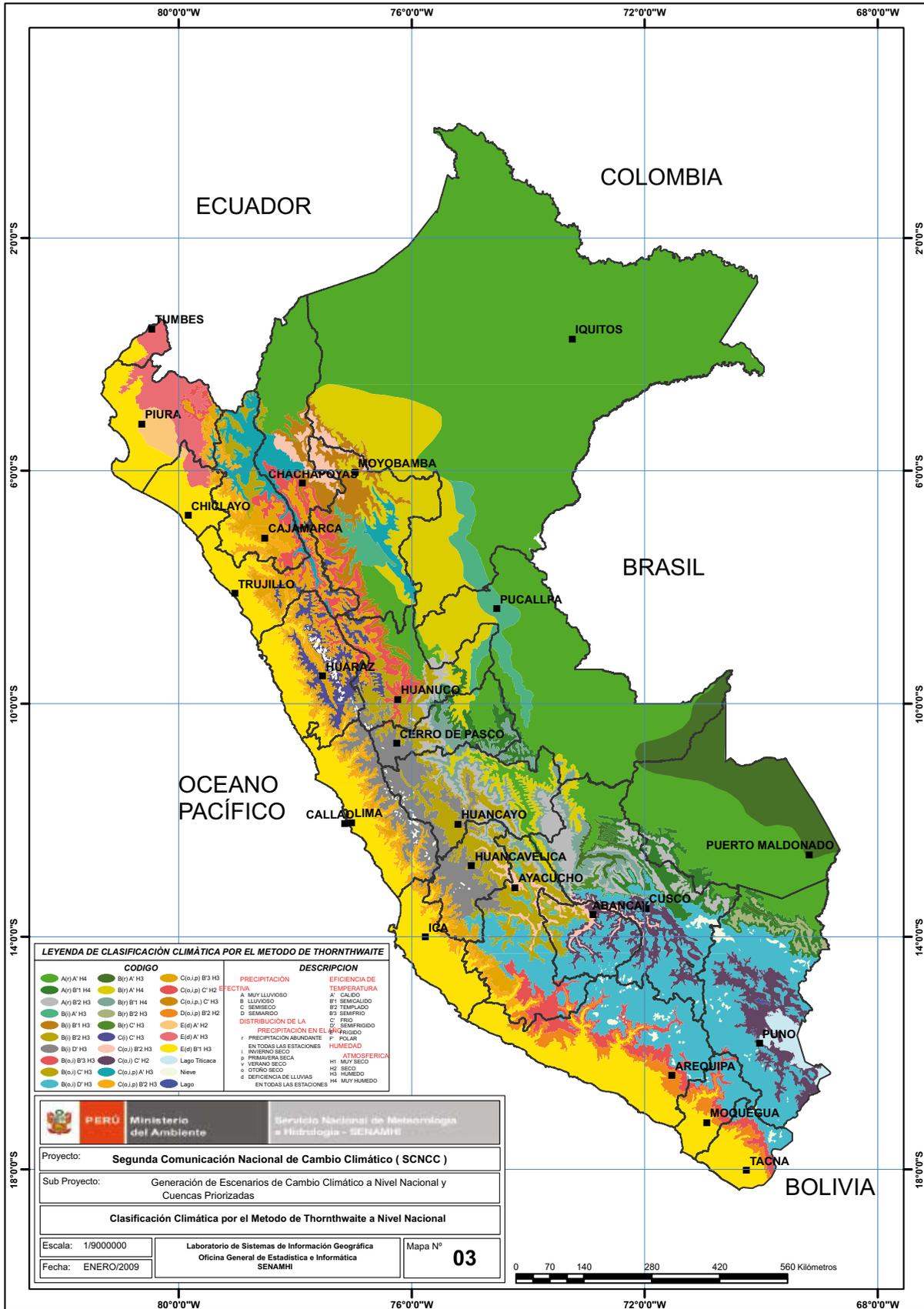
APÉNDICE 1

RED HIDROMETEOROLÓGICA MAPAS DE RELIEVE Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

N° de Mapa	Nombre de Mapa
Mapa N° 1	Mapa de red hidrometeorológica a nivel nacional
Mapa N° 2:	Mapa de relieve
Mapa N° 3:	Mapa de clasificación climática del Perú



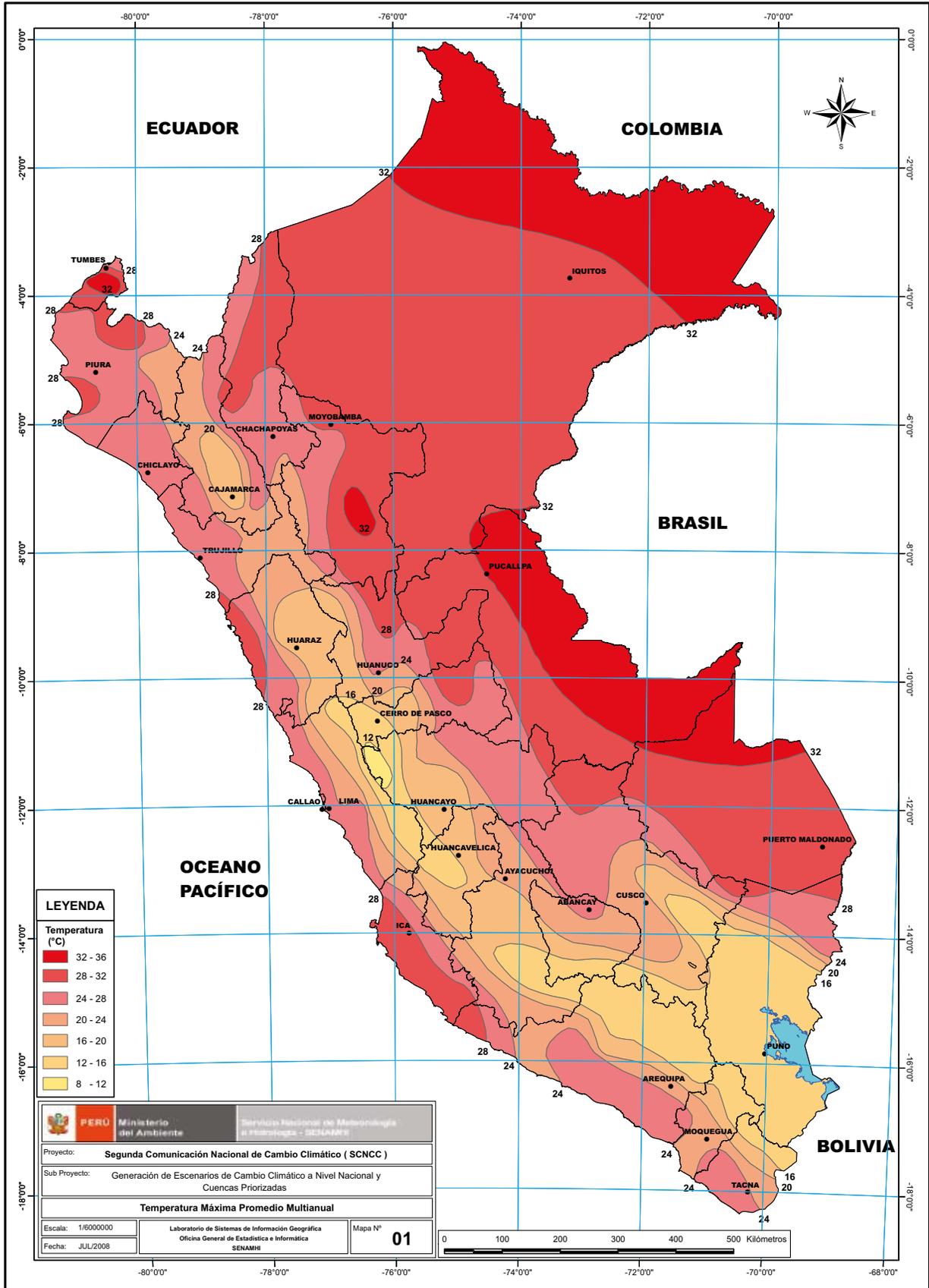


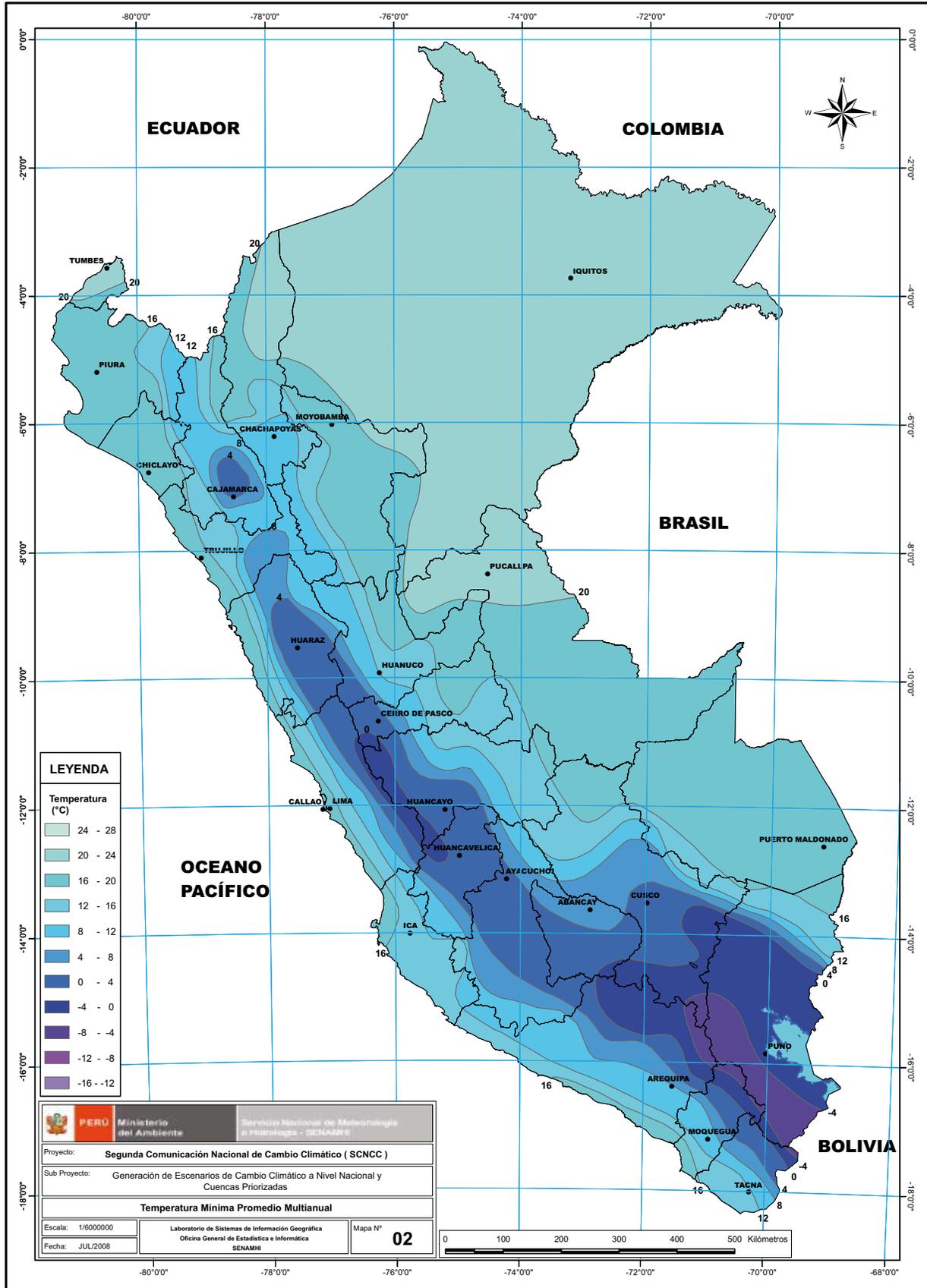


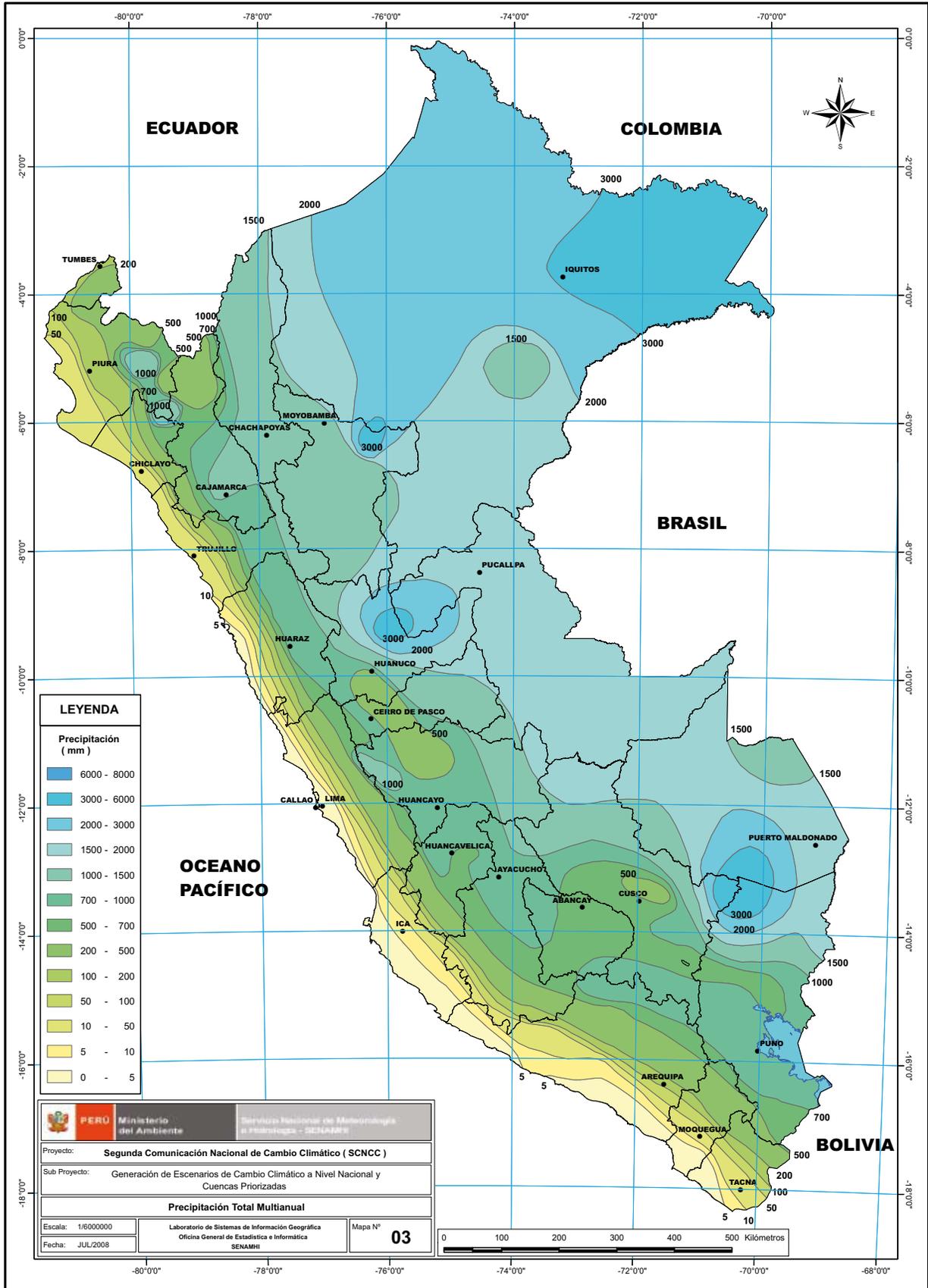
APÉNDICE 2

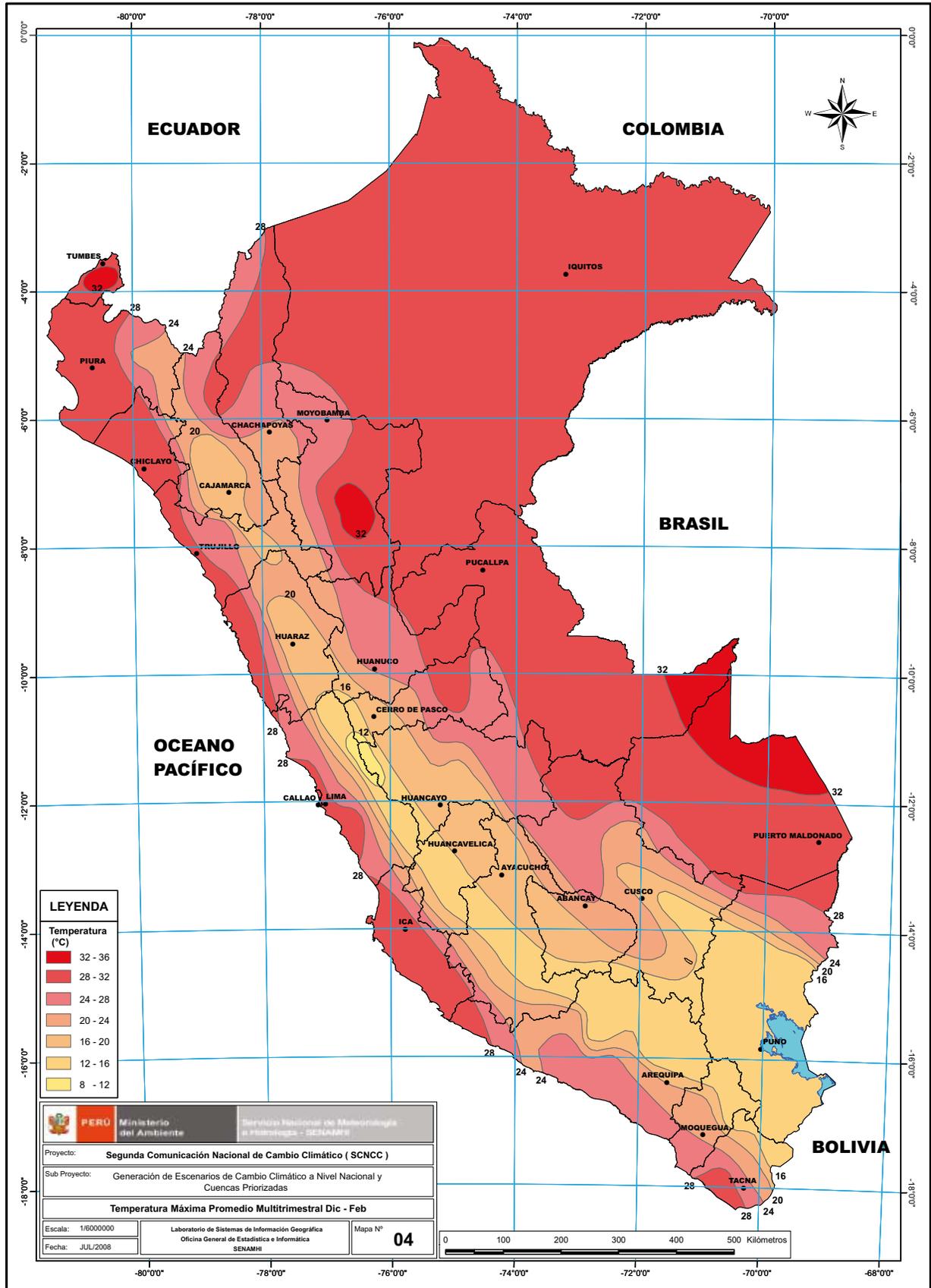
MAPAS DE PROMEDIOS MULTIANUALES EVENTOS EXTREMOS Y TENDENCIAS ACTUALES

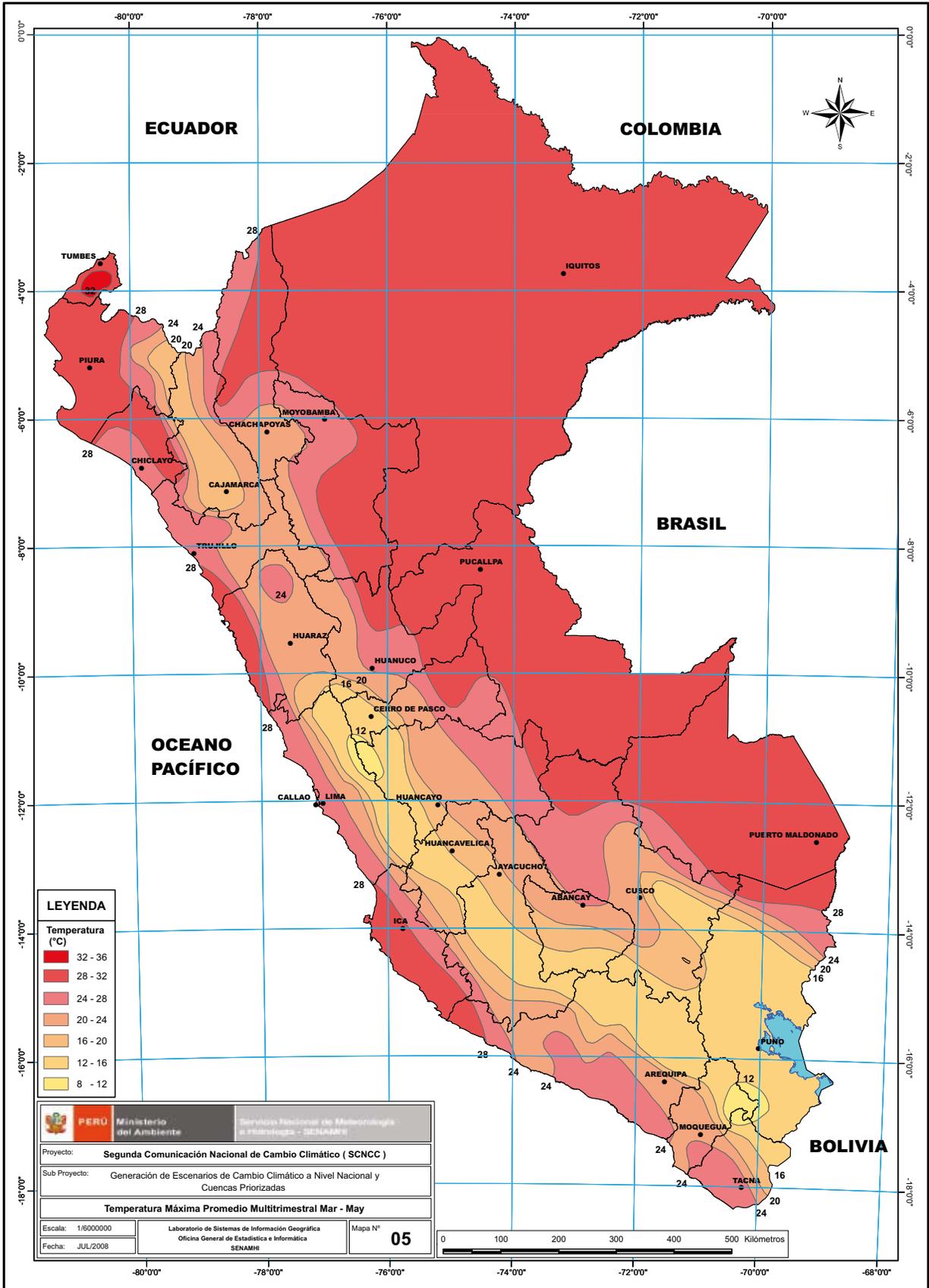
N° de Mapa	Nombre de Mapa
Mapa N° 1:	Temperatura máxima promedio multianual
Mapa N° 2:	Temperatura mínima promedio multianual
Mapa N° 3:	Precipitación total multianual
Mapa N° 4:	Temperatura máxima promedio multitrimestral diciembre-febrero
Mapa N° 5:	Temperatura máxima promedio multitrimestral marzo-mayo
Mapa N° 6:	Temperatura máxima promedio multitrimestral junio-agosto
Mapa N° 7:	Temperatura máxima promedio multitrimestral setiembre-noviembre
Mapa N° 8:	Temperatura mínima promedio multitrimestral diciembre-febrero
Mapa N° 9:	Temperatura mínima promedio multitrimestral marzo-mayo
Mapa N° 10:	Temperatura mínima promedio multitrimestral junio-agosto
Mapa N° 11:	Temperatura mínima promedio multitrimestral setiembre-noviembre
Mapa N° 12:	Precipitación promedio multitrimestral diciembre-febrero
Mapa N° 13:	Precipitación promedio multitrimestral marzo-mayo
Mapa N° 14:	Precipitación promedio multitrimestral junio-agosto
Mapa N° 15:	Precipitación promedio multitrimestral setiembre-noviembre
Mapa N° 16:	Temperatura máxima promedio junio 1982 - mayo 1983 (El Niño 1982/83)
Mapa N° 17:	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero (El Niño 1982/83)
Mapa N° 18:	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo (El Niño 1982/83)
Mapa N° 19:	Temperatura máxima promedio del trimestre junio-agosto (El Niño 1982/83)
Mapa N° 20:	Temperatura máxima promedio del trimestre setiembre-noviembre (El Niño 1982/83)
Mapa N° 21:	Temperatura mínima promedio junio 1982 - mayo 1983 (El Niño 1982/83)
Mapa N° 22:	Temperatura mínima promedio del trimestre diciembre-febrero (El Niño 1982/83)
Mapa N° 23:	Temperatura mínima promedio del trimestre marzo-mayo (El Niño 1982/83)
Mapa N° 24:	Temperatura mínima promedio del trimestre junio-agosto (El Niño 1982/83)
Mapa N° 25:	Temperatura mínima promedio del trimestre setiembre-noviembre (El Niño 1982/83)
Mapa N° 26:	Precipitación acumulada junio 1982 - mayo 1983 (El Niño 1982/83)
Mapa N° 27:	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero (El Niño 1982/83)
Mapa N° 28:	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo (El Niño 1982/83)
Mapa N° 29:	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto (El Niño 1982/83)
Mapa N° 30:	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre (El Niño 1982/83)
Mapa N° 31:	Temperatura máxima promedio junio 1988 - mayo 1989 (La Niña 1988/89)
Mapa N° 32:	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero (La Niña 1988/89)
Mapa N° 33:	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo (La Niña 1988/89)
Mapa N° 34:	Temperatura máxima promedio del trimestre junio-agosto (La Niña 1988/89)
Mapa N° 35:	Temperatura máxima promedio del trimestre setiembre-noviembre (La Niña 1988/89)
Mapa N° 36:	Temperatura mínima promedio junio 1988 - mayo 1989 (La Niña 1988/89)
Mapa N° 37:	Temperatura mínima promedio del trimestre diciembre-febrero (La Niña 1988/89)
Mapa N° 38:	Temperatura mínima promedio del trimestre marzo-mayo (La Niña 1988/89)
Mapa N° 39:	Temperatura mínima promedio del trimestre junio-agosto (La Niña 1988/89)
Mapa N° 40:	Temperatura mínima promedio del trimestre setiembre-noviembre (La Niña 1988/89)
Mapa N° 41:	Precipitación acumulada junio 1988 - mayo 1989 (La Niña 1988/89)
Mapa N° 42:	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero (La Niña 1988/89)
Mapa N° 43:	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo (La Niña 1988/89)
Mapa N° 44:	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto (La Niña 1988/89)
Mapa N° 45:	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre (La Niña 1988/89)
Mapa N° 46:	Temperatura máxima promedio junio 1997 - mayo 1998 (El Niño 1997/98)
Mapa N° 47:	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero (El Niño 1997/98)
Mapa N° 48:	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo (El Niño 1997/98)
Mapa N° 49:	Temperatura máxima promedio del trimestre junio-agosto (El Niño 1997/98)
Mapa N° 50:	Temperatura máxima promedio del trimestre setiembre-noviembre (El Niño 1997/98)
Mapa N° 51:	Temperatura mínima promedio junio 1997 - mayo 1998 (El Niño 1997/98)
Mapa N° 52:	Temperatura mínima promedio del trimestre diciembre-febrero (El Niño 1997/98)
Mapa N° 53:	Temperatura mínima promedio del trimestre marzo-mayo (El Niño 1997/98)
Mapa N° 54:	Temperatura mínima promedio del trimestre junio-agosto (El Niño 1997/98)
Mapa N° 55:	Temperatura mínima promedio del trimestre setiembre-noviembre (El Niño 1997/98)
Mapa N° 56:	Precipitación acumulada junio 1997 - mayo 1998 (El Niño 1997/98)
Mapa N° 57:	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero (El Niño 1997/98)
Mapa N° 58:	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo (El Niño 1997/98)
Mapa N° 59:	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto (El Niño 1997/98)
Mapa N° 60:	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre (El Niño 1997/98)

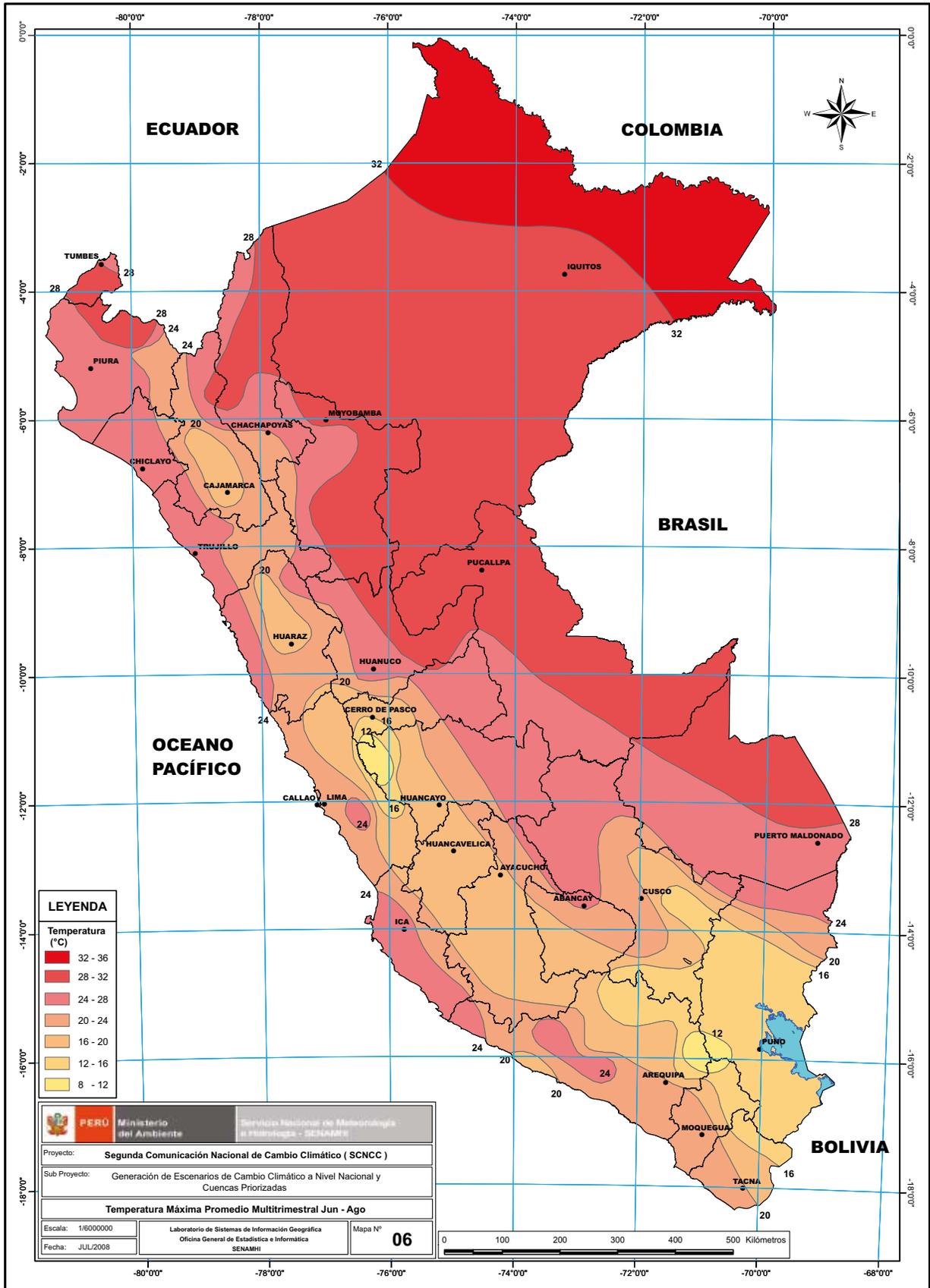


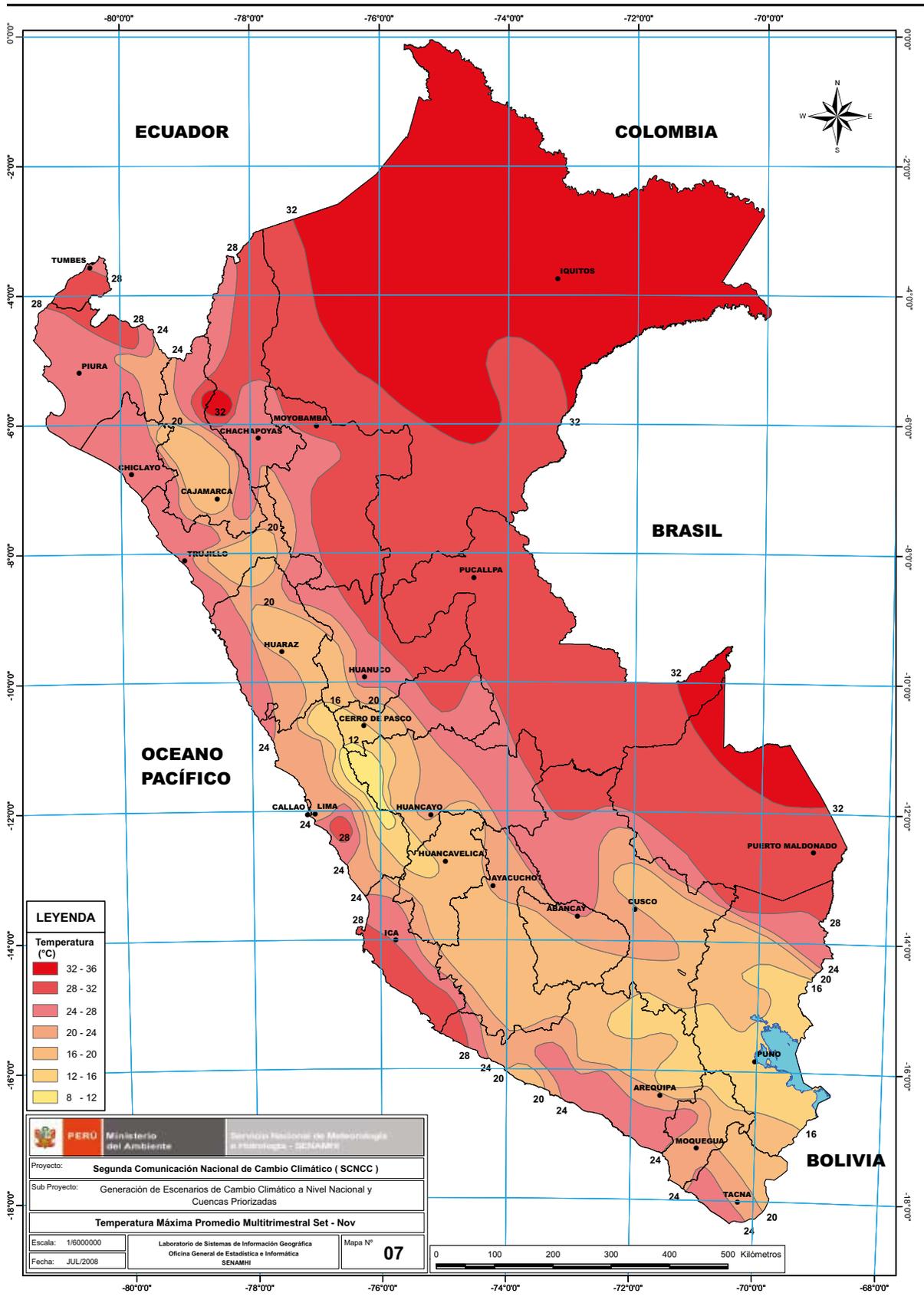


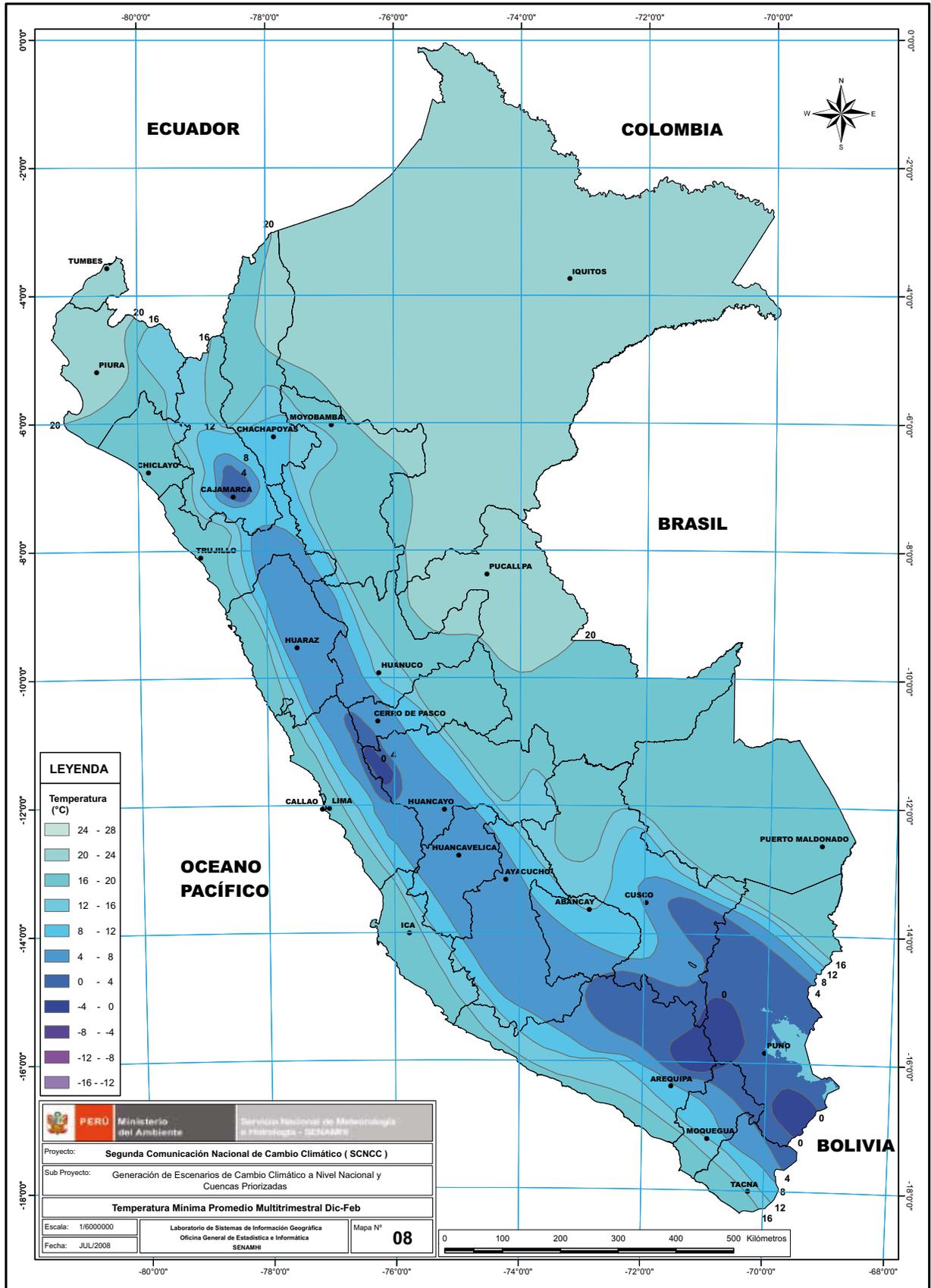


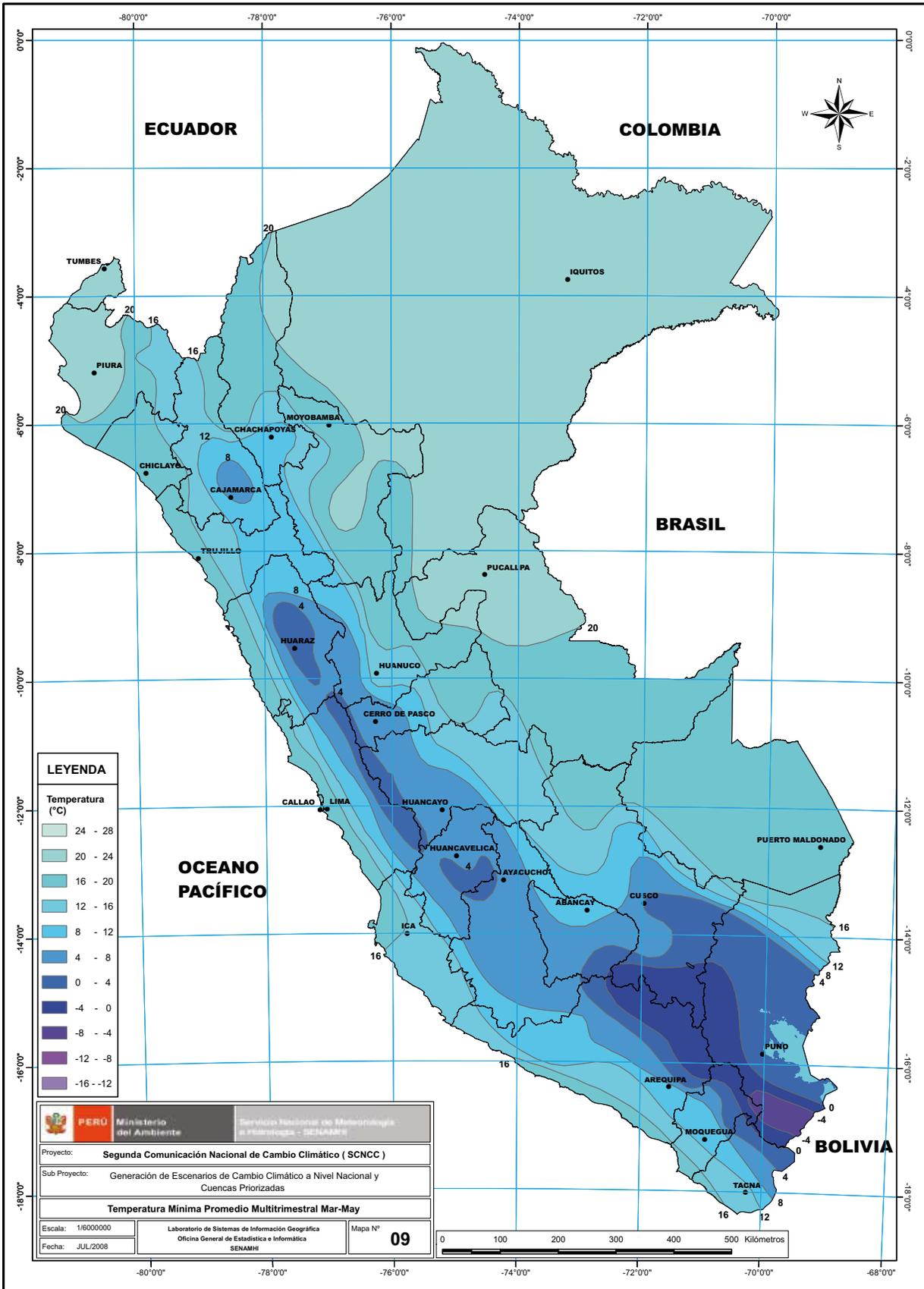


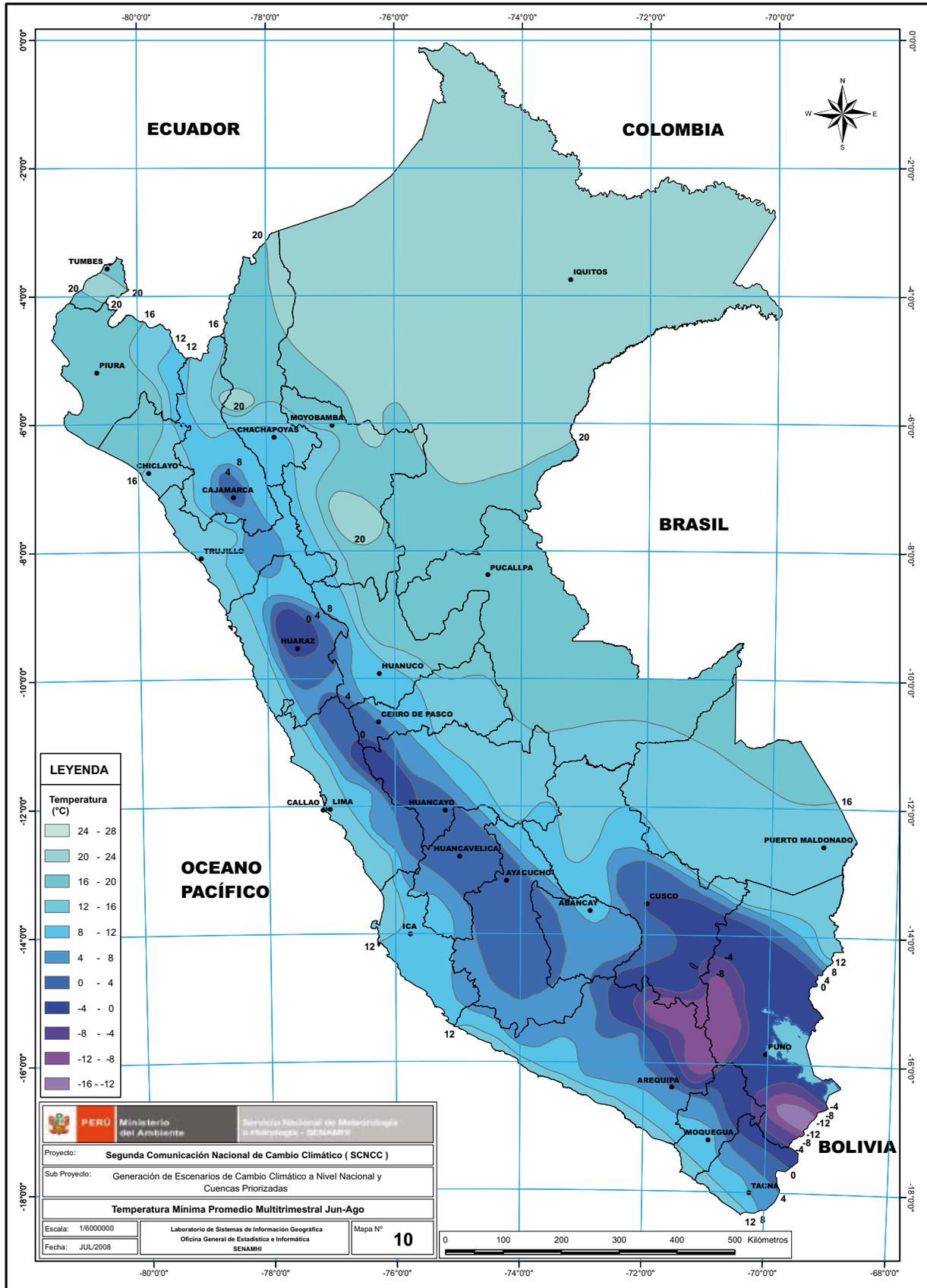


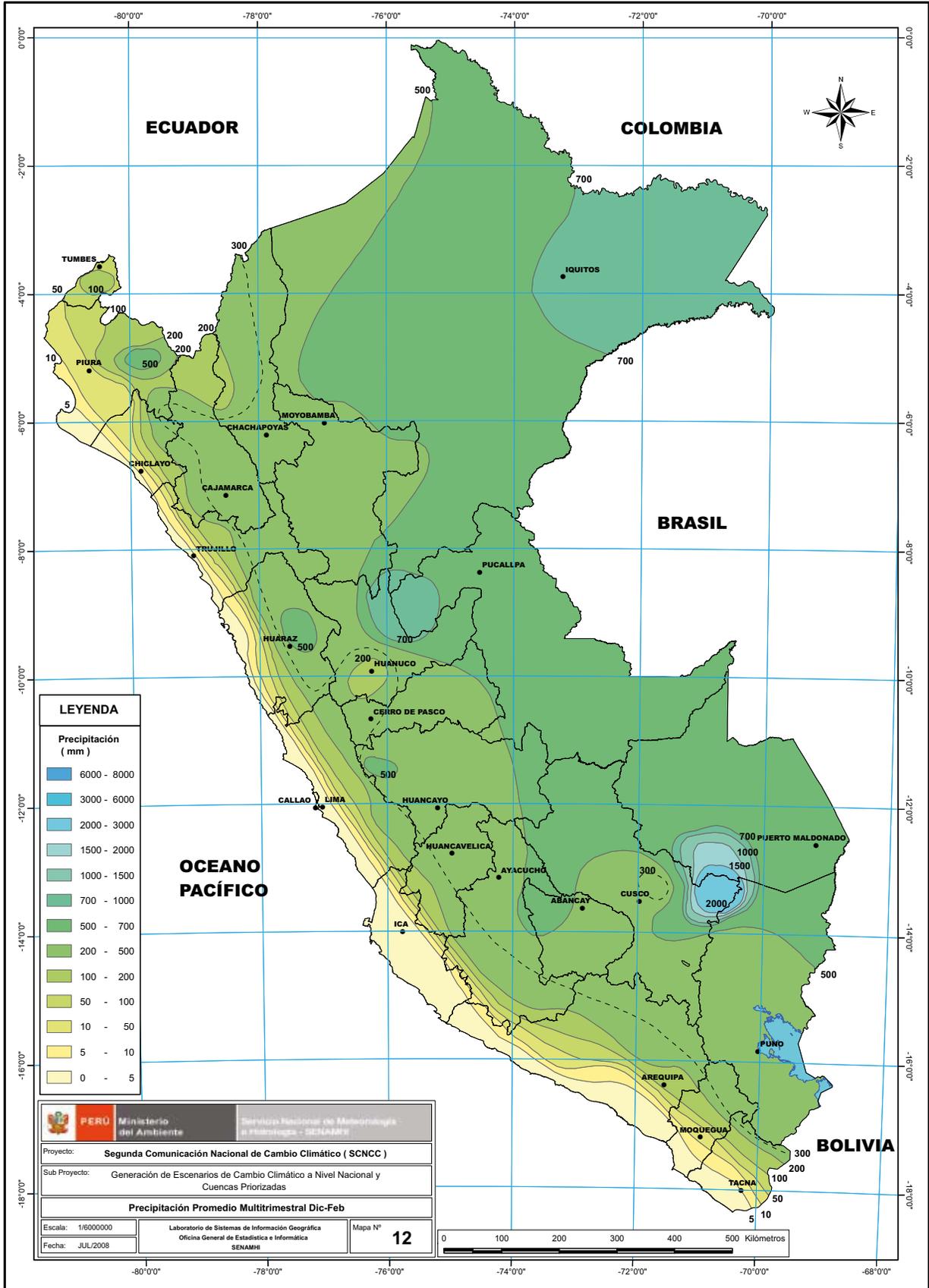


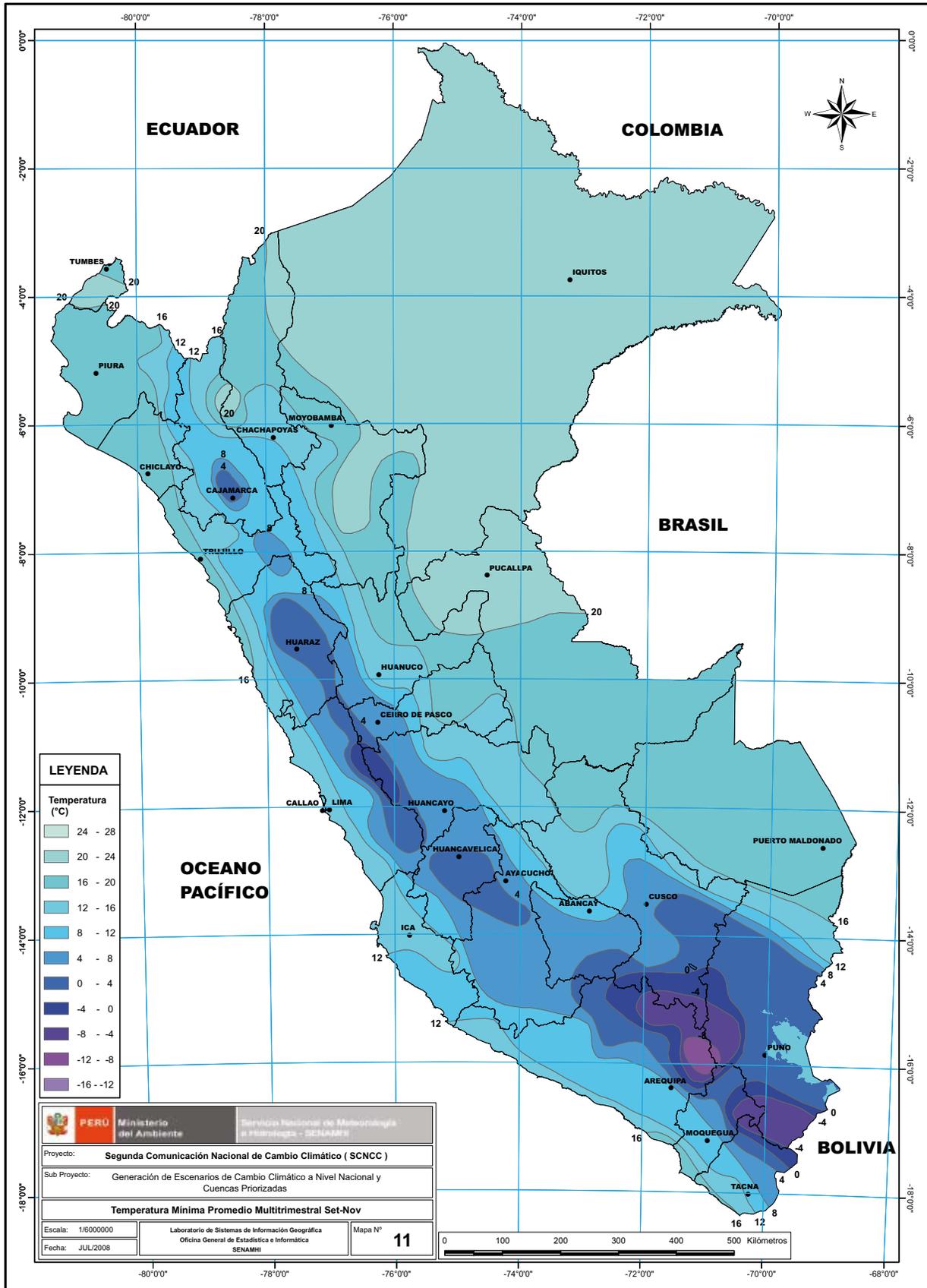


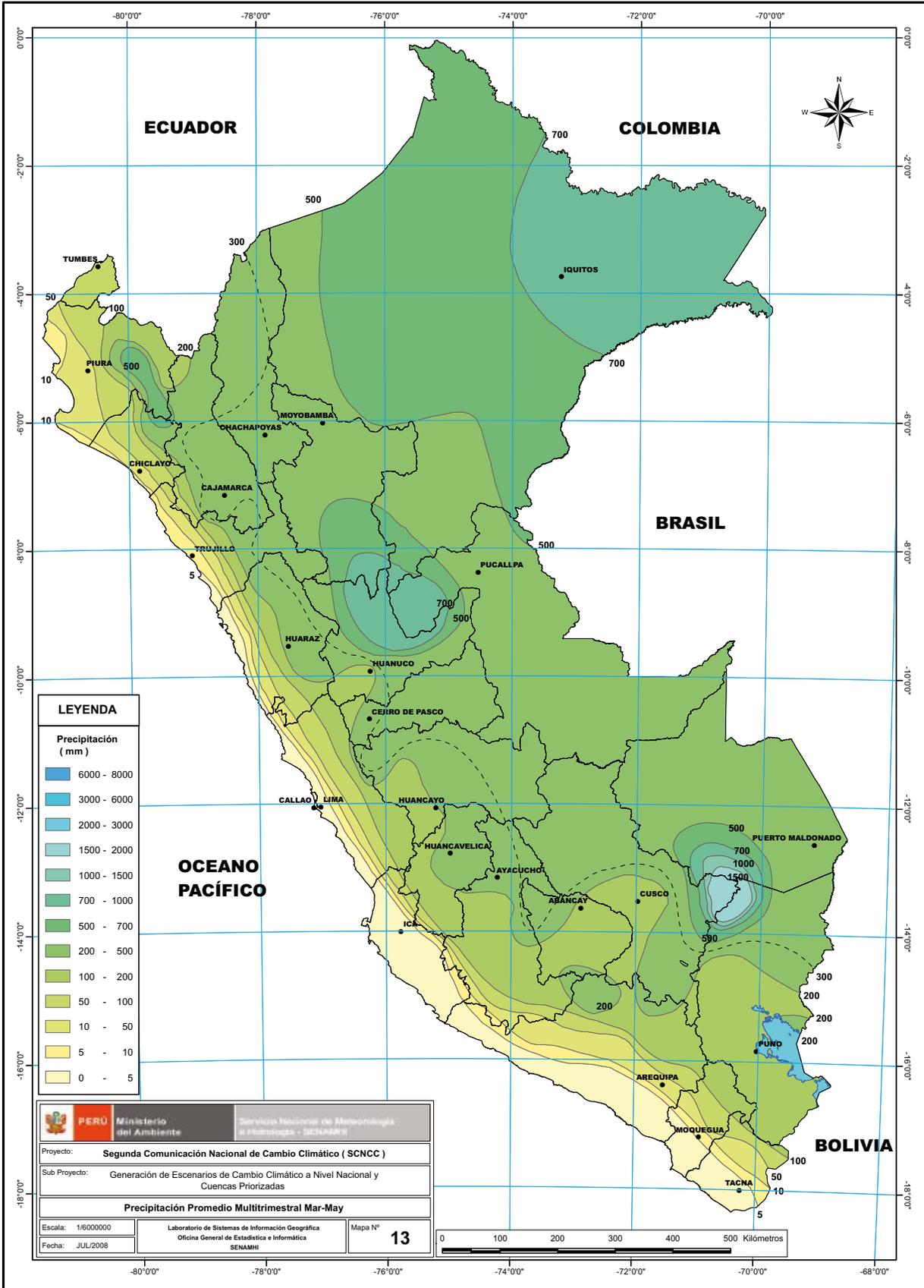


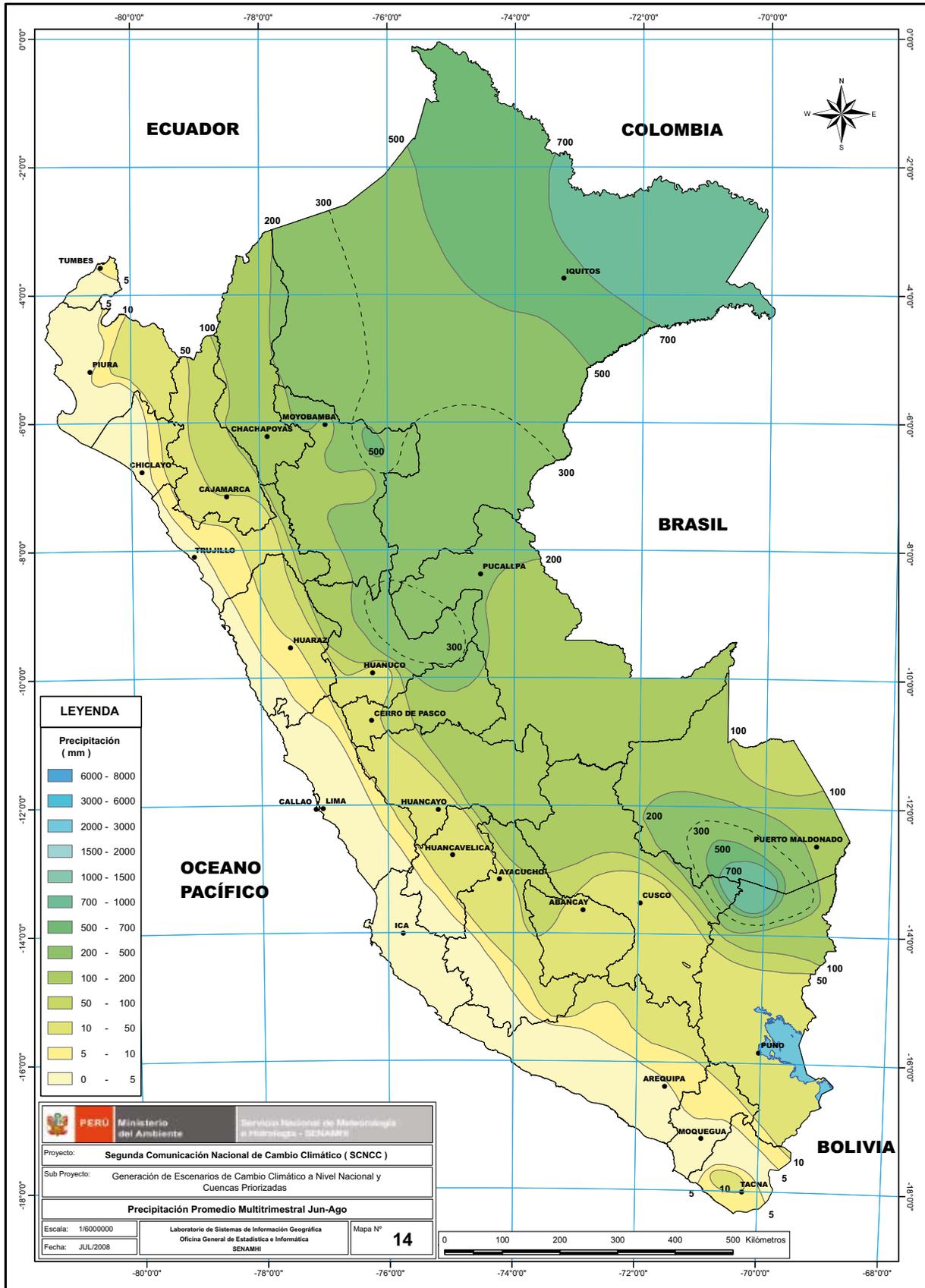


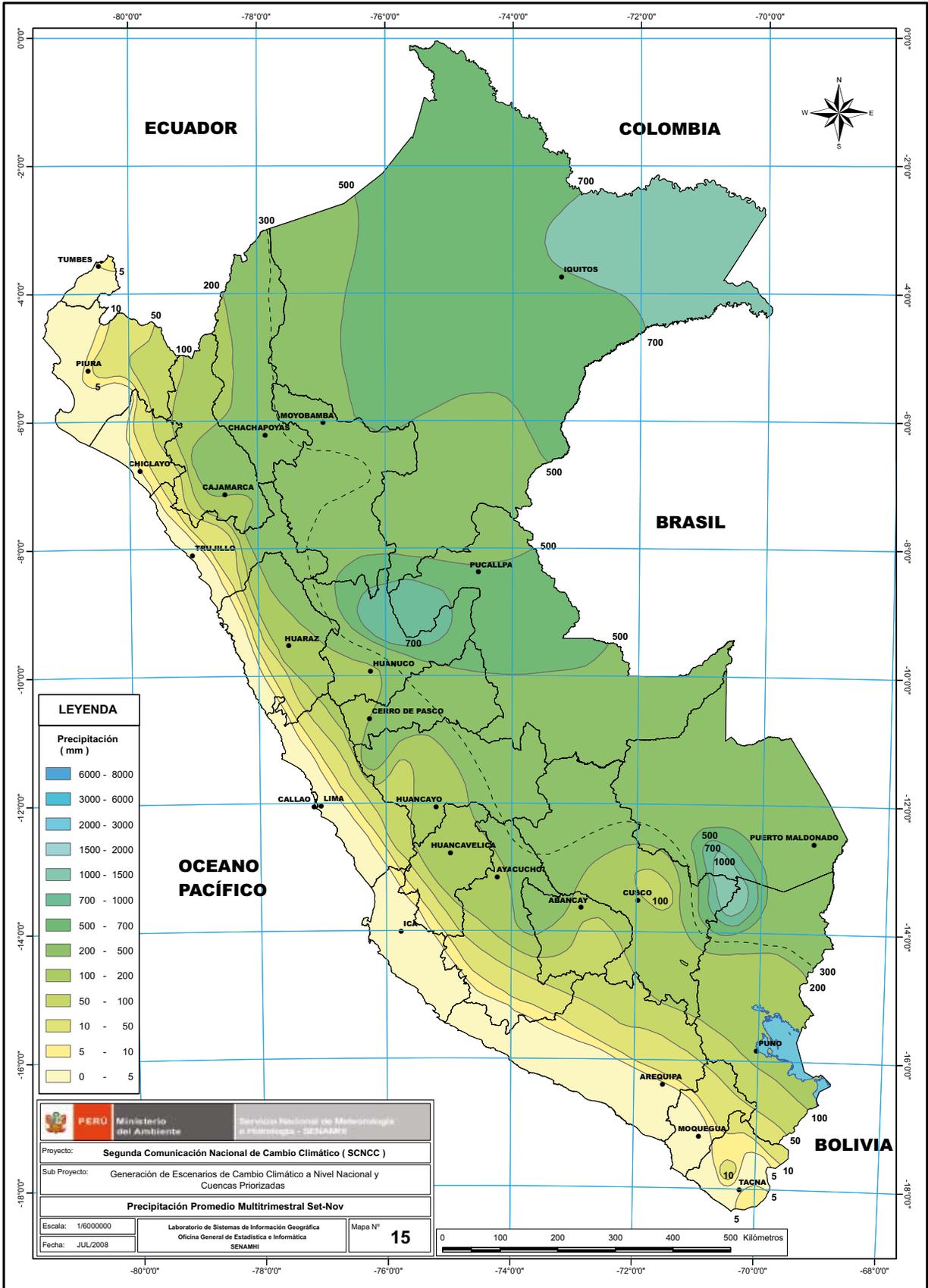


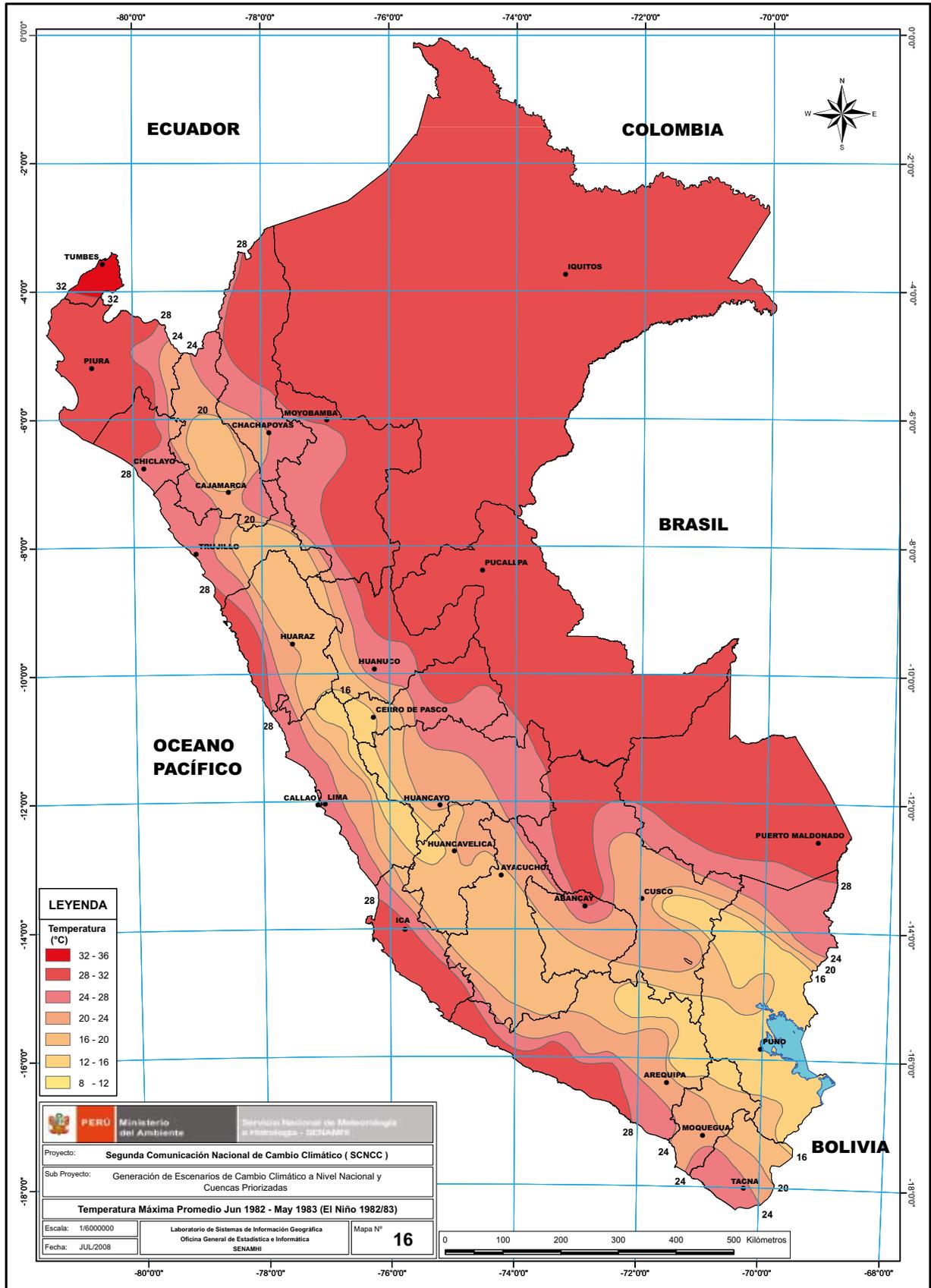


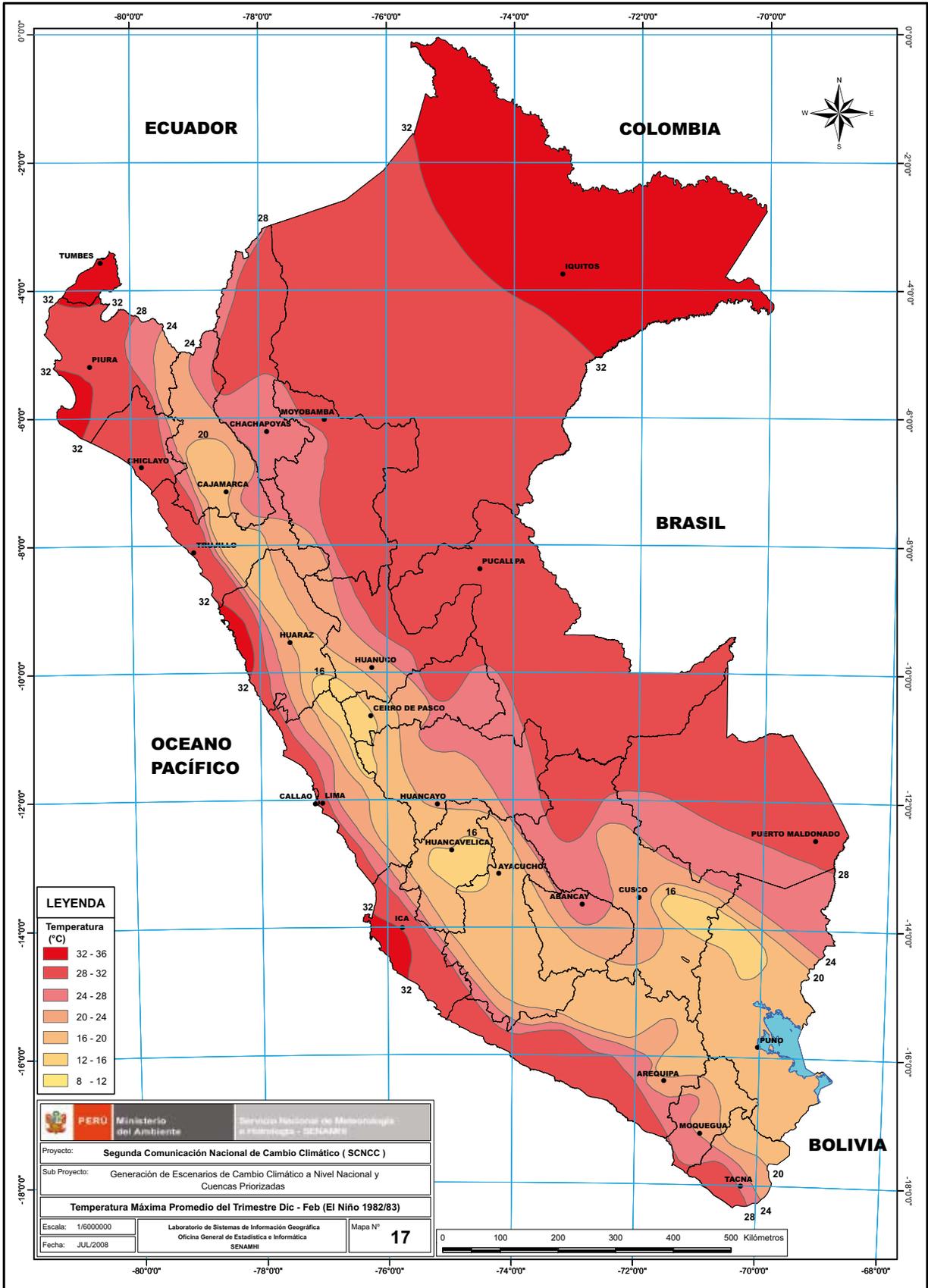


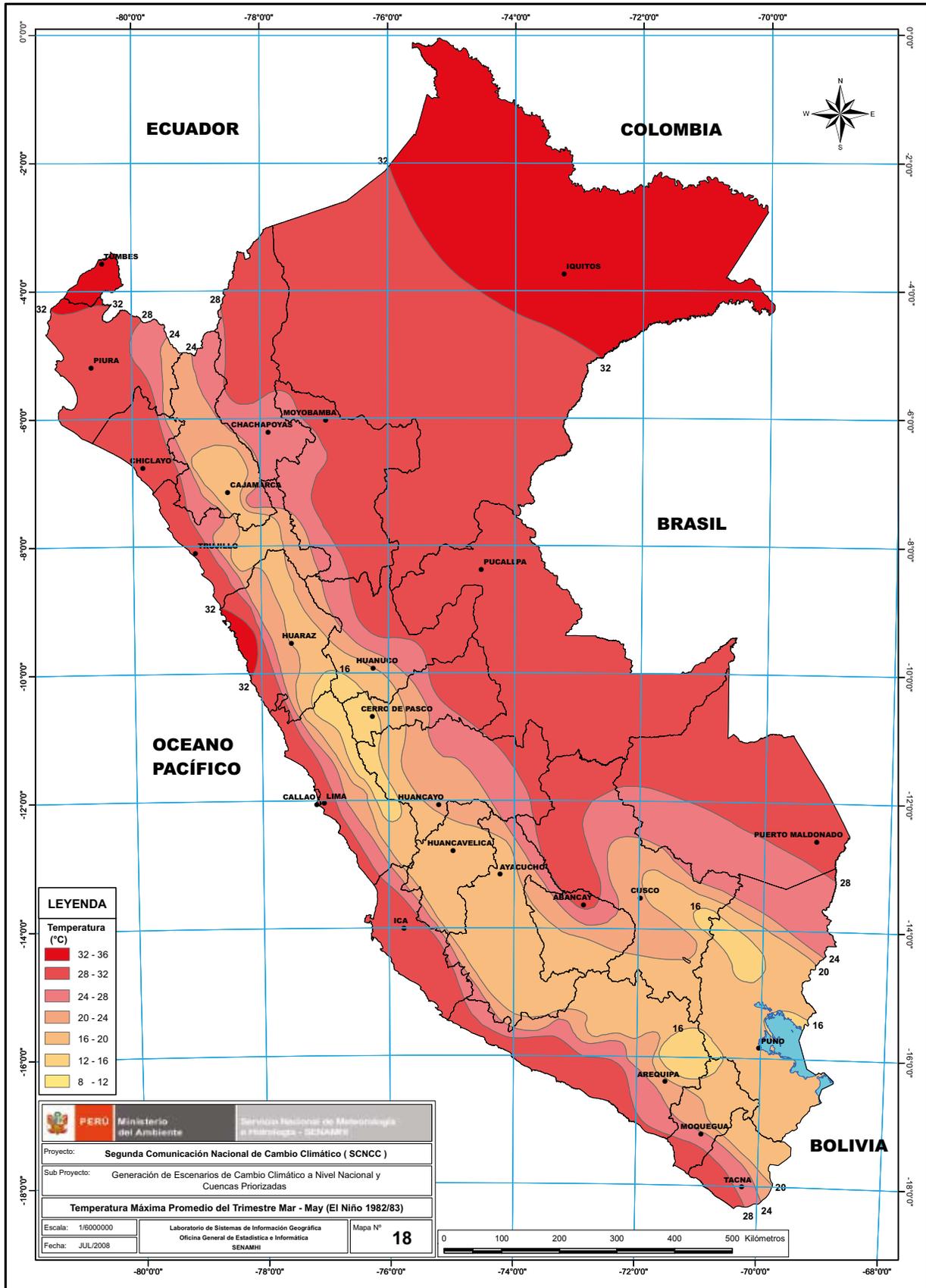


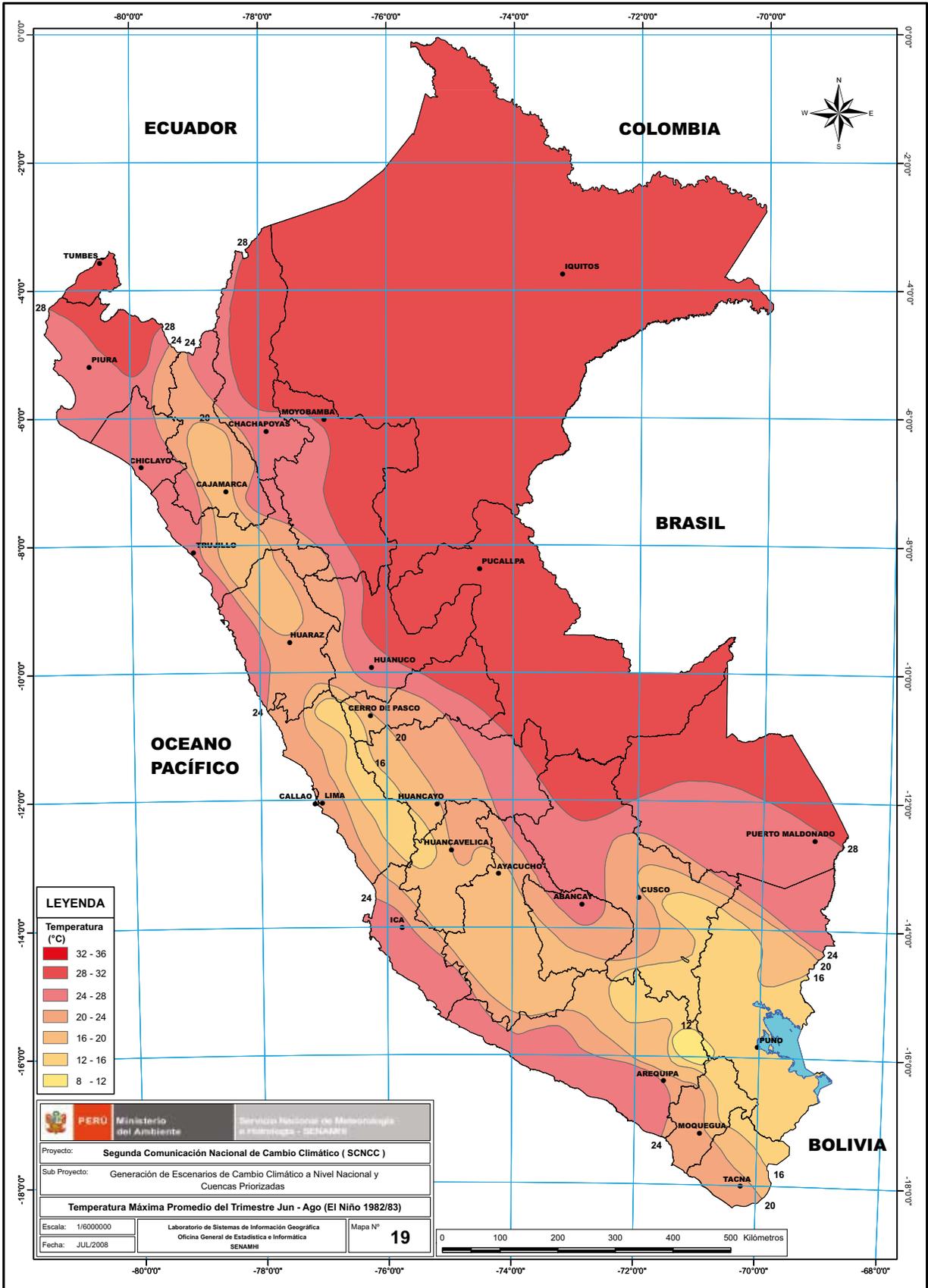


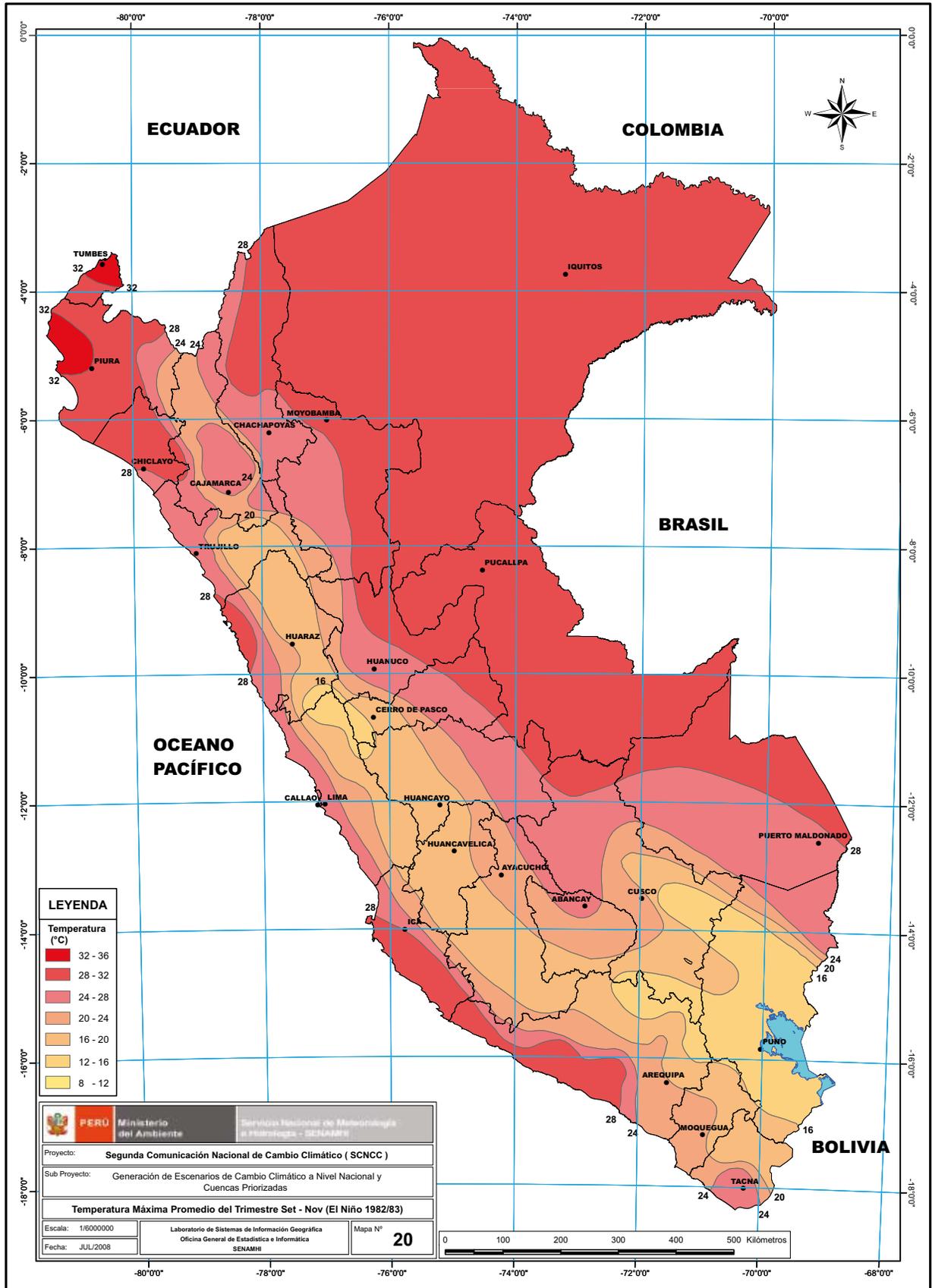


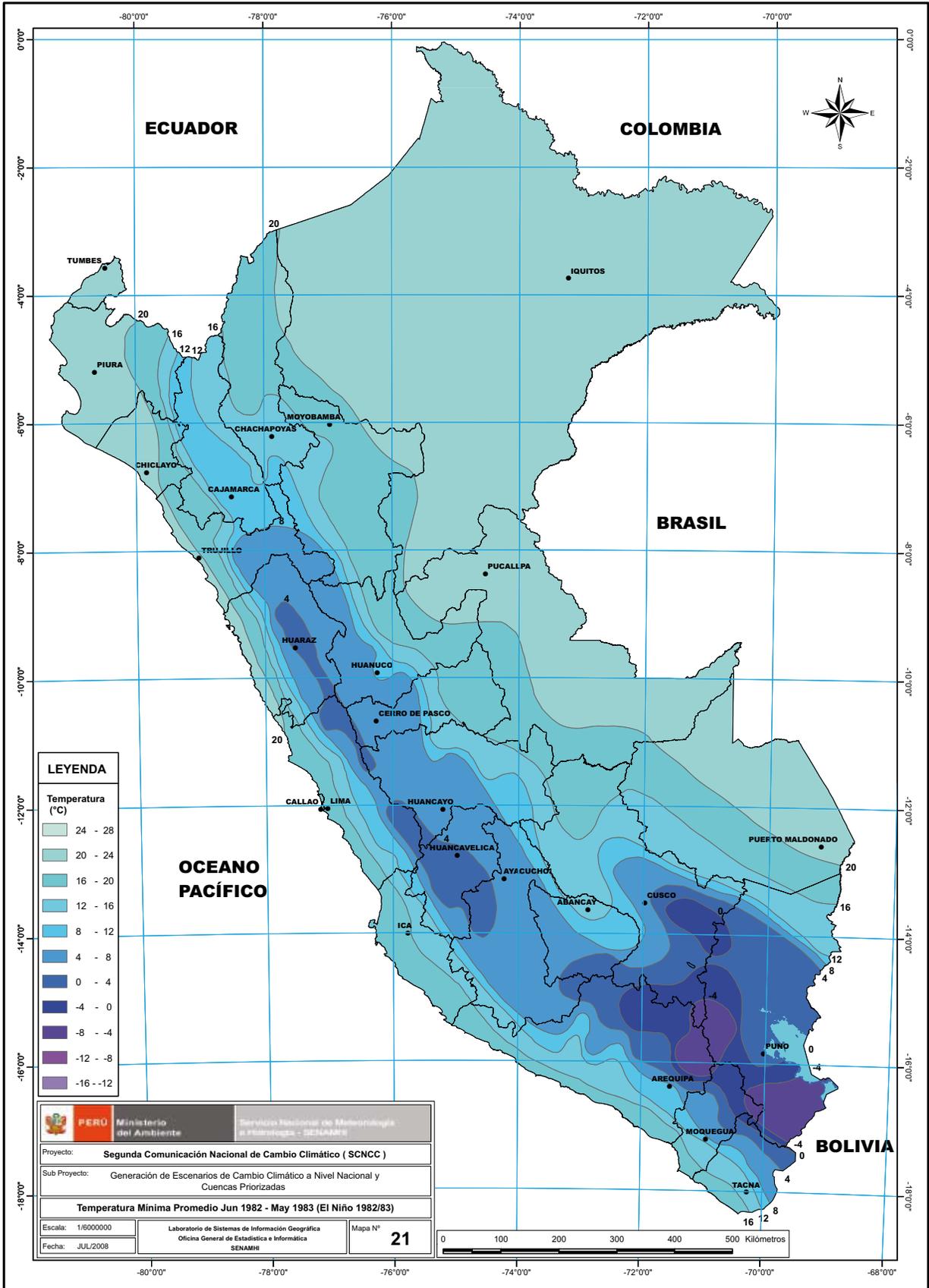


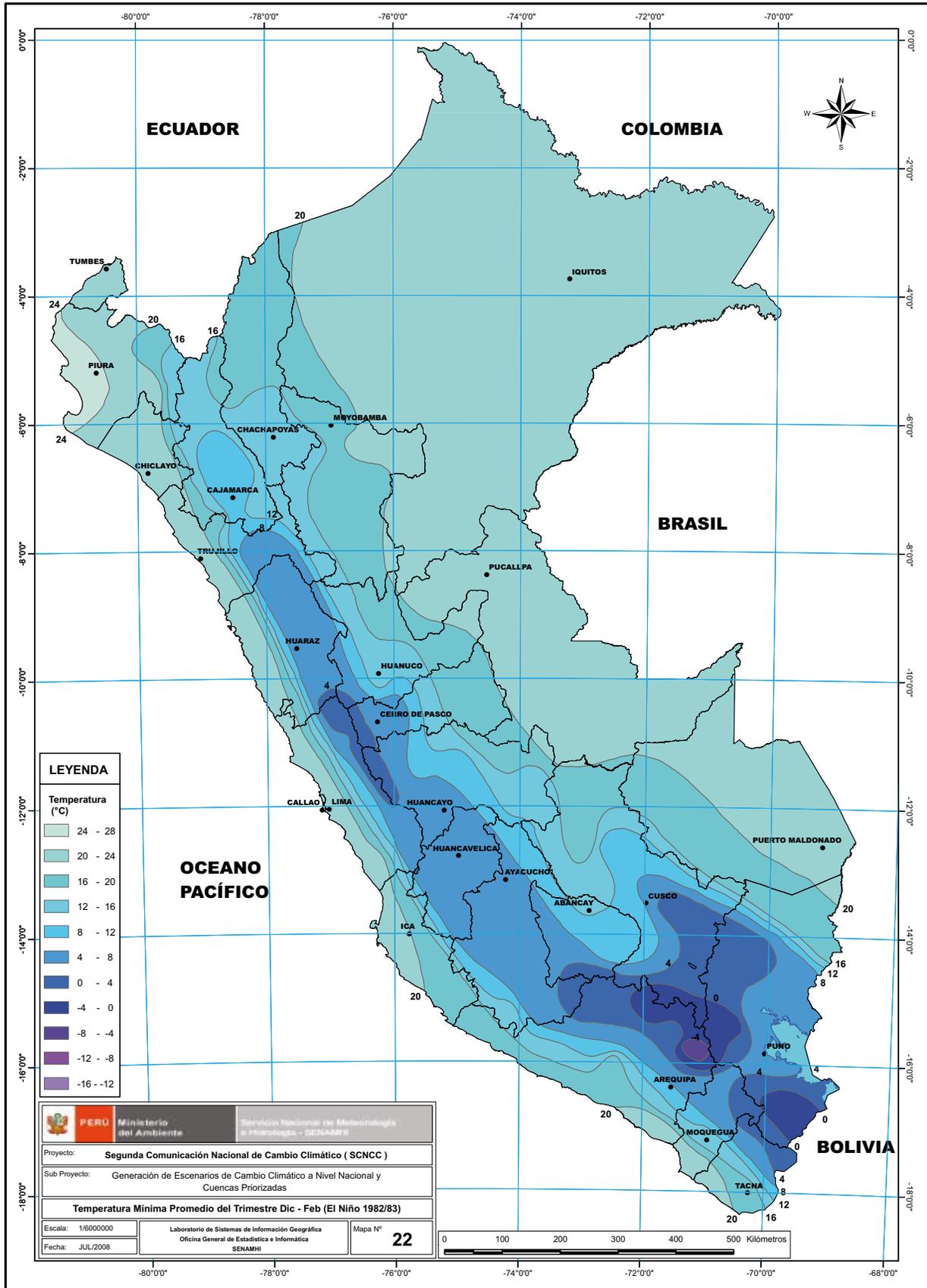


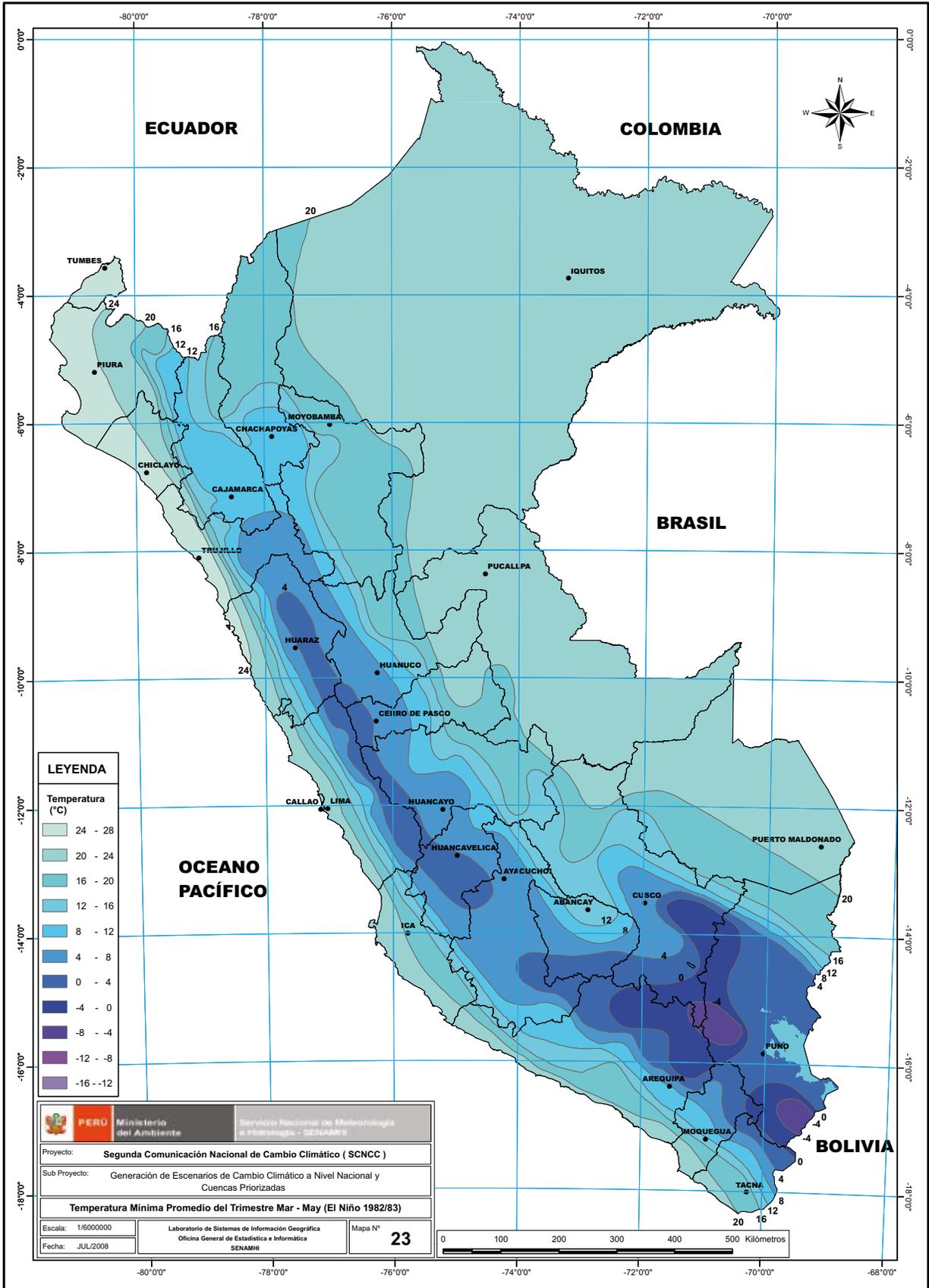


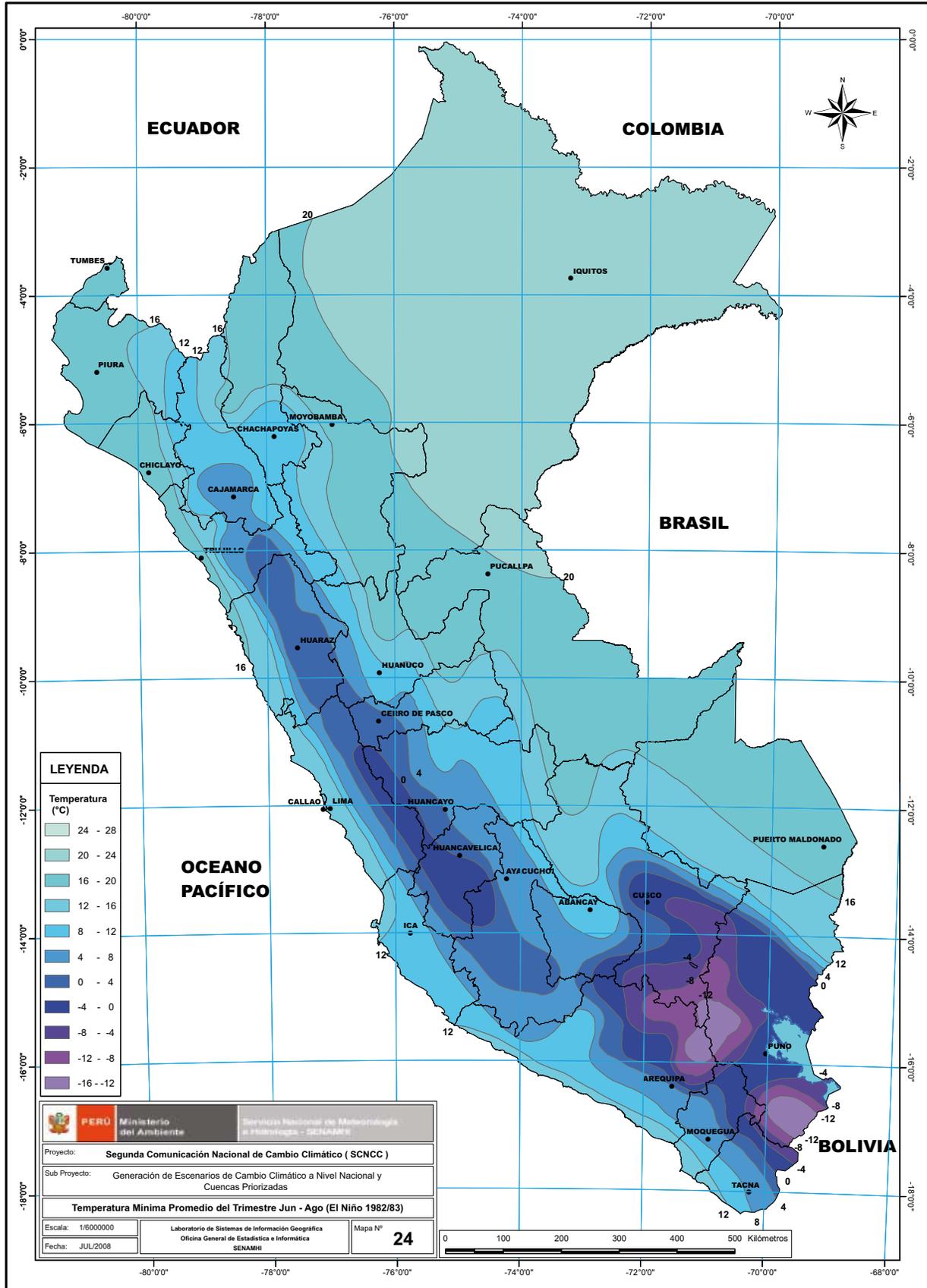


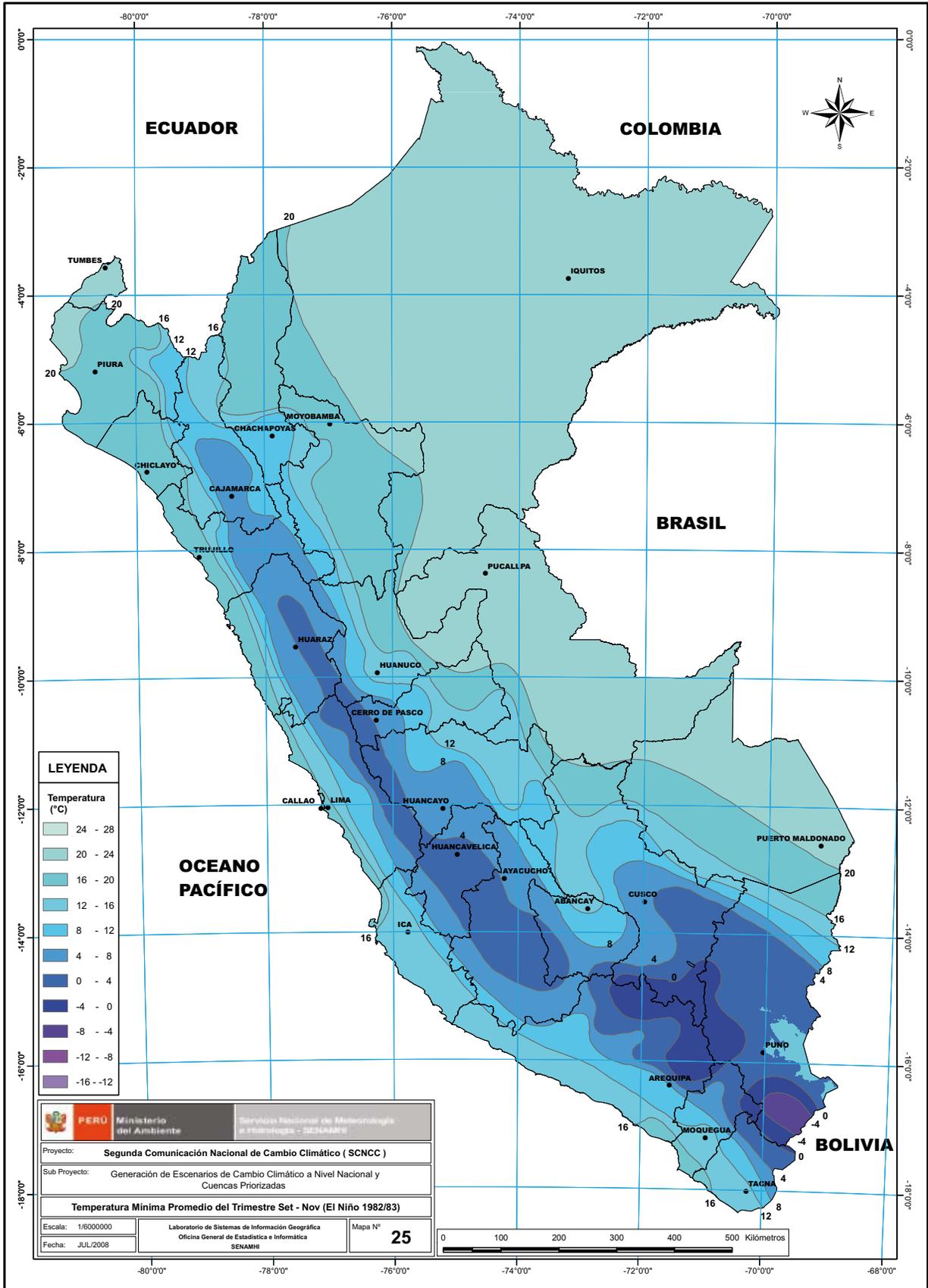


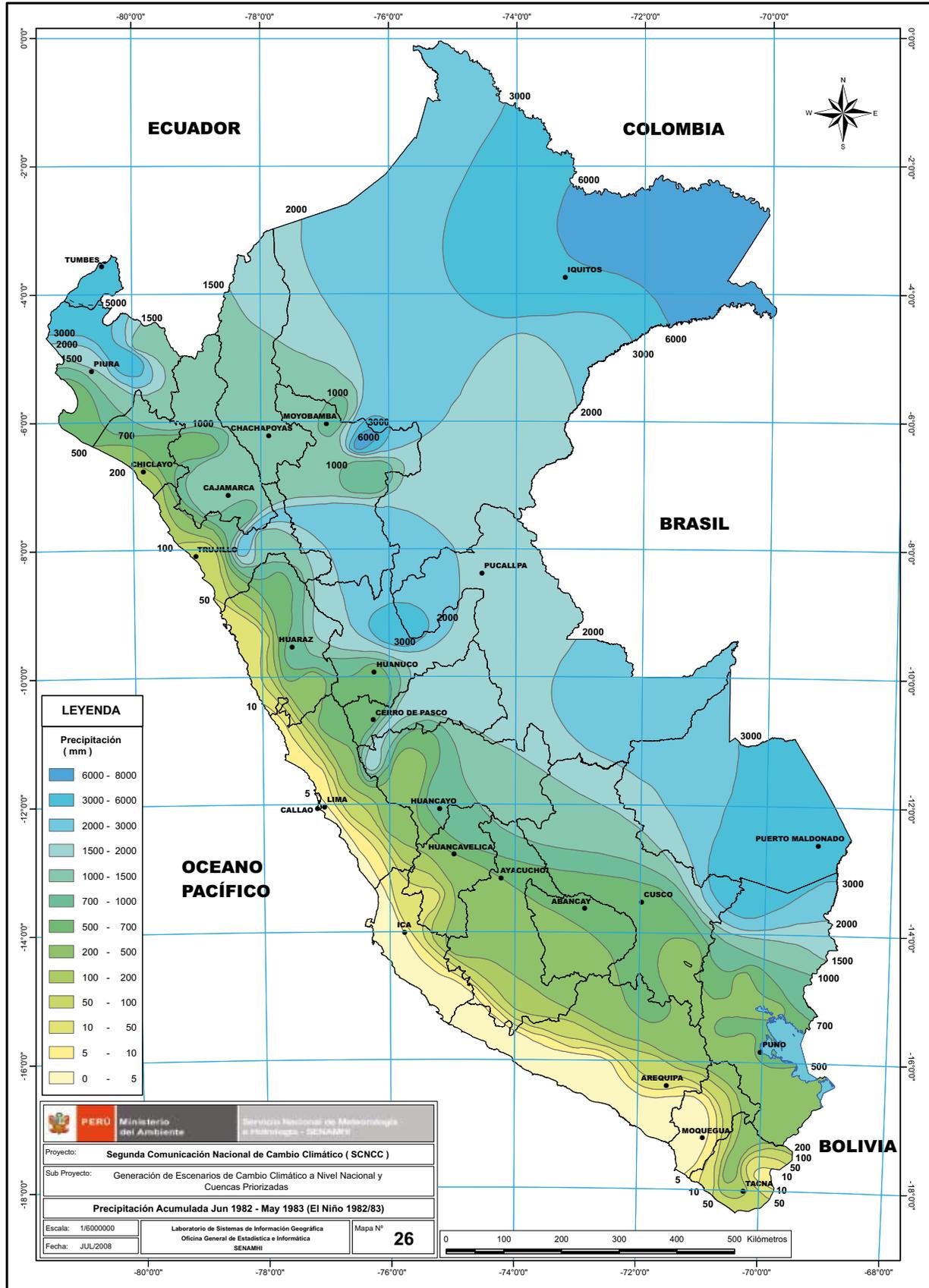


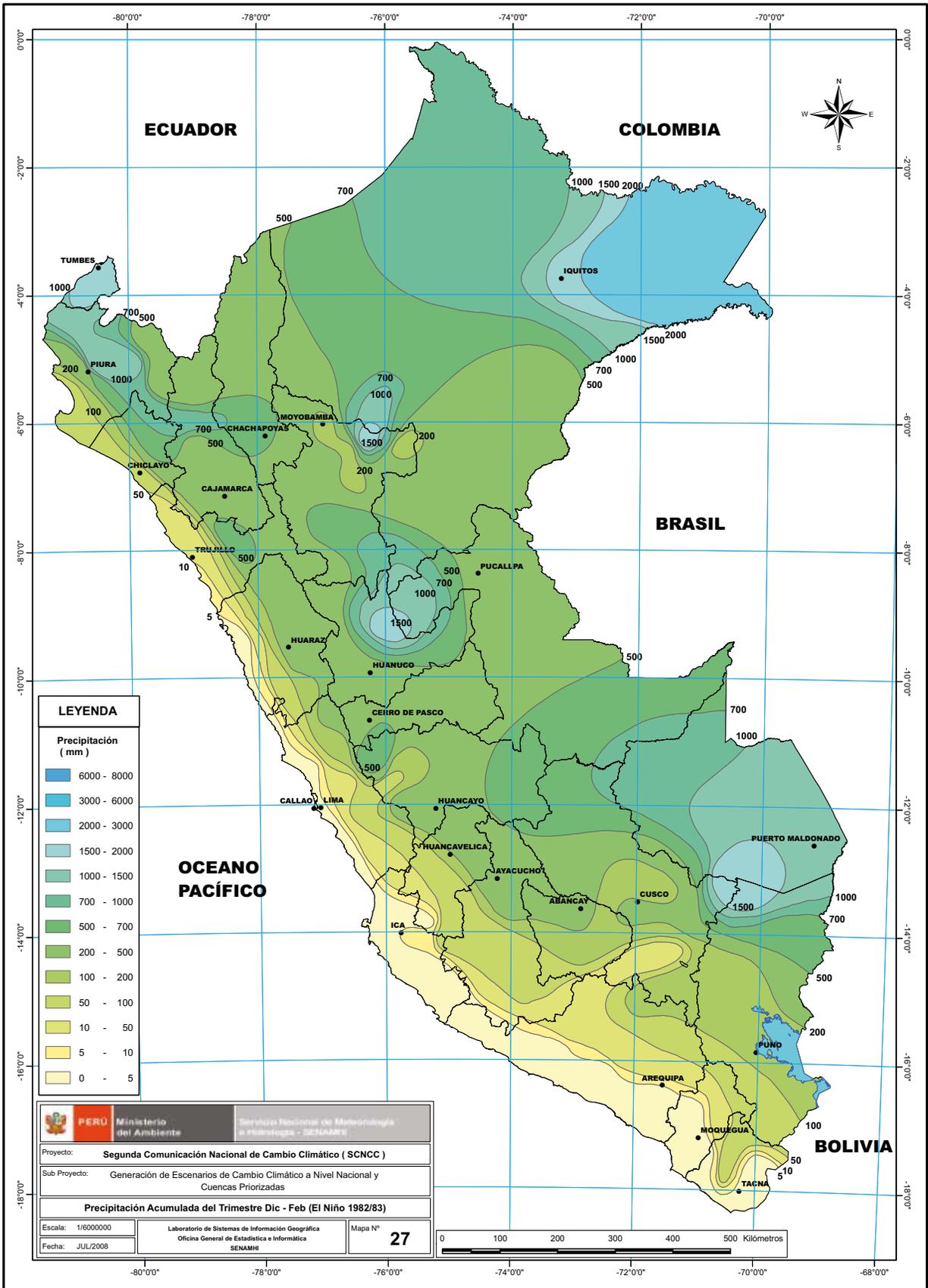


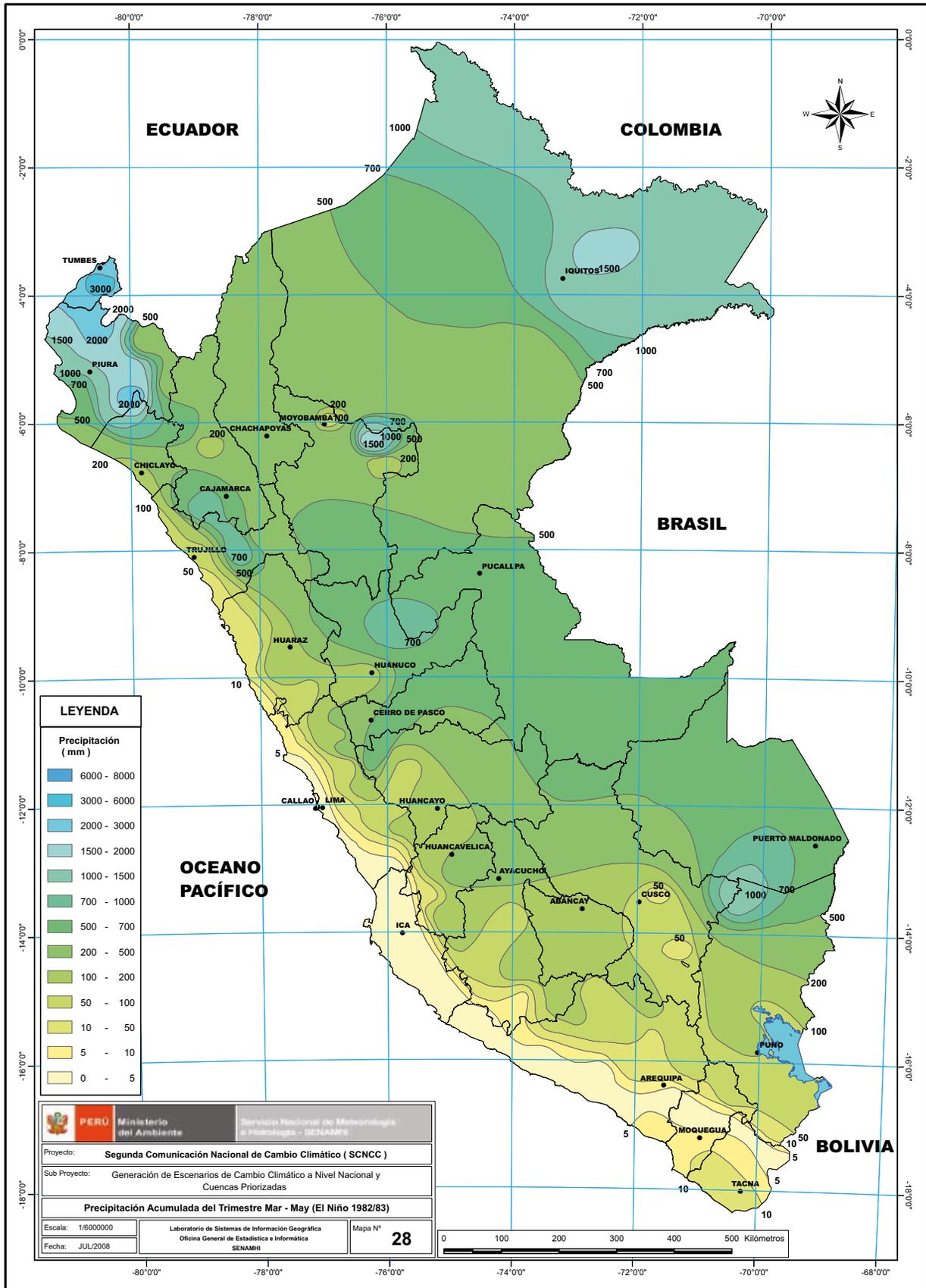


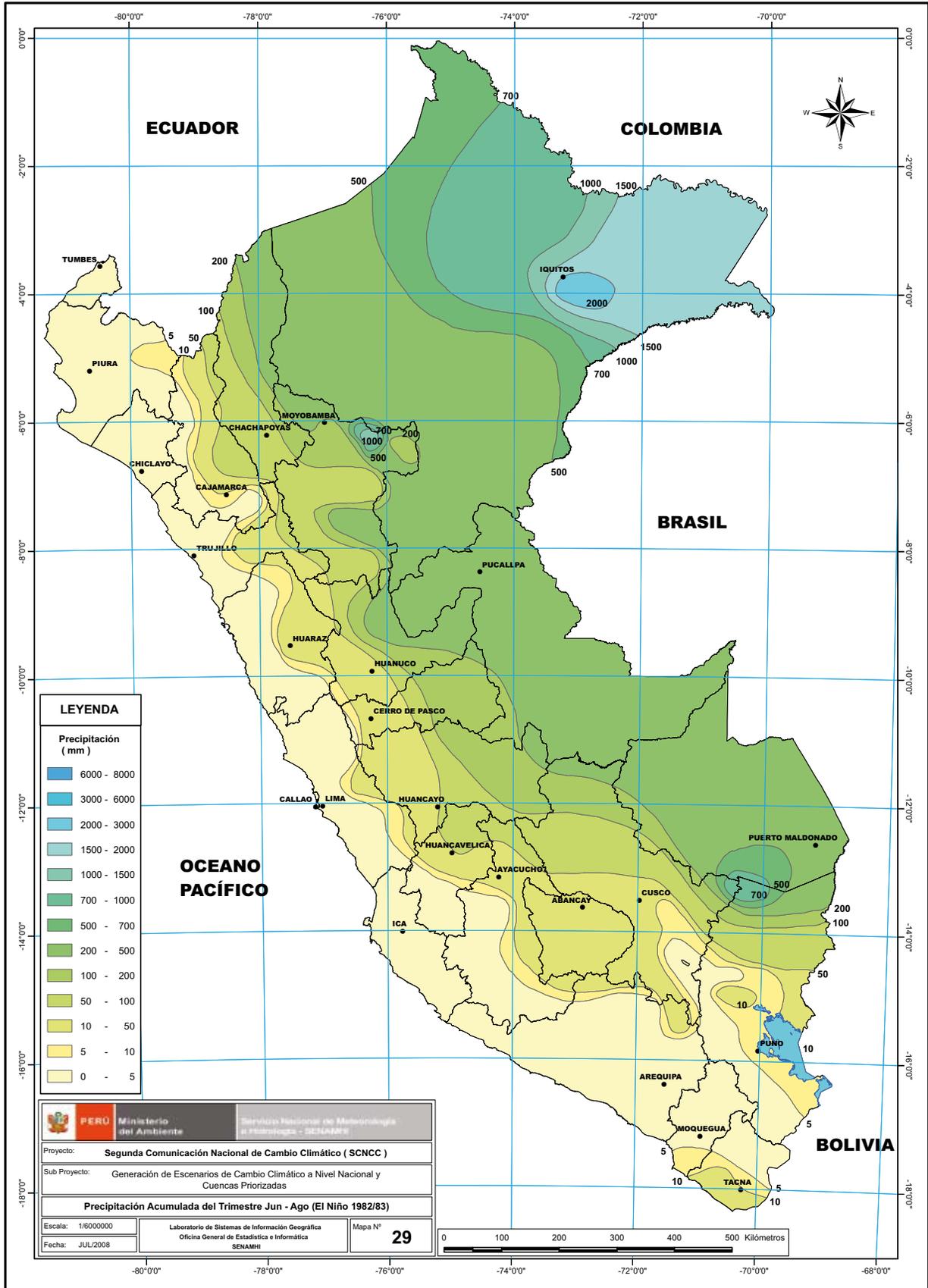


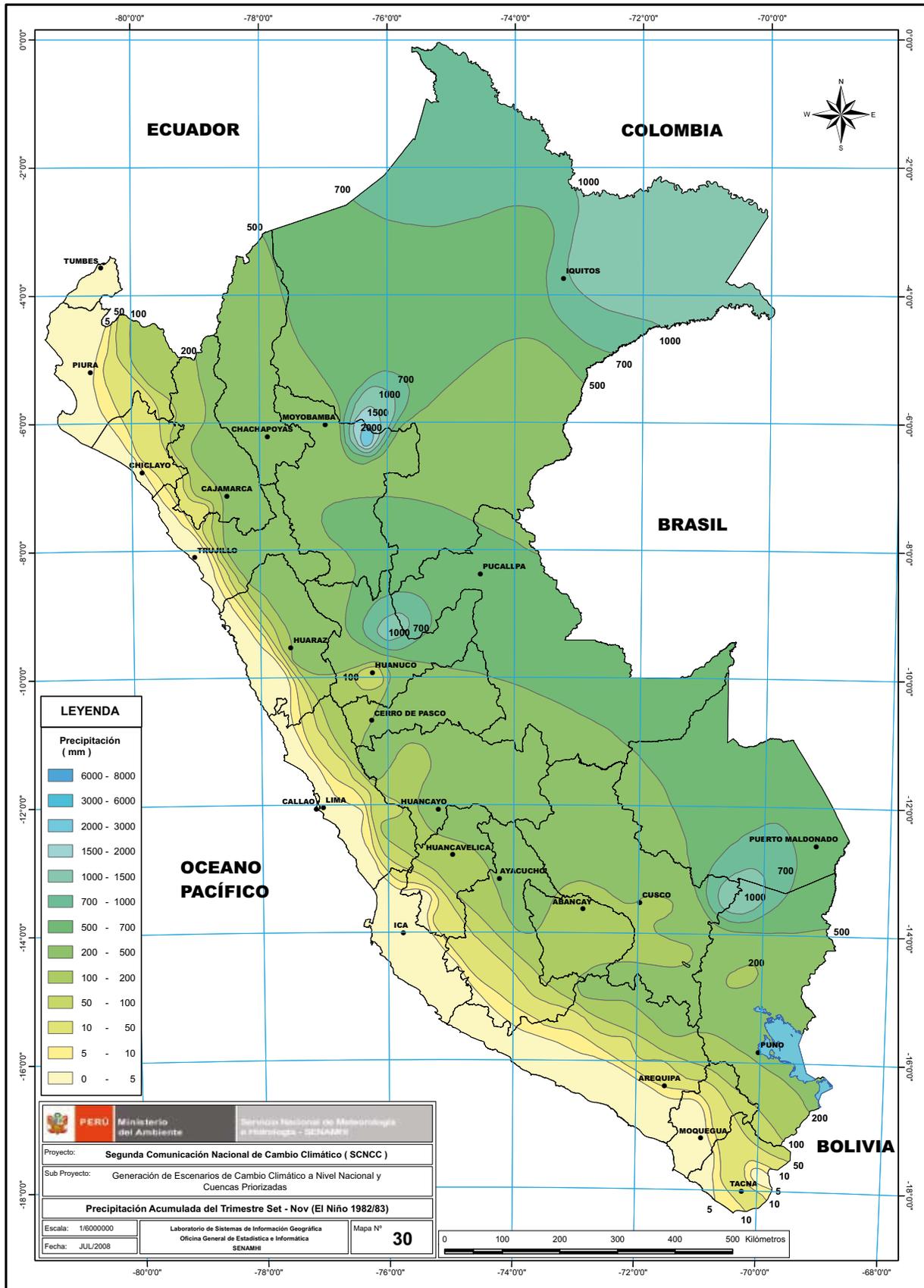


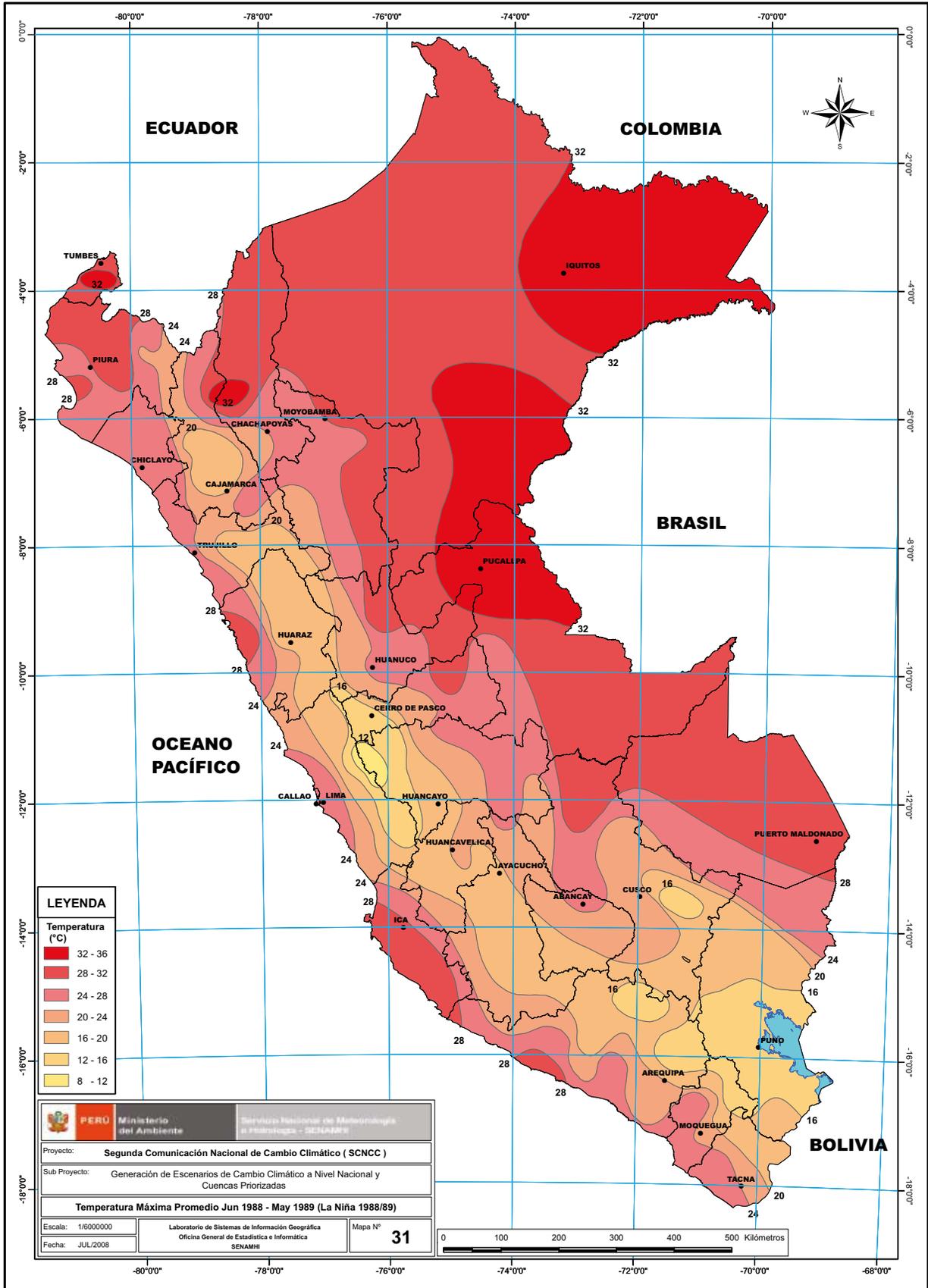


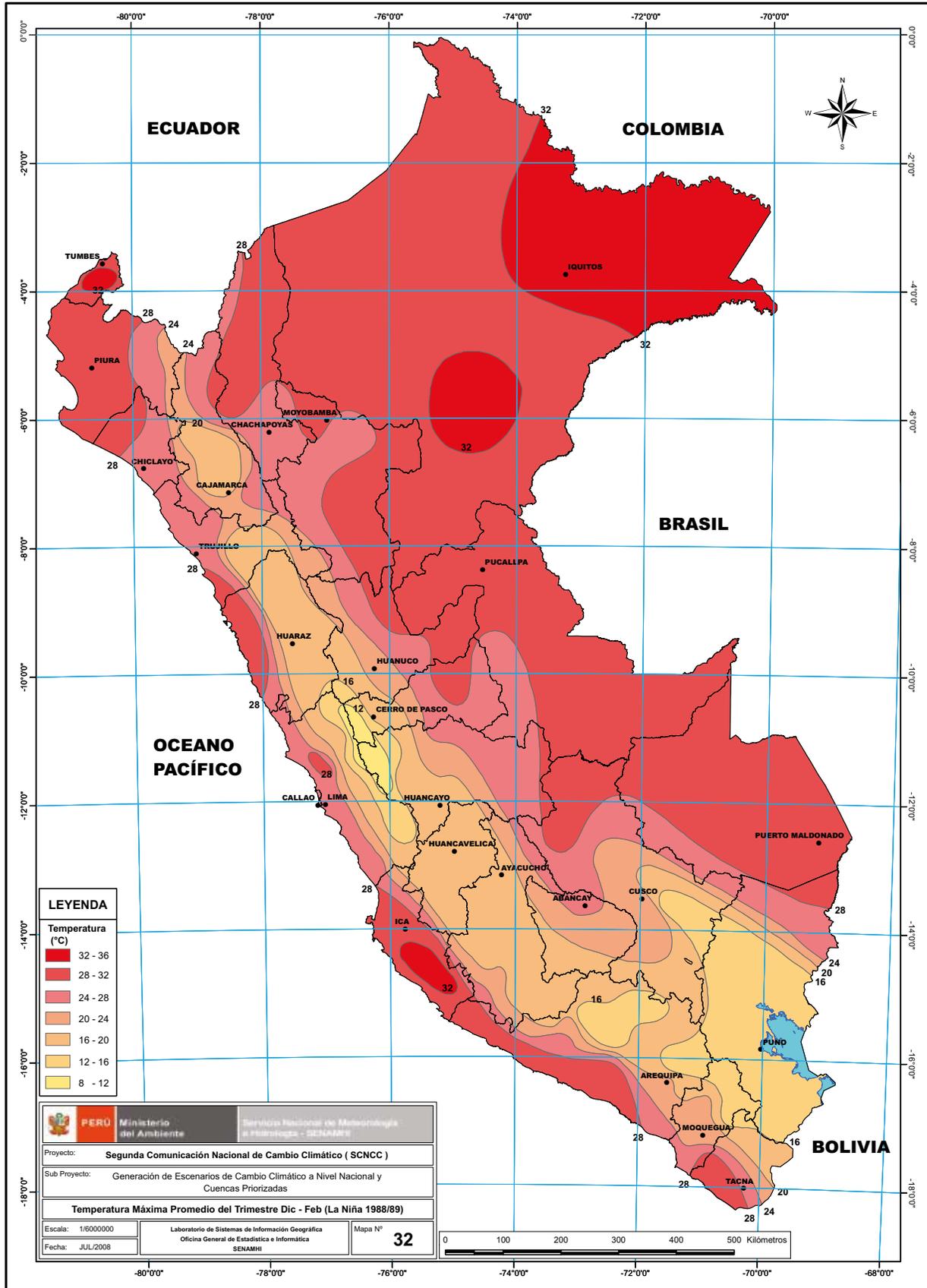


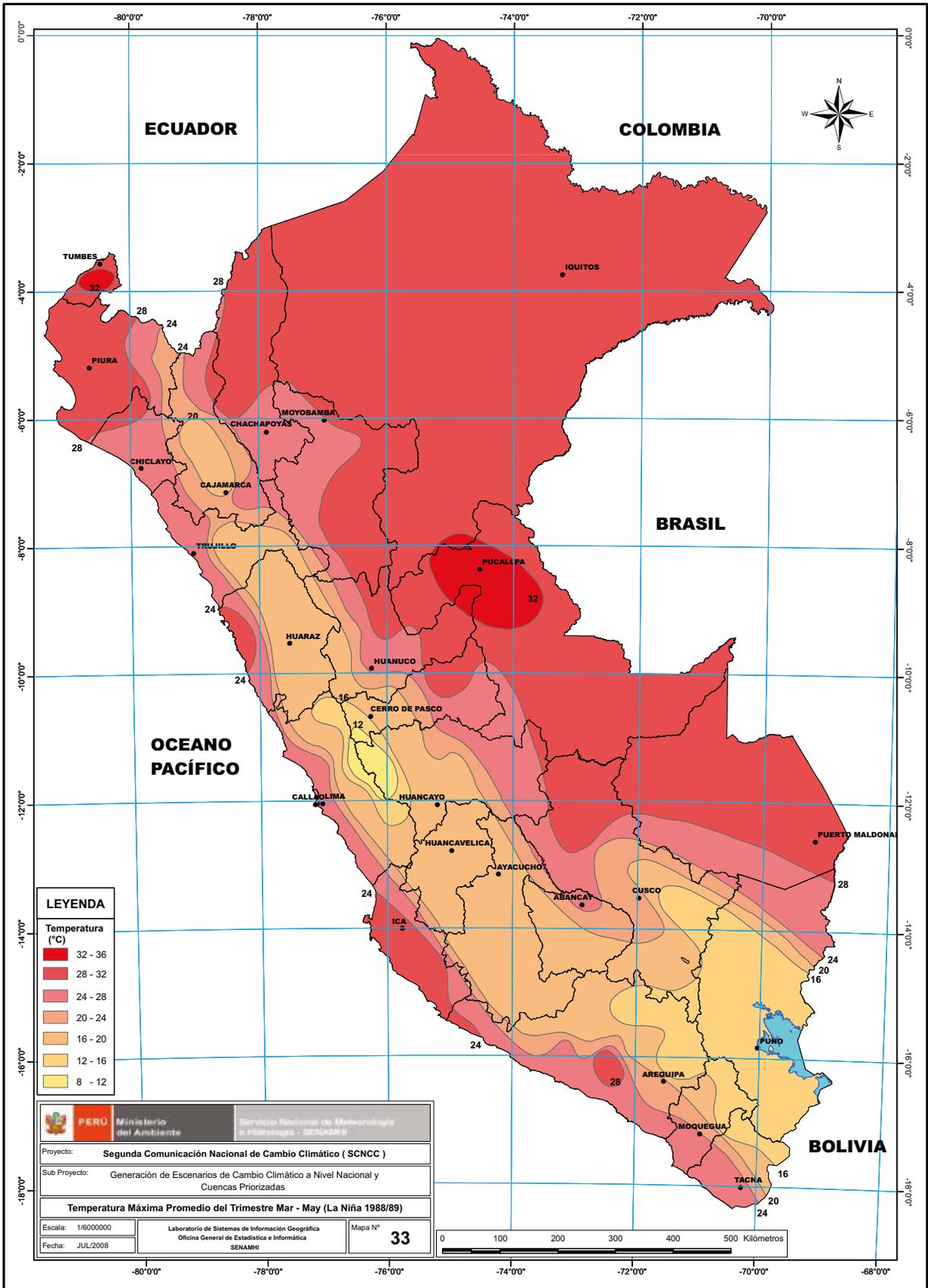


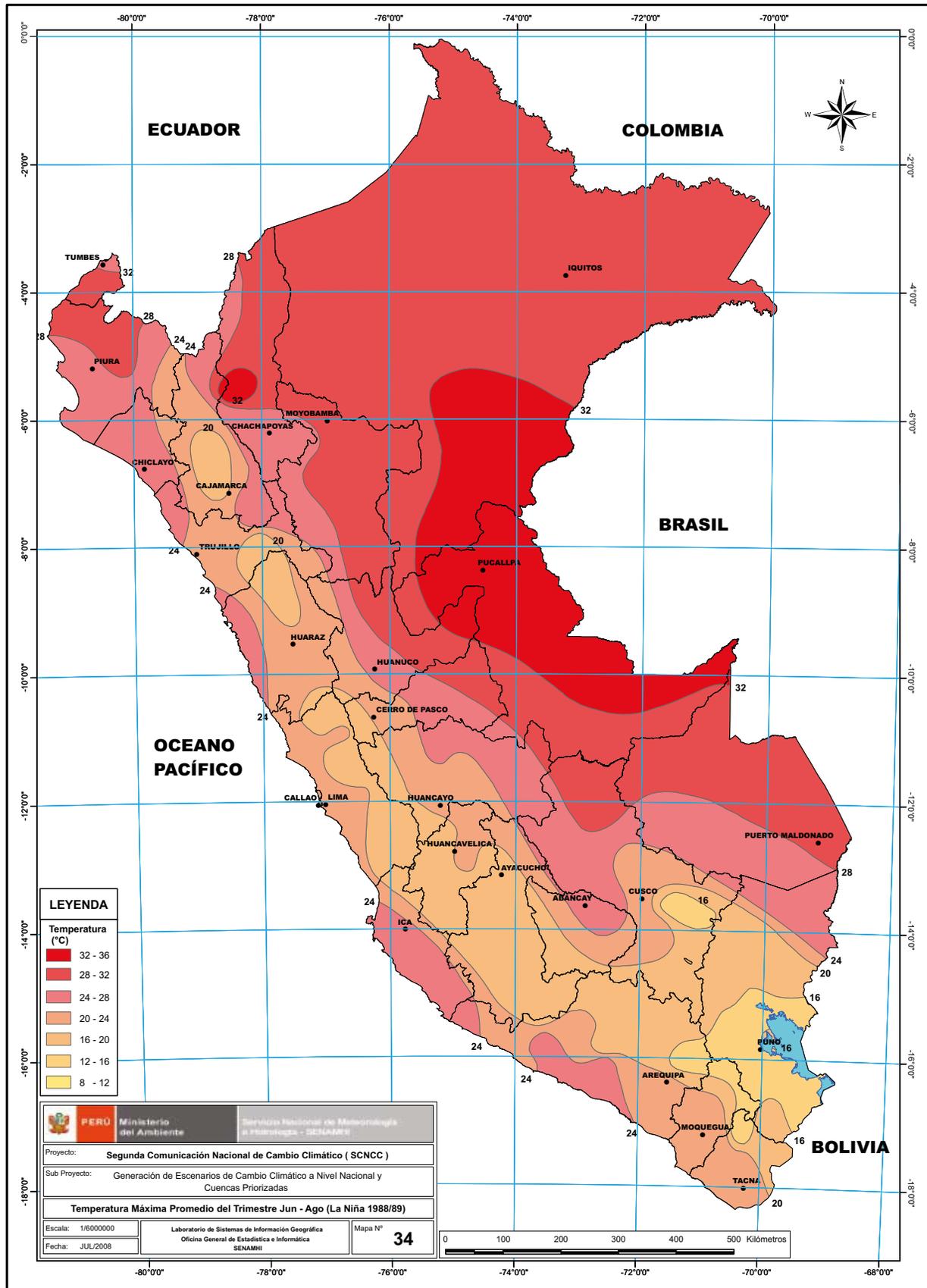


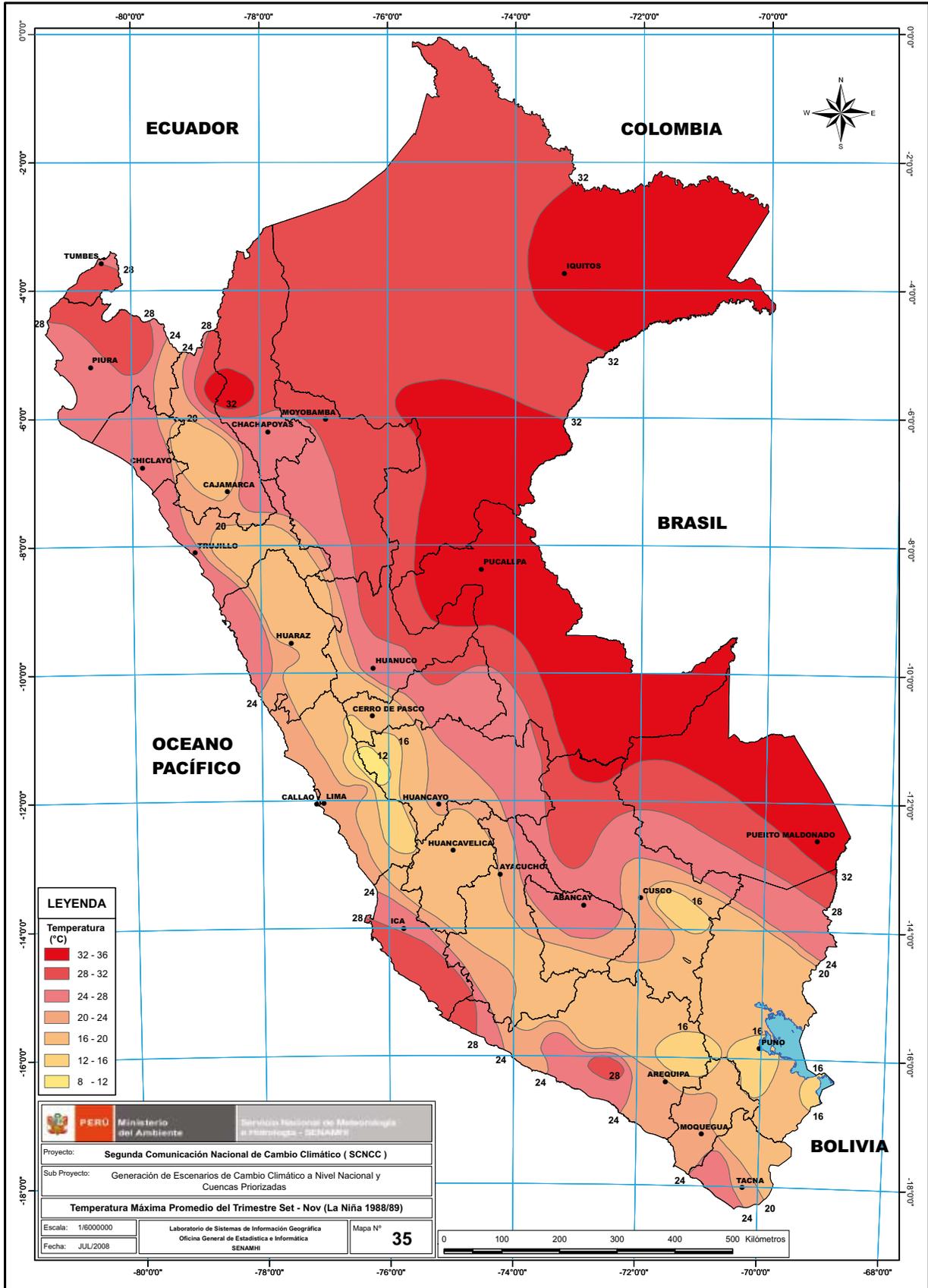


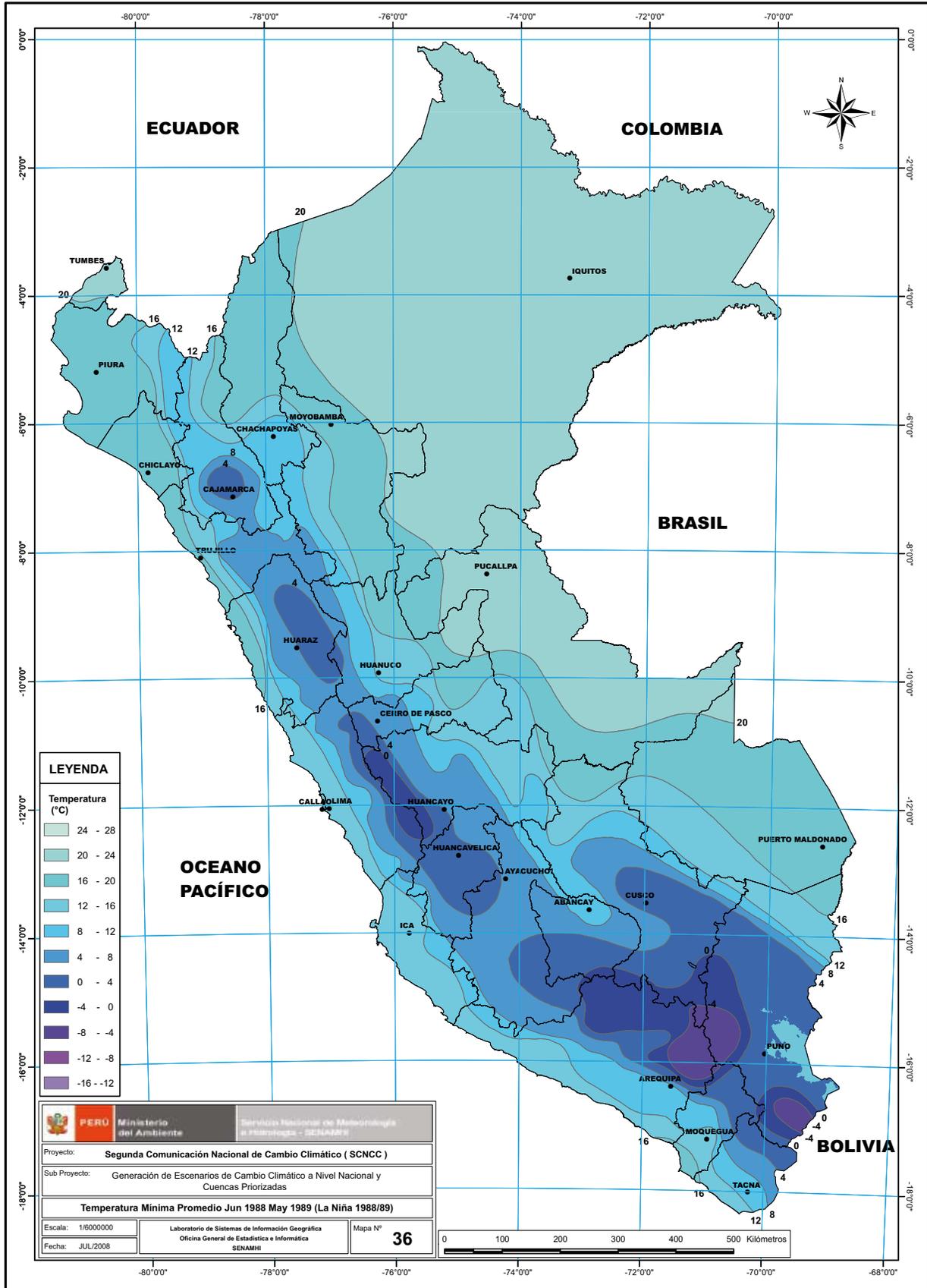


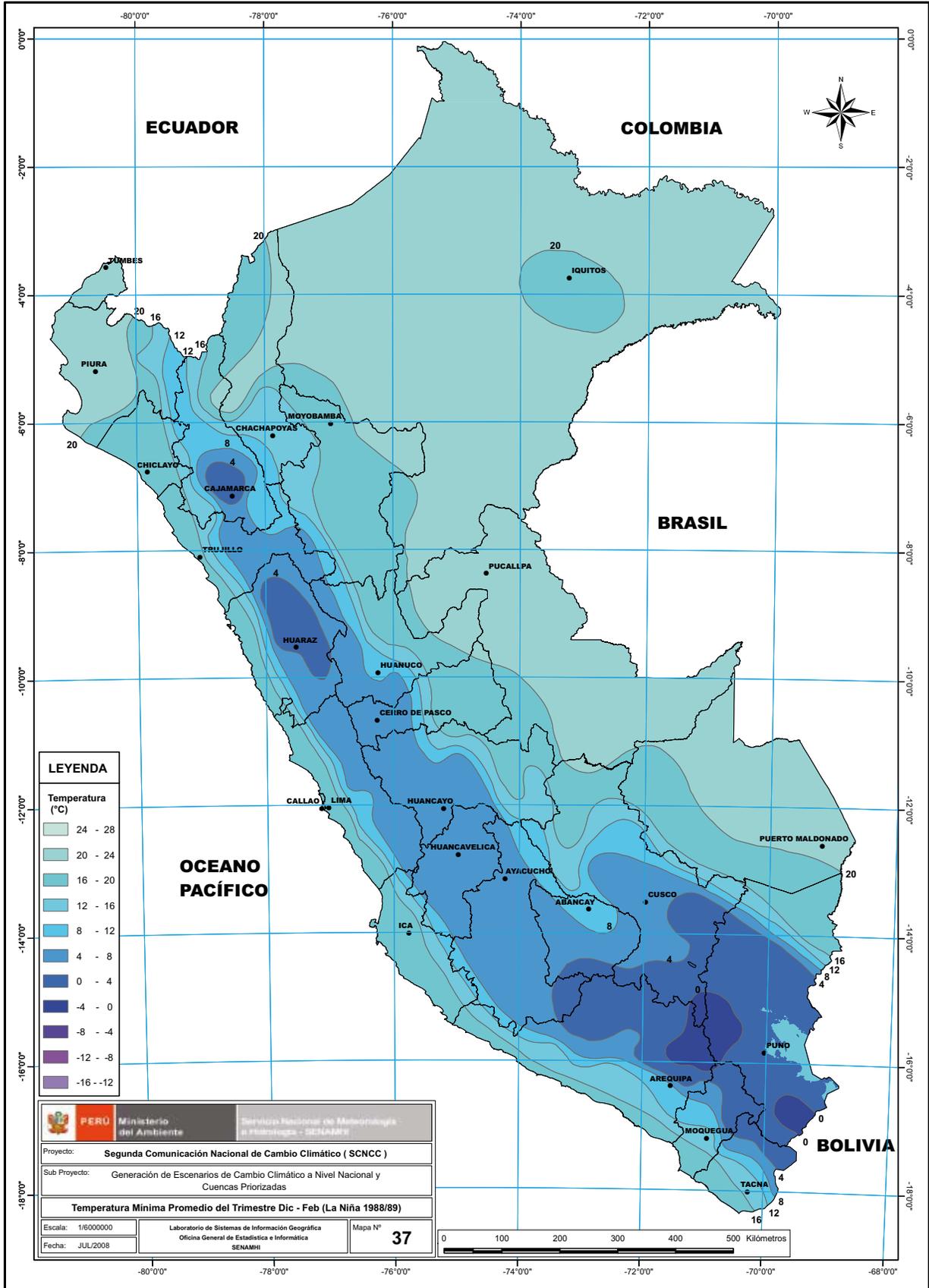


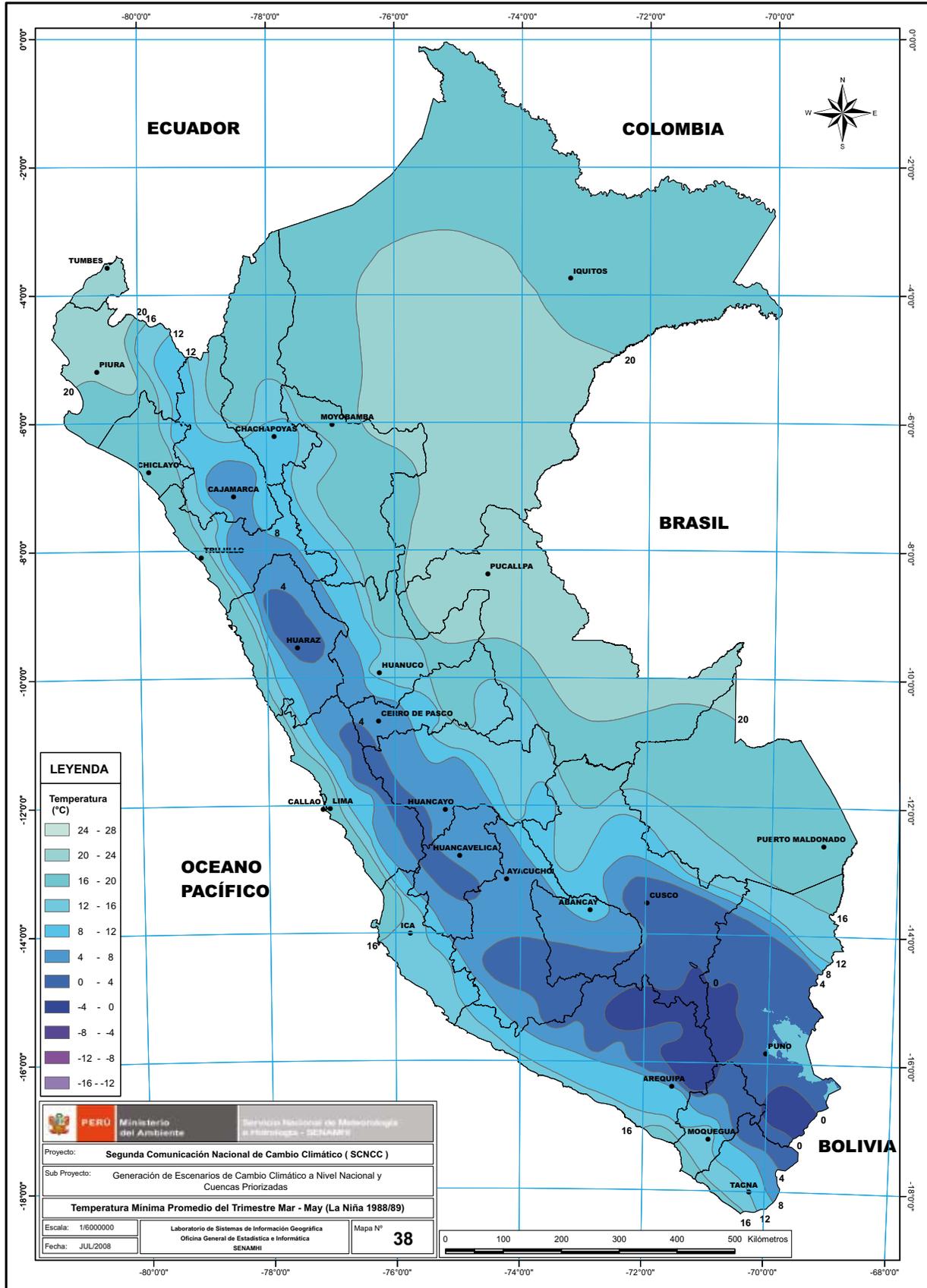


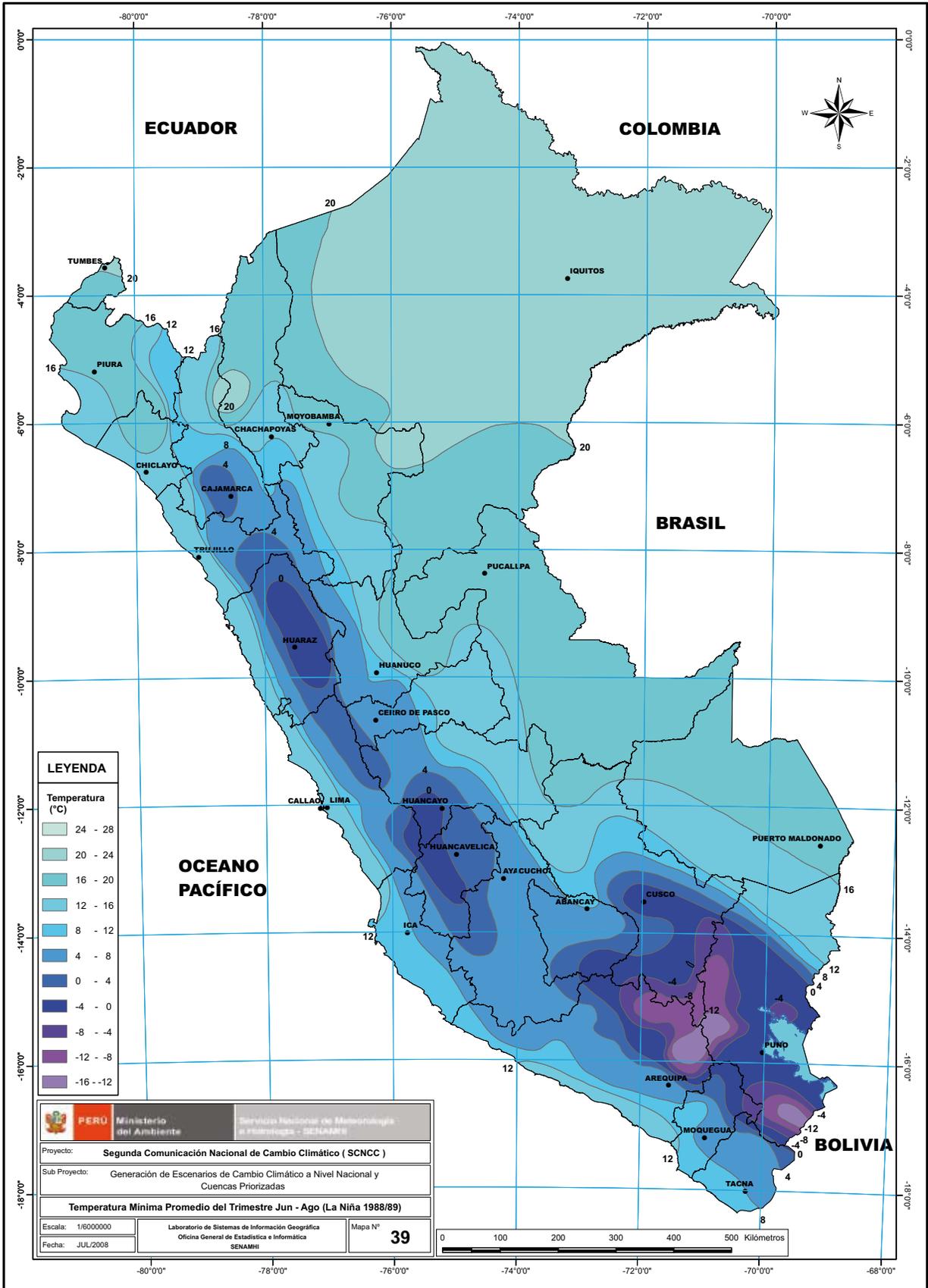


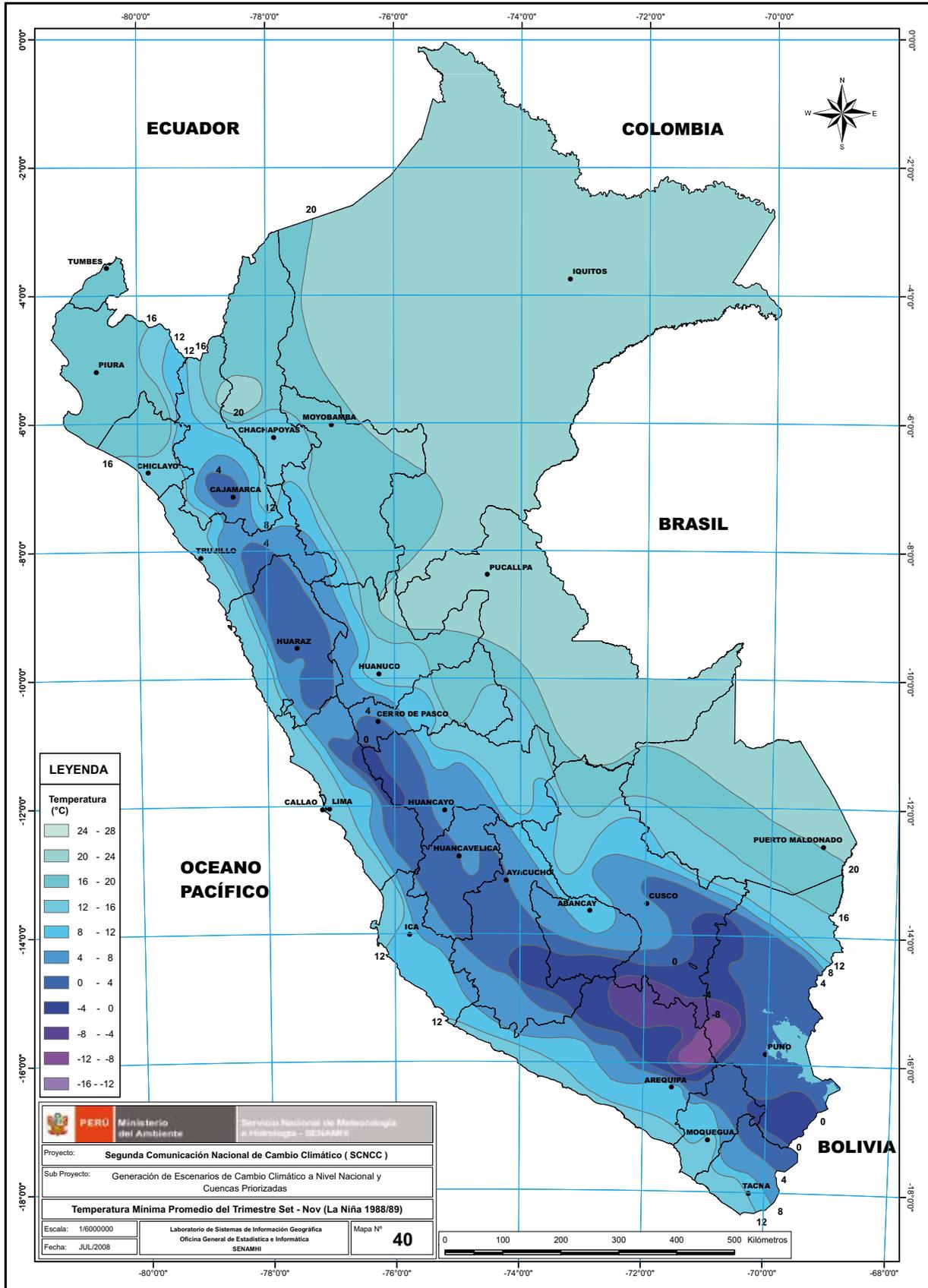


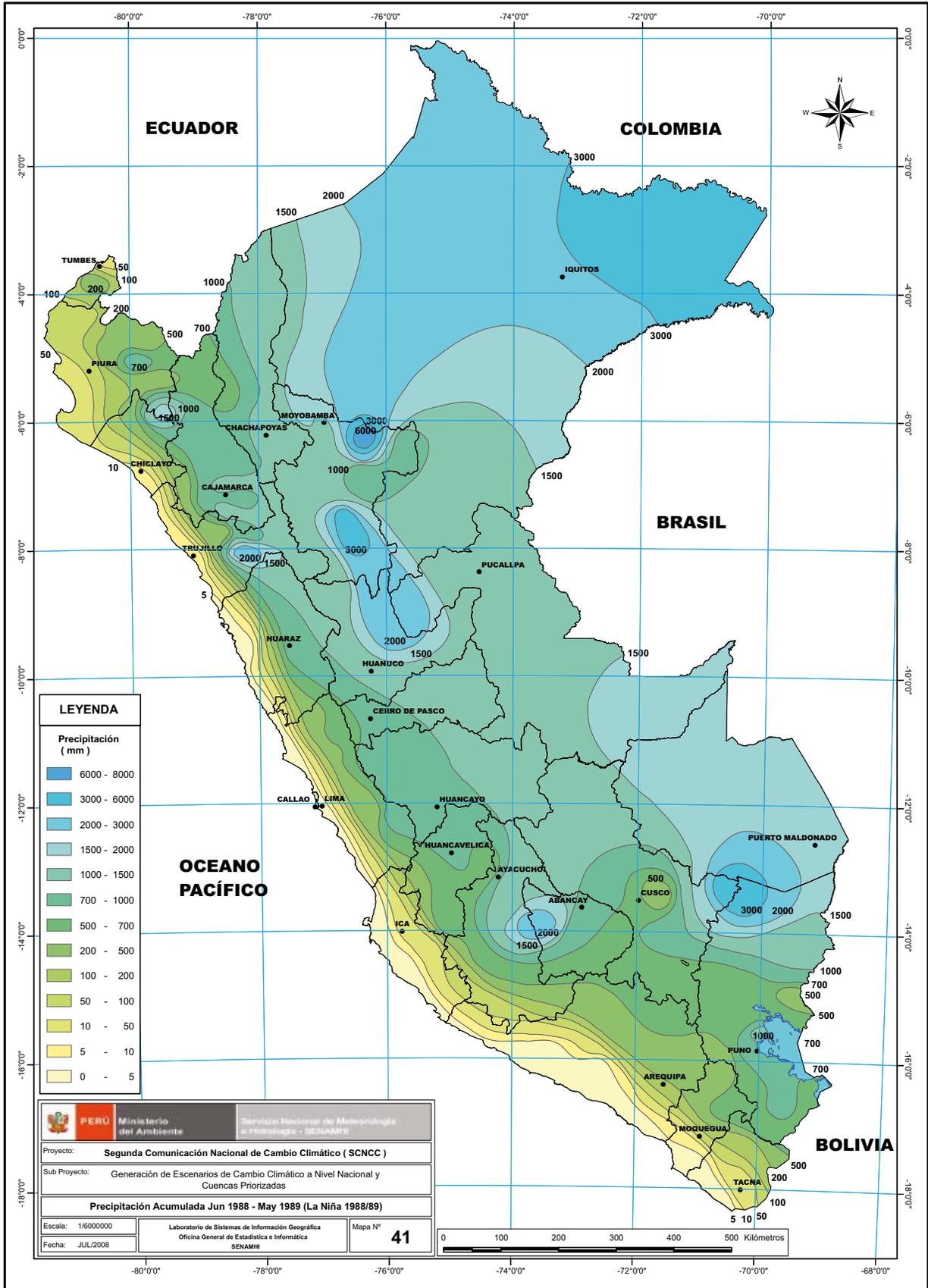


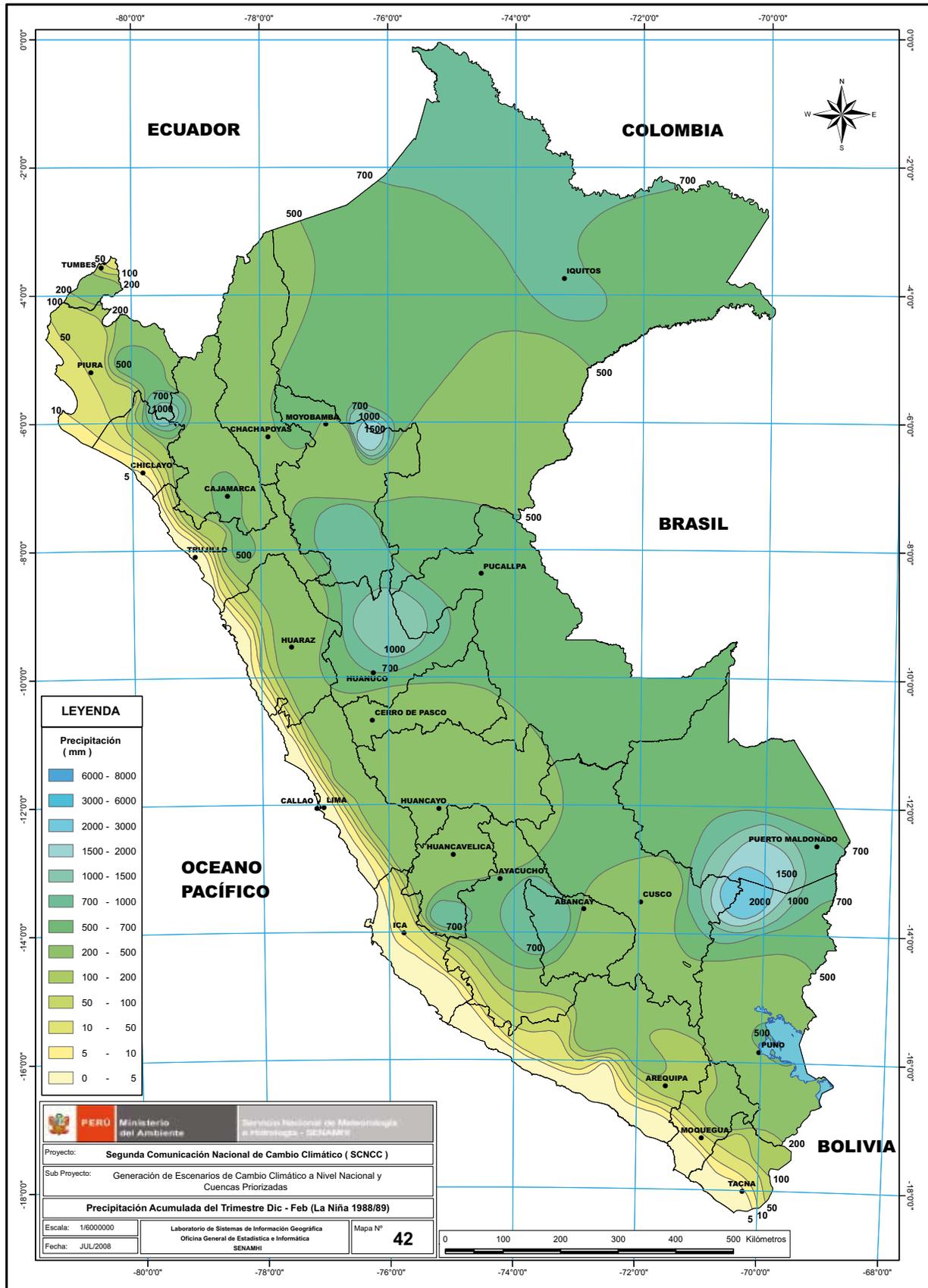


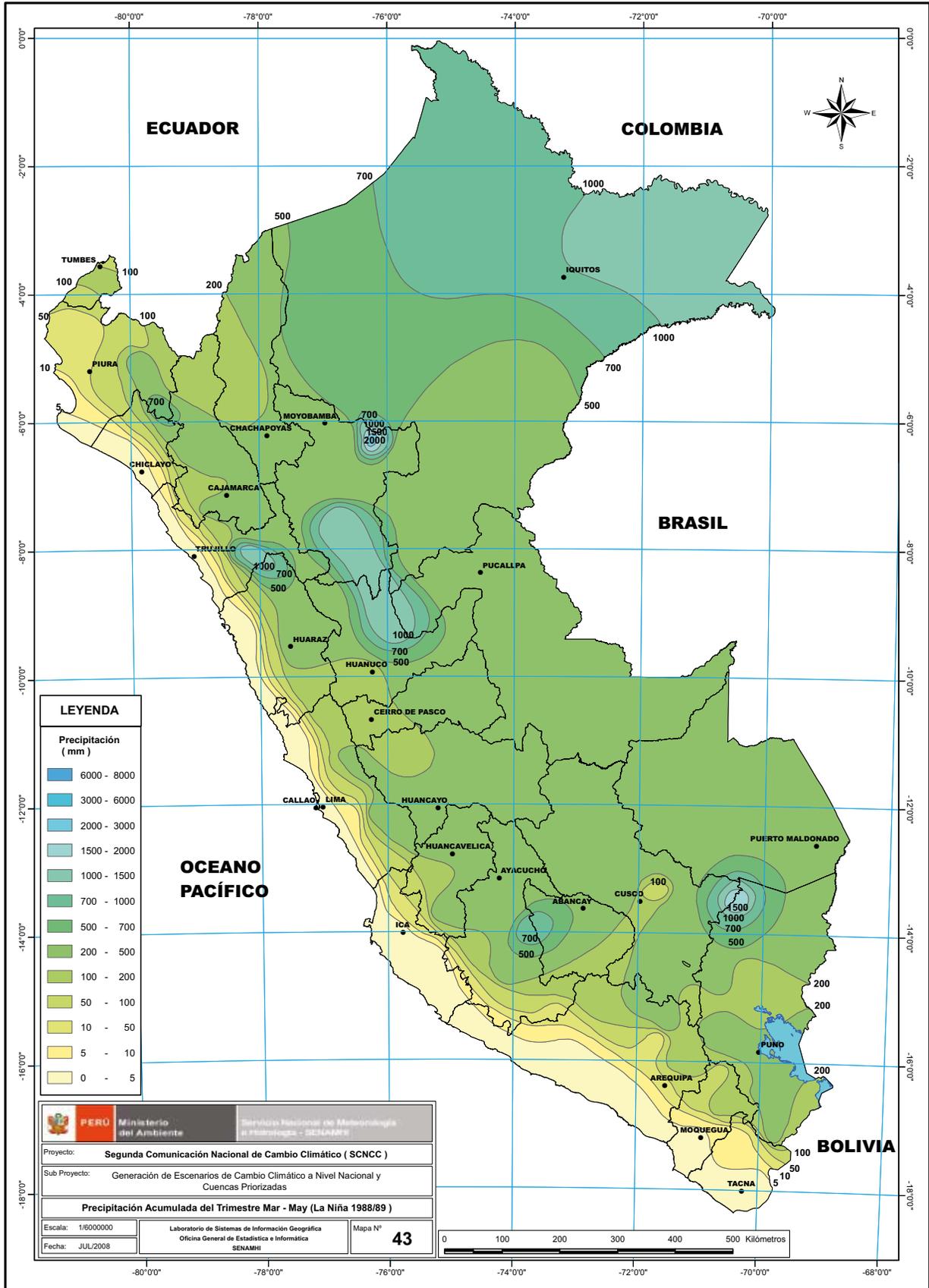


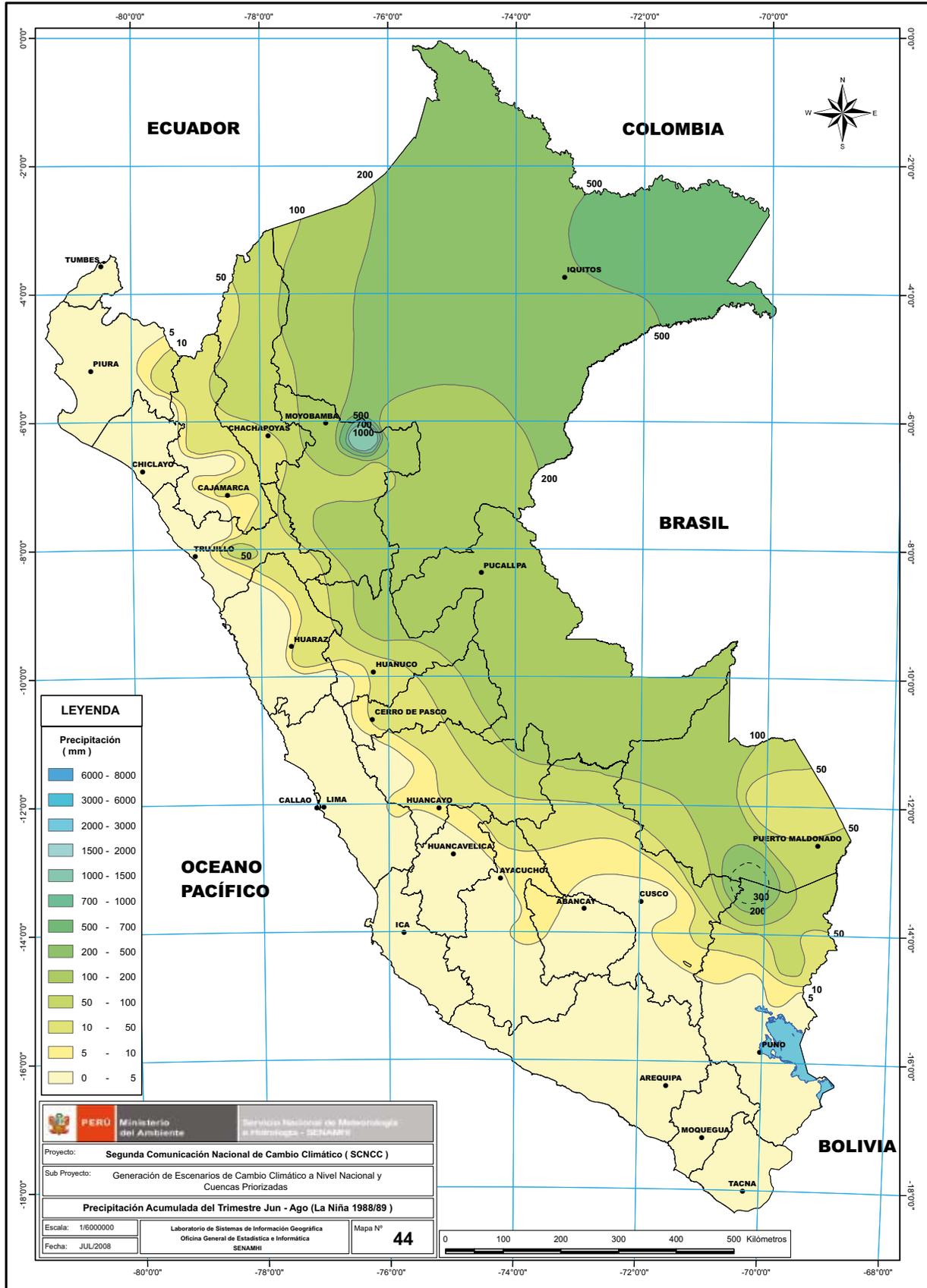


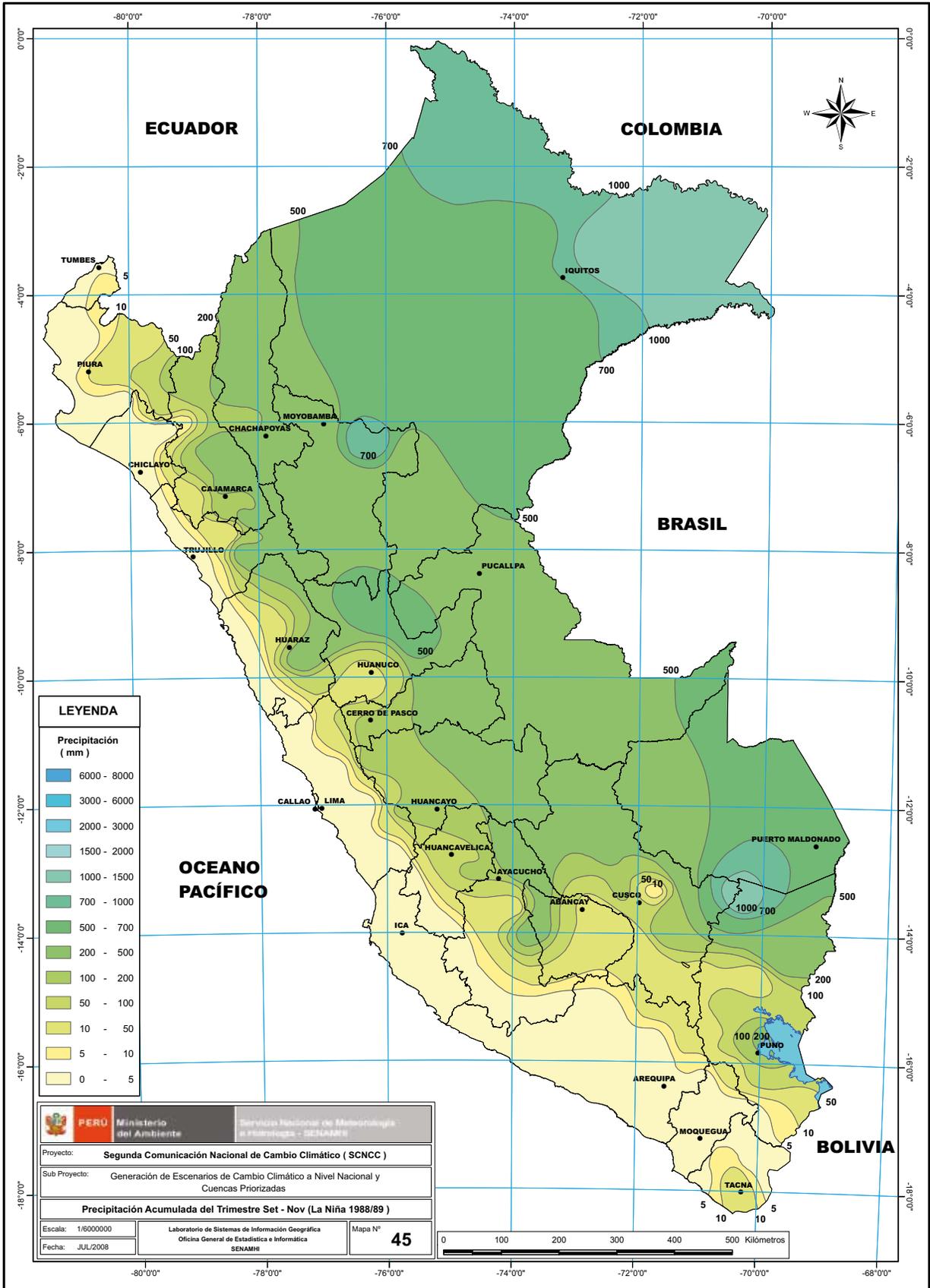


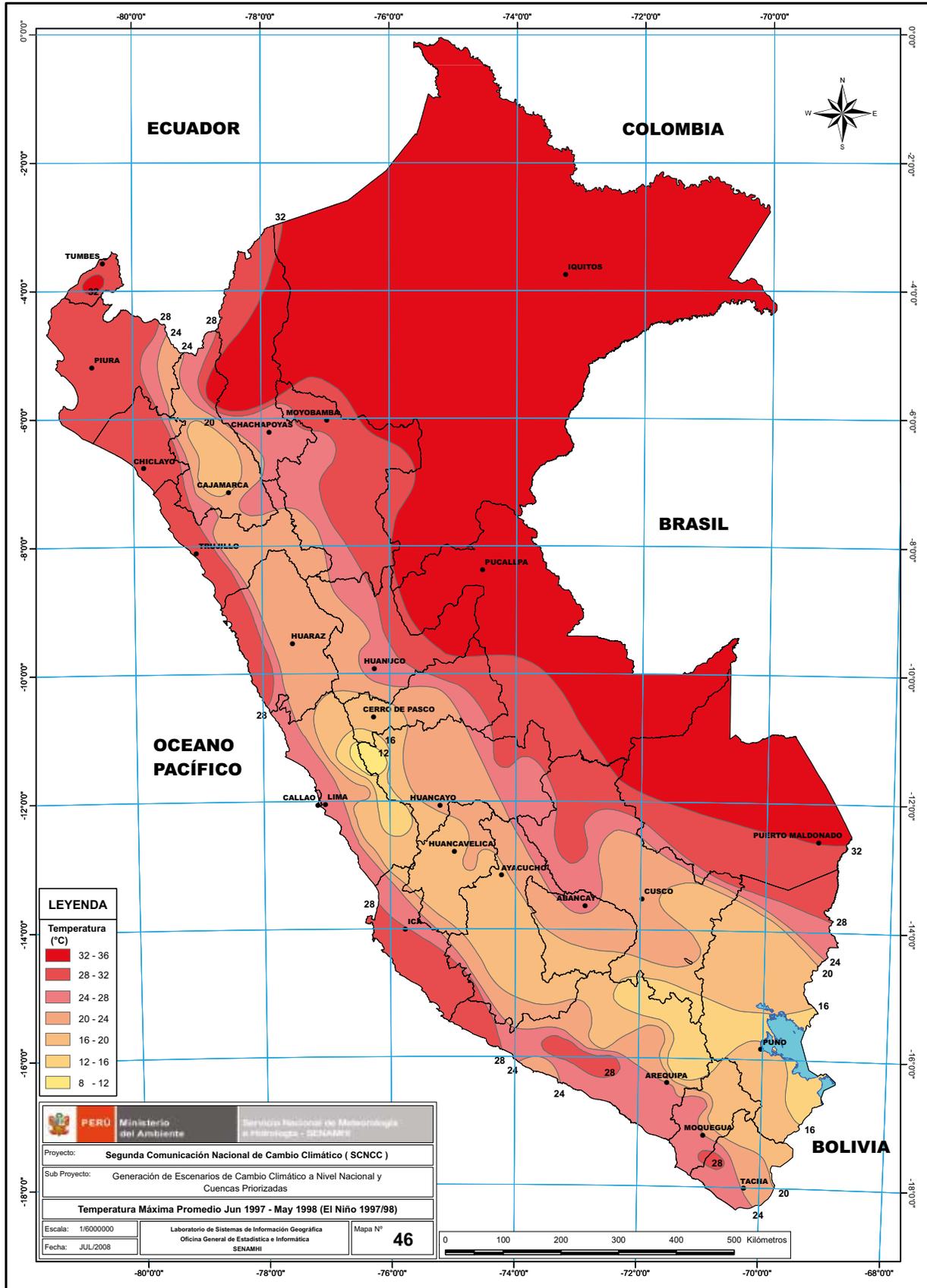


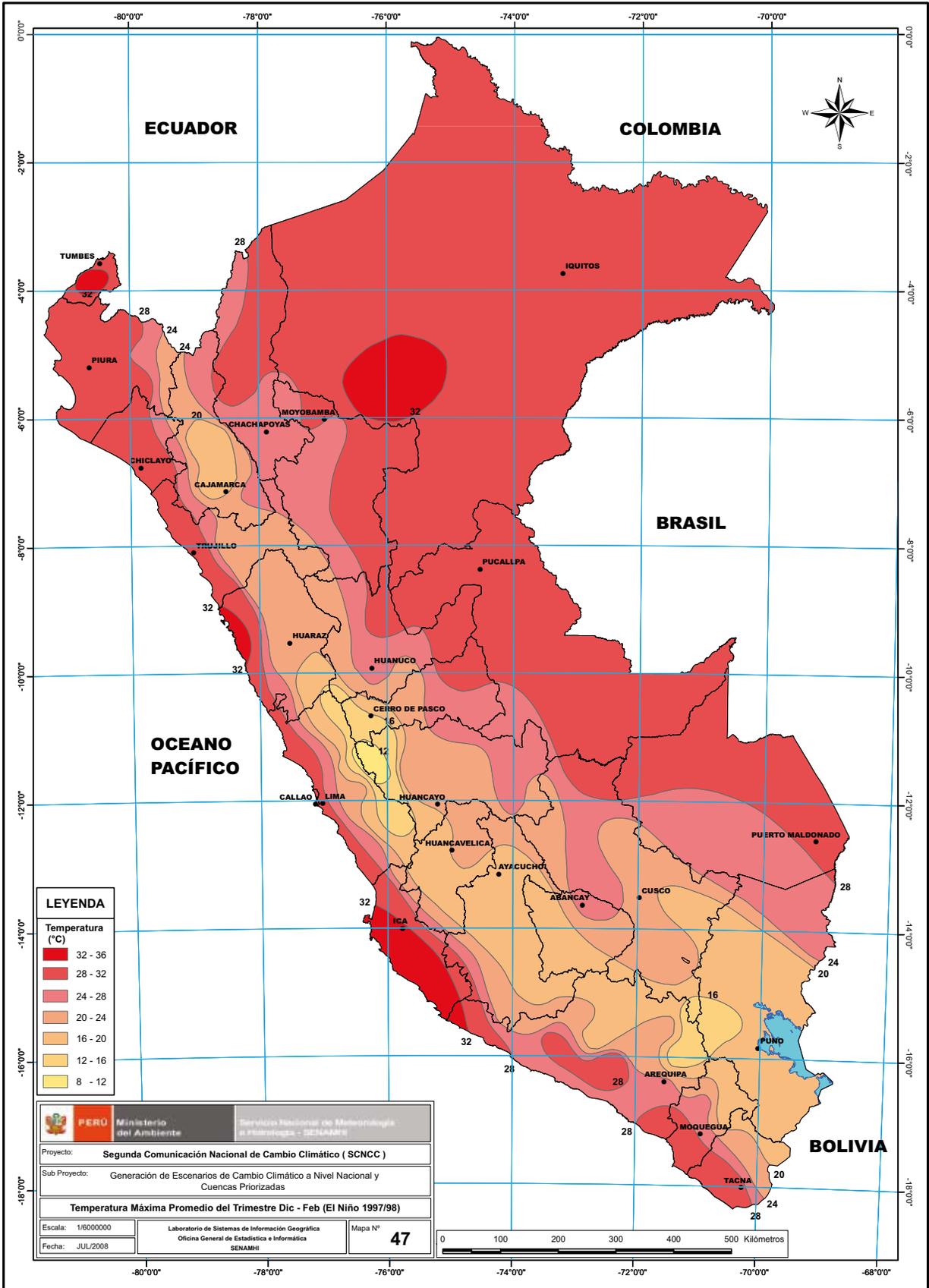


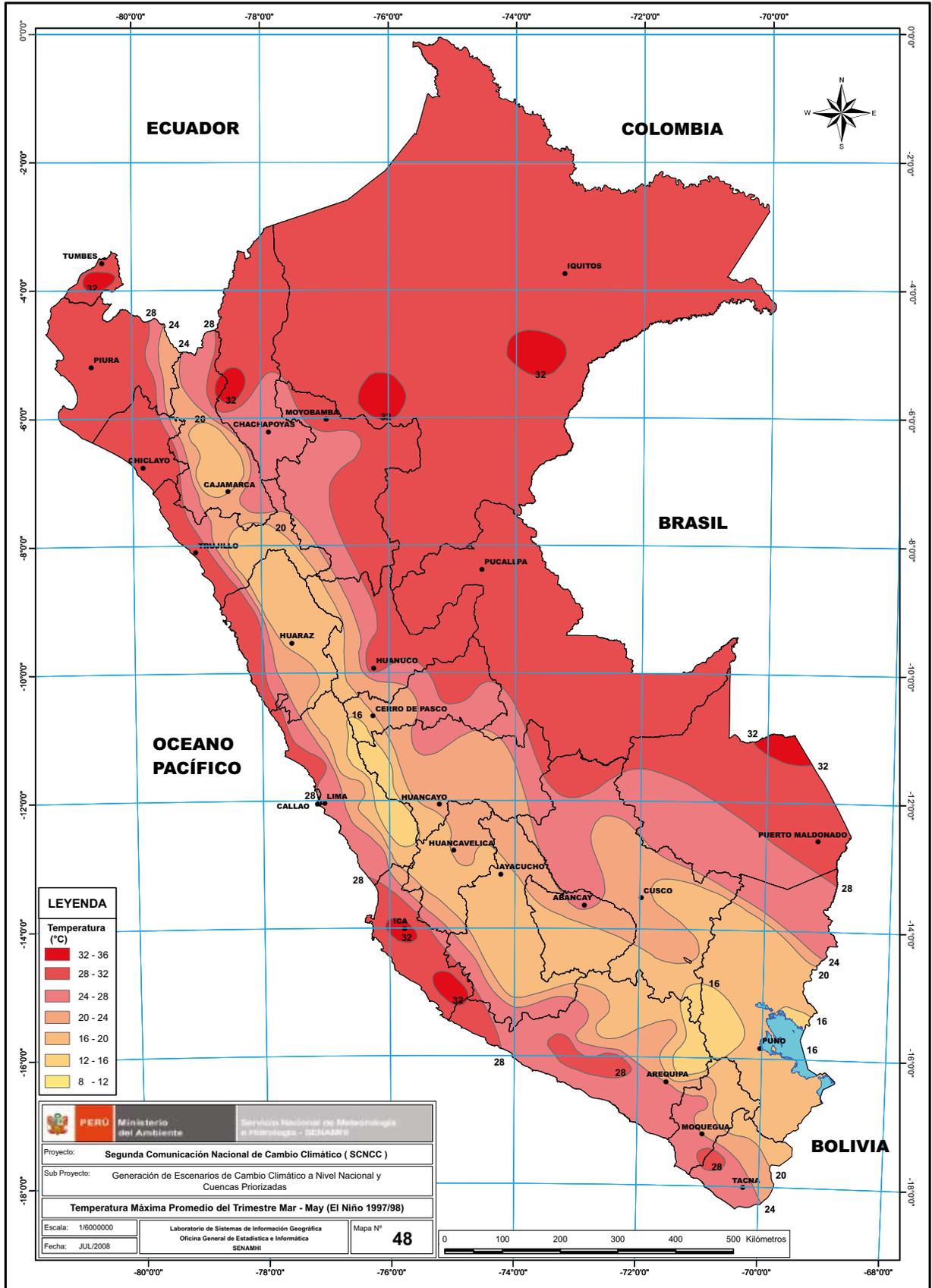


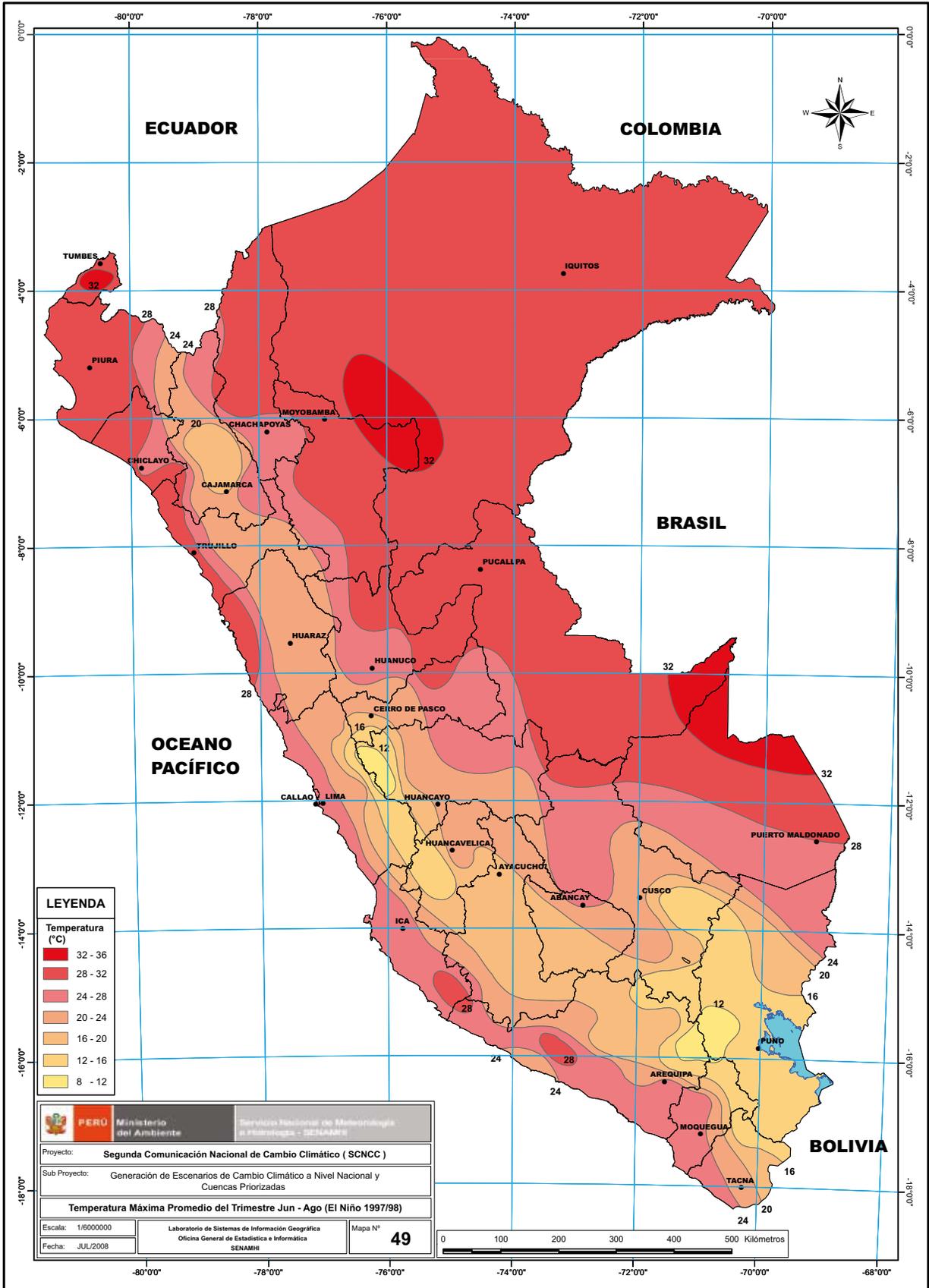


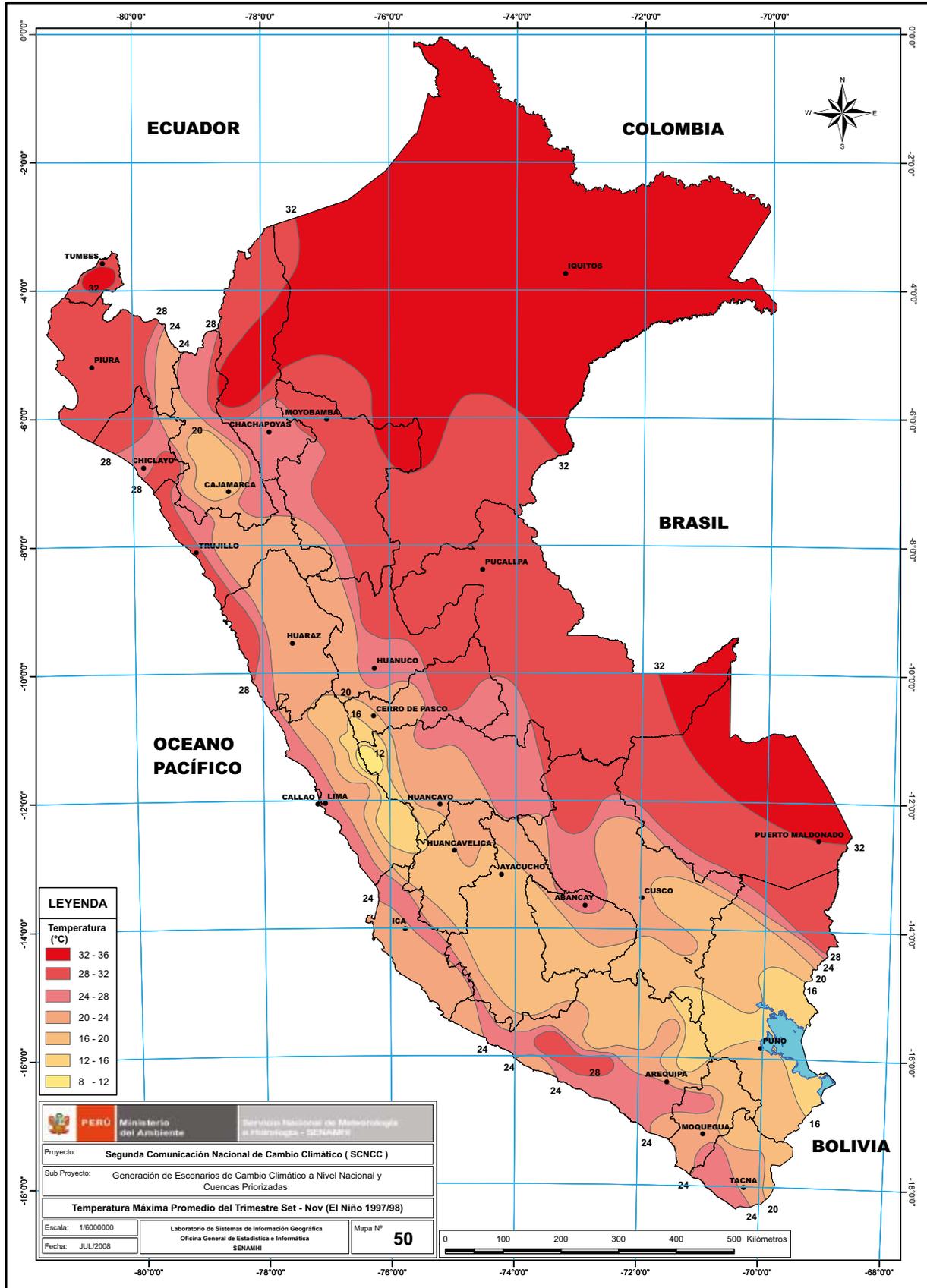


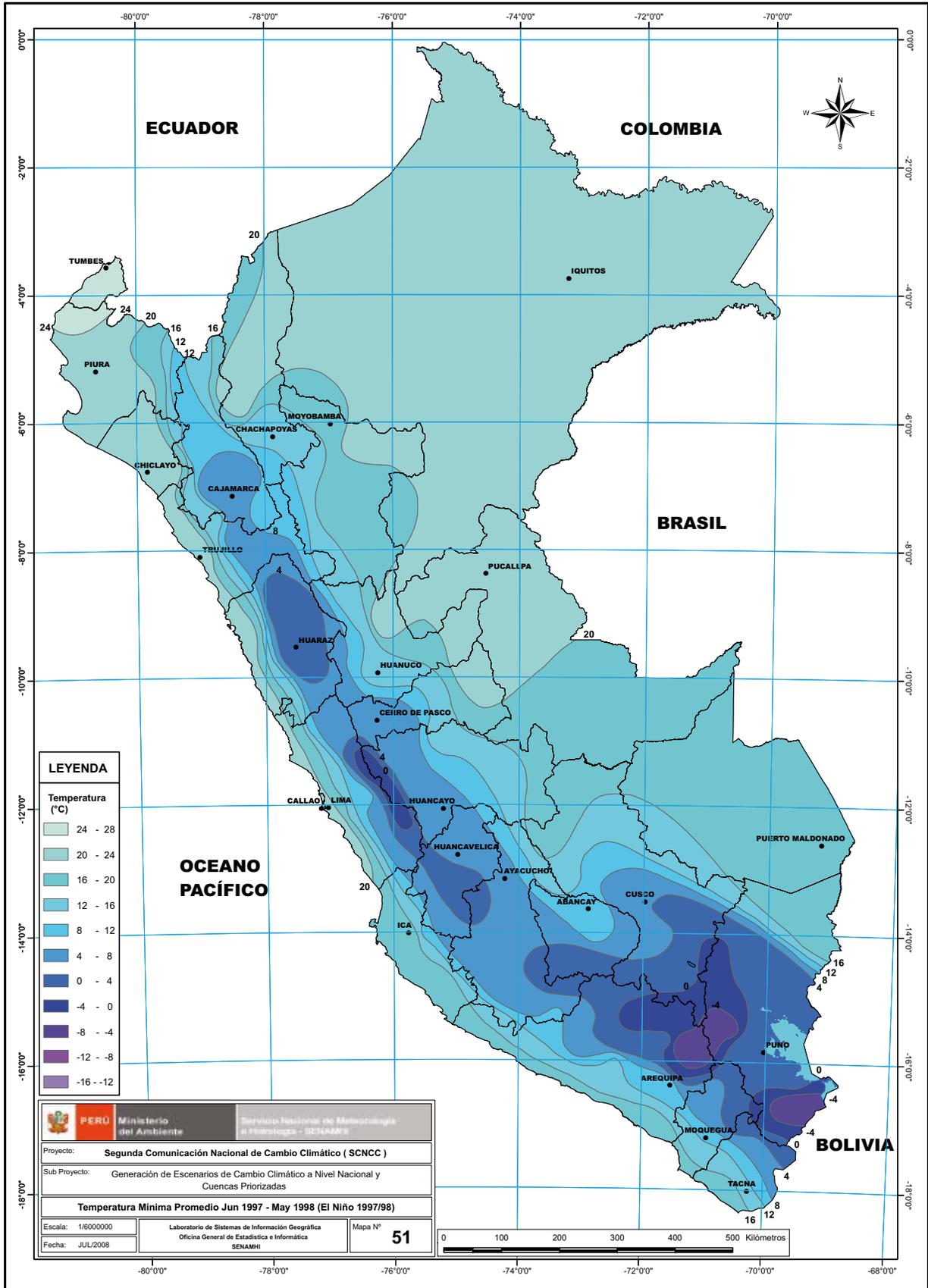


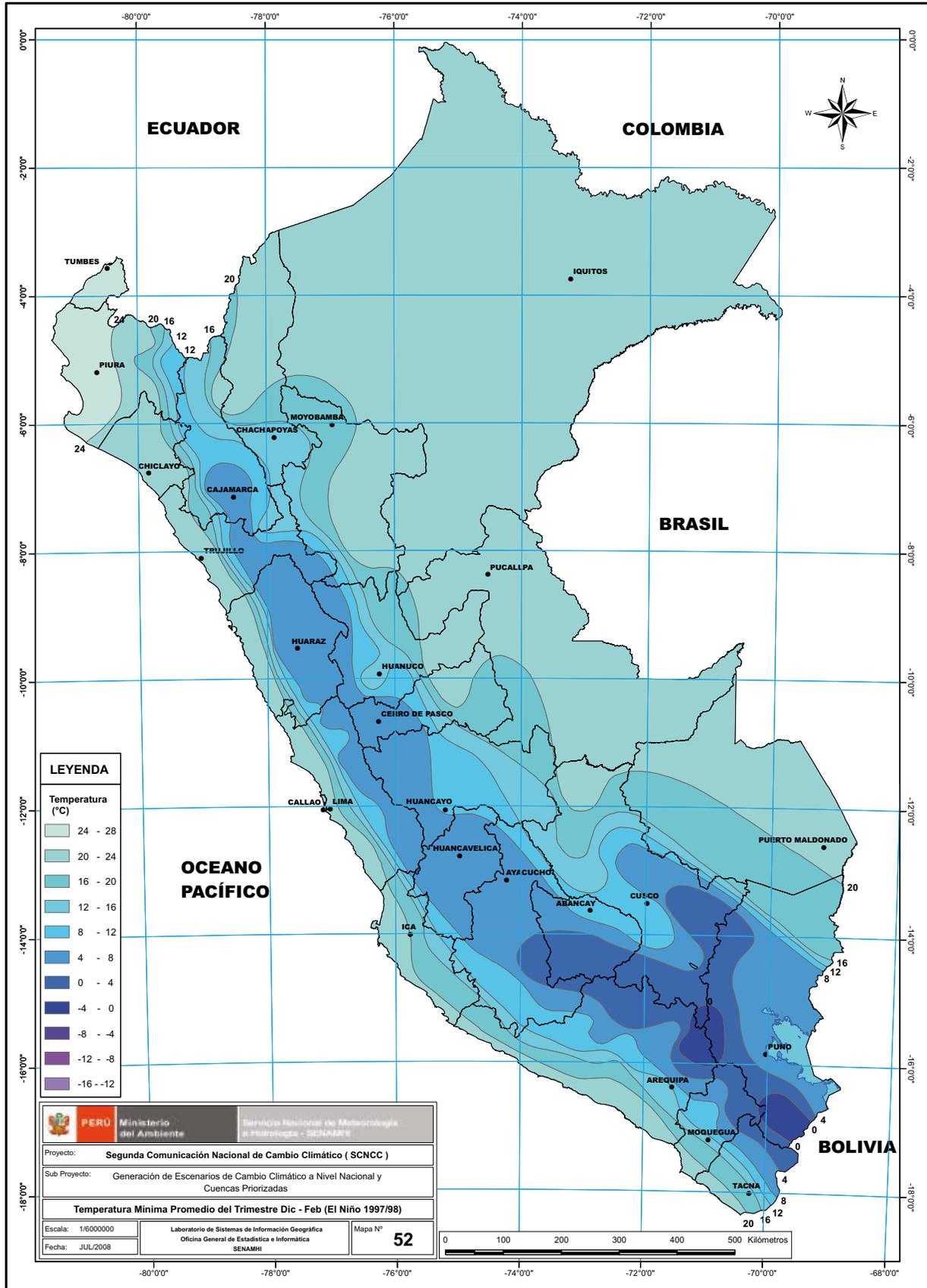


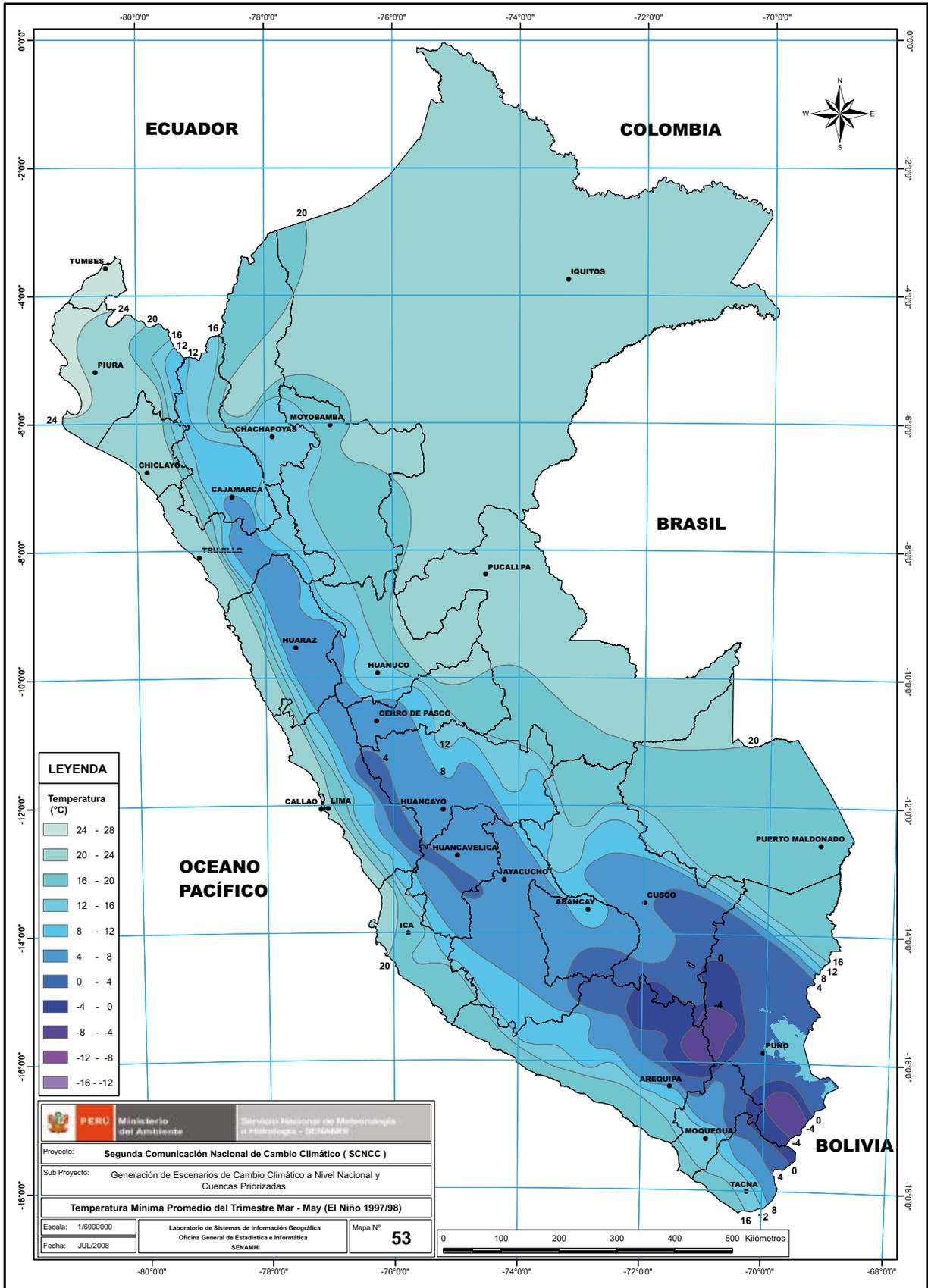


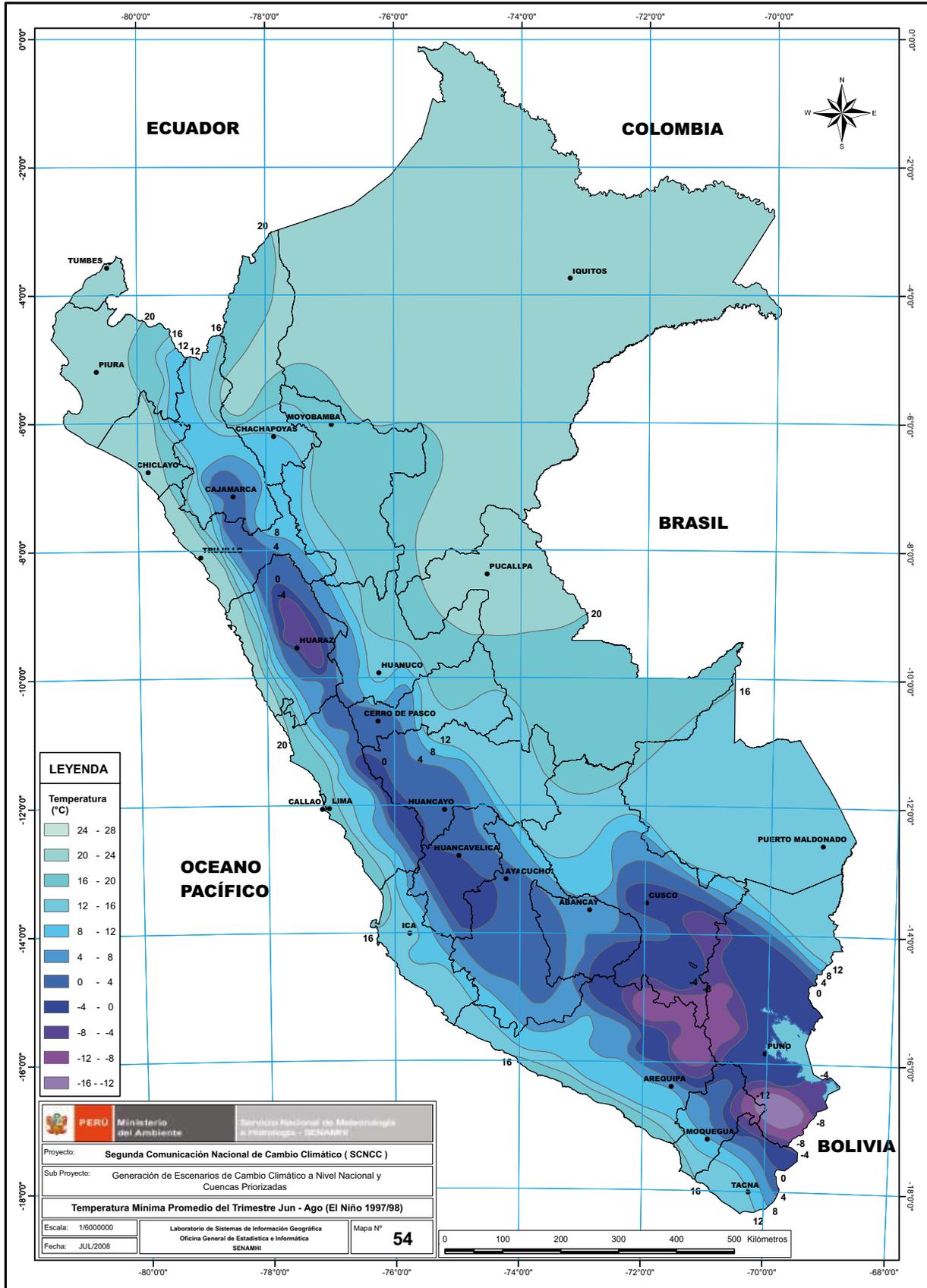


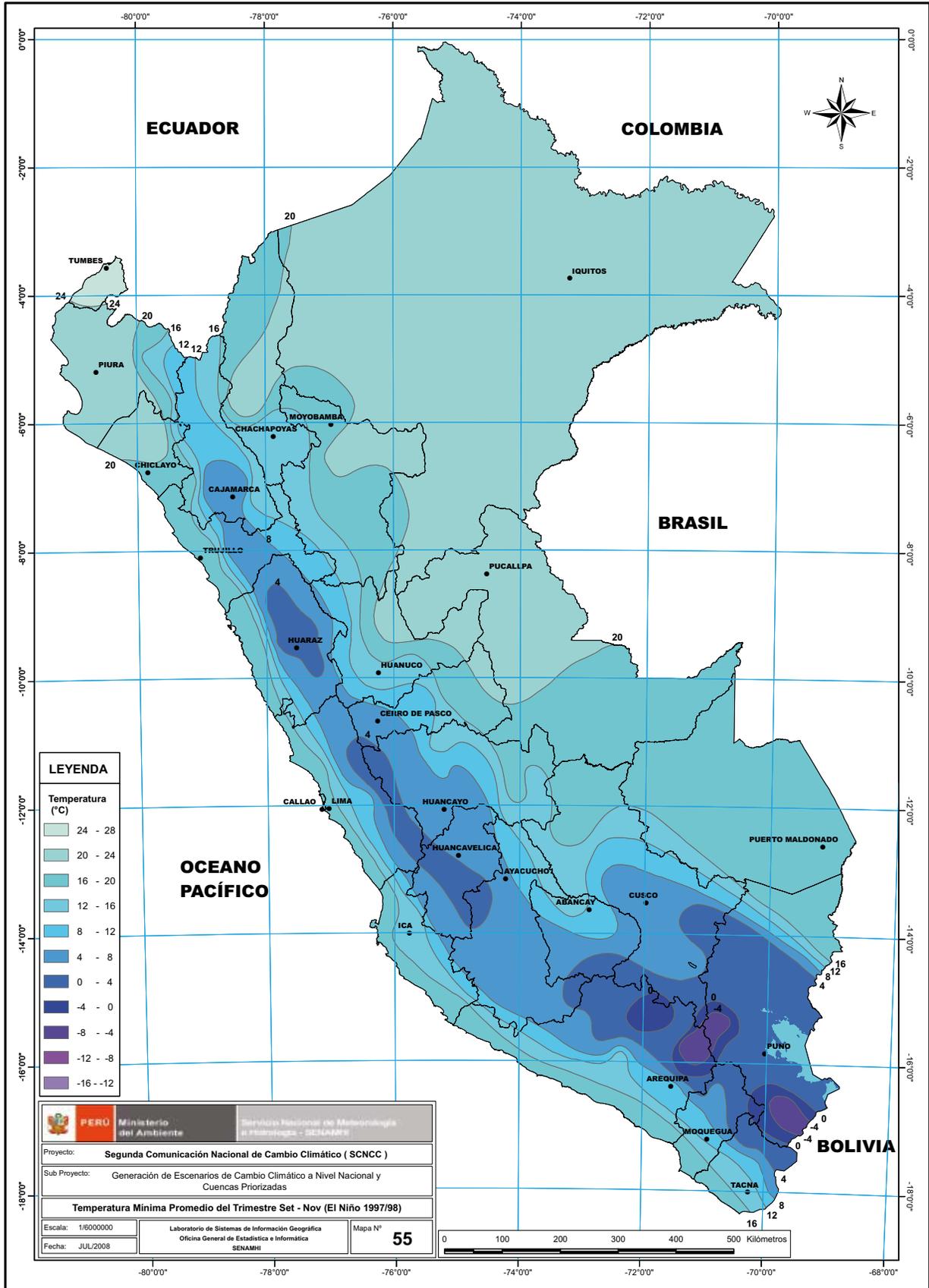


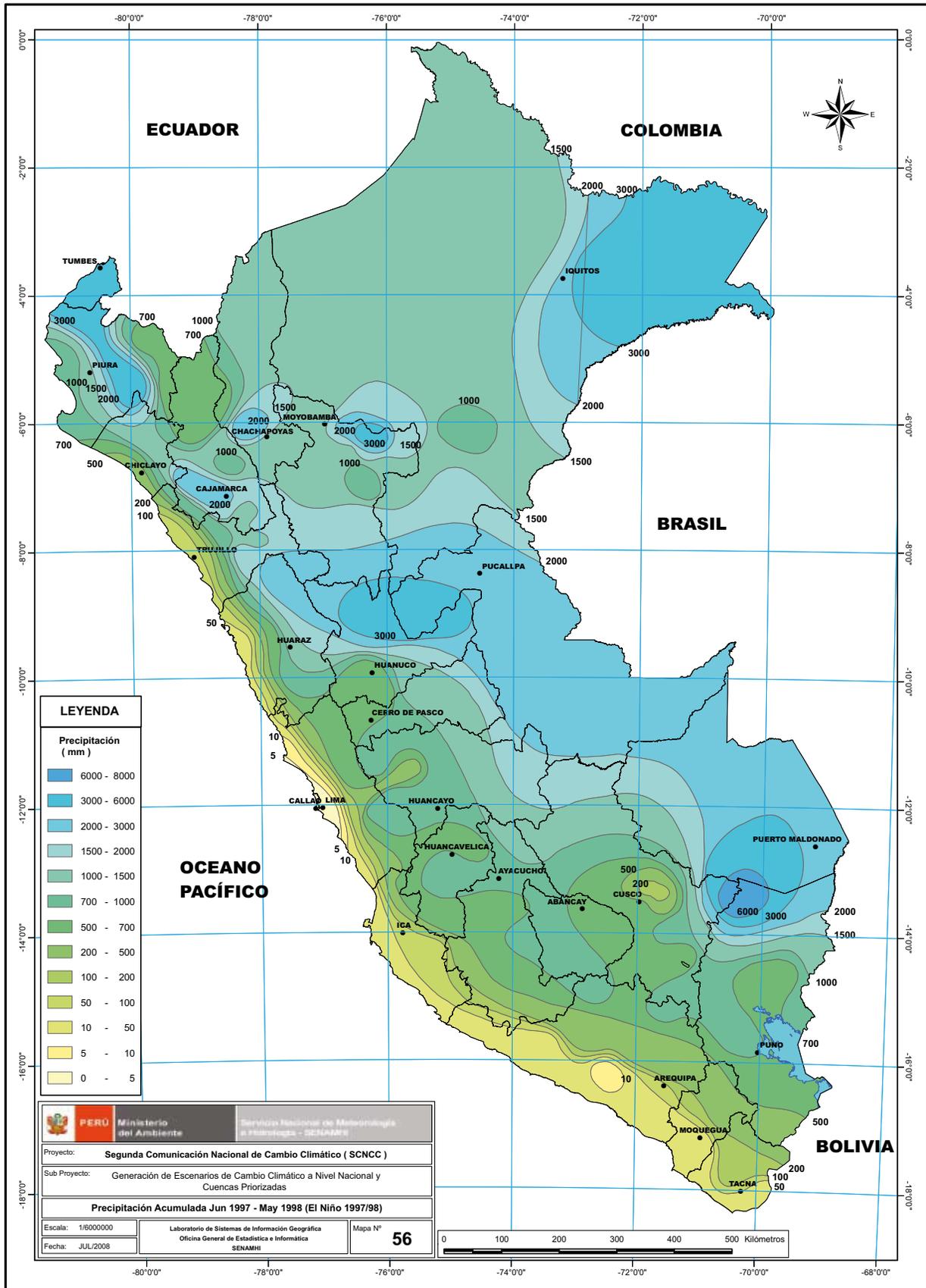


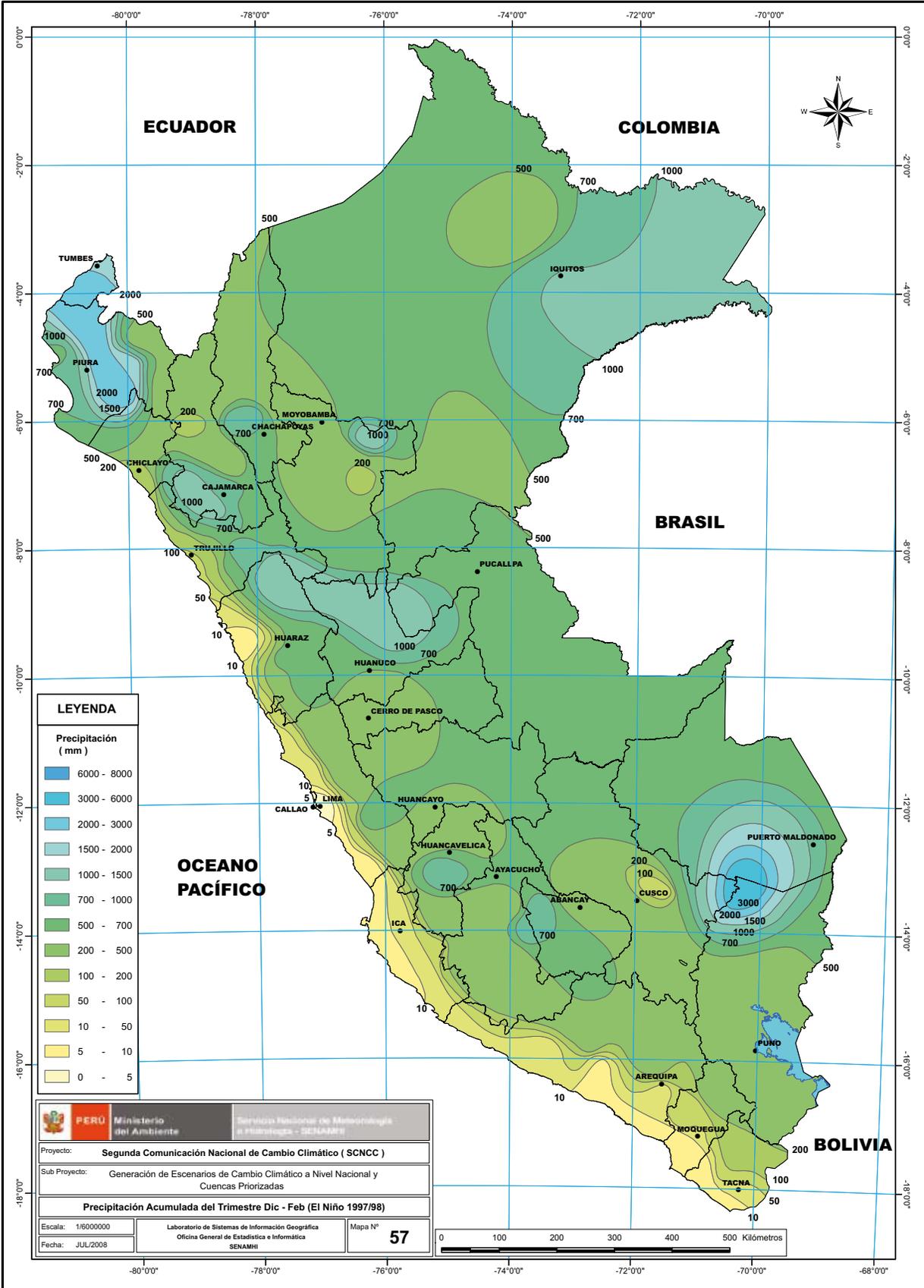


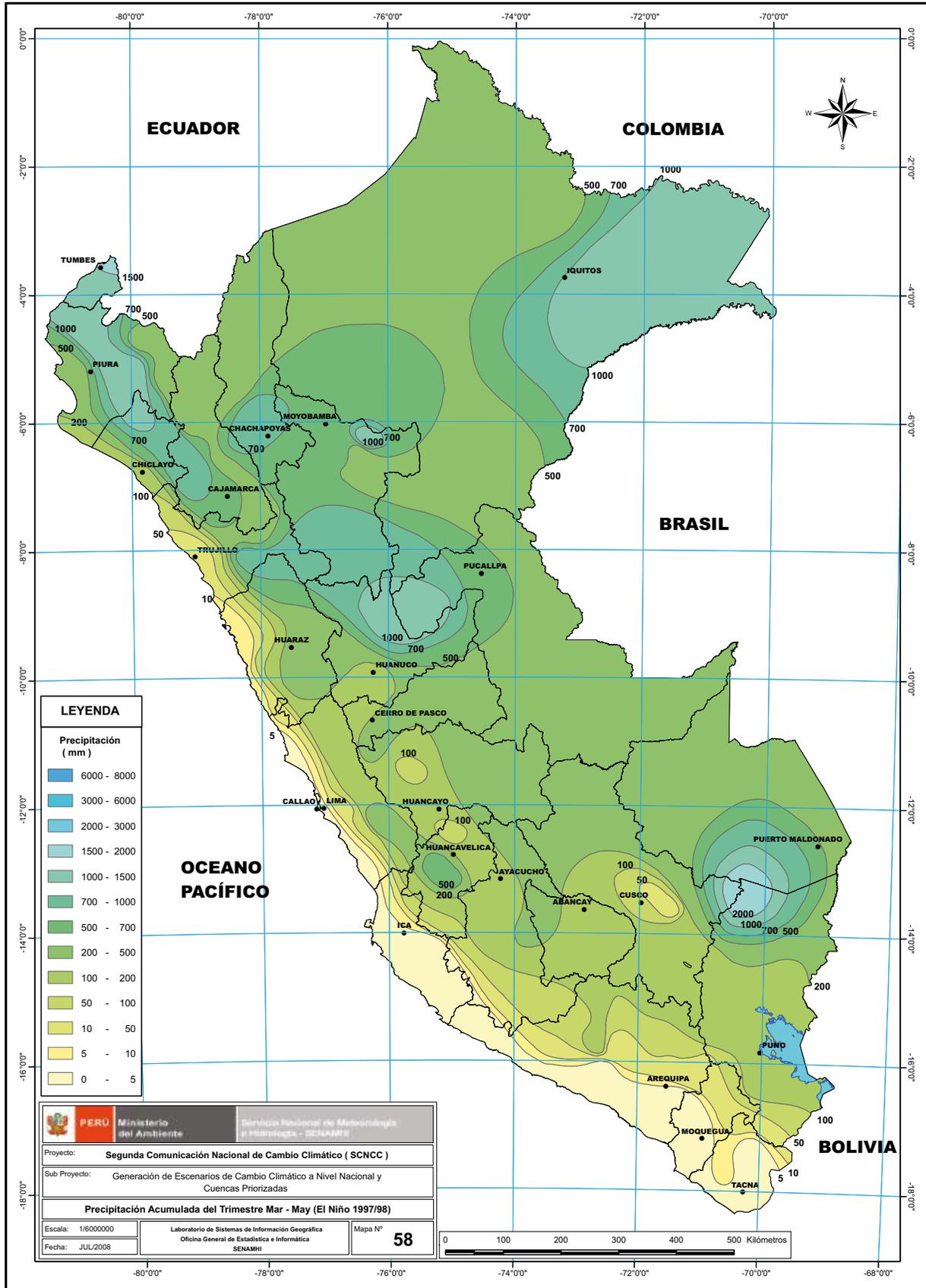


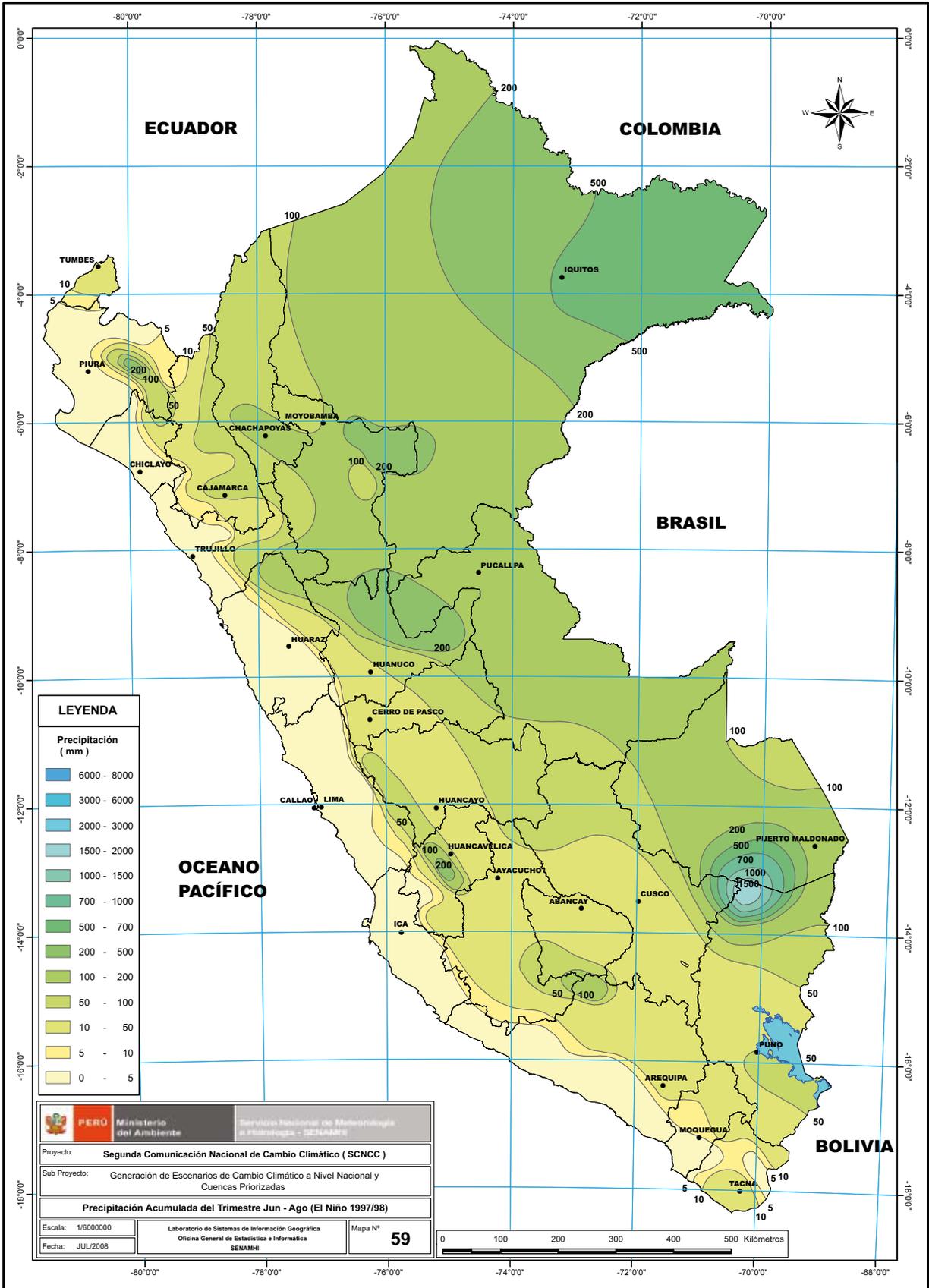


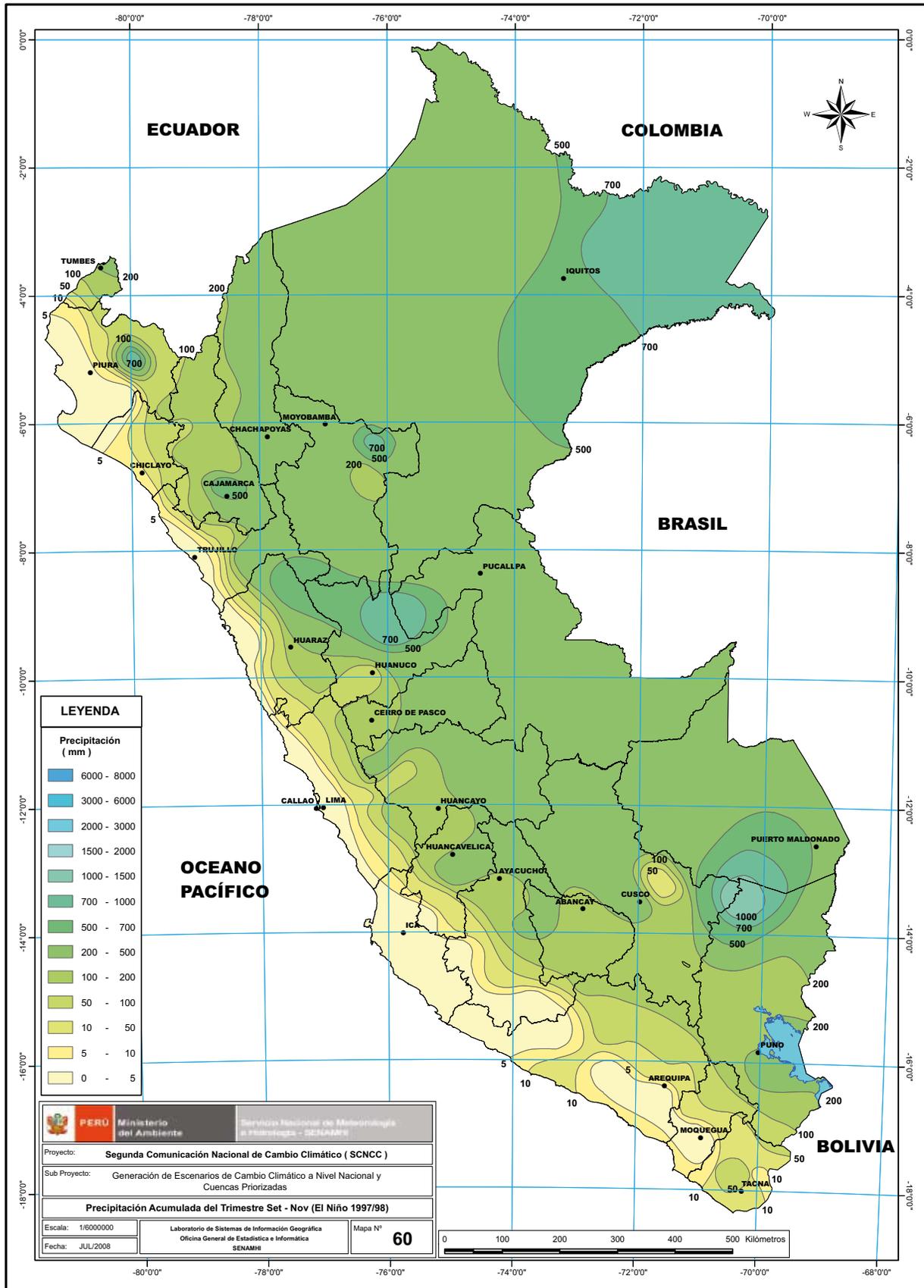












the study. The first author (S.J.G.) was the principal investigator of the study and was responsible for the design, data collection, analysis and interpretation of the study. The second author (D.M.) was responsible for the design, data collection, analysis and interpretation of the study. The third author (S.J.G.) was responsible for the design, data collection, analysis and interpretation of the study.

References

- Adams, M. A., Hutton, W. C., & Dolan, P. (1996). The influence of age and gender on the mechanical properties of the lumbar vertebral body endplate. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 78B, 1066-1071.
- Adams, M. A., & Dolan, P. (1997). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 30, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.
- Adams, M. A., Dolan, P., & Dolan, P. (1996). The effects of age and degeneration upon the mechanical properties of the lumbar intervertebral discs: An investigation using the finite element method. *Journal of Biomechanics*, 29, 125-134.

Correspondence

Dr S. J. Gray, School of Health and Life Sciences, Aston University, Aston Triangle, Birmingham B4 7ET, UK. Email: s.j.gray@aston.ac.uk

Received

15 July 2009; accepted 20 October 2009 after revision. Published online 11 February 2010 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/jbm.b.31935

Copyright

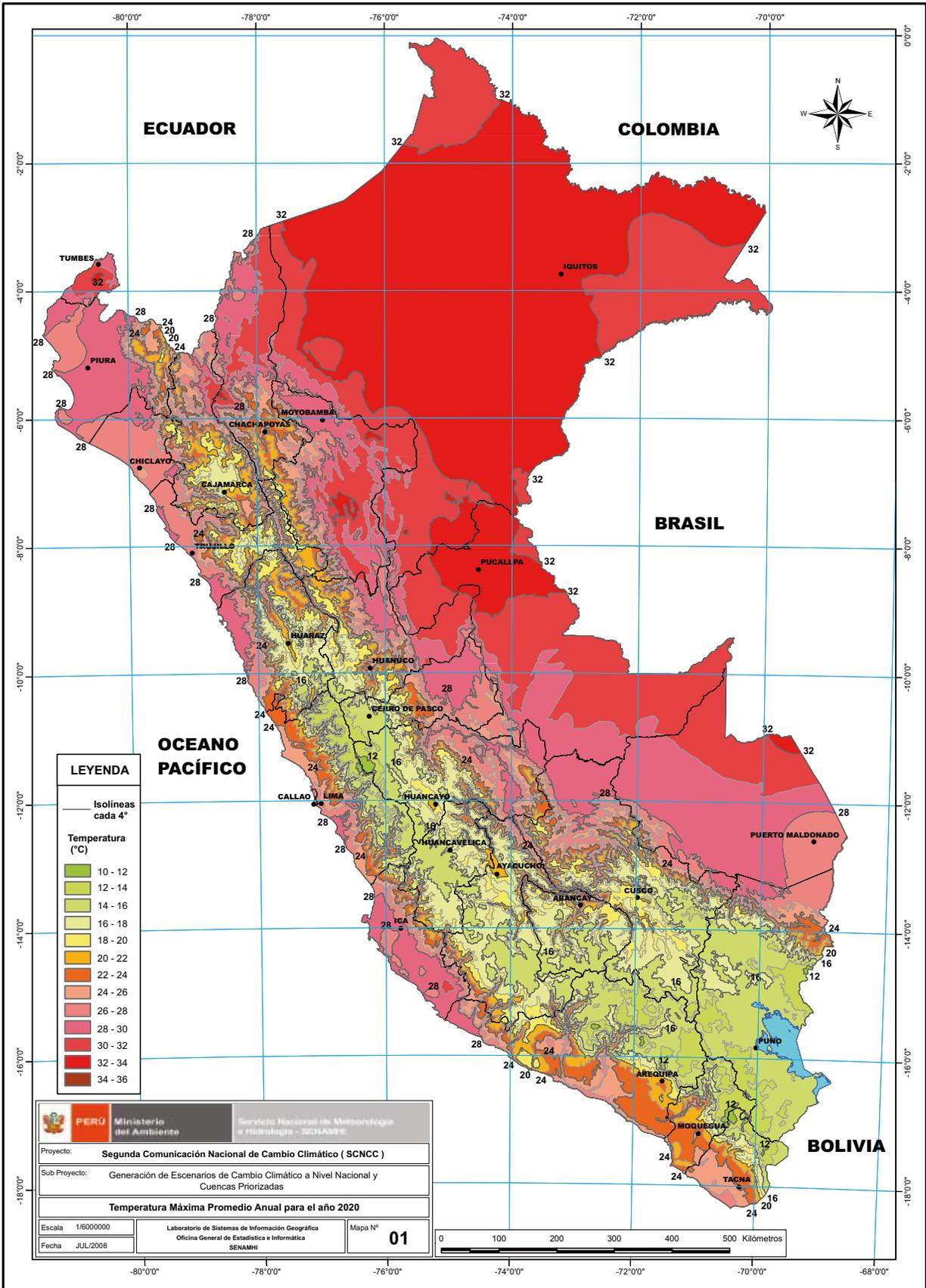
© 2010 Wiley-Liss, Inc. This article is a U.S. Government work and, as such, is in the public domain in the United States of America.

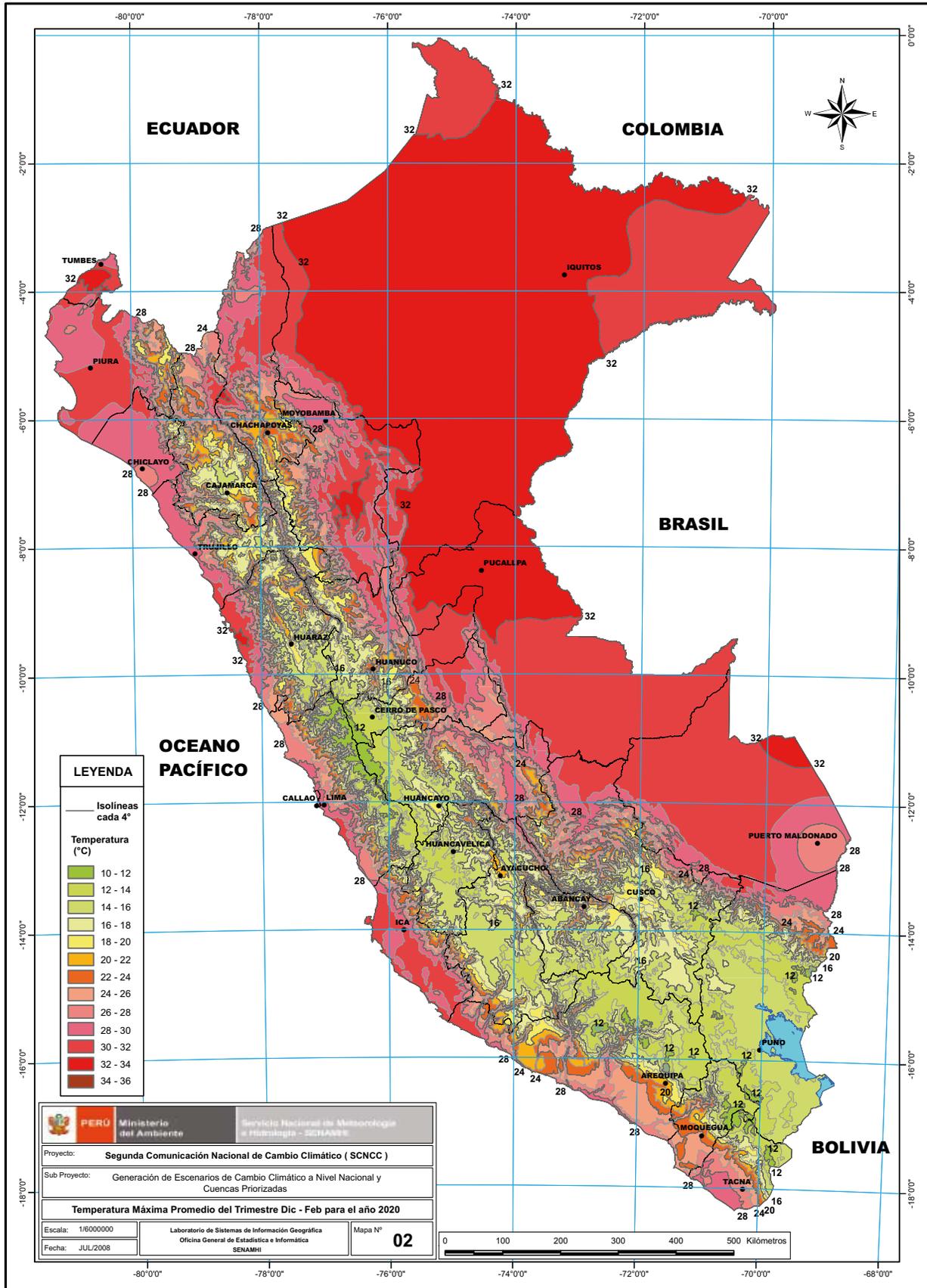
APÉNDICE 3

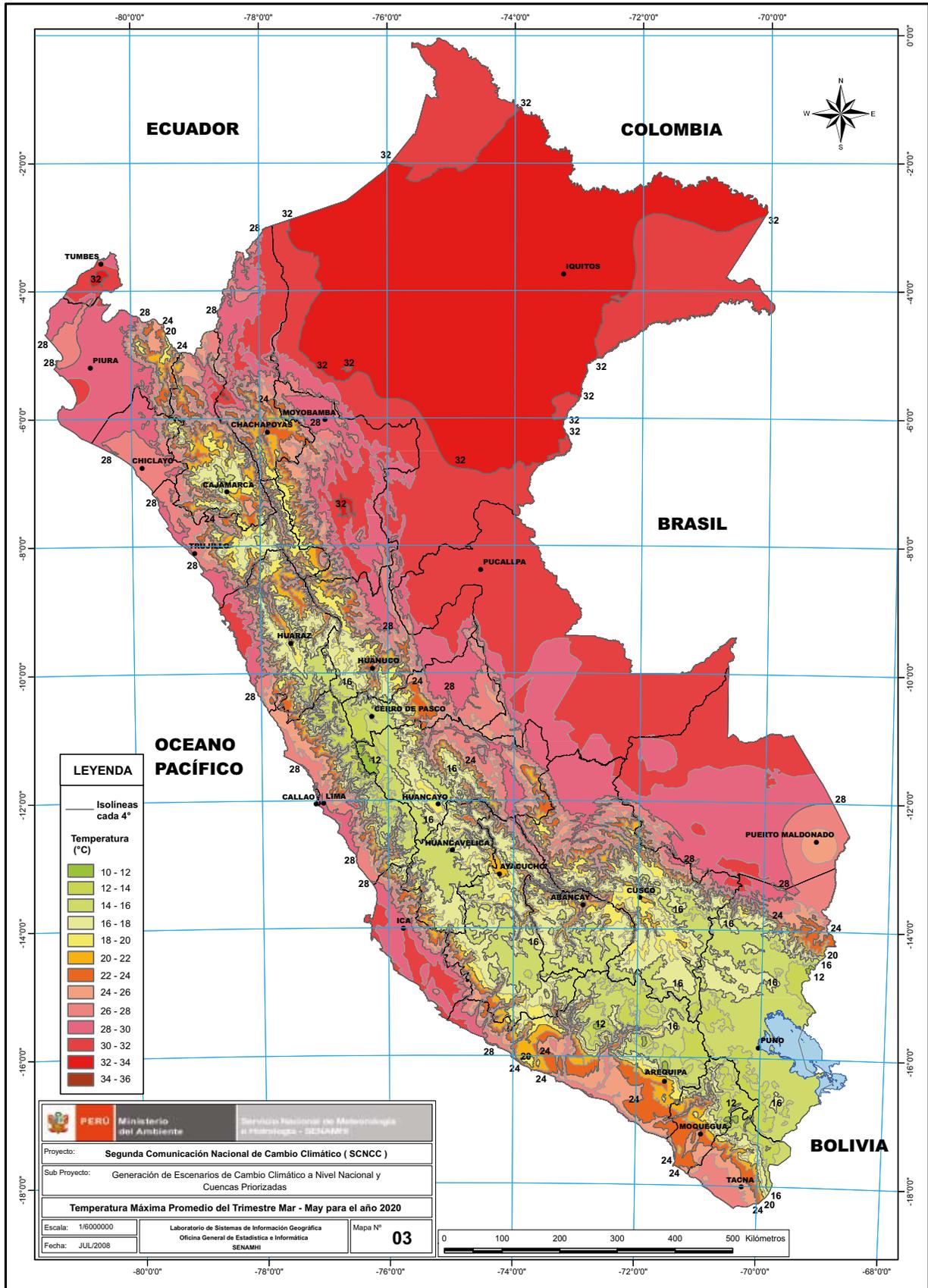
MAPAS DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

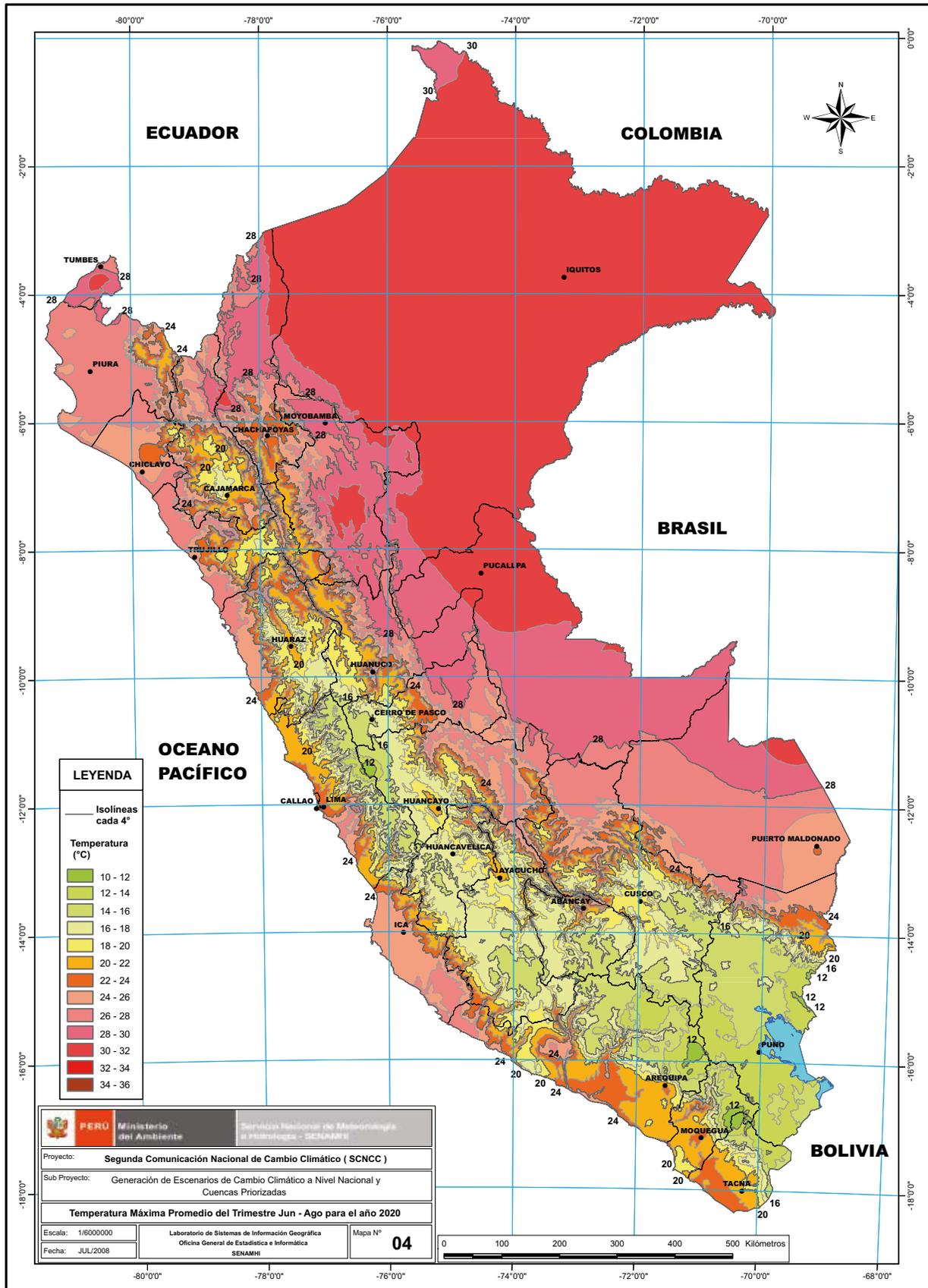
A LOS AÑOS 2020 Y 2030

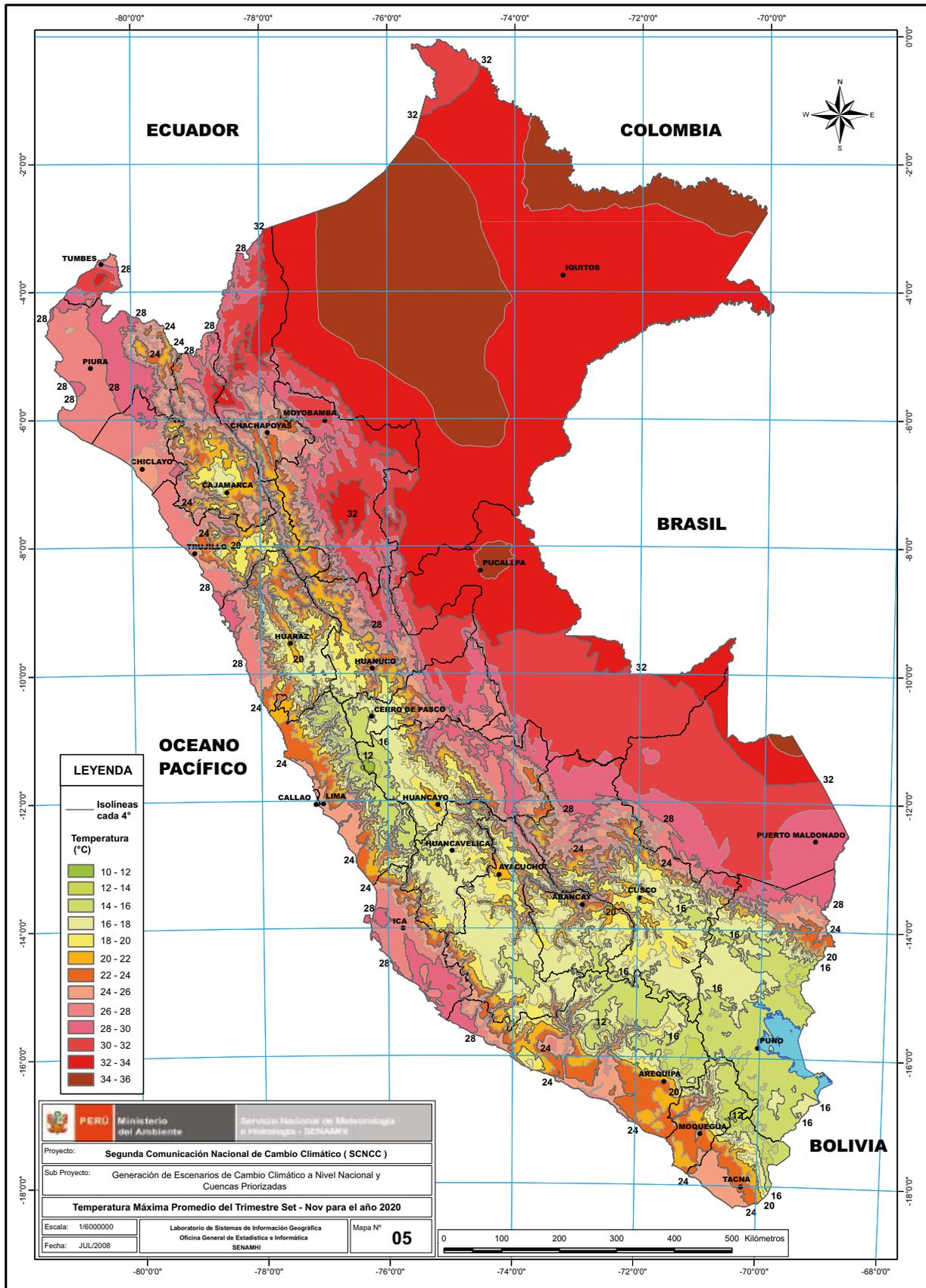
N° de Mapa	Nombre de Mapa
Mapa N° 01:	Temperatura máxima promedio anual para el año 2020
Mapa N° 02:	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero para el año 2020
Mapa N° 03:	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo para el año 2020
Mapa N° 04:	Temperatura máxima promedio del trimestre junio-agosto para el año 2020
Mapa N° 05:	Temperatura máxima promedio del trimestre setiembre-noviembre para el año 2020
Mapa N° 06:	Temperatura máxima promedio anual para el año 2030
Mapa N° 07:	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 08:	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 09:	Temperatura máxima promedio del trimestre junio-agosto para el año 2030
Mapa N° 10:	Temperatura máxima promedio del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030
Mapa N° 11:	Variación de la temperatura máxima anual para el año 2030
Mapa N° 12:	Variación de la temperatura máxima del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 13:	Variación de la temperatura máxima del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 14:	Variación de la temperatura máxima del trimestre junio-agosto para el año 2030
Mapa N° 15:	Variación de la temperatura máxima del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030
Mapa N° 16:	Variación del percentil 90 de la temperatura máxima para el año 2030
Mapa N° 17:	Temperatura mínima promedio anual para el año 2020
Mapa N° 18:	Temperatura mínima promedio del trimestre diciembre-febrero para el año 2020
Mapa N° 19:	Temperatura mínima promedio del trimestre marzo-mayo para el año 2020
Mapa N° 20:	Temperatura mínima promedio del trimestre junio-agosto para el año 2020
Mapa N° 21:	Temperatura mínima promedio del trimestre setiembre-noviembre para el año 2020
Mapa N° 22:	Temperatura mínima promedio anual para el año 2030
Mapa N° 23:	Temperatura mínima promedio del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 24:	Temperatura mínima promedio del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 25:	Temperatura mínima promedio del trimestre junio-agosto para el año 2030
Mapa N° 26:	Temperatura mínima promedio del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030
Mapa N° 27:	Variación de la temperatura mínima anual para el año 2030
Mapa N° 28:	Variación de la temperatura mínima del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 29:	Variación de la temperatura mínima del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 30:	Variación de la temperatura mínima del trimestre junio-agosto para el año 2030
Mapa N° 31:	Variación de la temperatura mínima del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030
Mapa N° 32:	Variación del percentil 90 de la temperatura mínima para el año 2030
Mapa N° 33:	Precipitación acumulada para el año 2020
Mapa N° 34:	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero para el año 2020
Mapa N° 35:	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo para el año 2020
Mapa N° 36:	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto para el año 2020
Mapa N° 37:	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre para el año 2020
Mapa N° 38:	Precipitación acumulada para el año 2030
Mapa N° 39:	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 40:	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 41:	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto para el año 2030
Mapa N° 42:	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030
Mapa N° 43:	Variación porcentual de la precipitación para el año 2030
Mapa N° 44:	Variación porcentual de la precipitación del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 45:	Variación porcentual de la precipitación del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 46:	Variación porcentual de la precipitación del trimestre junio-agosto para el año 2030
Mapa N° 47:	Variación porcentual de la precipitación del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030
Mapa N° 48:	Variación del percentil 95 de la precipitación para el año 2030

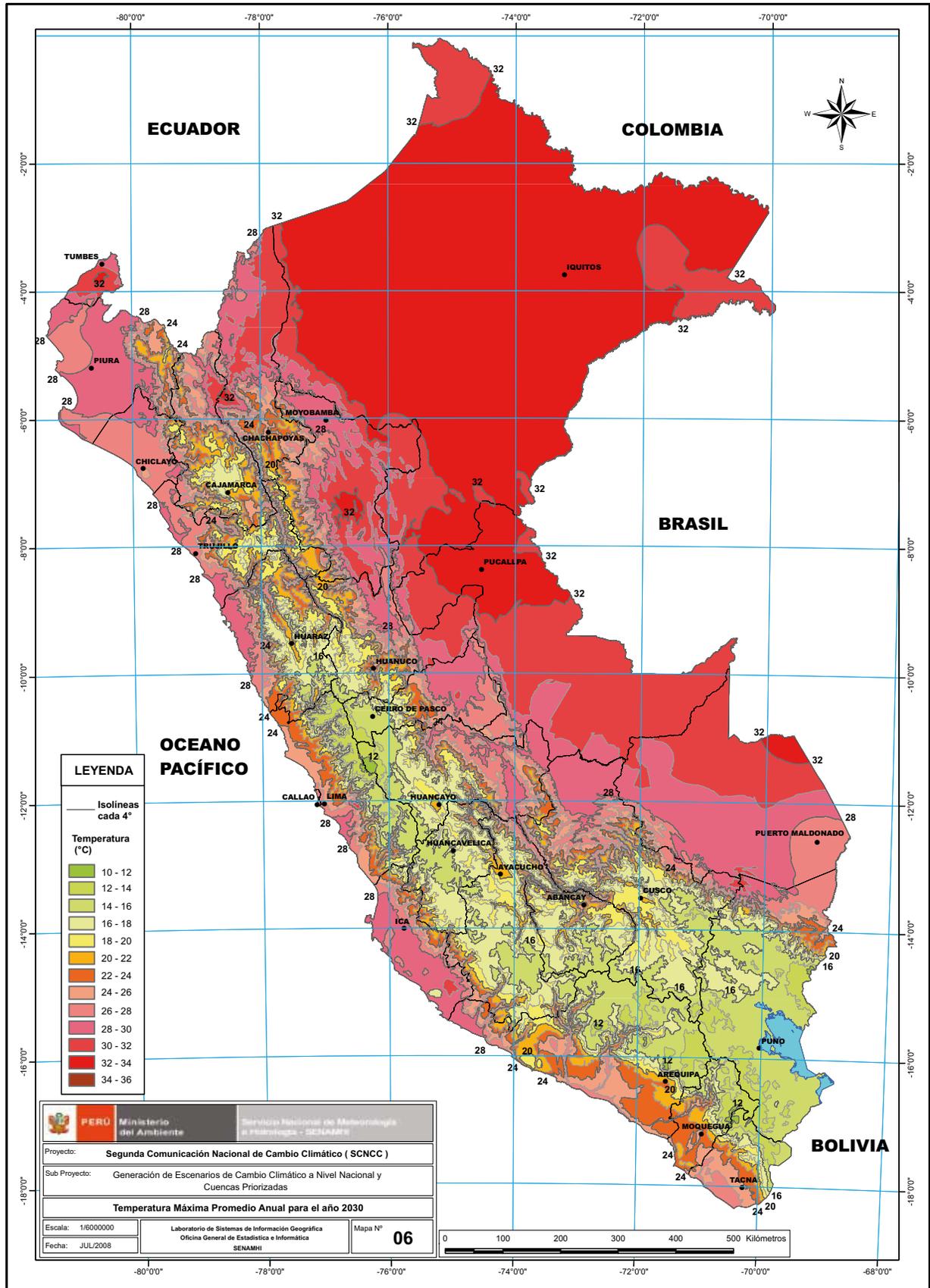


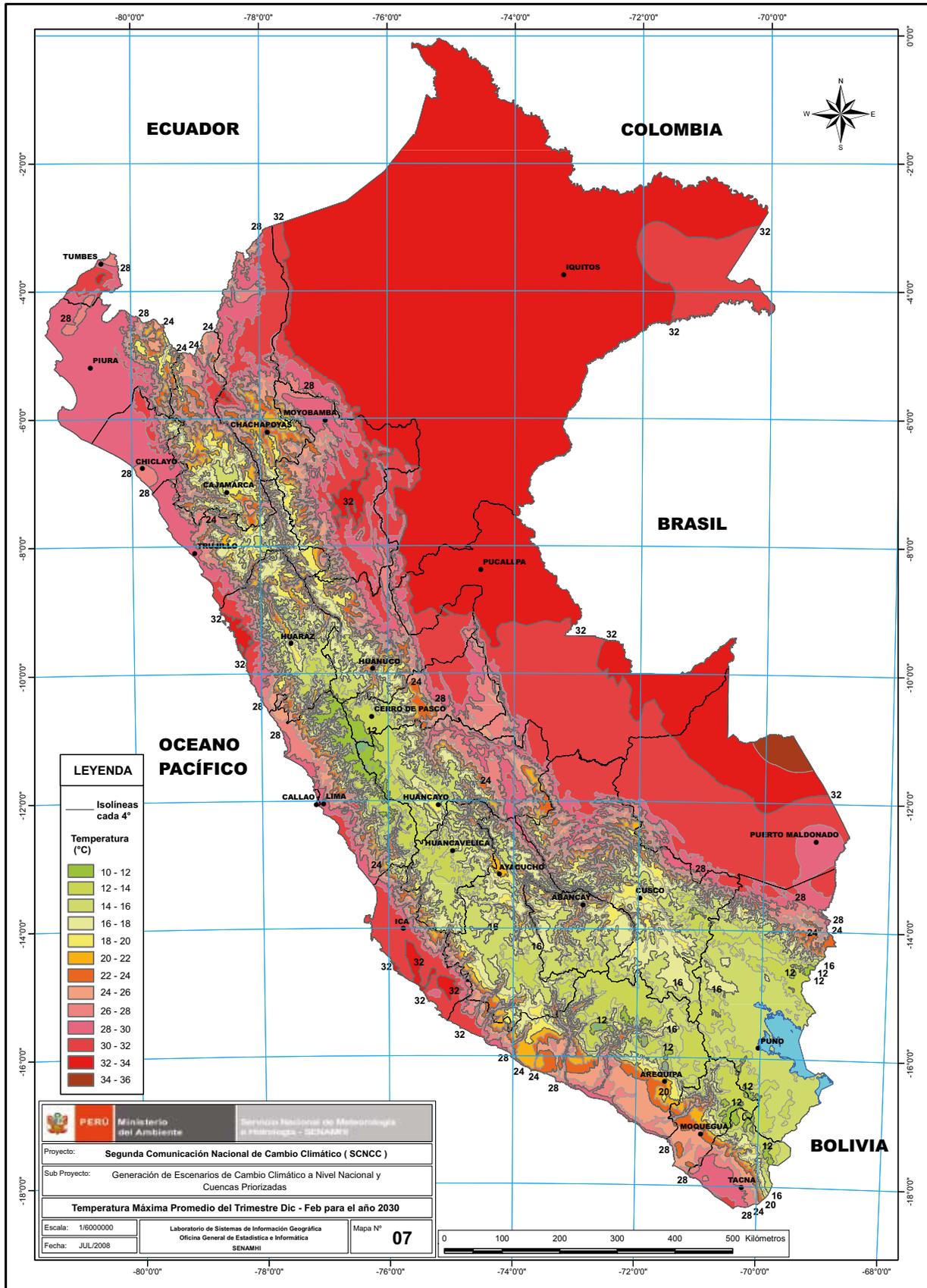


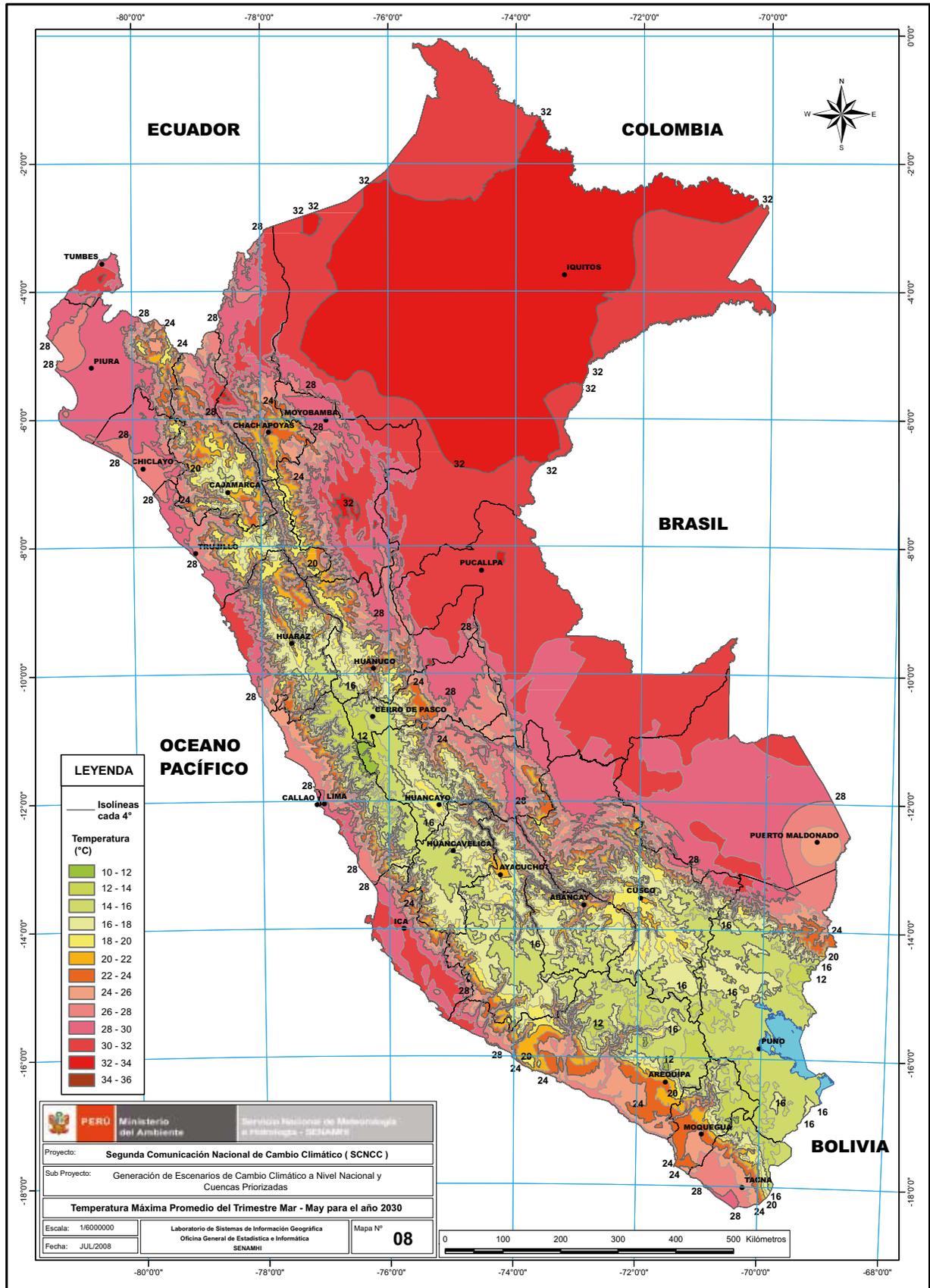


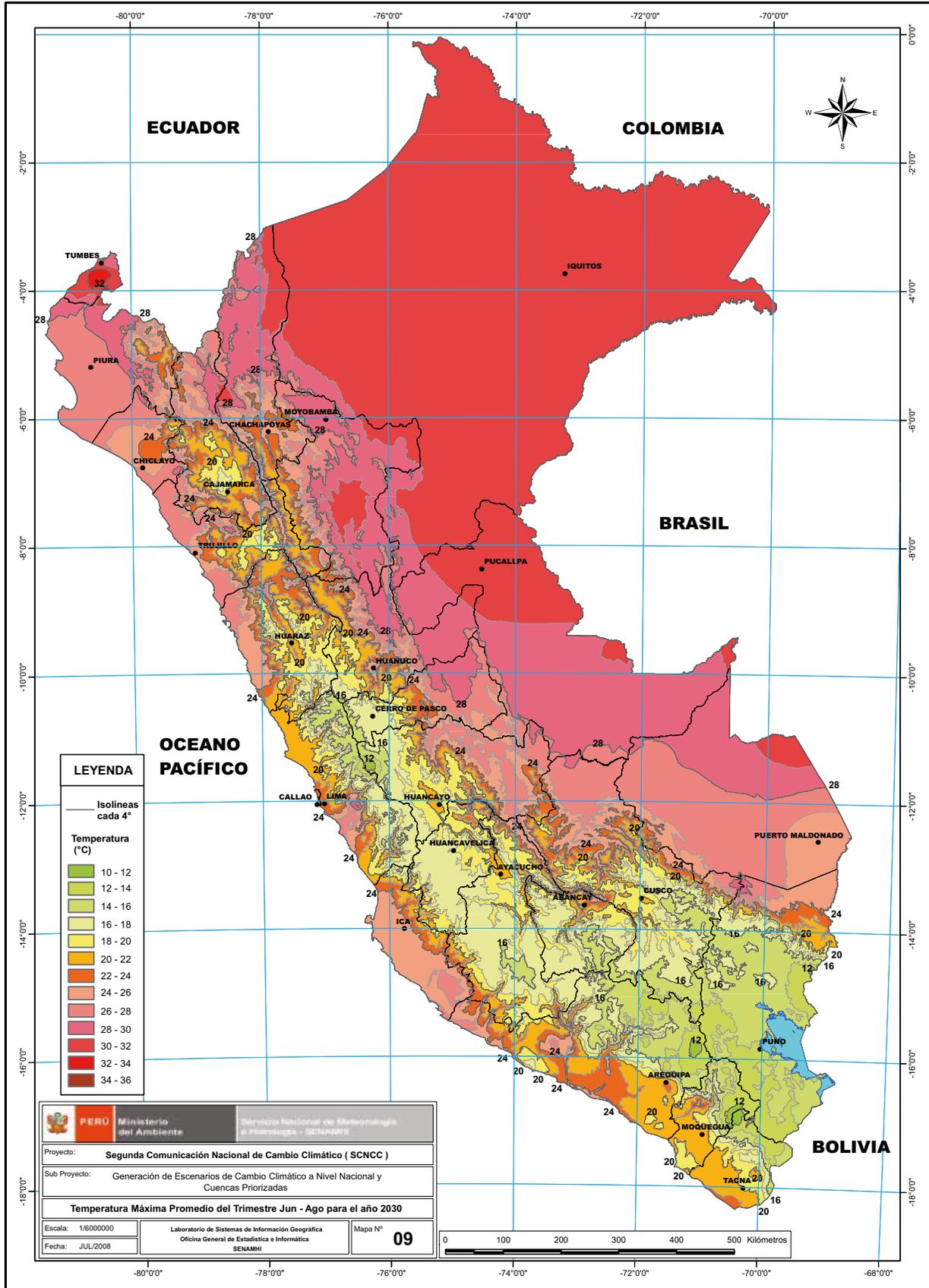


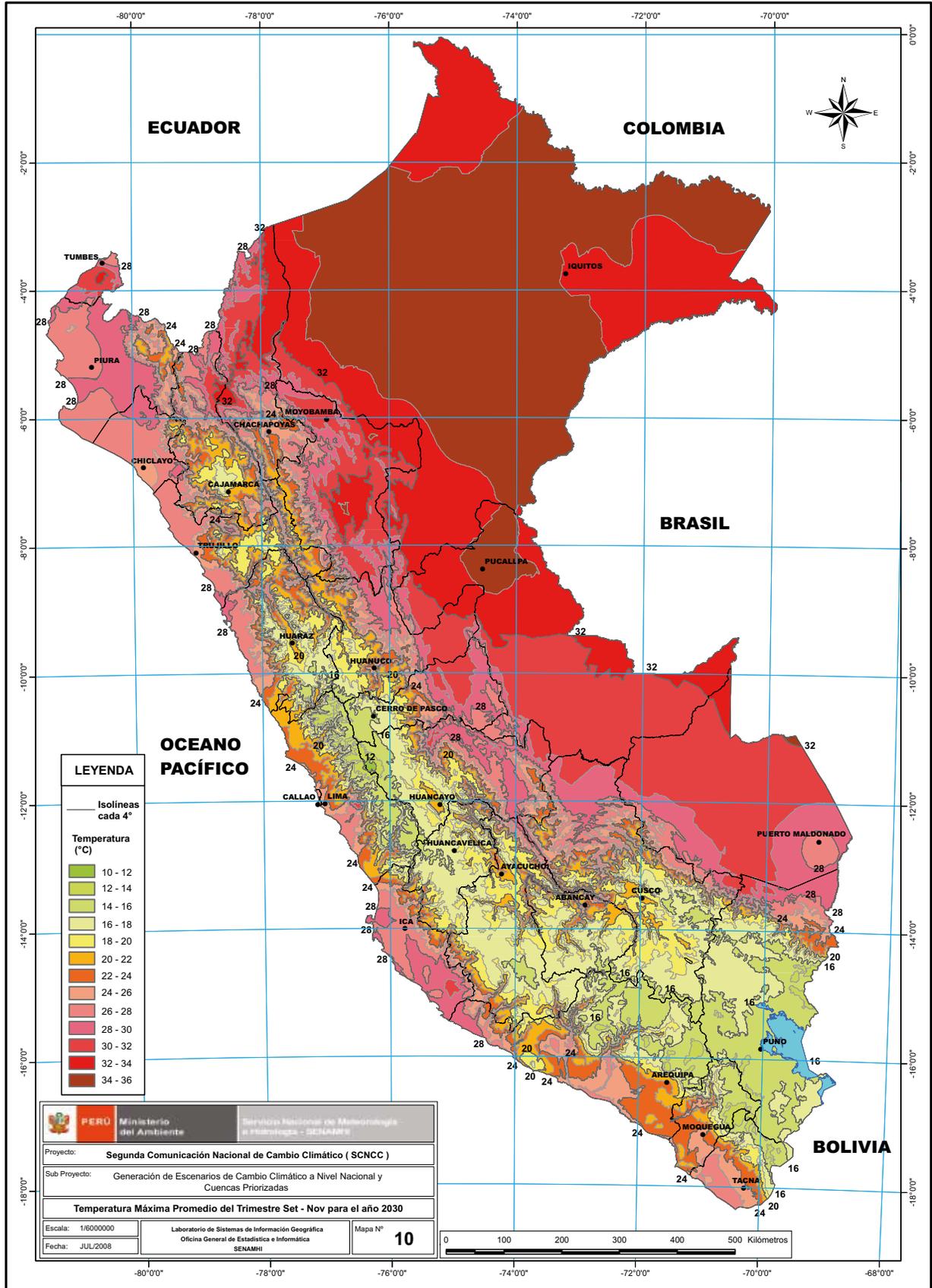


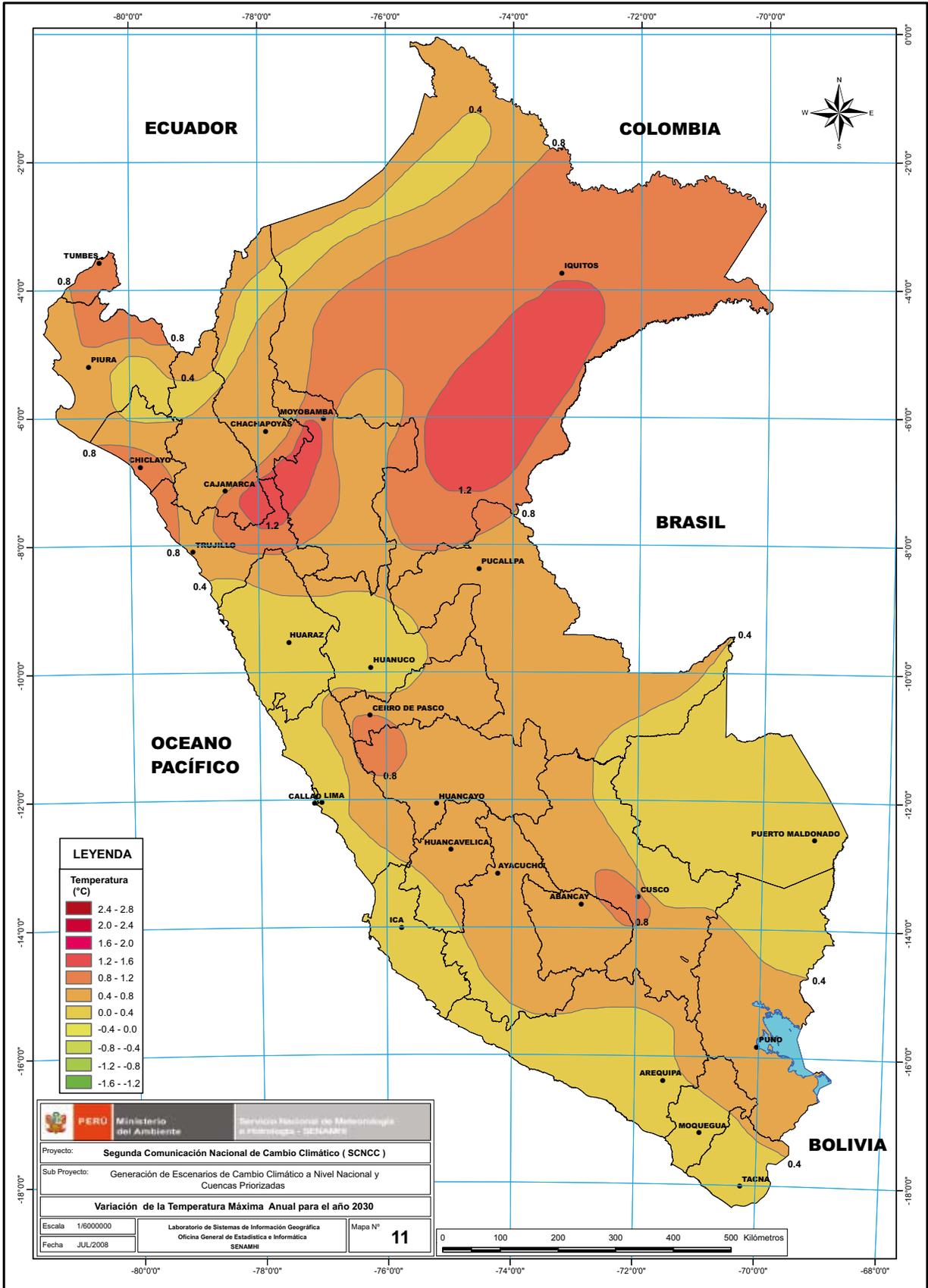


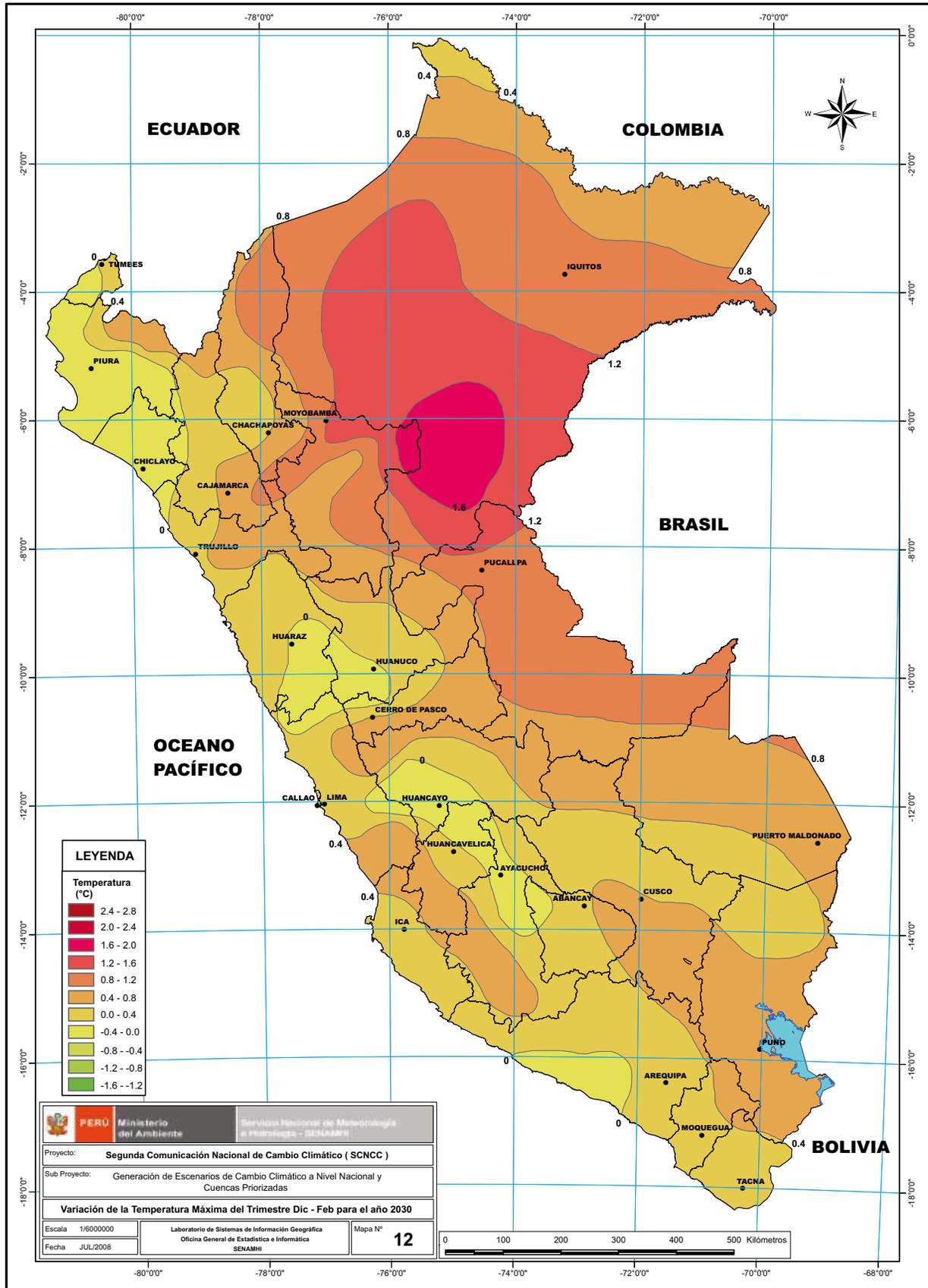


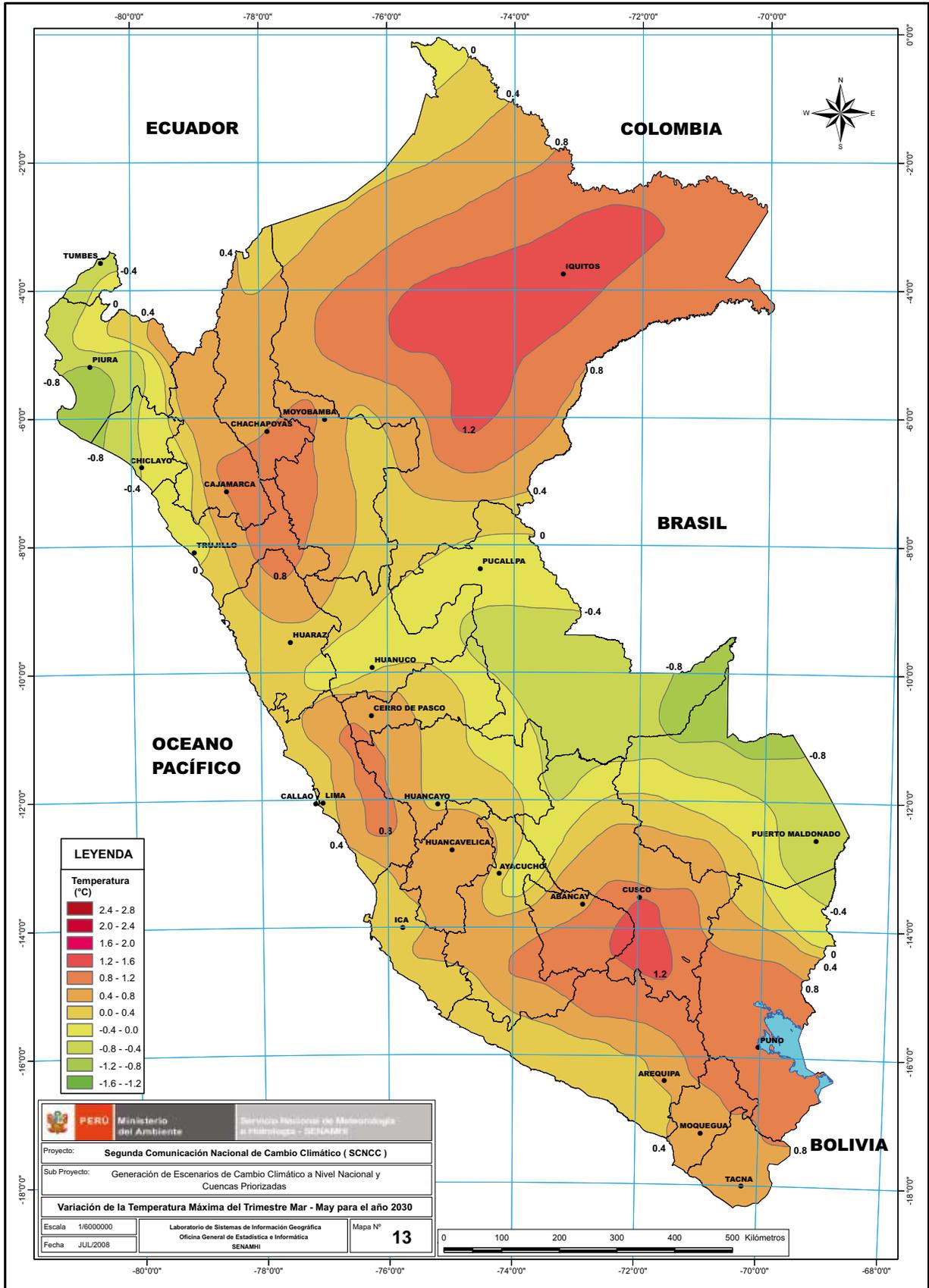


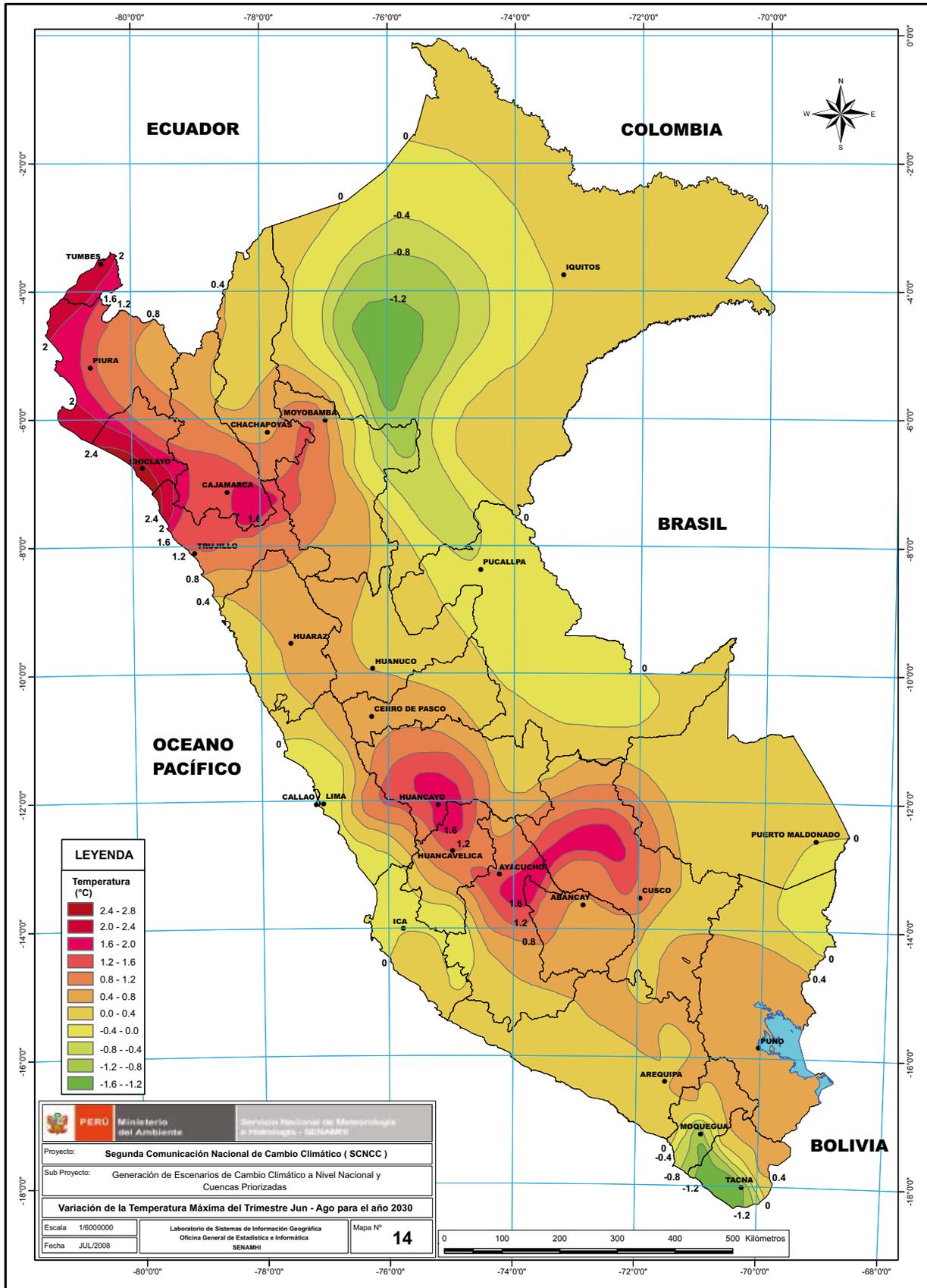


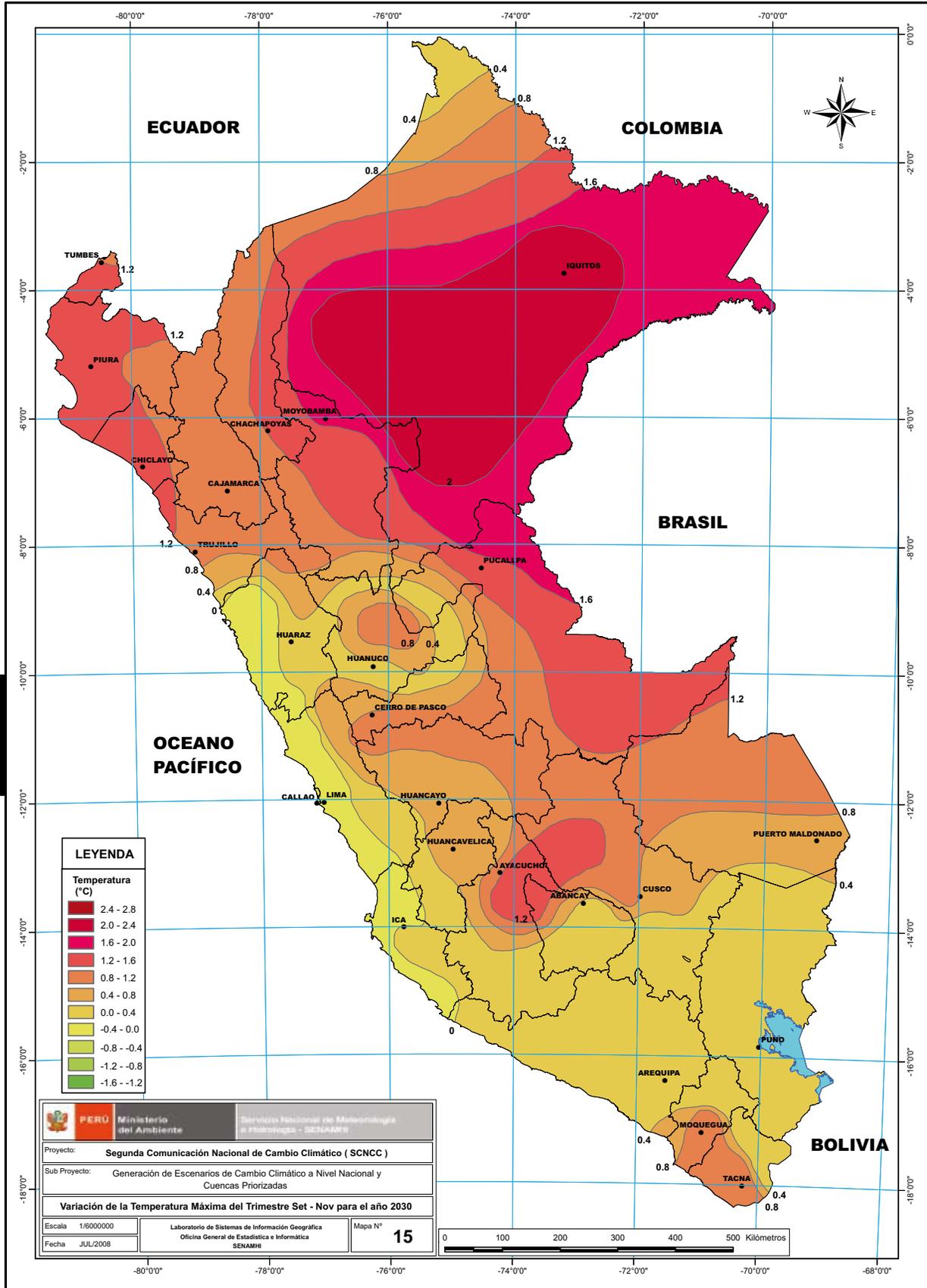


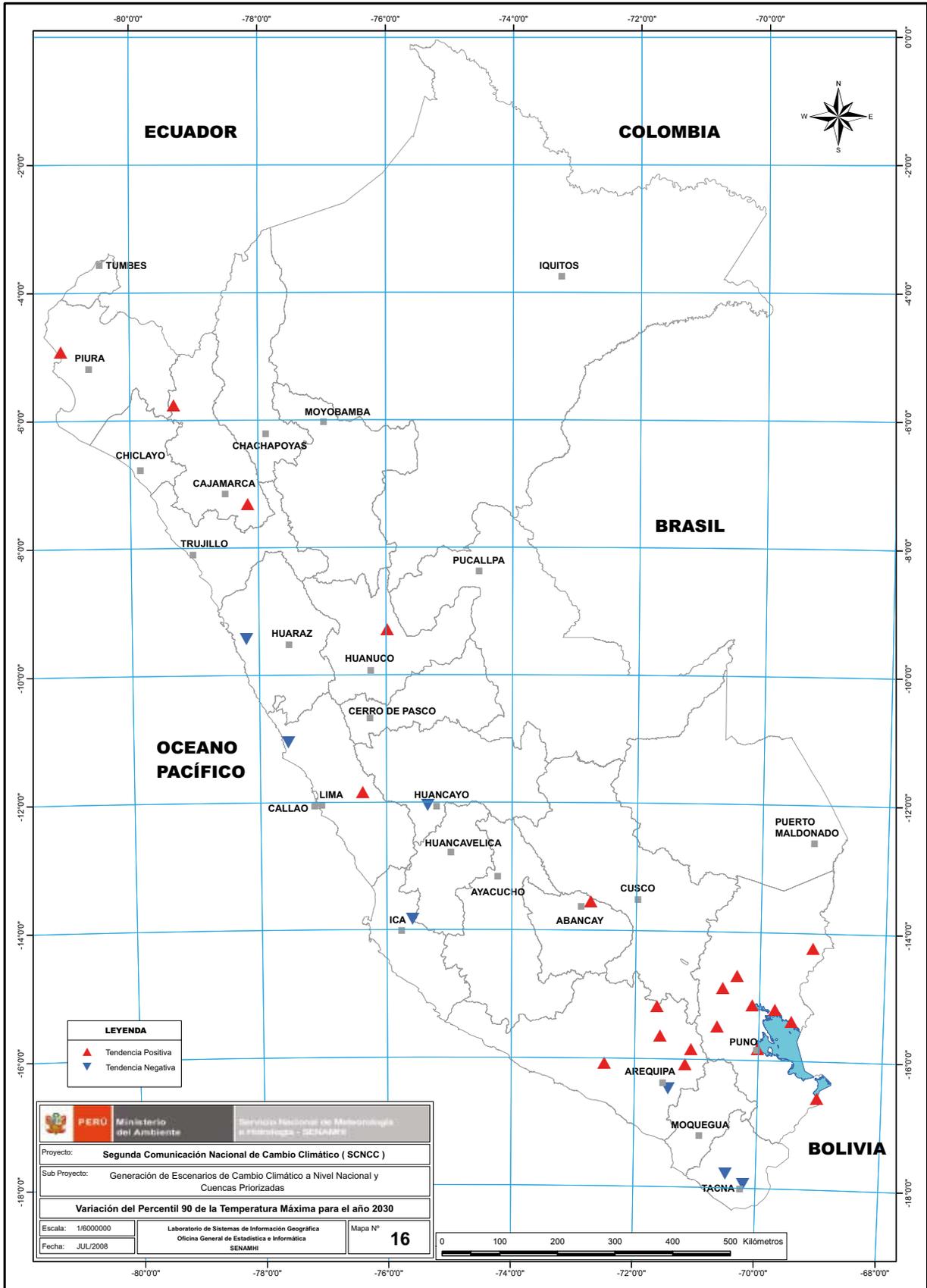


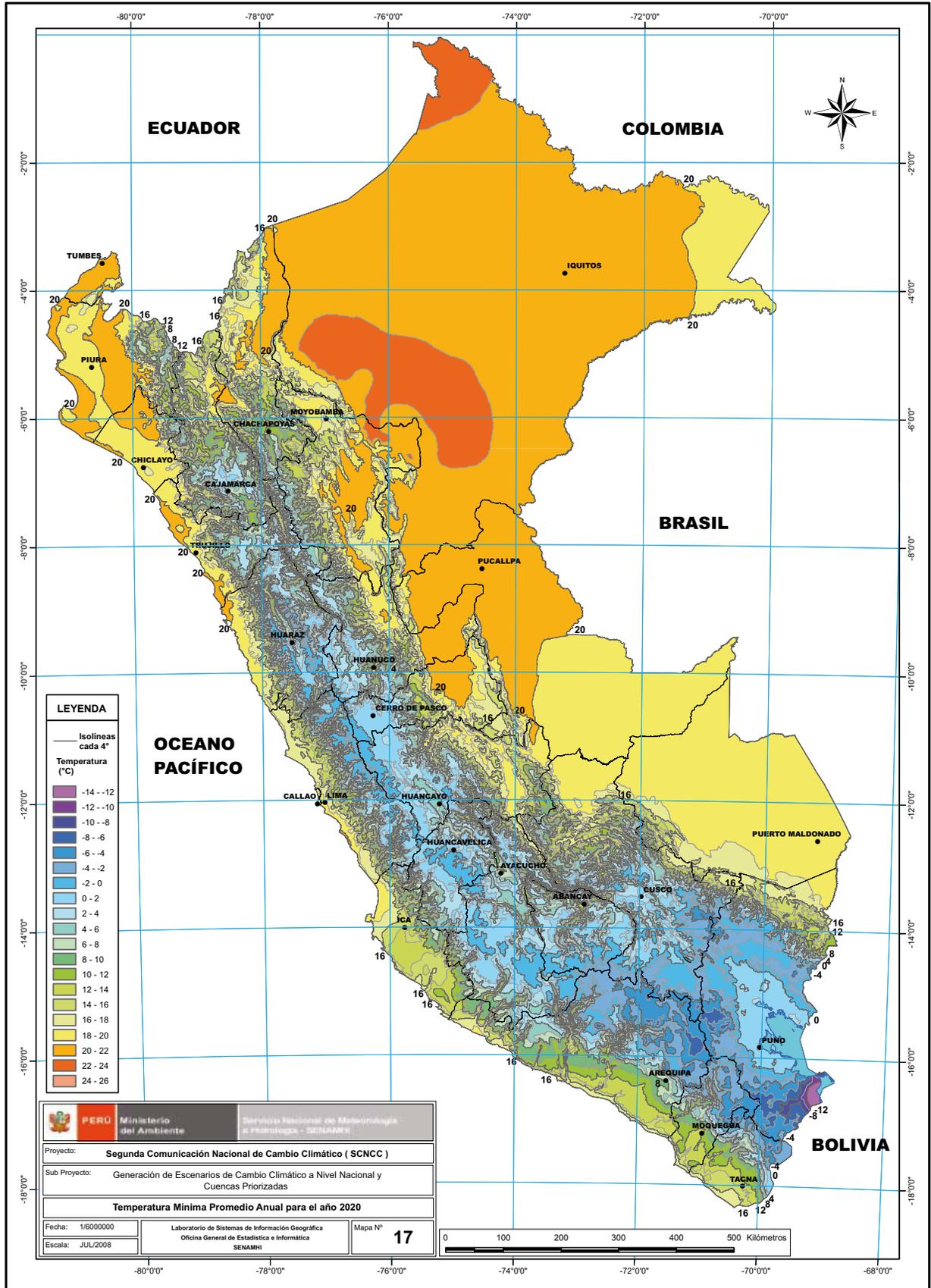


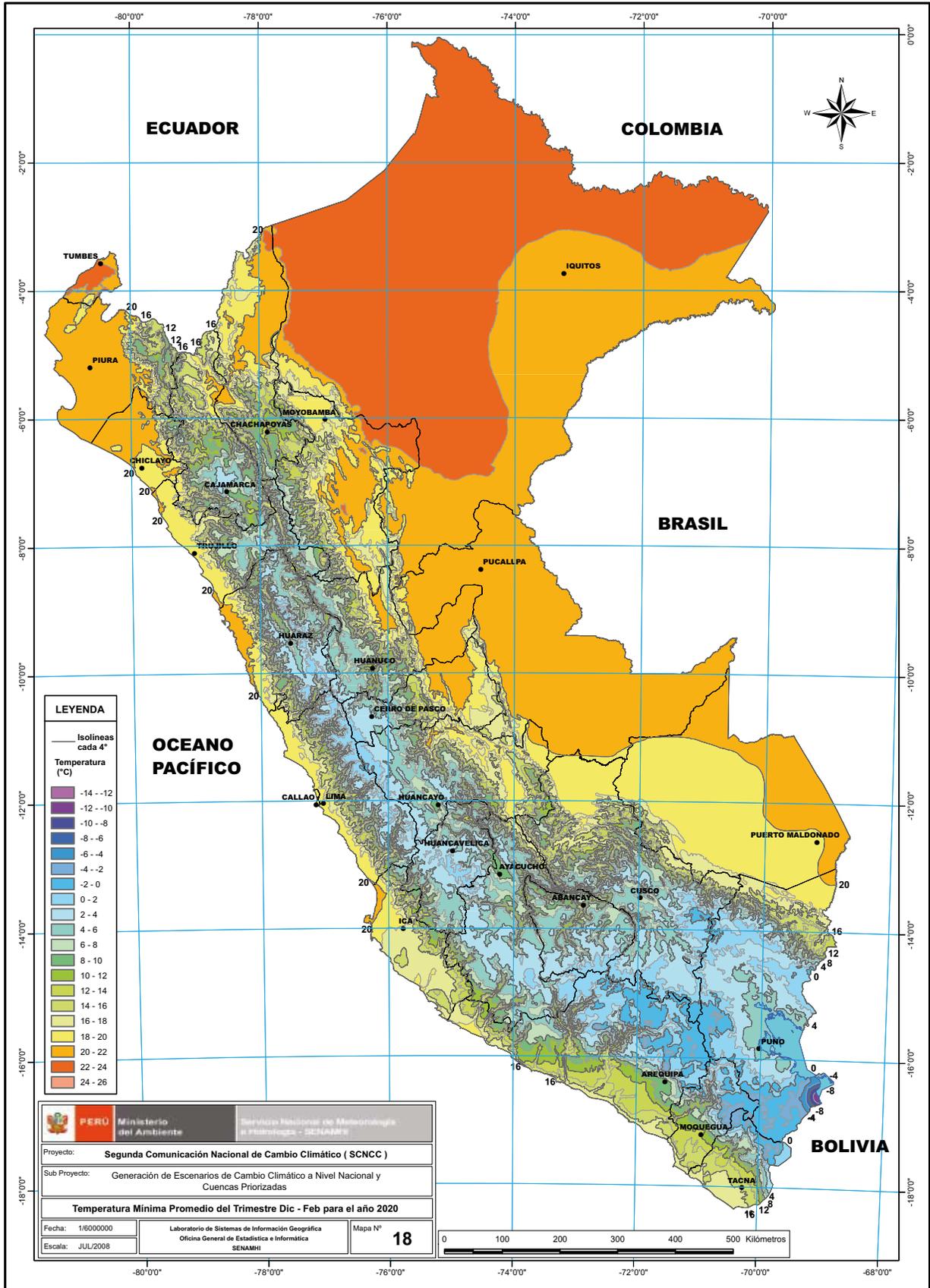


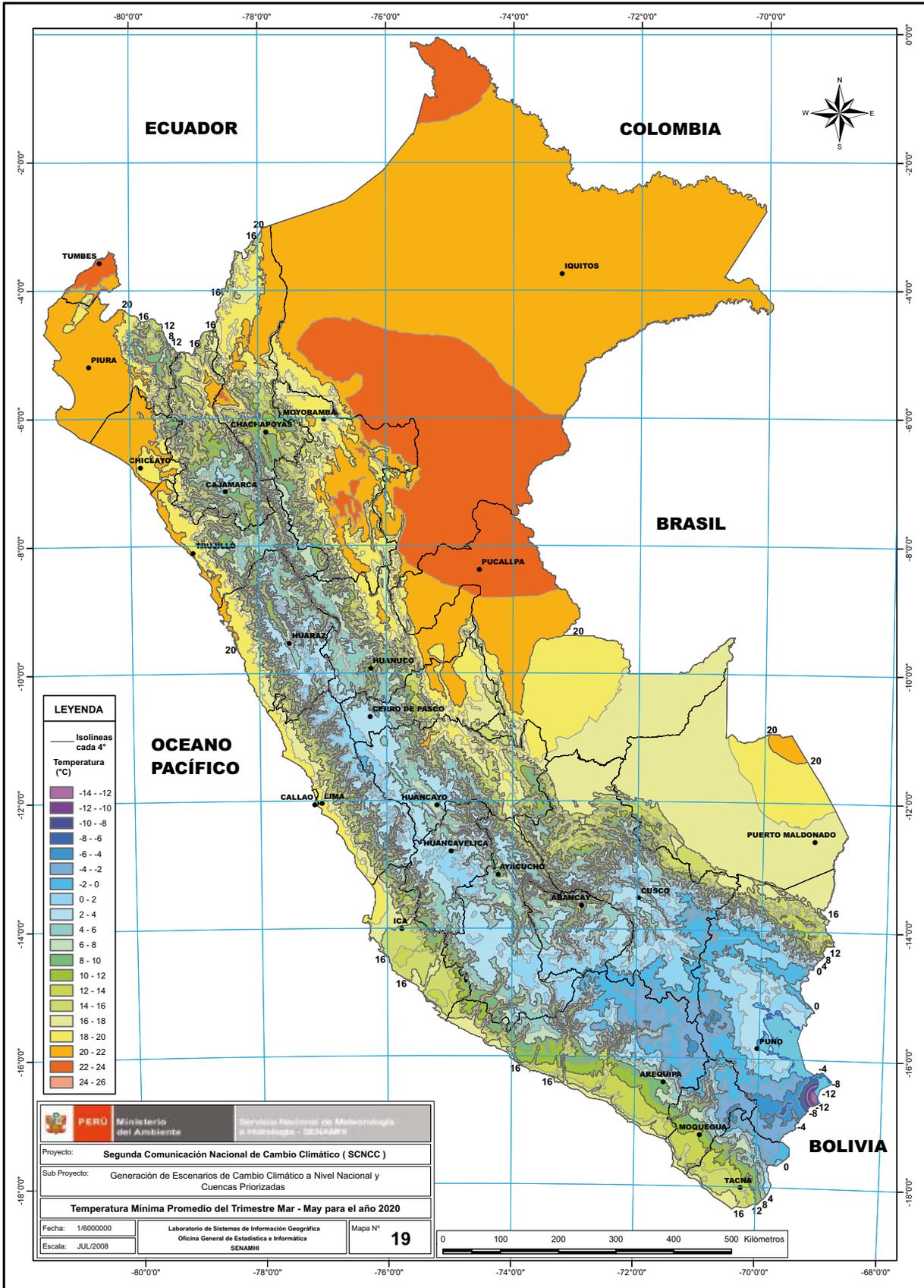


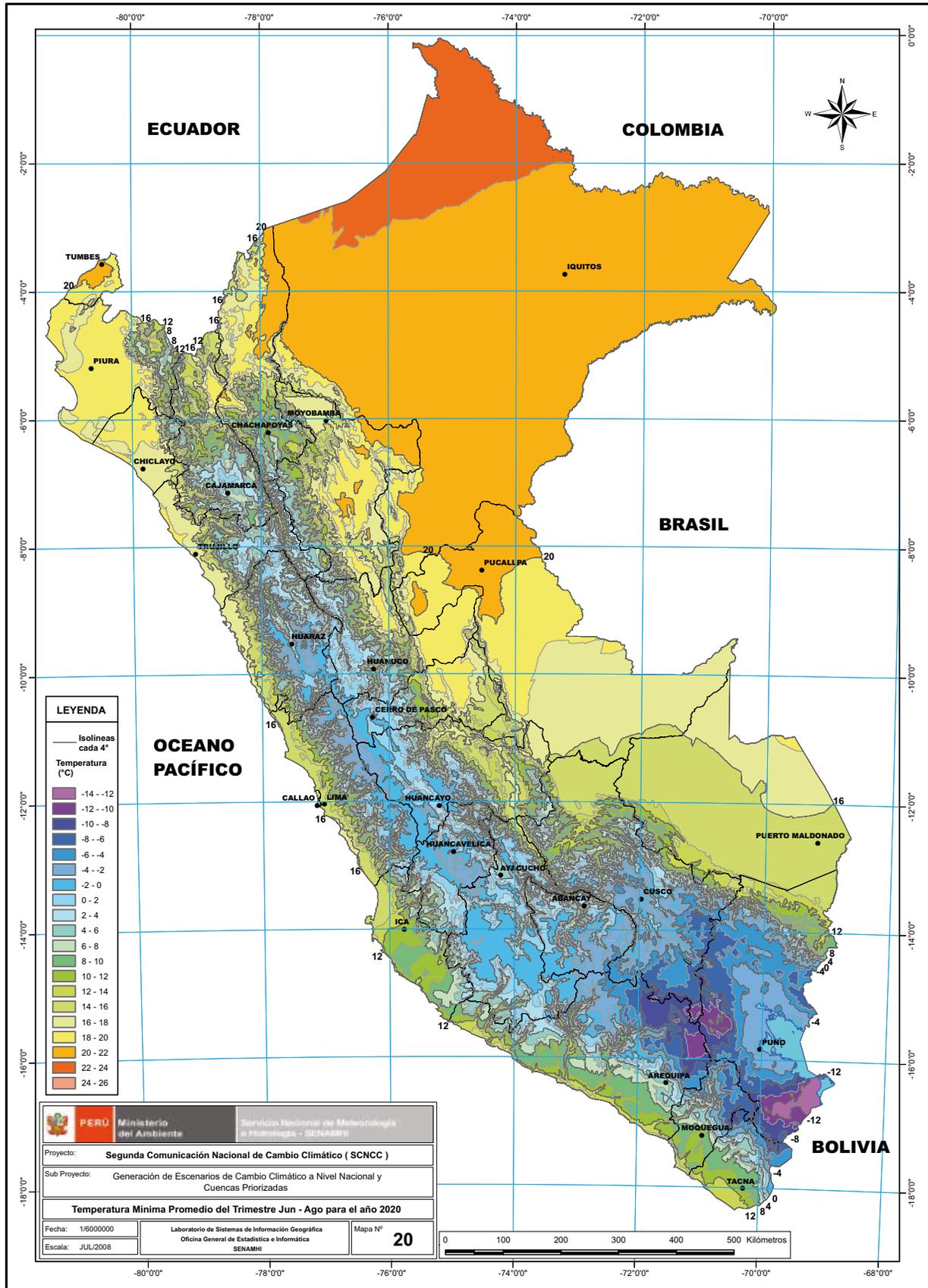


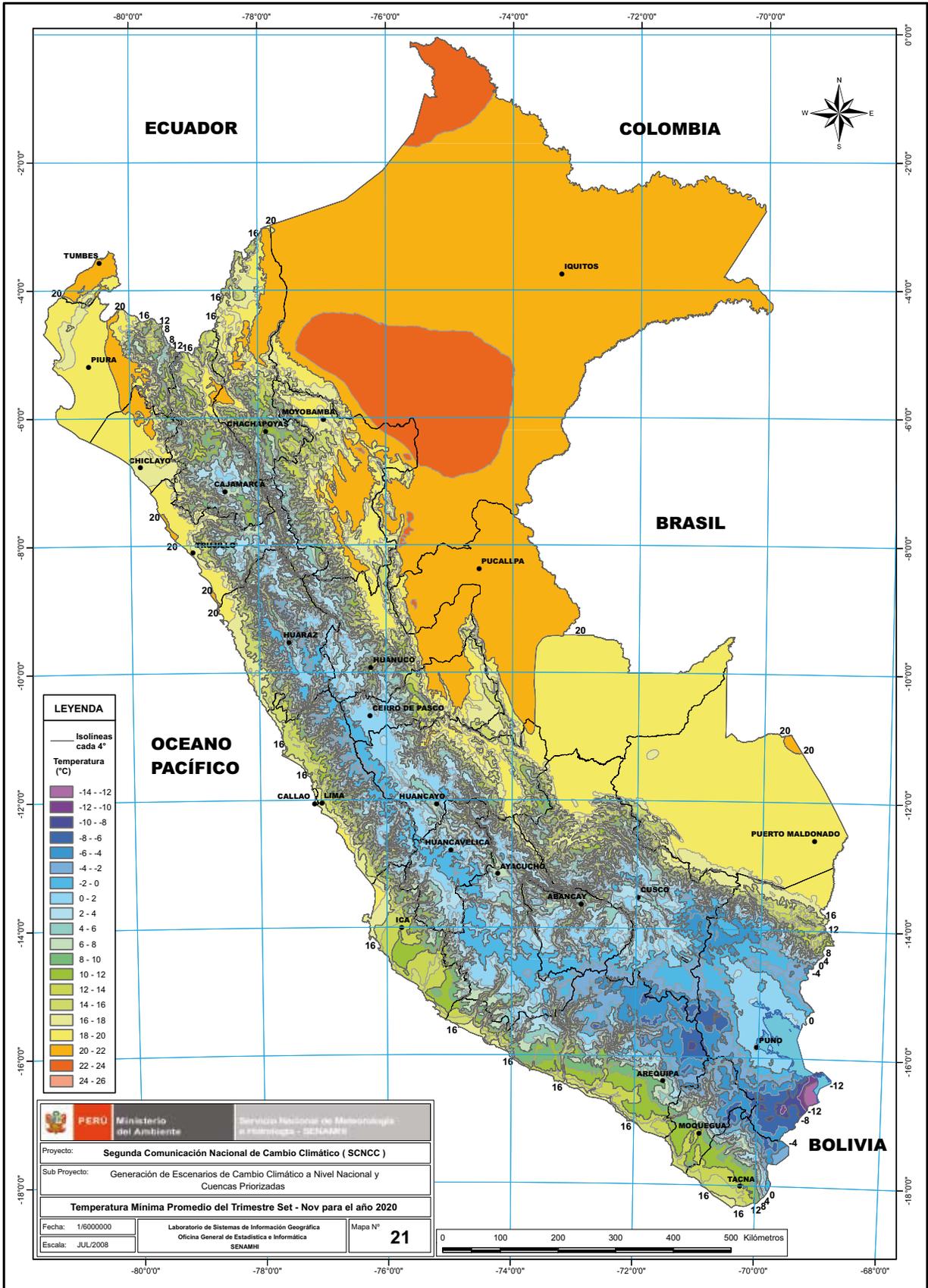


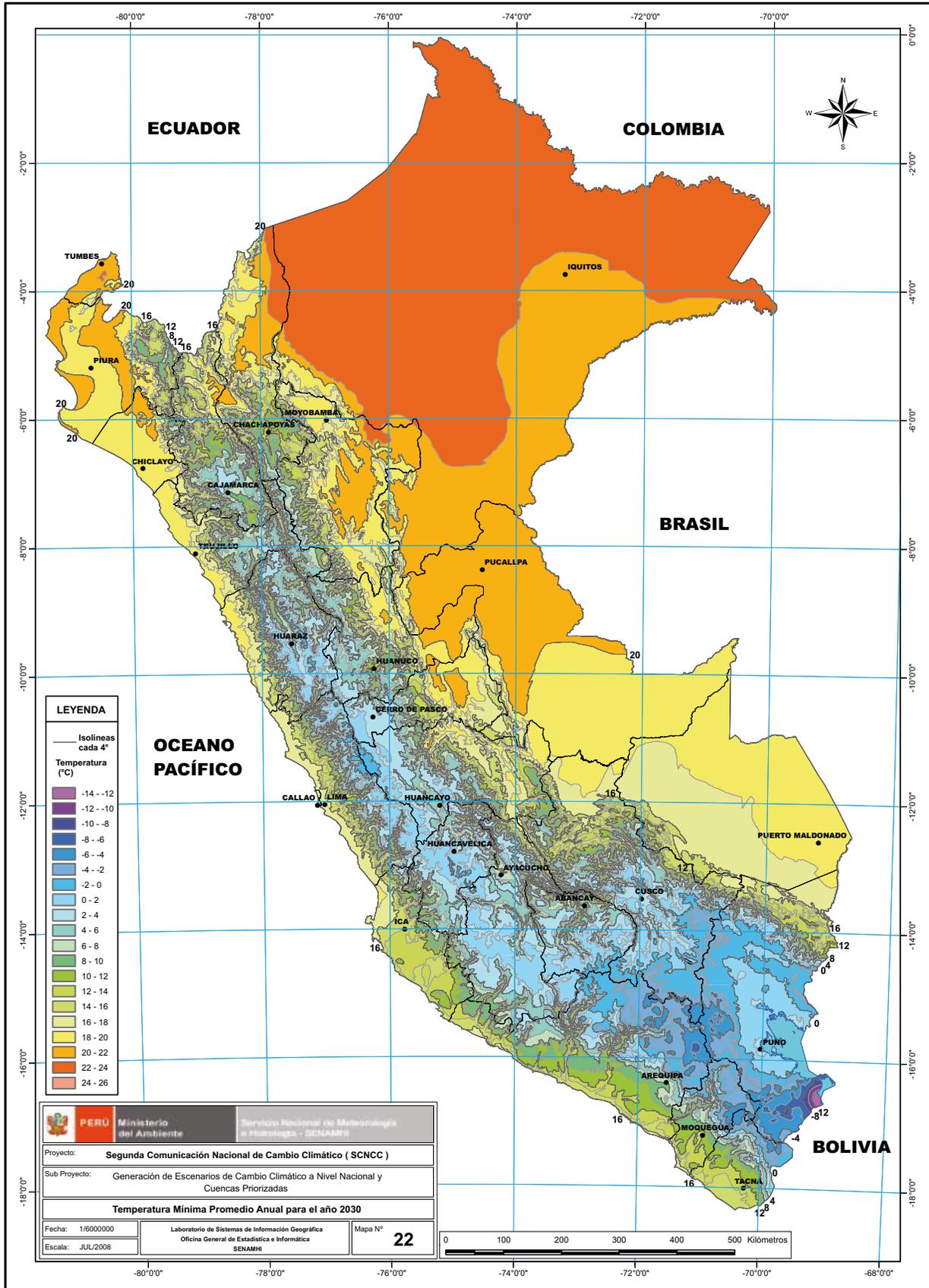


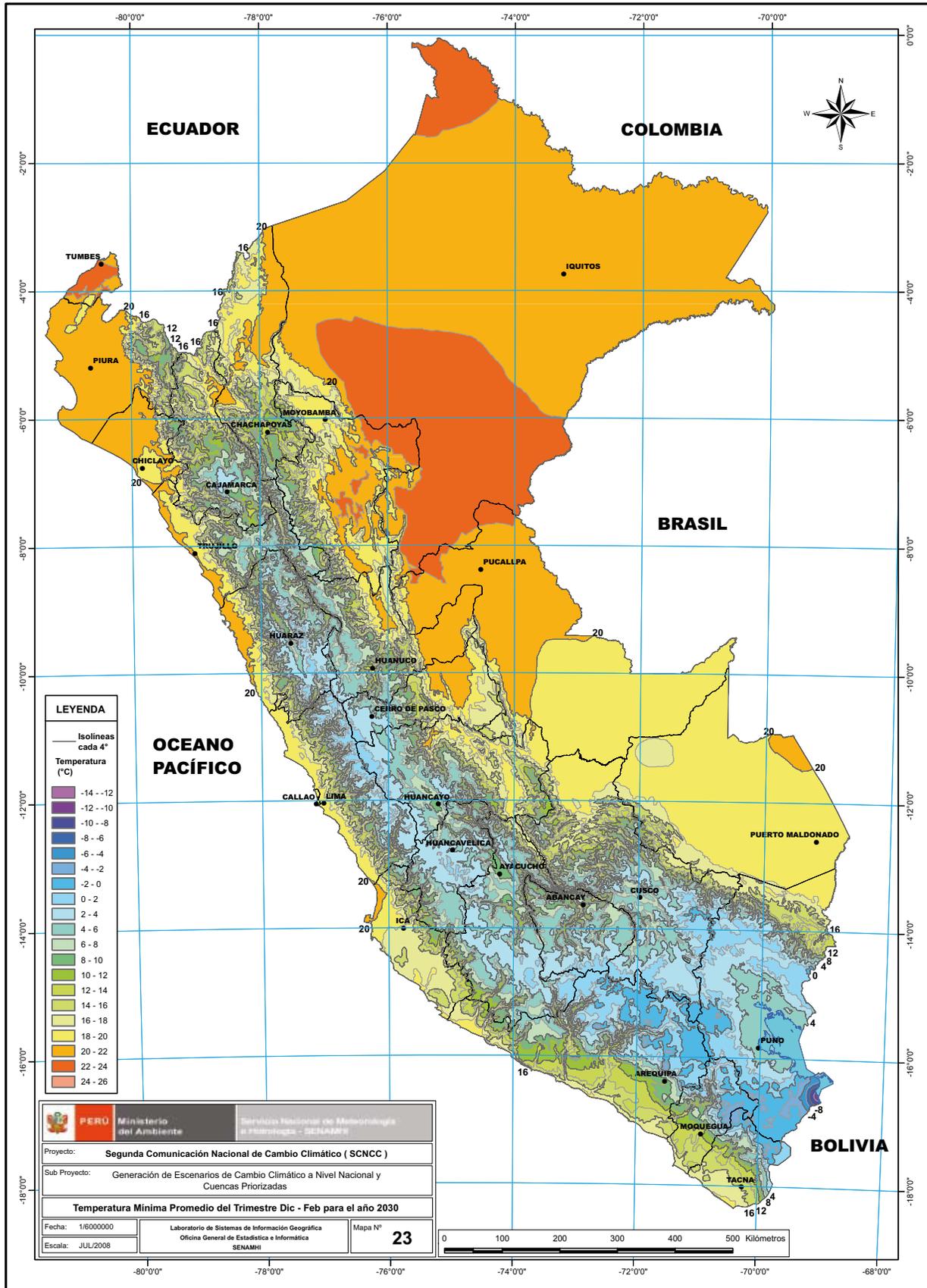


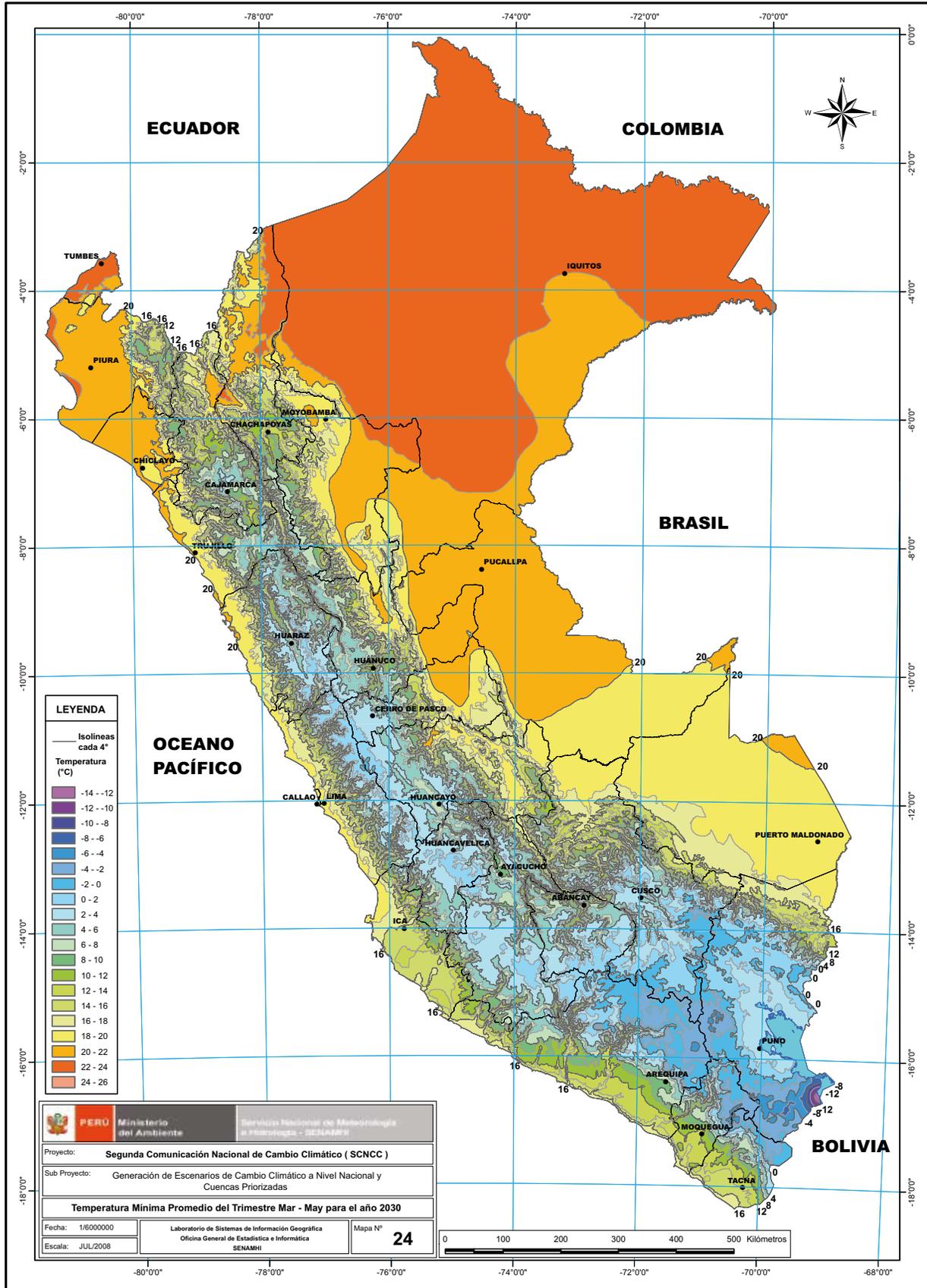


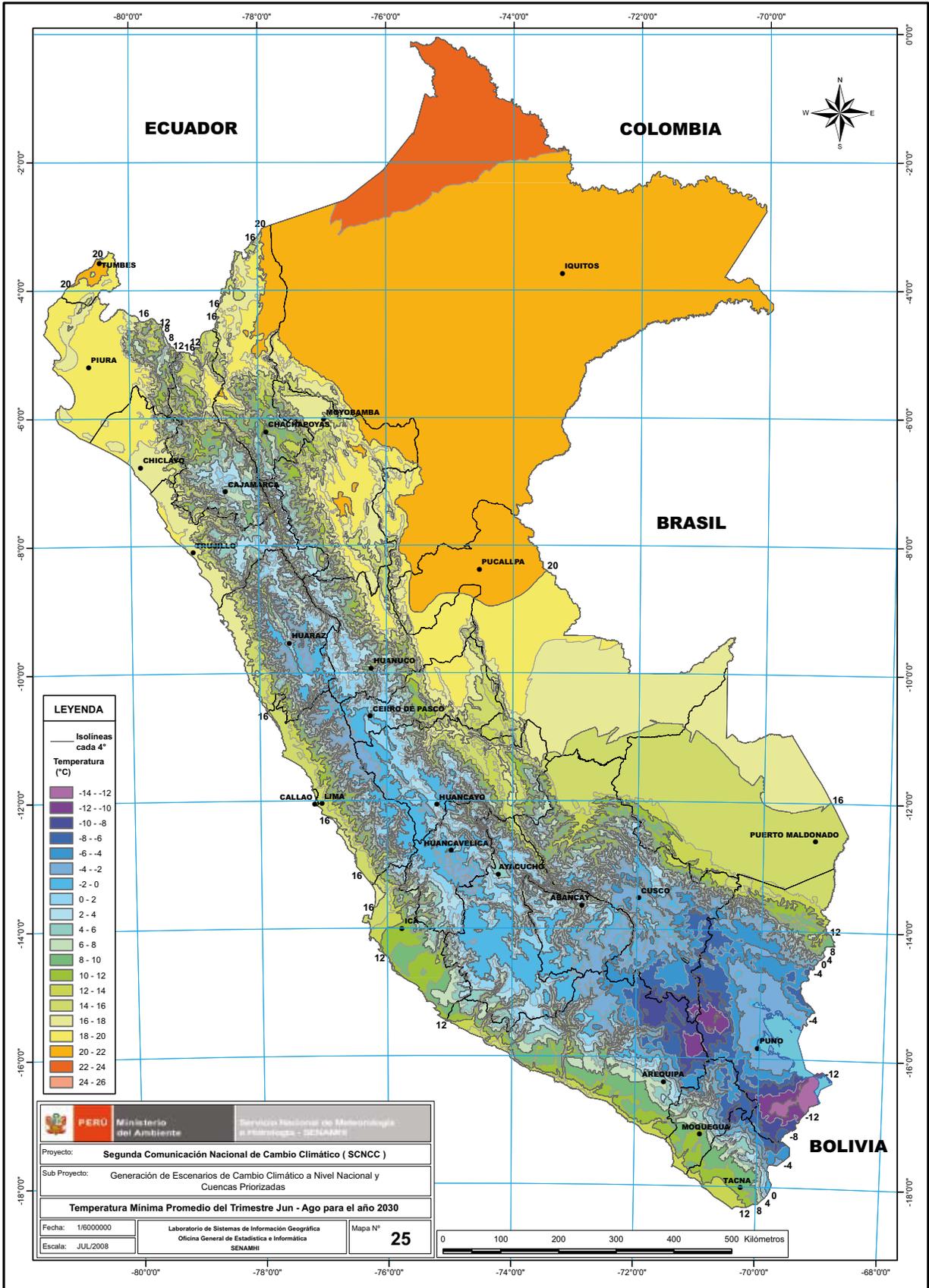


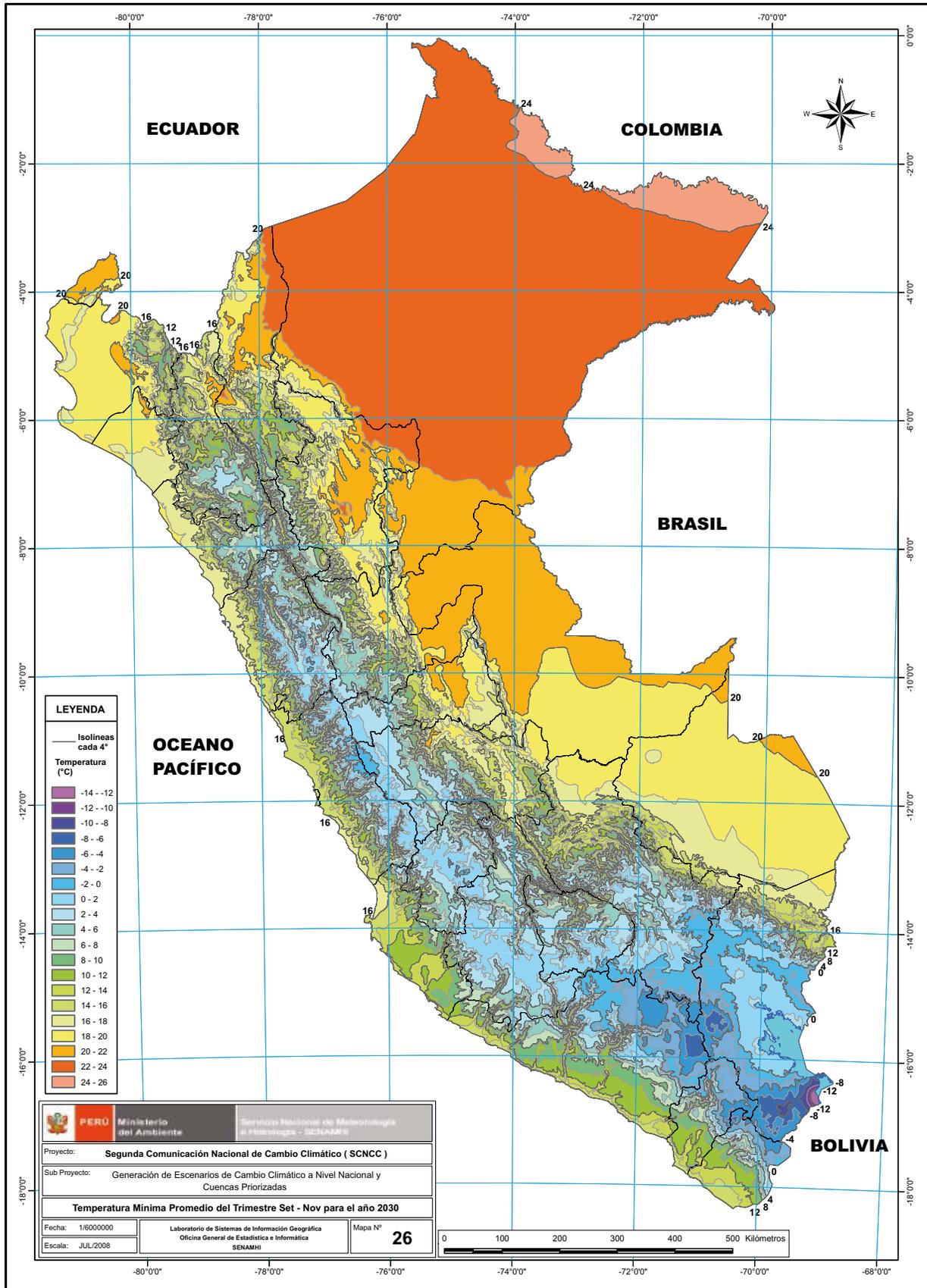


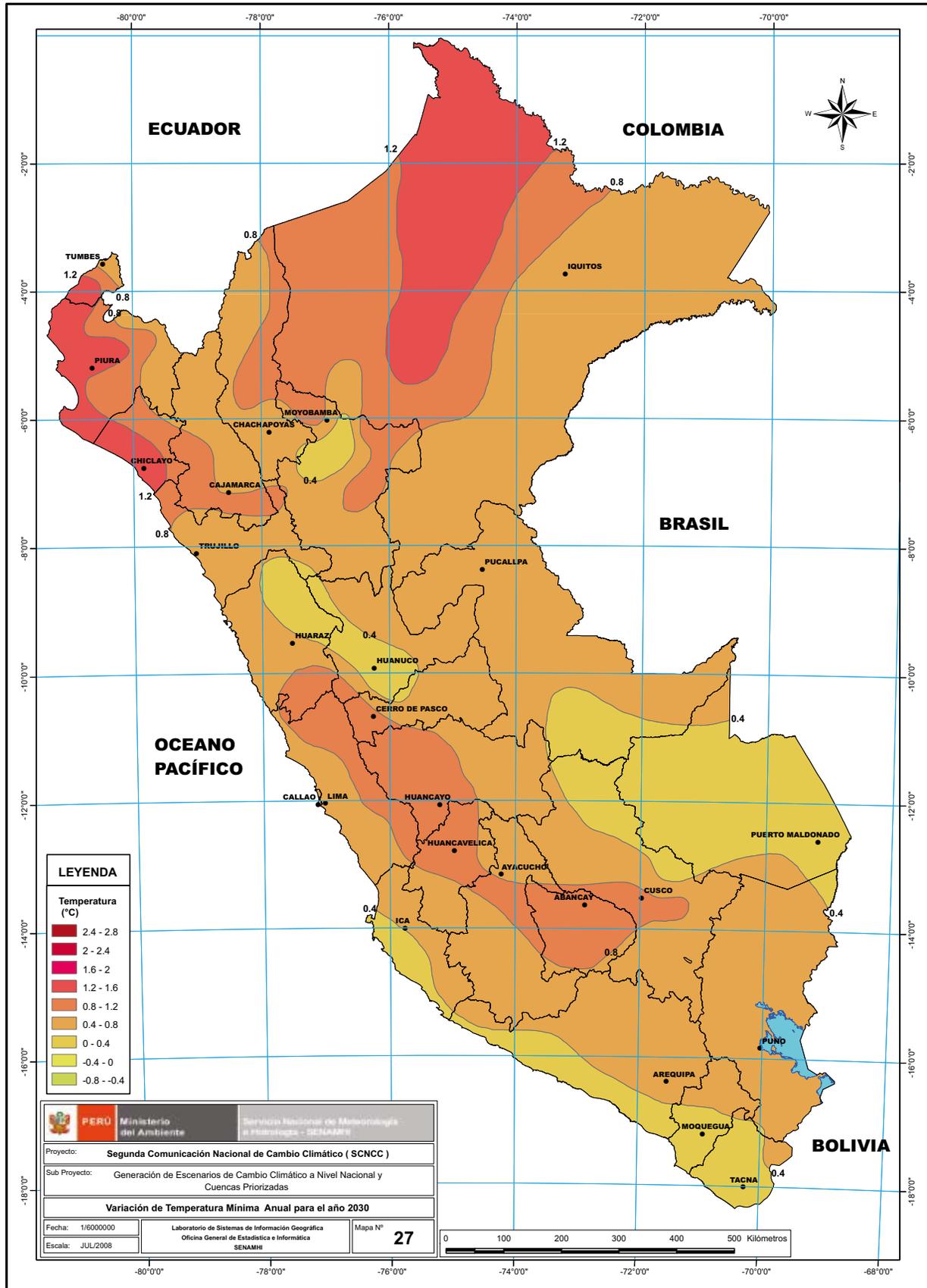


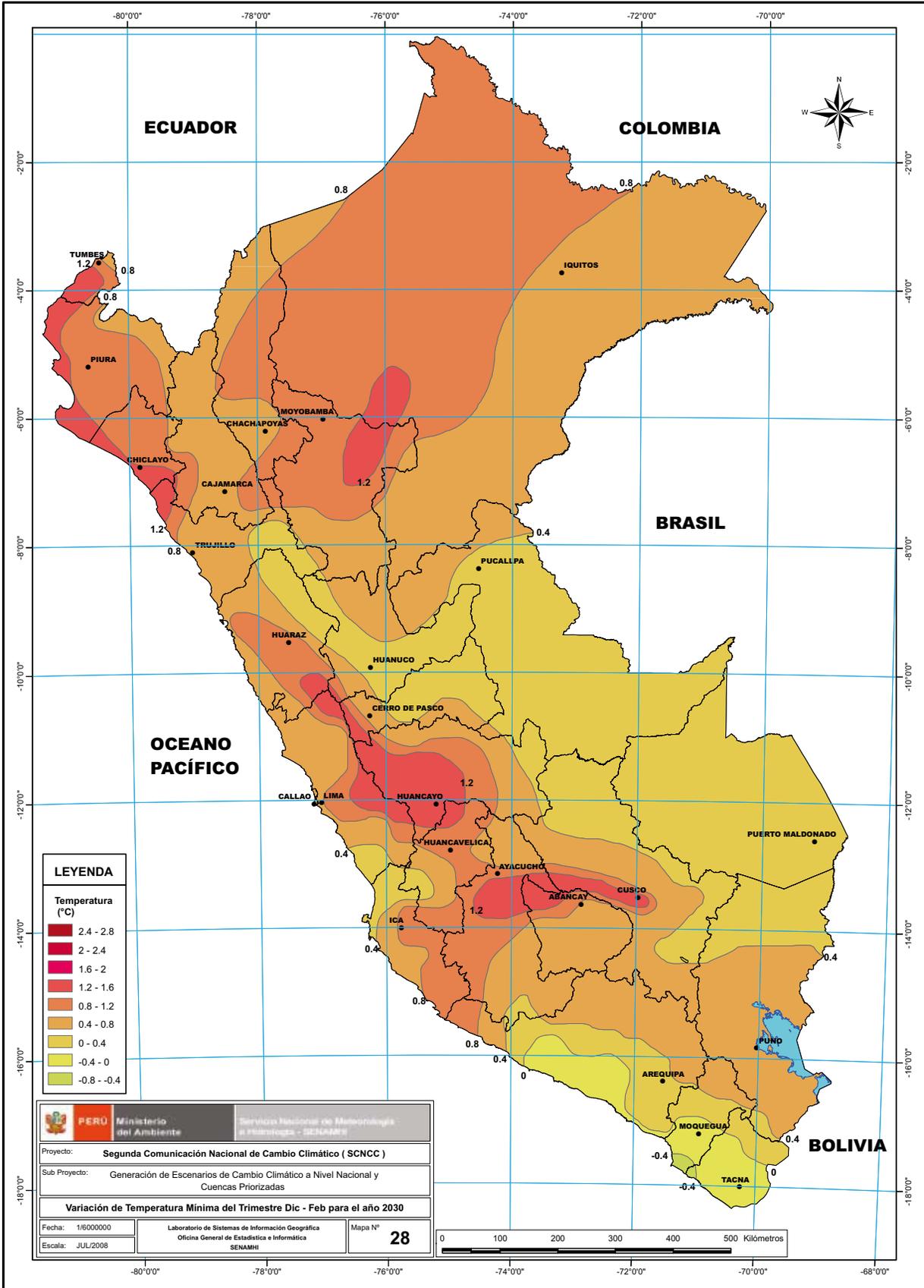


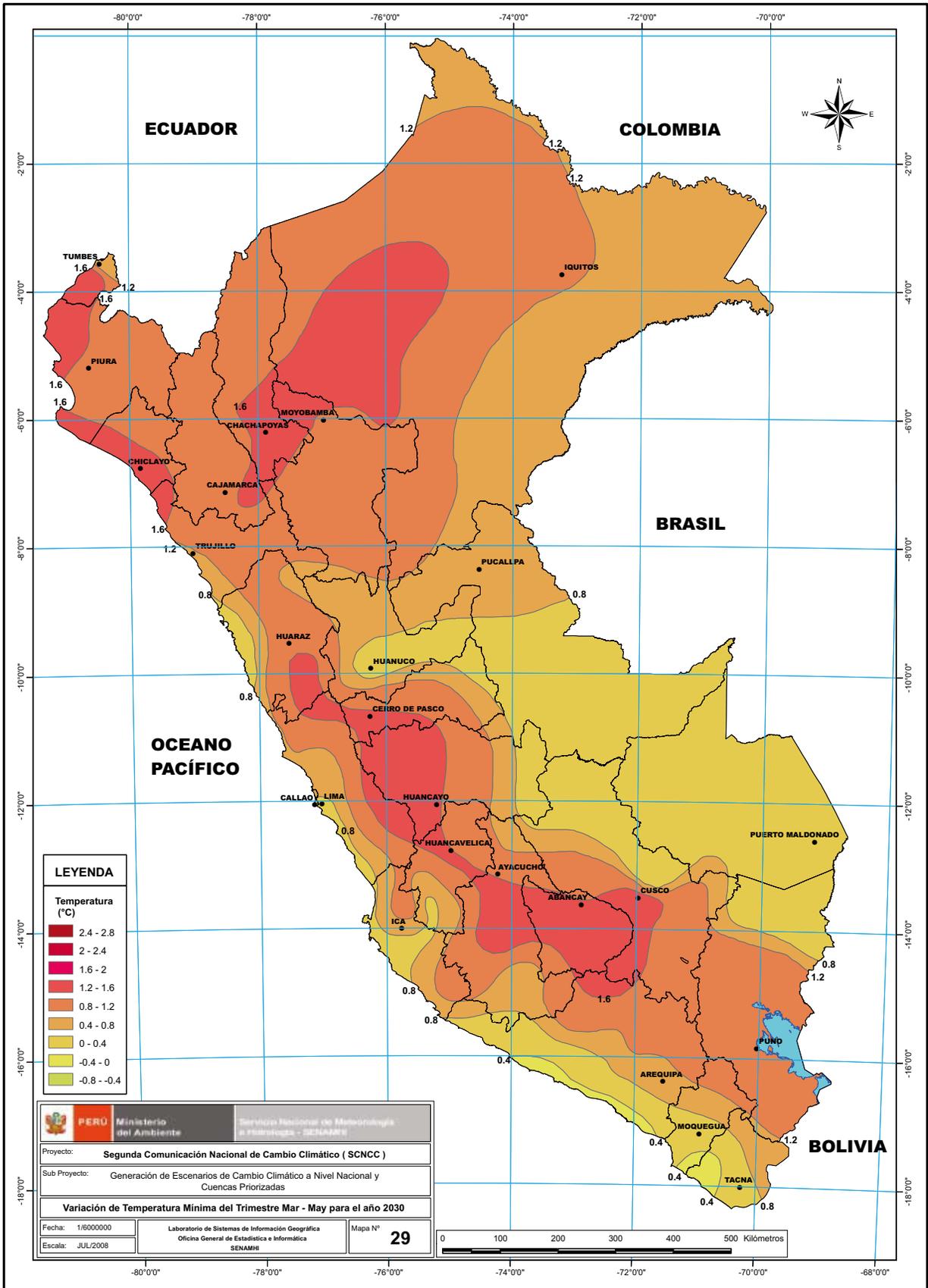


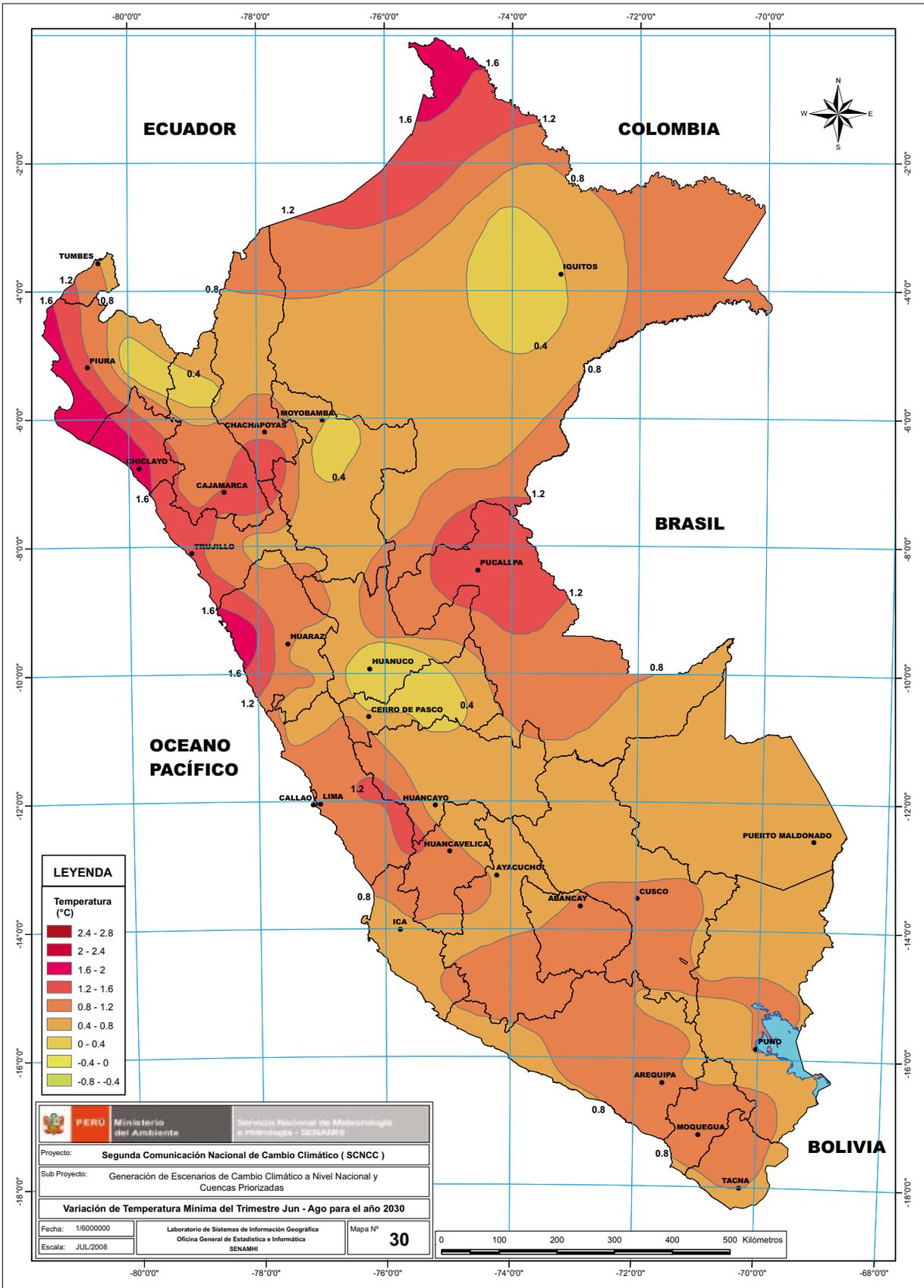


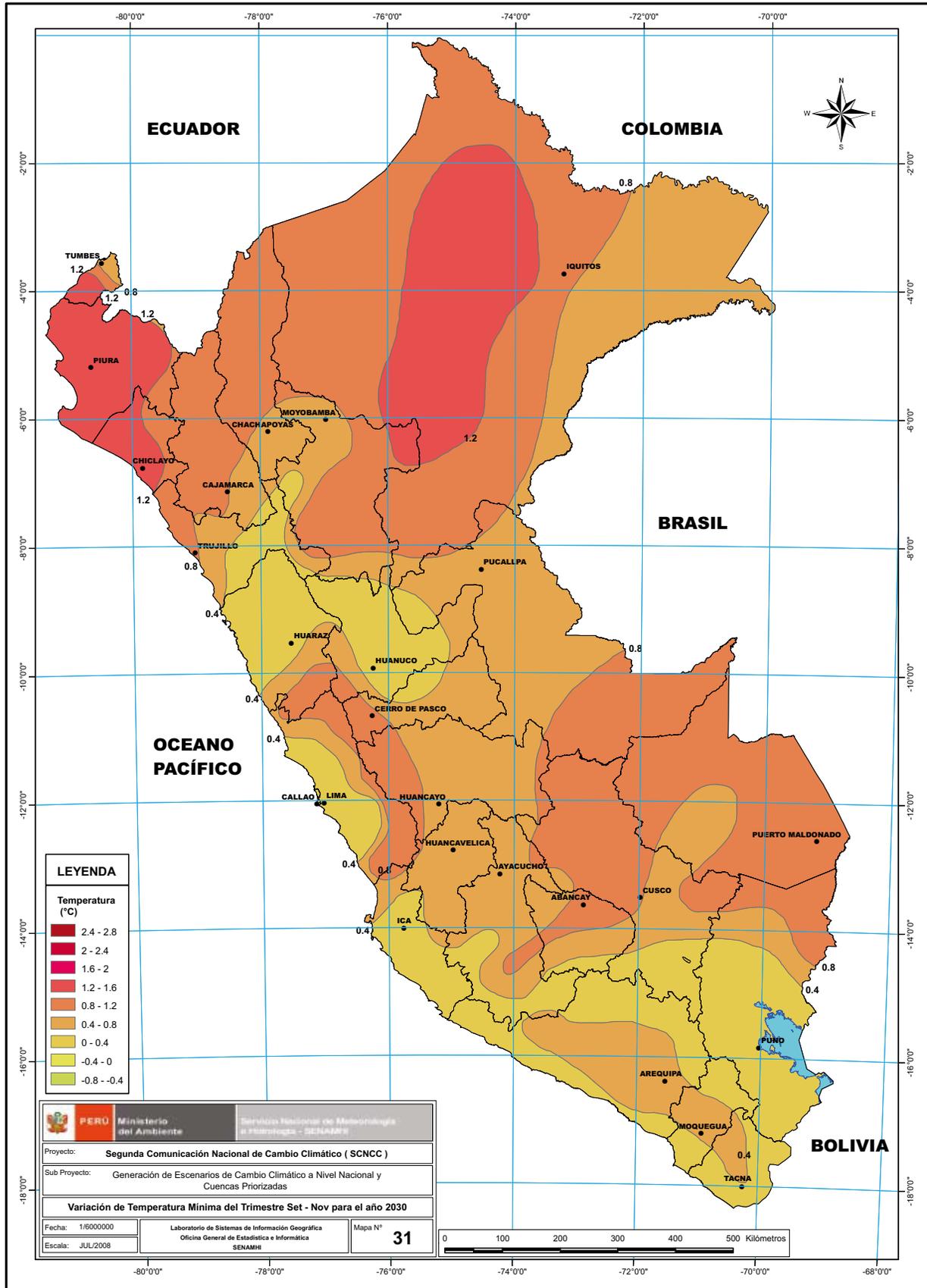


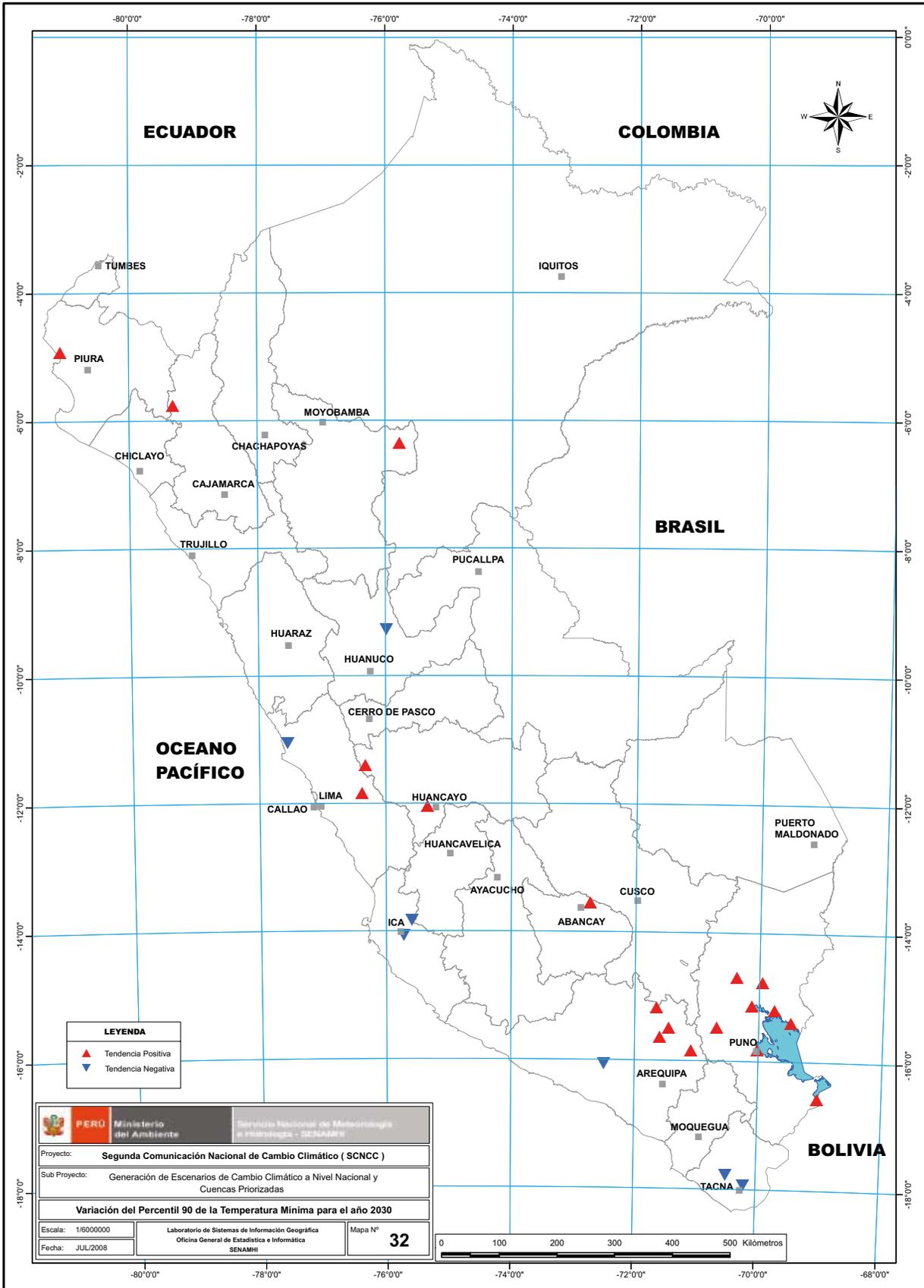


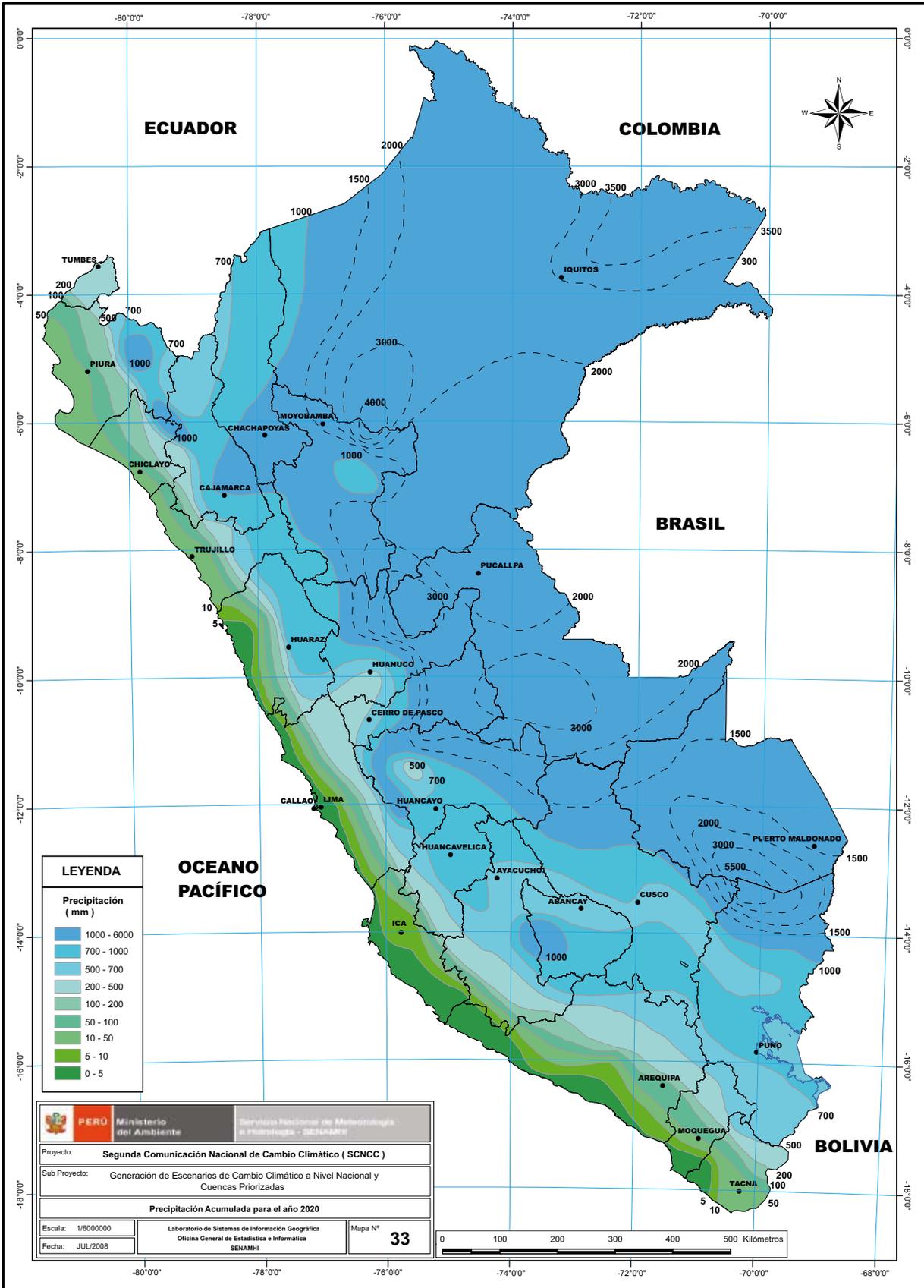


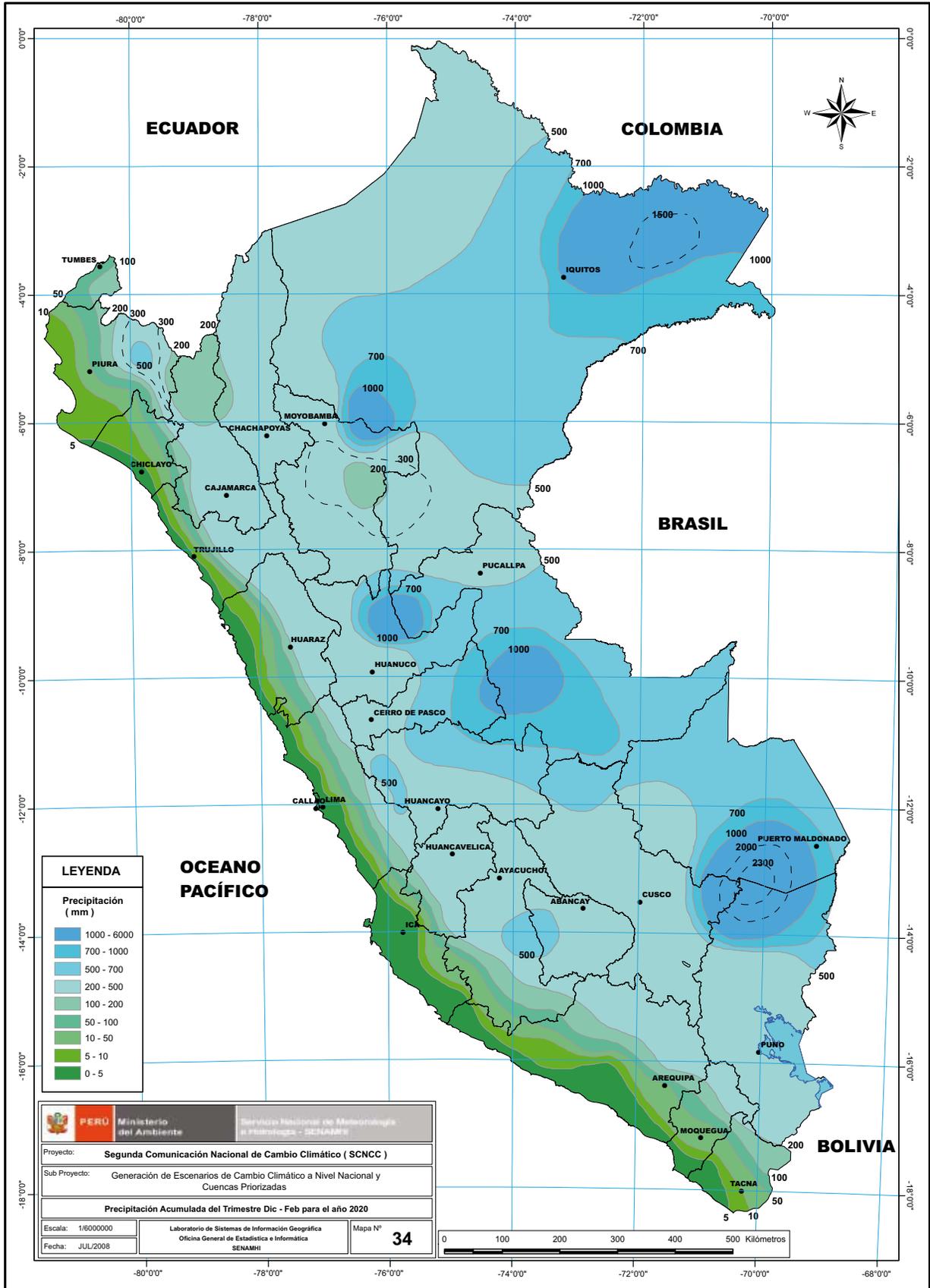


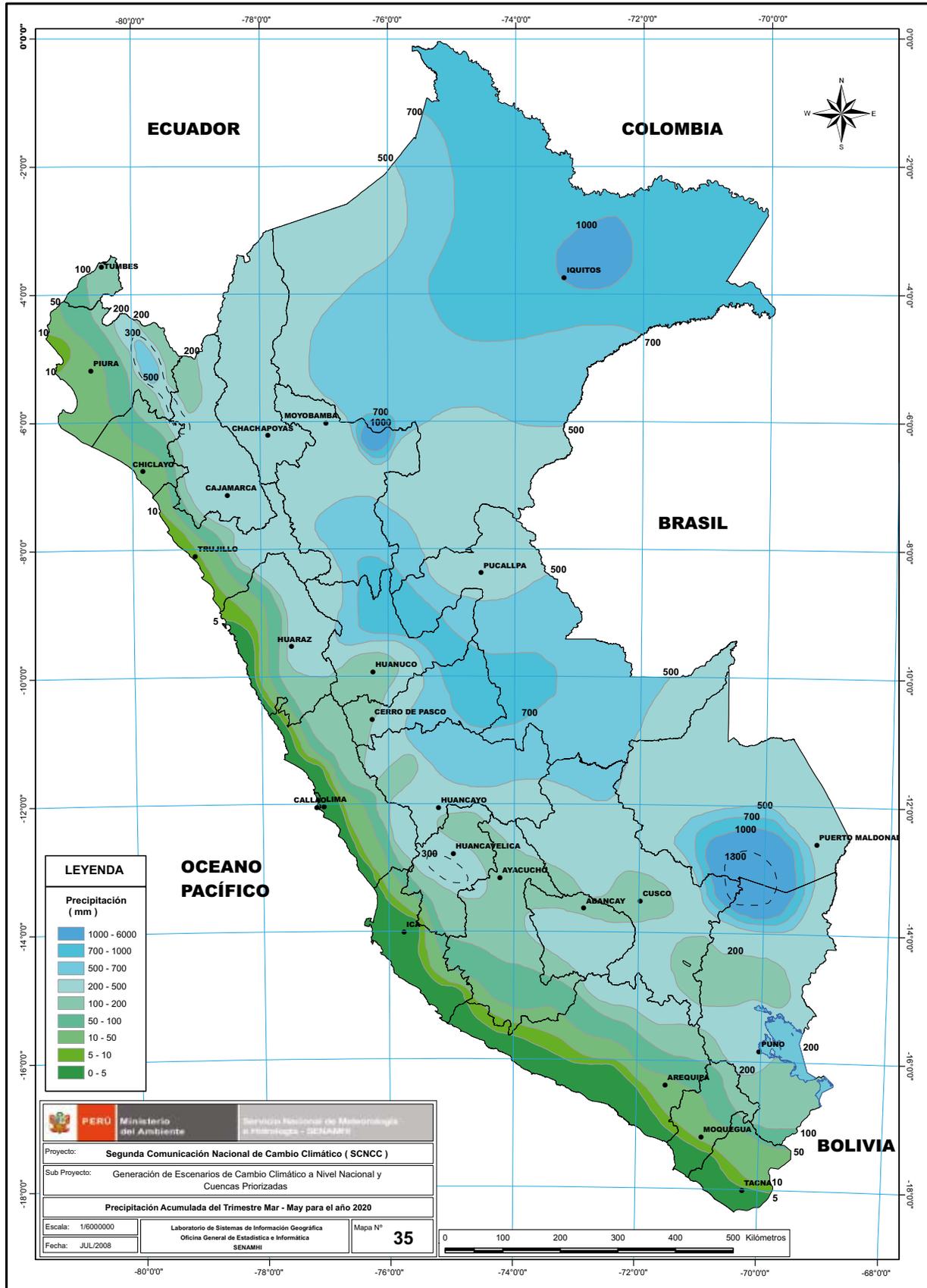


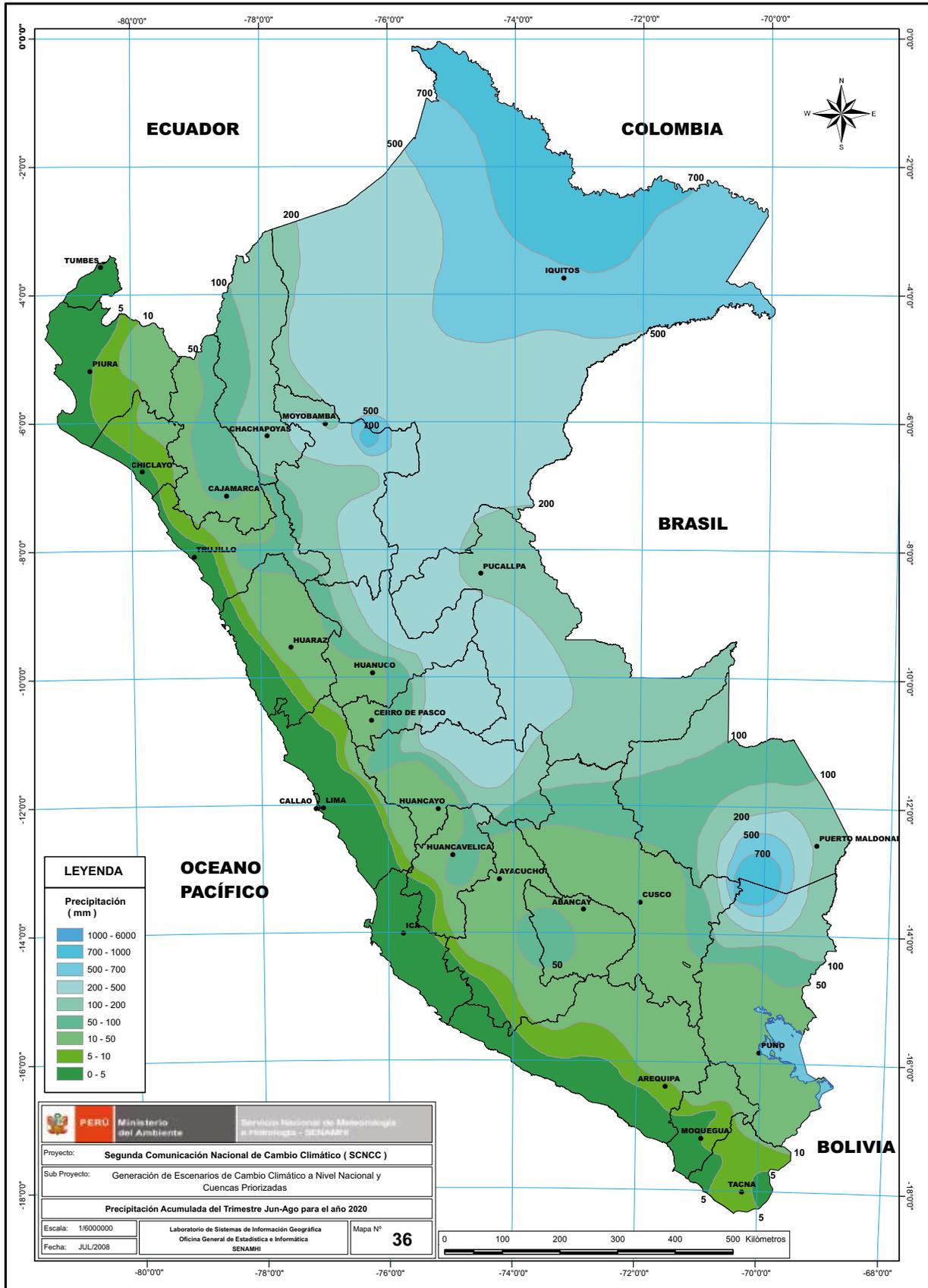


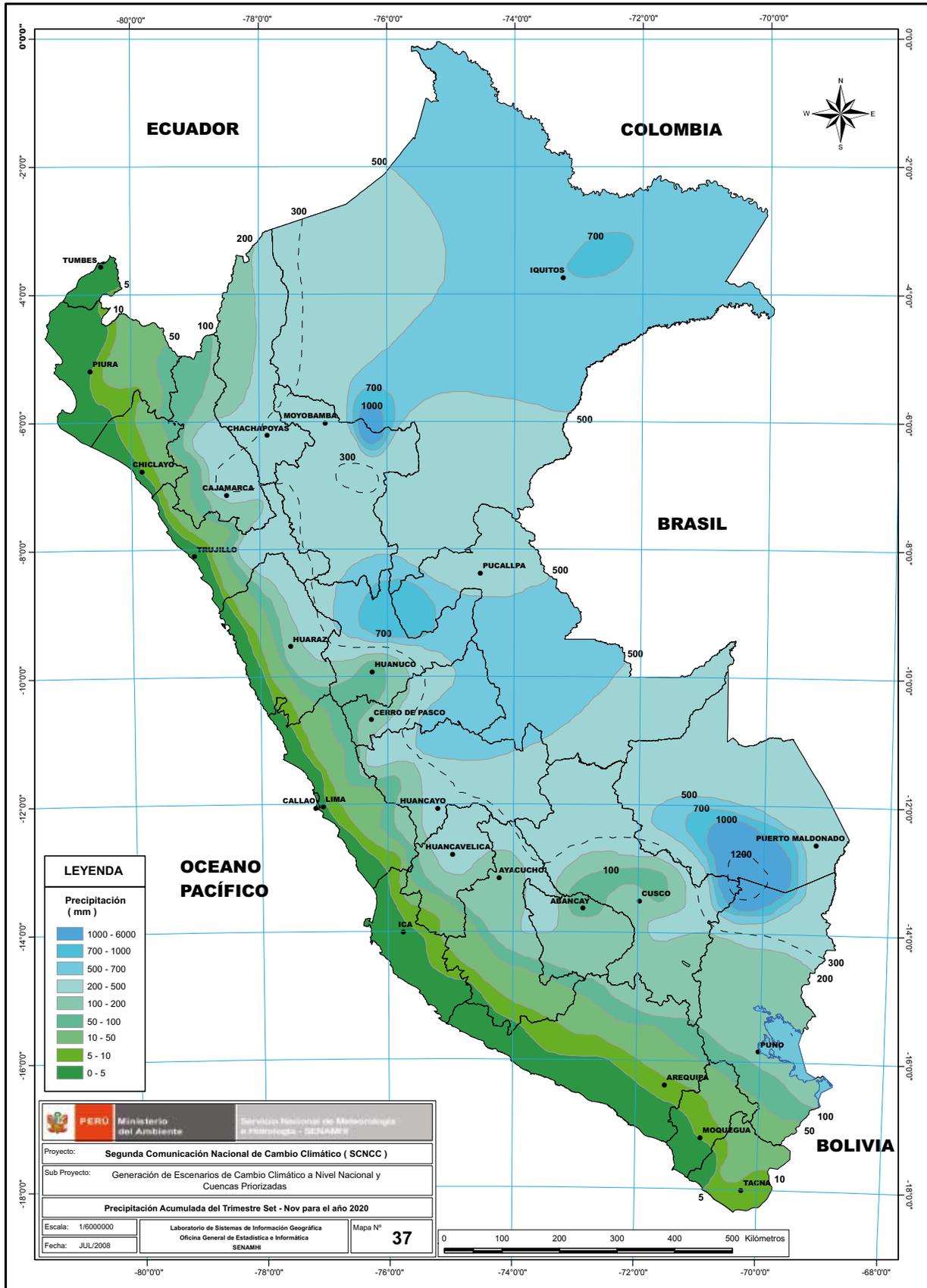


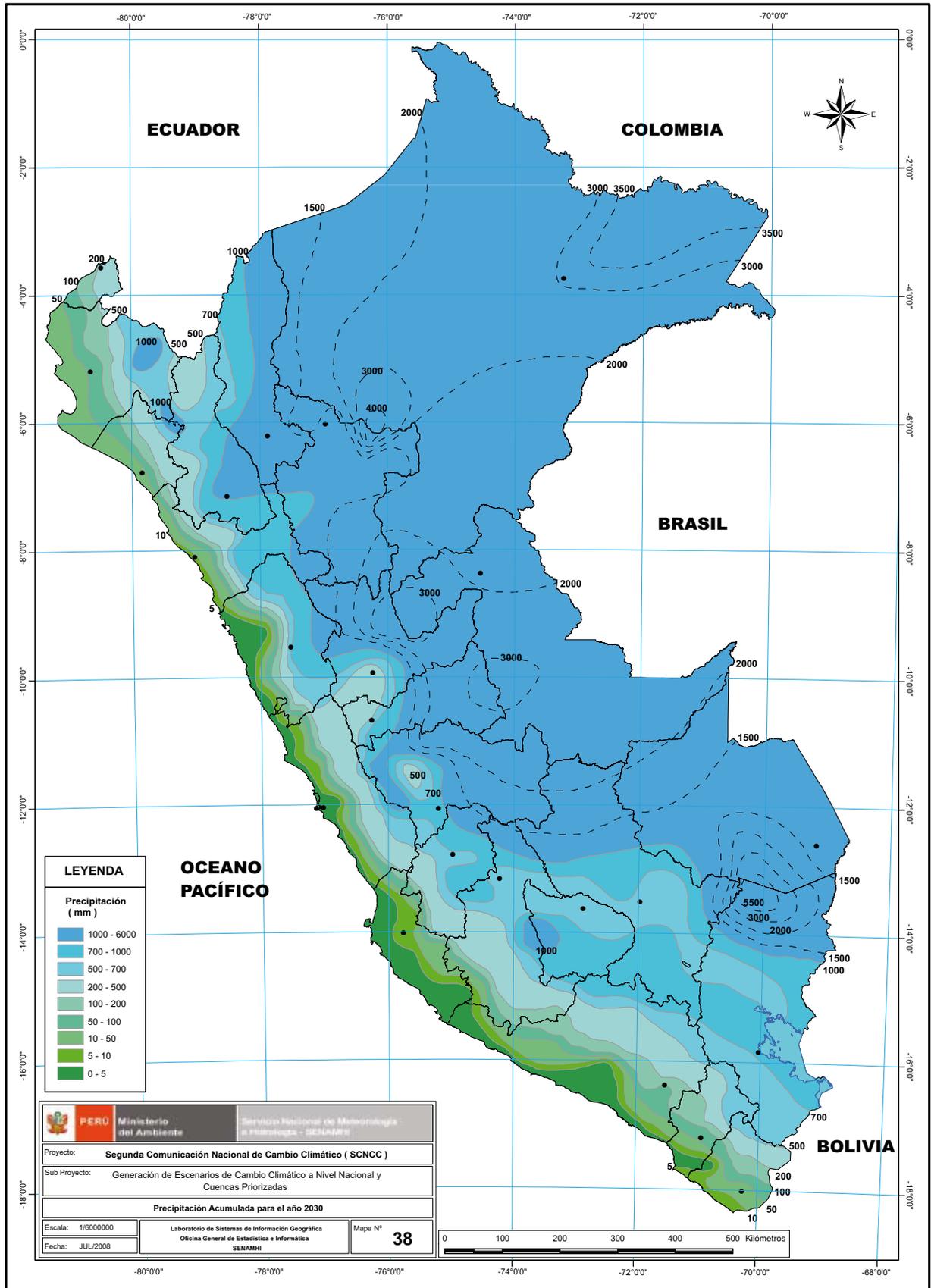


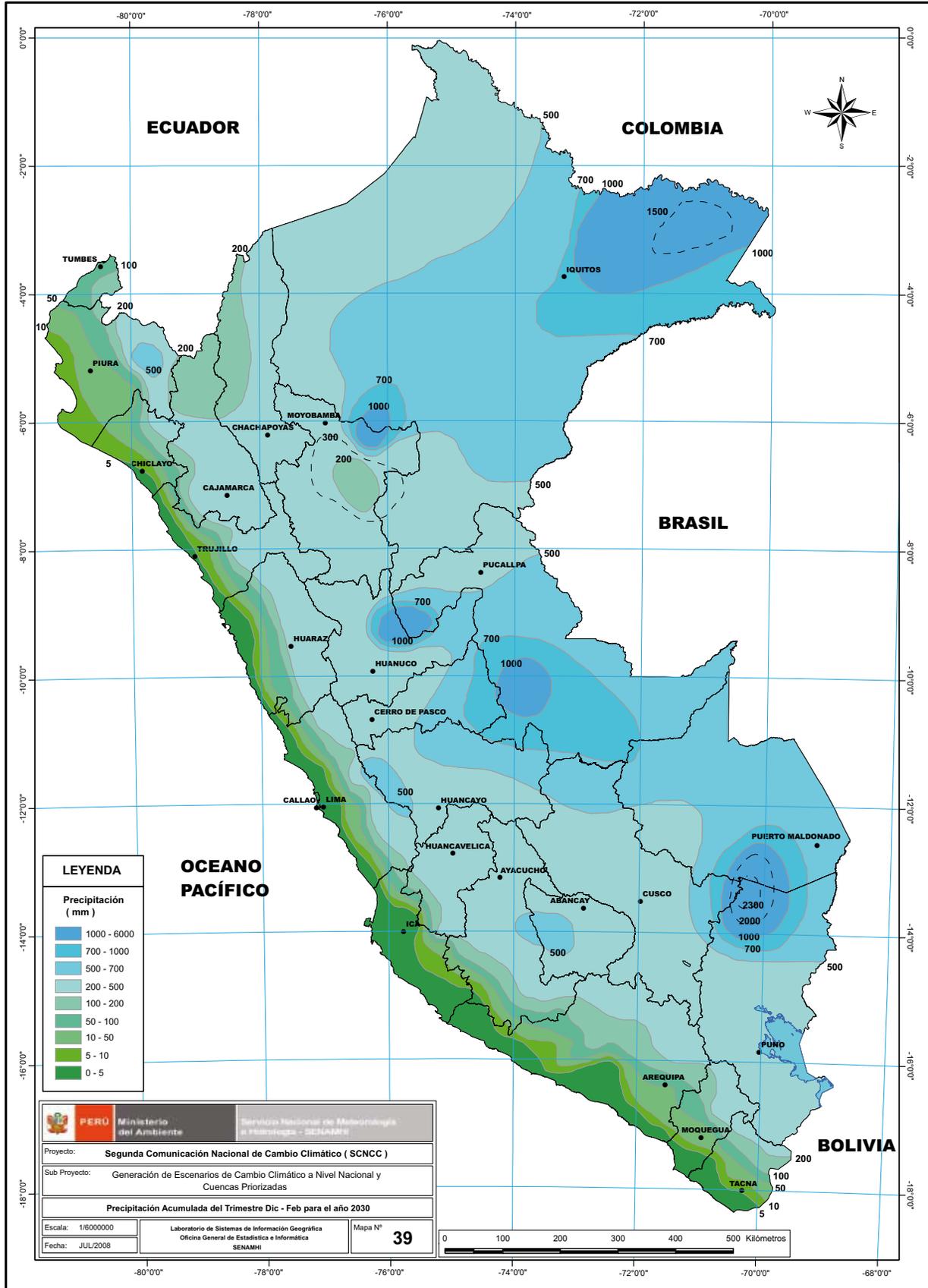


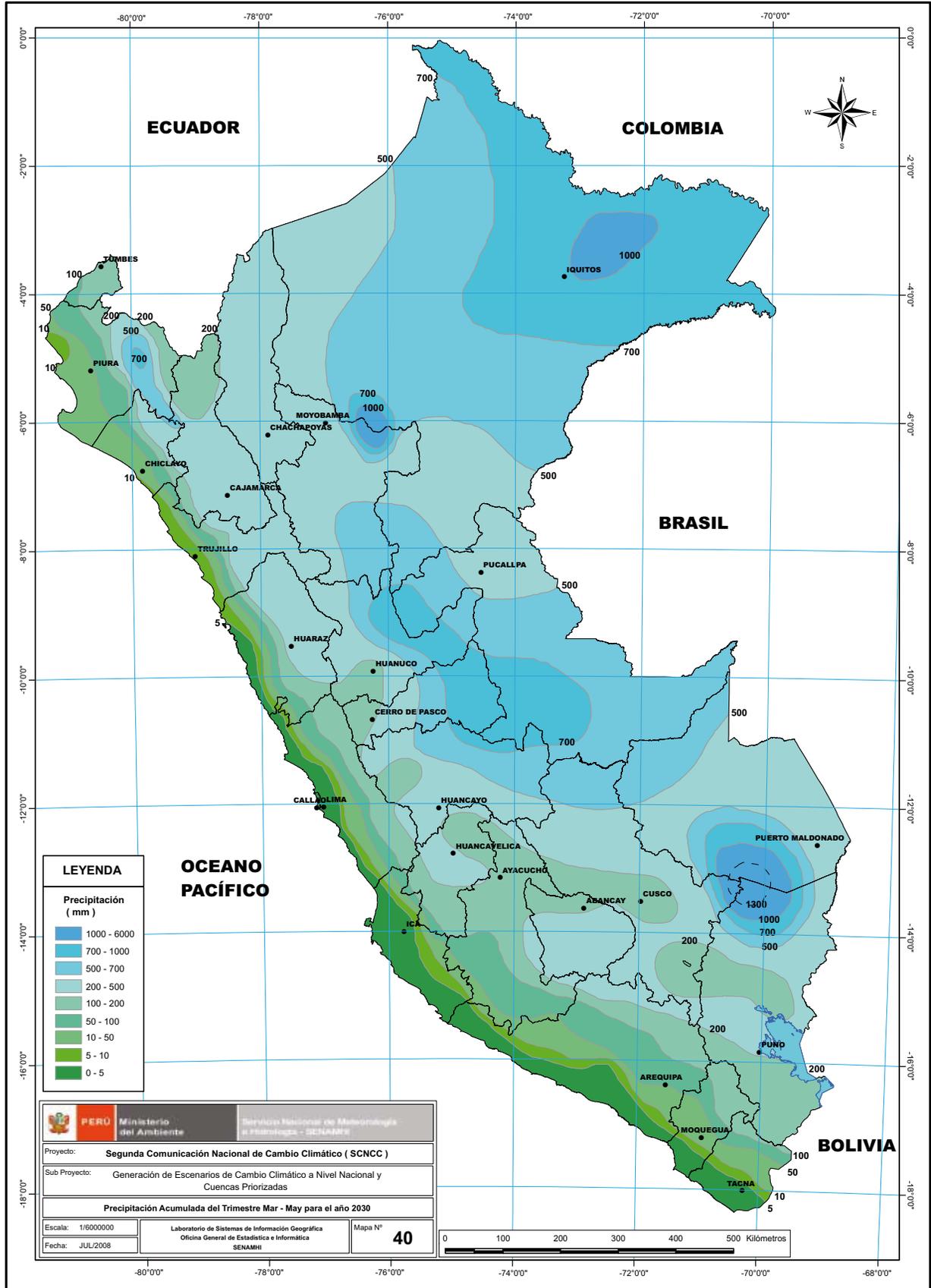


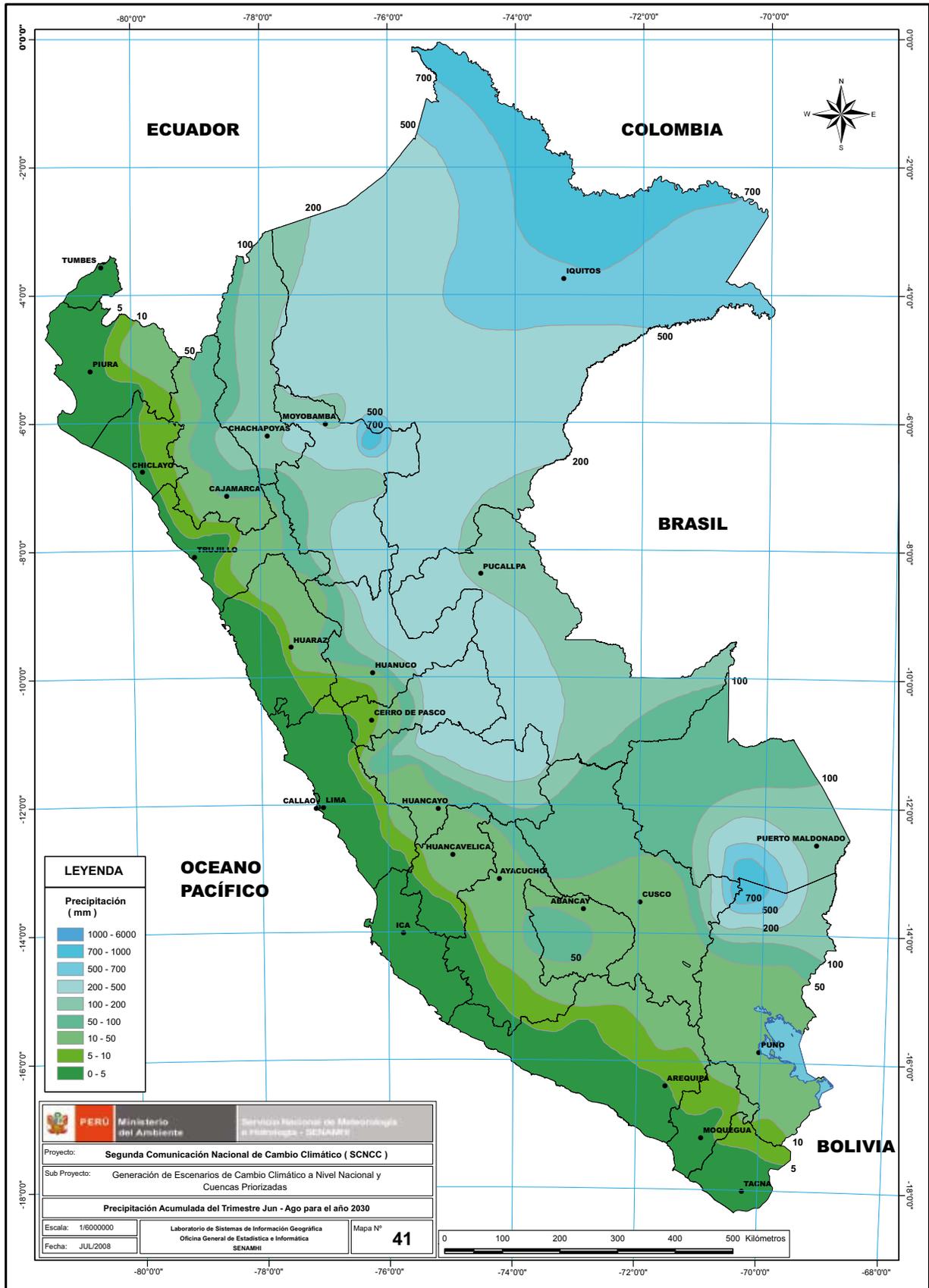


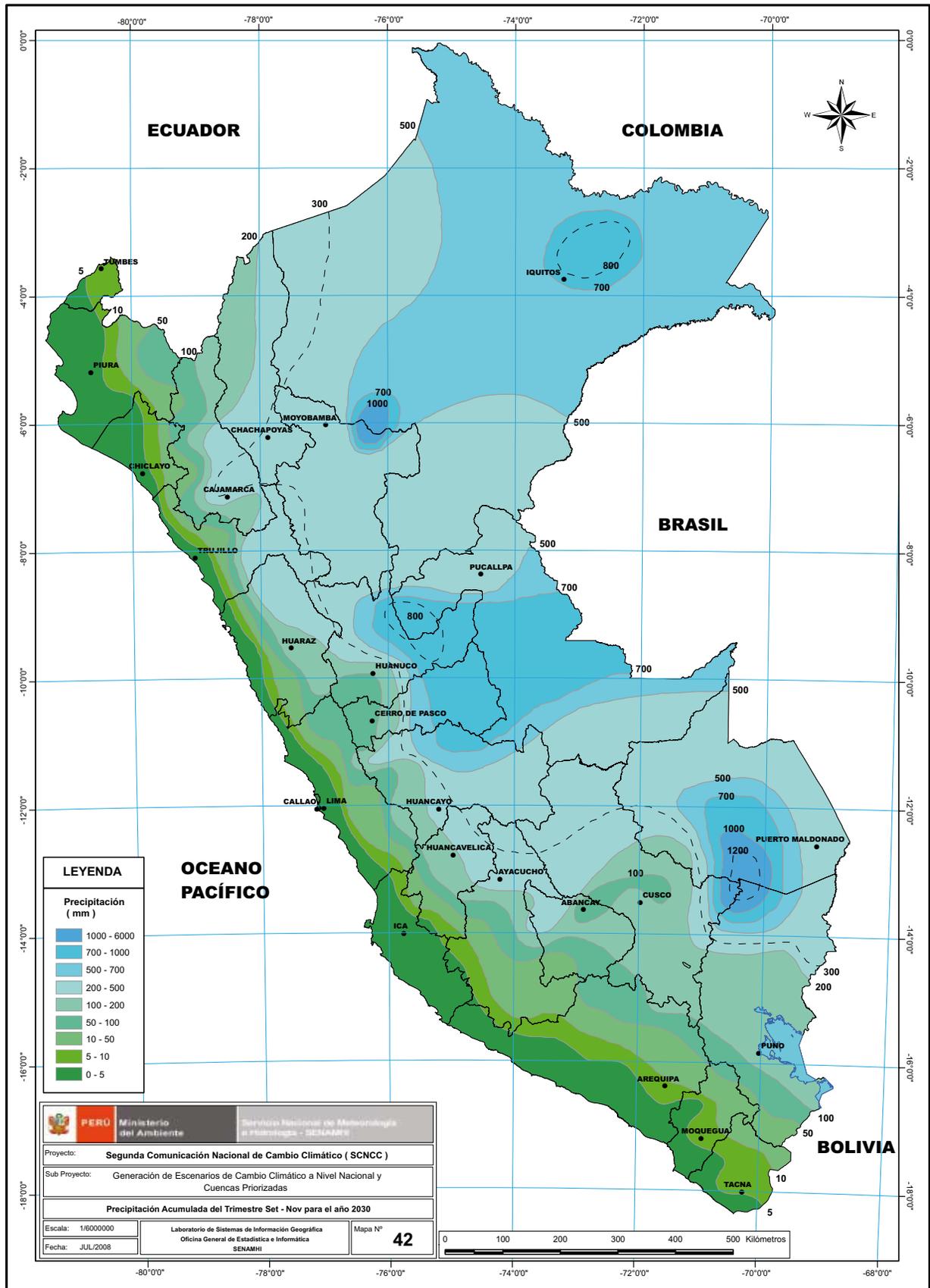


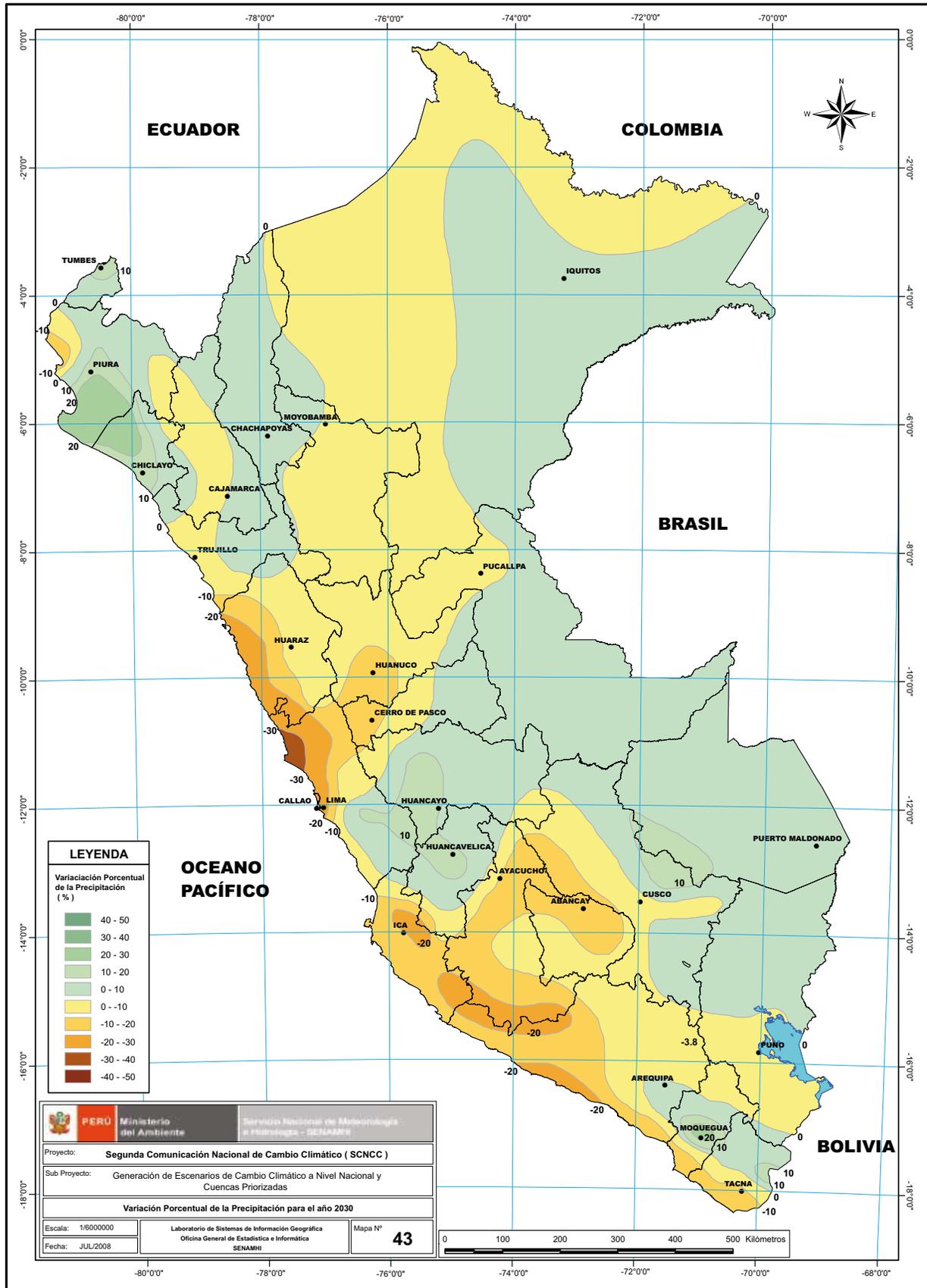


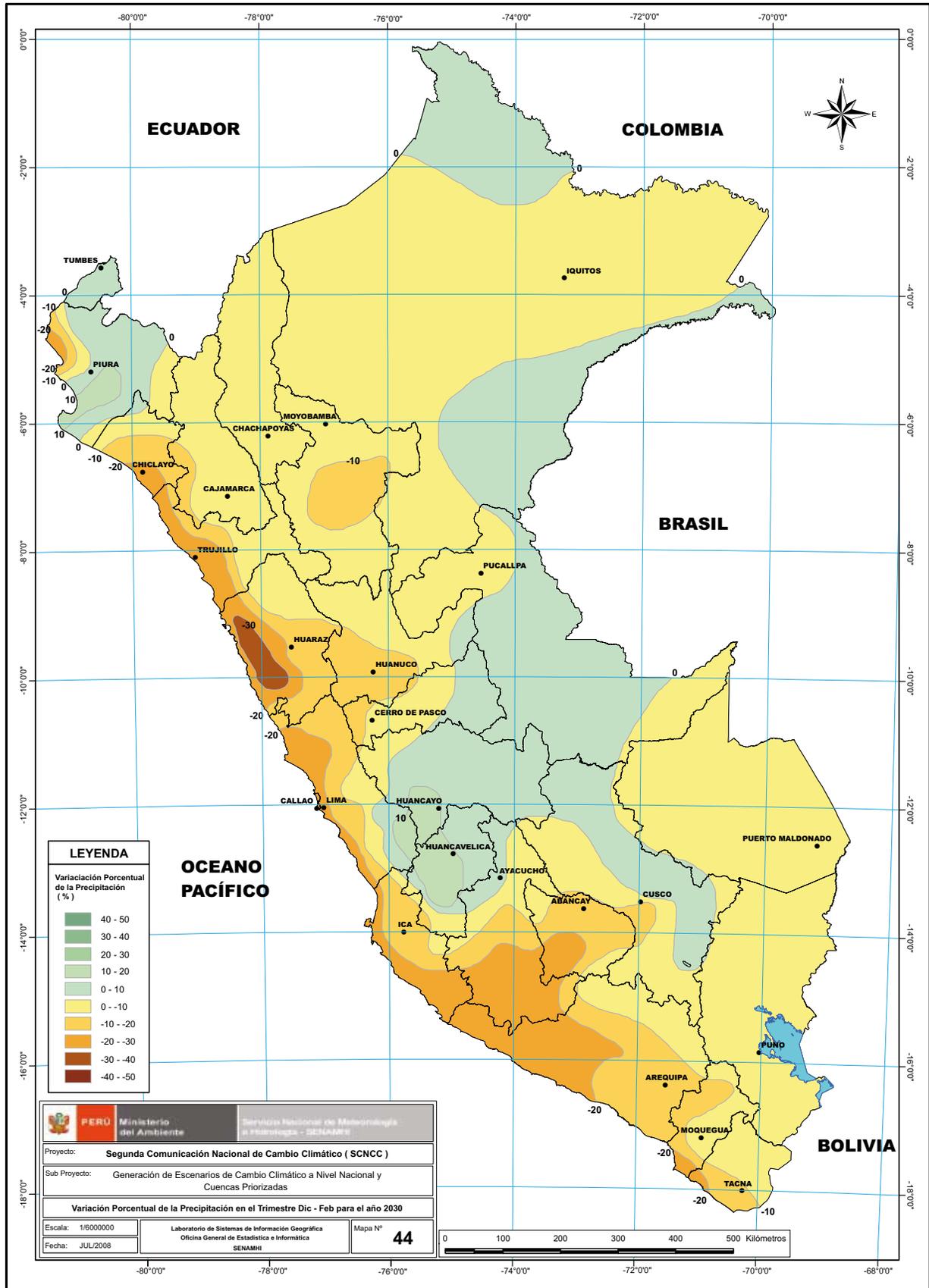


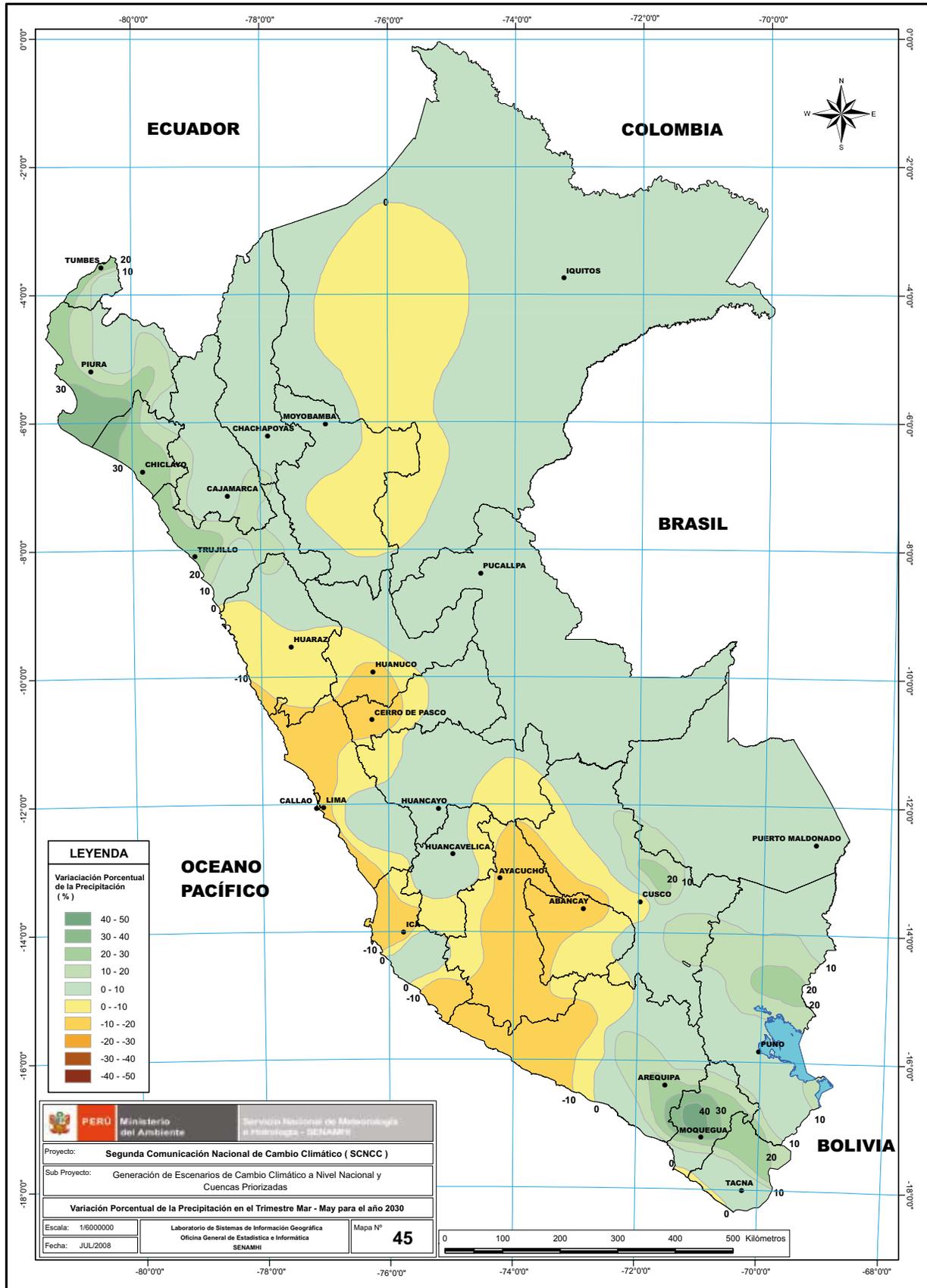


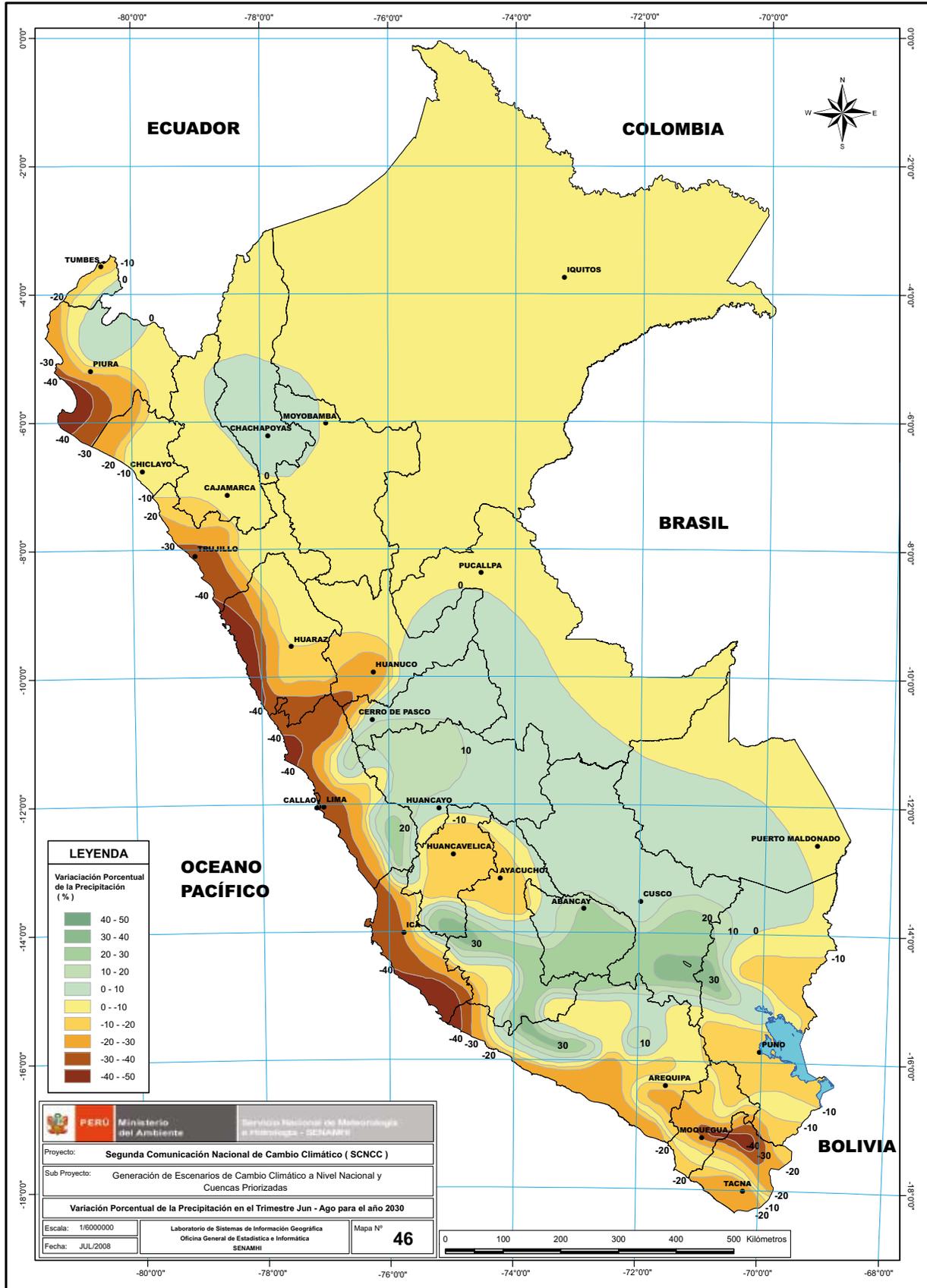


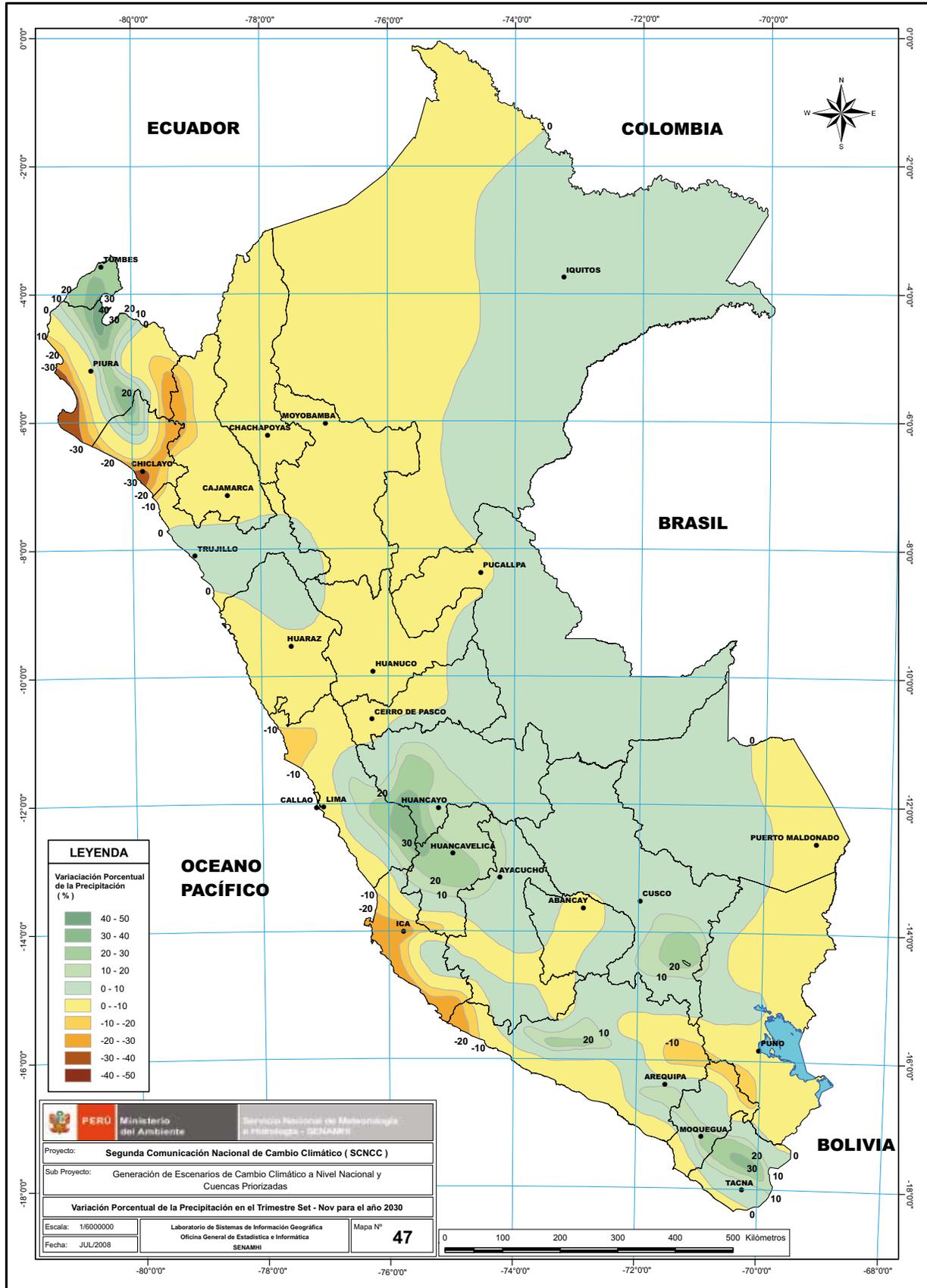


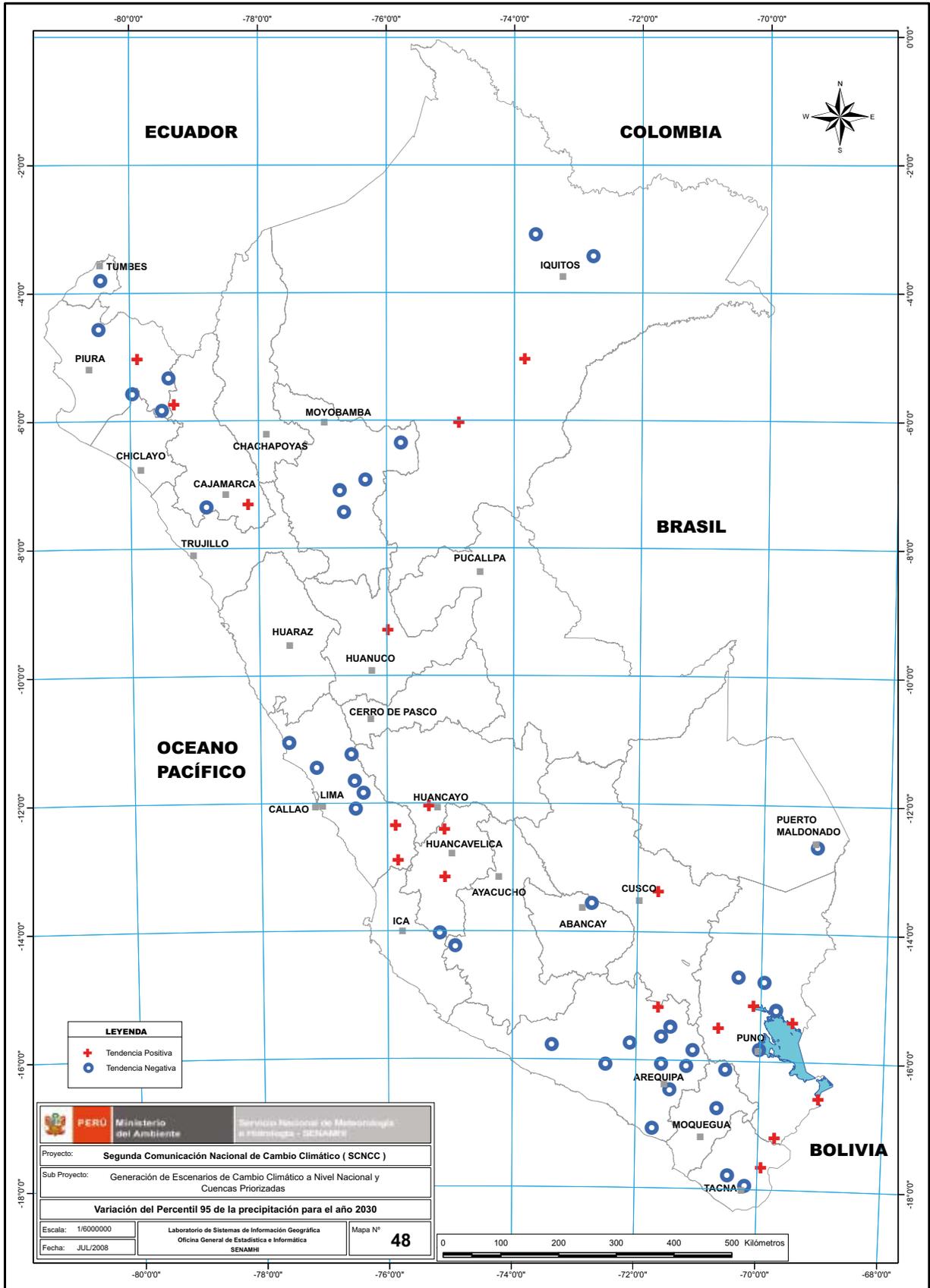












the 1990s, the number of people who have been employed in the public sector has increased in all countries.

There are a number of reasons why the public sector has grown. One reason is that the public sector has become more important in providing social services. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of health care, education, and social housing. Another reason is that the public sector has become more important in providing infrastructure services. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of roads, bridges, and public transit. A third reason is that the public sector has become more important in providing social insurance. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of Social Security and Medicare. Finally, the public sector has become more important in providing social services because of the increasing demand for these services. For example, the number of people who are aged 65 and over has increased in all countries, and this has led to an increasing demand for social services such as health care and social housing.

There are a number of reasons why the public sector has become more important in providing social services. One reason is that the public sector has become more important in providing health care. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of health care. Another reason is that the public sector has become more important in providing education. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of education. A third reason is that the public sector has become more important in providing social housing. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of social housing. Finally, the public sector has become more important in providing social insurance. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of Social Security and Medicare.

There are a number of reasons why the public sector has become more important in providing infrastructure services. One reason is that the public sector has become more important in providing roads, bridges, and public transit. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of roads, bridges, and public transit. Another reason is that the public sector has become more important in providing social insurance. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of Social Security and Medicare. Finally, the public sector has become more important in providing social services. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of health care, education, and social housing.

There are a number of reasons why the public sector has become more important in providing social insurance. One reason is that the public sector has become more important in providing Social Security and Medicare. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of Social Security and Medicare. Another reason is that the public sector has become more important in providing health care. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of health care. A third reason is that the public sector has become more important in providing education. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of education. Finally, the public sector has become more important in providing social housing. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of social housing.

There are a number of reasons why the public sector has become more important in providing social services. One reason is that the public sector has become more important in providing health care. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of health care. Another reason is that the public sector has become more important in providing education. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of education. A third reason is that the public sector has become more important in providing social housing. For example, in the United Kingdom, the public sector has become the main provider of social housing. Finally, the public sector has become more important in providing social insurance. For example, in the United States, the public sector has become the main provider of Social Security and Medicare.

APÉNDICE 4

CONCEPTOS Y TÉRMINOS BÁSICOS

Para poder entender mejor este documento es necesario conocer algunos términos y definiciones relacionados con el tema. Este glosario se basa en el último reporte del IPCC (2007).

Ambiente

Es donde se encuentra reunido todos los procesos y agentes que intervienen en la vida, ya sean de carácter natural o antropogénico. La interacción de estos agentes entre sí tratan de lograr una armonía y un equilibrio.

Calentamiento Global

Es el fenómeno generalizado del efecto invernadero presentado a escala global, con aumento de la temperatura de la tierra. Este fenómeno produce calentamiento en algunas zonas y enfriamientos en otras, siendo la causa principal del Cambio climático.

Cambio climático

Es una importante variación del clima que persiste en un período de tiempo prolongado. Tales variaciones se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, otros. Son debidos a causas naturales y, en los últimos siglos, también a la acción del hombre.

Contaminación

Es la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de estos en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal. Es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar de las personas.

Deshielo

Es la fusión de las nieves como consecuencia del aumento de las temperaturas. Una de las causas que produce esto es el calentamiento global que está elevando la temperatura de la tierra año tras año y que produce el deshielo de los casquetes polares, de los glaciares y otros cuerpos de hielo, provocando, entre muchos problemas, la pérdida de agua dulce para el abastecimiento de agua a la población.

Efecto Invernadero

Es el fenómeno a través del cual los gases invernadero retienen parte de la energía que el suelo emite después de calentarse por la radiación solar incidente y evita que la energía del sol recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero. El efecto invernadero se ve acentuado por la emisión de gases como el dióxido de carbono y el metano, producidos por la actividad antropogénica

Escenarios Climáticos

Son descripciones plausibles de cómo las cosas pueden cambiar en el futuro. La metodología empleada para la construcción de escenarios varía de acuerdo al propósito de la evaluación. Por muchos años, los escenarios han sido utilizados por los gobiernos en los ámbitos empresariales y militares como base para el planeamiento estratégico. Estos escenarios socioeconómicos proporcionan un marco para el pensamiento estructurado de cómo el futuro se puede revelar.

Gases de Efecto Invernadero

Son aquellos gases que contribuyen al Efecto Invernadero, debido a sus propiedades físicas y su interacción con la radiación infrarroja.

Incertidumbre

Expresión del grado de desconocimiento de un determinado valor (por ejemplo el estado futuro del sistema climático). Puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido e incluso cognoscible.

Modelo Climático

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroefecto, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas.

Poder de Calentamiento Global

Es un valor referencial que permite comparar el grado de poder que tienen los gases de efecto invernadero con respecto al dióxido de carbono CO₂, el cual tiene un valor de poder de calentamiento global proporcional a 1 y el CH₄ de 25, lo que quiere decir que el CH₄ tiene 25 veces el poder de calentar la tierra con respecto al CO₂.

Predictibilidad

Capacidad de predecir el estado futuro de un sistema conociendo su estado actual y sus estados anteriores. El conocimiento de los estados actuales y anteriores del sistema climático suele ser imperfecto, los modelos que mediante esos conocimientos generan predicciones climáticas son, por consiguiente, también imperfectos, y el sistema climático es inherentemente no lineal y caótico, todo lo cual hace que la predictibilidad del sistema climático sea inherentemente limitada. Incluso aunque se utilicen modelos y observaciones arbitrariamente precisos, existen limitaciones a la predictibilidad de un sistema no lineal como el clima.

Sequía

Whilhite y Glantz (1985) detectaron más de 100 definiciones de sequía, las cuales fueron categorizadas en cuatro grupos: sequía meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. Asimismo definieron la sequía meteorológica como una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un período de tiempo determinado. Por otro lado, el manejo y planeamiento de los sistemas de recursos de agua toma en cuenta los diferentes procesos hidrológicos como, excesos, inundaciones, deficiencias y sequías (Salas et al., 2005).

Variabilidad Climática

Variabilidad natural del sistema climático, en particular a escalas de tiempo estacionales o más prolongadas, se atiende preferentemente a determinadas pautas espaciales y escalas temporales, en virtud de las características dinámicas de la circulación atmosférica y de las interacciones con la superficie terrestre y oceánica. Tales patrones son conocidos también como regímenes, modos o teleconexiones.

Vulnerabilidad

Medida en que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluso la variabilidad climática y los episodios extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.



Ministerio del Ambiente - MINAM
Av. Guardia Civil 205, San Borja, Lima - Perú
Telf.: (511) 2255370
www.minam.gob.pe
minam@minam.gob.pe

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI
Jr. Cahuide 785, Jesús María, Lima - Perú
Telfs.: (511) 6141414
www.senamhi.gob.pe