

SEGUNDA COMUNICACIÓN NACIONAL
DE CAMBIO CLIMÁTICO

ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA
Cuenca del Río Mayo
PARA EL AÑO 2030



ESCENARIOS CLIMATICOS EN LA CUENCA DEL RIO MAYO 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 LA

Cuenca
del Río Mayo
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 Planck – 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 Ancash, 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

PRESENTACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivos	9
1.2 Marco Teórico	
1.2.1. Situación actual del Cambio Climático a nivel Global	9
1.2.2. Perspectivas climáticas a nivel global hasta finales del siglo XXI	13
1.2.3. Cambio climático y amazonía	15
1.2.4. Confiabilidad de modelos numéricos para proyectar el cambio climático futuro	16
1.2.5. Tratamiento de las incertidumbres	17
CAPÍTULO 2 LA CUENCA DEL RÍO MAYO	19
2.1 Ubicación y características geográficas	20
2.2. Características climáticas	20
2.2.1. Precipitación	20
2.2.2. Temperatura	20
2.2.3. Humedad relativa	20
2.2.4. Variación multianual de las temperaturas extremas y precipitación en la cuenca	21
2.2.5. Variación temporal y espacial de las temperaturas extremas y precipitación en eventos extremos	21
2.3 Clasificación climática	22
2.4 Importancia socioeconómica y potencialidades de la cuenca	22
2.4.1. Recurso hídrico	22
2.4.2. Actividades agrícolas	23
2.4.3. Biodiversidad	24
CAPÍTULO 3 TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO	25
3.1 Datos	26
3.2 Metodología	27
3.2.1. Estimación de la tendencia lineal	27
3.2.2. Determinación de la significancia estadística de la tendencia lineal	28
3.2.3. Determinación de los Índices de Extremos Climáticos	28
3.2.4. Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)	29
3.2.5. Teleconexiones de las sequías en la cuenca	29
3.2.6. Análisis de la Transformada de Onditas	29

3.3 Resultados	30
3.3.1 Tendencias lineales de la precipitación	30
3.3.2 Tendencias lineales de la temperatura	31
3.3.3 Índices de extremos climáticos	34
3.3.3.1 Índices de extremos climáticos de la precipitación	34
3.3.3.2 Índices de extremos climáticos de la temperatura	36
3.3.4 Análisis de las sequías	38
3.3.4.1 Distribución temporal de las sequías	38
3.3.4.2 Teleconexiones de las sequías	40

CAPÍTULO 4 ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO **43**

4.1 Datos **44**

4.2 Metodología **45**

4.2.1 Downscaling Estadístico	45
4.2.2 Downscaling Dinámico	46
4.2.2.1 Escenarios proyectados	47
4.2.2.2 Indicadores de extremos climáticos proyectados	47

4.3 Resultados **47**

4.3.1 Downscaling Estadístico	48
4.3.2 Downscaling Dinámico	49
4.3.2.1 Escenarios proyectados a nivel anual	49
4.3.2.2 Escenarios proyectados a nivel estacional	51
4.3.2.3 Indicadores de Extremos Climáticos proyectados	54

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **55**

5.1 Sobre las tendencias del clima actual **56**

5.2 Sobre las proyecciones del clima al 2030 **58**

BIBLIOGRAFÍA **59**

APÉNDICE 1	
RED HIDROMETEOROLÓGICA, MAPAS DE RELIEVE Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	61

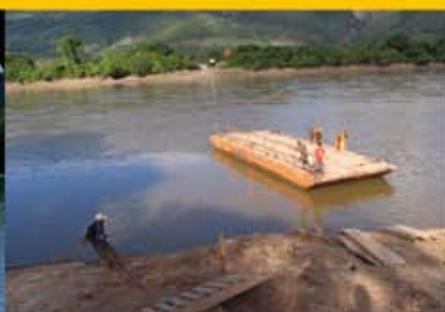
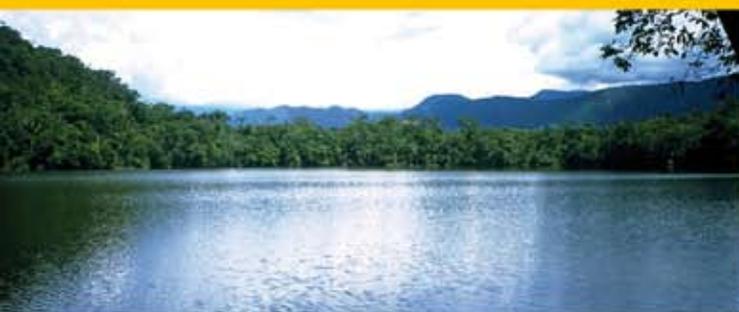
APÉNDICE 2	
MAPAS DE PROMEDIOS MULTIANUALES, EVENTOS EXTREMOS Y TENDENCIAS ACTUALES	65

APÉNDICE 3	
ESCENARIOS CLIMÁTICOS AL AÑO 2030	79

APÉNDICE 4	
CONCEPTOS Y TÉRMINOS BÁSICOS	129

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Las conclusiones presentadas por el Grupo II del IPCC, 2007, en su último reporte de evaluación sobre cambio climático, señala que en América Latina los principales impactos proyectados están dirigidos hacia un probable proceso de sustitución de los bosques tropicales por sabanas hacia el este de la amazonía, así como una pérdida de biodiversidad importante por extinción de especies en las regiones tropicales y cambios en la productividad de cultivos y su consecuente amenaza para la seguridad alimentaria. Se menciona, asimismo, impactos en los sistemas biológicos terrestres por la llegada prematura de la primavera, ocasionando florecimiento prematuro, migración de aves y alteración de ciclos biológicos de los seres vivos.

El Perú no es ajeno a este futuro pesimista, pues más de la mitad de su territorio corresponde a la región de selva, la cual alberga una diversidad biológica invaluable, no solo de importancia para el país, sino también para el mundo. Las amenazas que sobre esta biodiversidad se plantea a futuro son evidentes en la actualidad, por la pérdida de bosques a consecuencia de la tala indiscriminada, la caza furtiva de especies nativas, el establecimiento de centros de extracción de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo, etc.

La cuenca del río Mayo es una de las regiones amazónicas que se ubica en la Región San Martín, con una fisiografía montañosa, que tiene niveles menores a 700 msnm hasta aproximadamente 4 000 msnm en su parte más alta, y alberga una diversidad de ecosistemas que lo hacen particularmente especial para el desarrollo de la fauna, como el mono choro y el oso de anteojos así como la flora, con orquídeas y bromelias reconocidas por su impresionante belleza a nivel mundial. Sin embargo, al igual que en otras regiones de la selva peruana, las amenazas se concentran en la degradación de los ecosistemas por la deforestación, construcción de carreteras, asentamientos humanos, extracción indiscriminada de especies de flora y fauna, etc., los que sumados a los peligros de origen hidroclimático, como intensas precipitaciones, inundaciones, sequías, cambios en la variabilidad de las temperaturas, conllevan a que los diferentes ecosistemas de la cuenca sean vulnerables.

Actualmente se realizan esfuerzos nacionales para proteger estas áreas a lo largo de todo el territorio para su mejor conservación, con la promulgación de leyes, como la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas. Para el caso de la cuenca del río Mayo, se estableció en 1987 el Bosque de Protección Alto Mayo con el fin de proteger las cuencas hidrográficas, como fuente de agua, la vegetación boscosa, los suelos, vida silvestre, los valores paisajísticos y los de carácter científico para la investigación. Asimismo, a inicios de la década del 80, el gobierno decide impulsar Proyectos de Desarrollo Rural, principalmente en la zona de selva, por considerarla una importante frontera agrícola y despensa nacional; bajo este marco se crea el Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM). Estos proyectos necesitan contar con información sobre la variabilidad climática y proyecciones del clima futuro en la cuenca.

El presente estudio brinda una serie de importantes análisis sobre lo que hasta el momento se viene observando en las condiciones climáticas de la cuenca del río Mayo, así como las proyecciones de los cambios climáticos globales como consecuencia del aumento de los GEI. Este estudio es un aporte valioso para la evaluación del impacto del cambio climático en la biodiversidad y actividades socioeconómicas de la cuenca. Series largas de más de 40 años han sido utilizadas para evaluar cambios en los patrones de lluvias y temperaturas máximas y mínimas, así como en la aplicación de métodos estadísticos y dinámicos para generar los escenarios del clima futuro al 2030, que permitirán establecer las áreas que están en procesos más acelerados de cambios respecto a su media y que implicarían mayores impactos en las actividades socioeconómicas en la cuenca. Es importante mencionar que el análisis de indicadores de extremos climáticos: lluvias intensas, veranillos, sequías, friajes, El Niño/La Niña, en la región, también se ha incluido en este estudio a fin de detectar sus tendencias actuales y futuras.

Este estudio de escenarios del clima futuro en la cuenca, considera, asimismo, el aspecto de incertidumbre producto de la escasa información climática disponible, así como por los procesos seguidos para generar la información proyectada en la cuenca, los que han incorporado errores sistemáticos debido a los métodos de ajuste e interpolación aplicados. Estas dudas son reducidas anexando métodos alternos para dar consistencia y mayor robustez a los resultados proyectados. Estas conclusiones otorgan niveles de confianza y permitirán orientar políticas más adecuadas de adaptación frente al cambio climático en el ámbito regional y local.

1.1 Objetivos

Los objetivos del siguiente estudio son los siguientes:

1.1.1 Determinar las tendencias climáticas e índices de extremos climáticos en la cuenca del río Mayo.

1.1.2 Estimar los escenarios climáticos al 2020 – 2030 en la cuenca del río Mayo.

1.2 Marco teórico

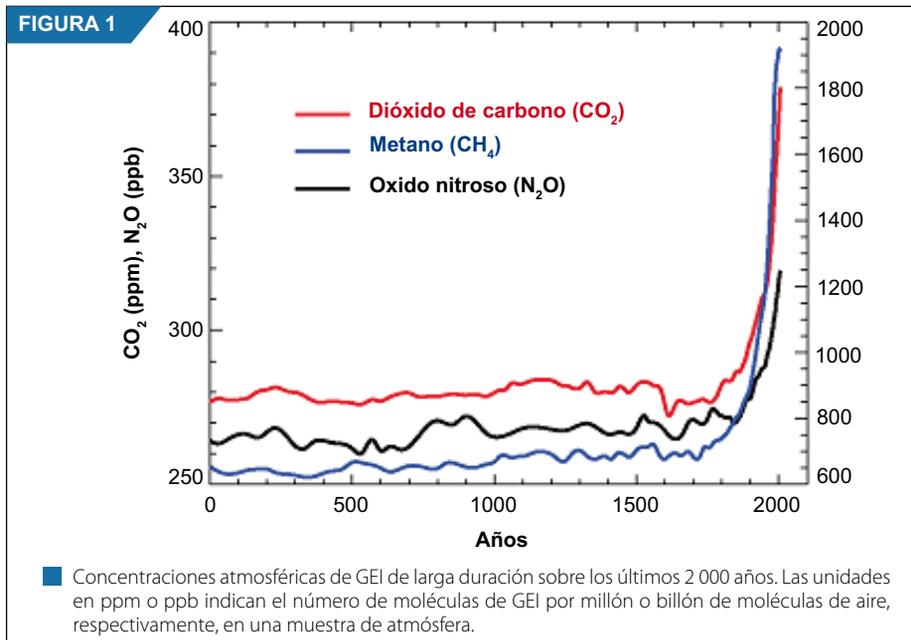
Al definirla, se indica que el clima es la descripción en términos de valores medios y de variabilidad de la temperatura, humedad, precipitación, viento, etc., de una localidad o región, en un periodo relativamente largo de tiempo, como 30 años según la Organización Mundial de Meteorología. Asimismo, el clima es el resultado de una compleja interacción entre las cinco componentes del sistema climático: la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, la criosfera y la superficie terrestre; las cuales mantienen una dinámica propia que va generando variaciones en diferentes escalas de tiempo, desde años, como los eventos El Niño/ La Niña, hasta miles y millones de años, como las eras glaciares, solo interrumpida eventualmente por causas naturales como las erupciones volcánicas y las variaciones en las emisiones solares, o por la actividad humana.

La Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) 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 calentamiento global o 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 ítem permite conocer algunos alcances sobre las tendencias actuales y futuras del clima global, basados en el Cuarto Informe de Evaluación – AR4 (1) del IPCC(2) (2007).

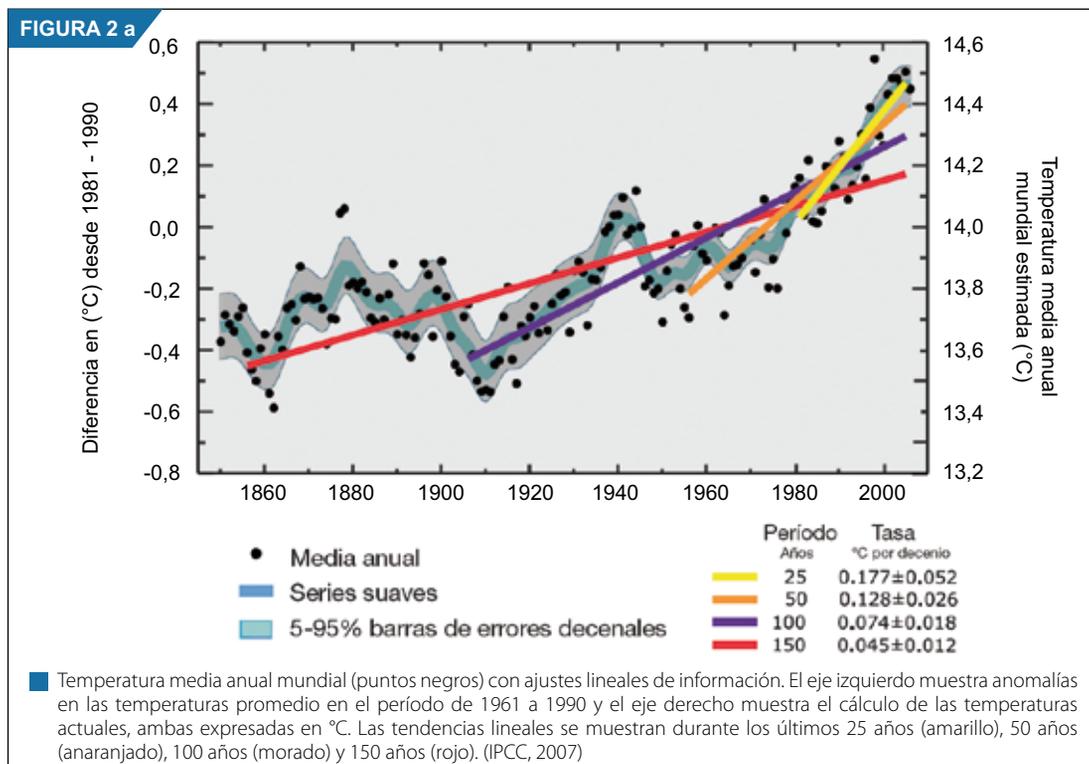
1.2.1. Situación actual del Cambio Climático a nivel Global

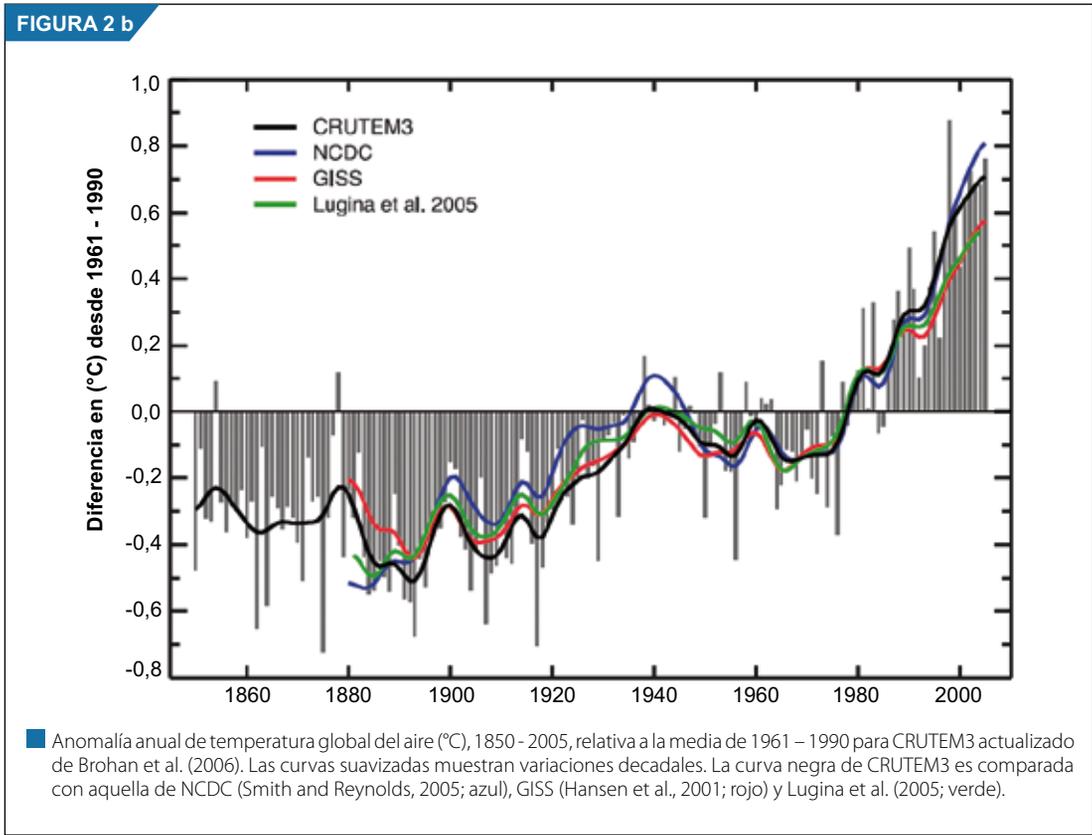
En el 2007, el IPCC concluye que es “muy probable” (mayor de 90% de probabilidad) que los incrementos de gases de efecto invernadero por la acción del hombre hayan causado la mayoría de observaciones en el promedio mundial de las temperaturas desde mediados del siglo XX, y que es “extremadamente improbable” que haya sido causado solamente por causa de la variabilidad climática sin forzamientos.

También se ha observado que la concentración de dióxido de carbono en el año 2005 excede 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 el efecto invernadero se intensifique la caliente.



Al realizar mejores observaciones y estudios, estos han permitido estimar que en los últimos 100 años (1906-2005), la temperatura global se ha incrementado en $0,74\text{ }^\circ\text{C}$, y el ritmo de calentamiento se está acelerando (ver Figura 2 a y b). Desde los inicios del registro de información (1 850), se ha determinado que los 15 años más cálidos se han registrado 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 en $1\text{ }^\circ\text{C}$ en el último siglo, a un compás más rápido que el promedio global.





Según las observaciones realizadas desde 1961, el océano ha estado absorbiendo más del 80% del calentamiento añadido al sistema climático (ver Figura 3). Esto contribuye asimismo al incremento del nivel del mar, ya sea por la expansión del volumen del océano, así como por el derretimiento del hielo de los polos, determinándose un aumento de 17 cm durante el siglo XX (ver Figura 4).

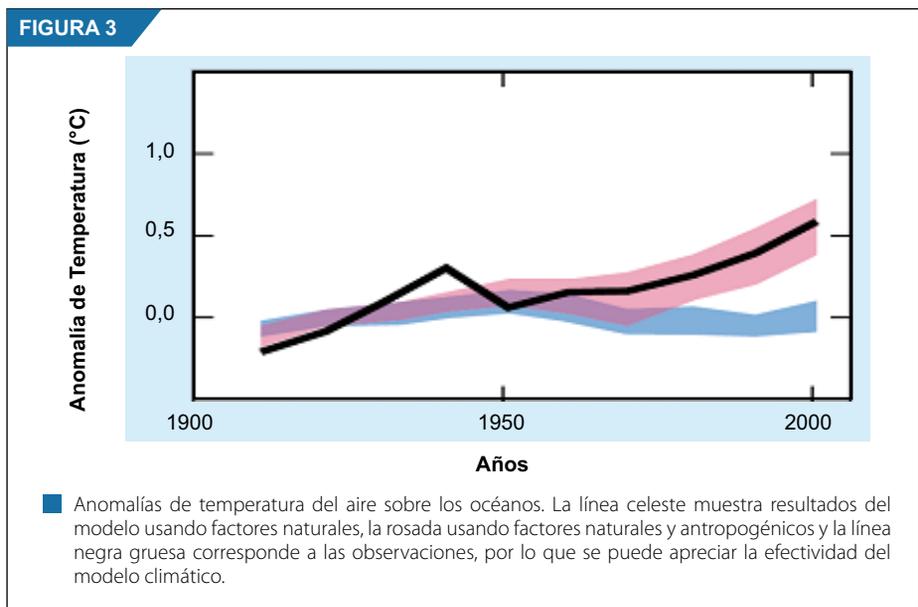
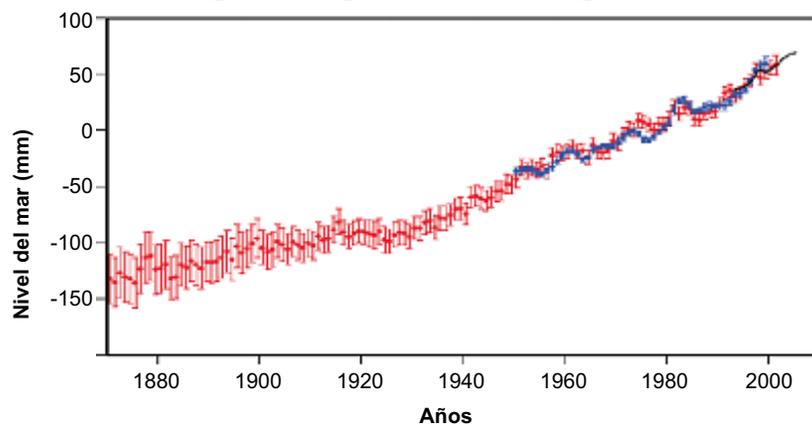


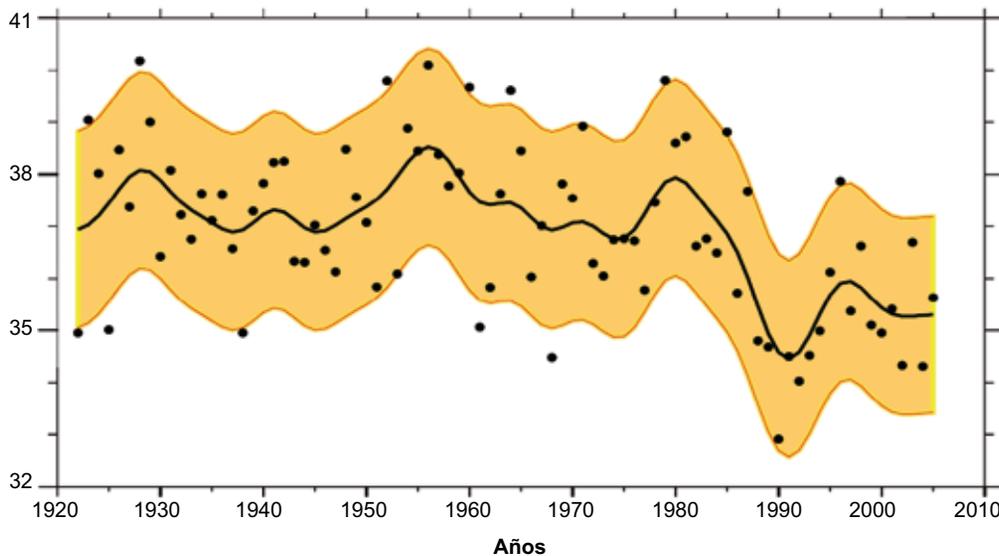
FIGURA 4



■ Anomalías del nivel de los mares observadas mediante satélites y datos directos.
Fuente: IPCC 2007.

Al respecto, la aceleración en los procesos de derretimiento de la cobertura de hielo, principalmente en el Polo Norte y Groenlandia, es significativa, así como la reducción de los glaciares de montaña y la cobertura de nieve a nivel mundial (ver Figura 5).

FIGURA 5



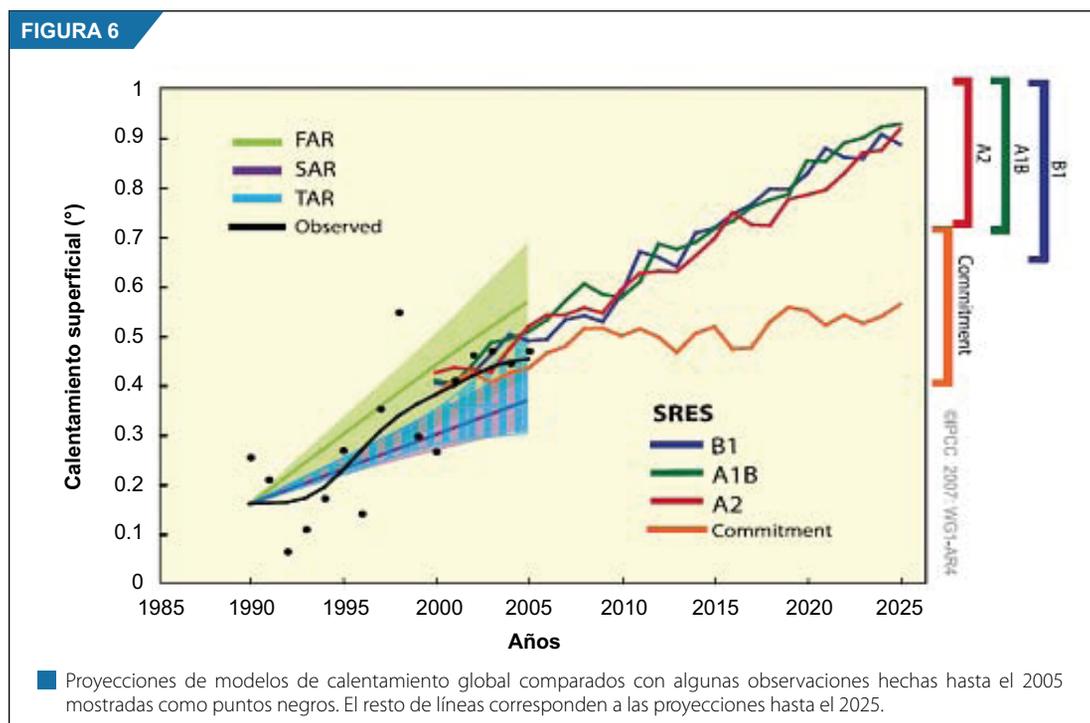
■ Cambios en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte en marzo-abril, basada en el índice de la capa de nieve de una estación e información satelital.

También los eventos climáticos extremos han aumentado, y los patrones climáticos están cambiando: olas de calor y otros extremos del tiempo, así como cambios en los patrones de circulación atmosférica, trayectos de tormentas y precipitaciones pueden ser hoy explicados de manera retrospectiva por el cambio climático causado por actividad humana.

1.2.2 Perspectivas climáticas a nivel global hasta finales del siglo XXI

Según estudios, la Tierra seguirá calentándose en el futuro. Esta afirmación se basa en los resultados de diferentes modelos climáticos que fueron considerados por el grupo I del IPCC en su último reporte sobre las proyecciones futuras del clima, las cuales predicen que durante el siglo XXI la temperatura media de la Tierra ascenderá entre 1,1 y 6,4 °C (ver Figura 6). Las proyecciones climáticas consideran los escenarios de emisión IEEE 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. Al respecto, existen escenarios desde los más optimistas que consideran desde un alto en las emisiones mundiales hasta los más pesimistas manteniendo las tendencias actuales.

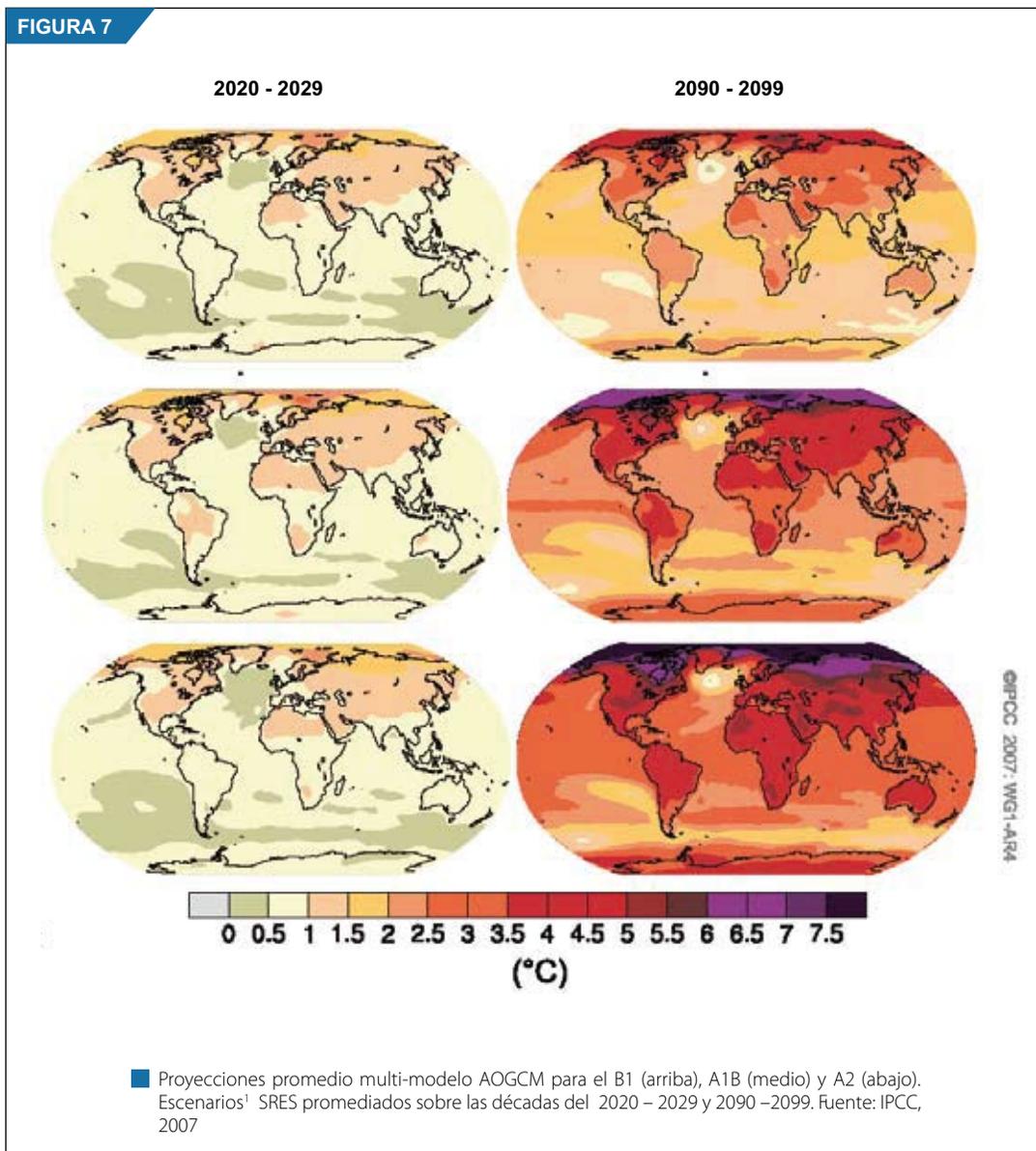
Según el IPCC, se proyecta como “muy probable” que en las tres próximas décadas habrá un calentamiento aproximado de 0,2 °C si las emisiones de gases de efecto invernadero no se reducen. Las mejores estimaciones utilizadas para calcular el promedio del calentamiento del aire en la superficie a nivel 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 aumento 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 menor a 1 °C. (ver Figura 7).

Sobre el aumento 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 8). La incertidumbre de estas proyecciones es menor que las del Tercer Informe del IPCC, debido a la mayor información sobre pérdida de masa glaciar registrada, lo que ha ayudado a mejorar la estimación de la expansión térmica.

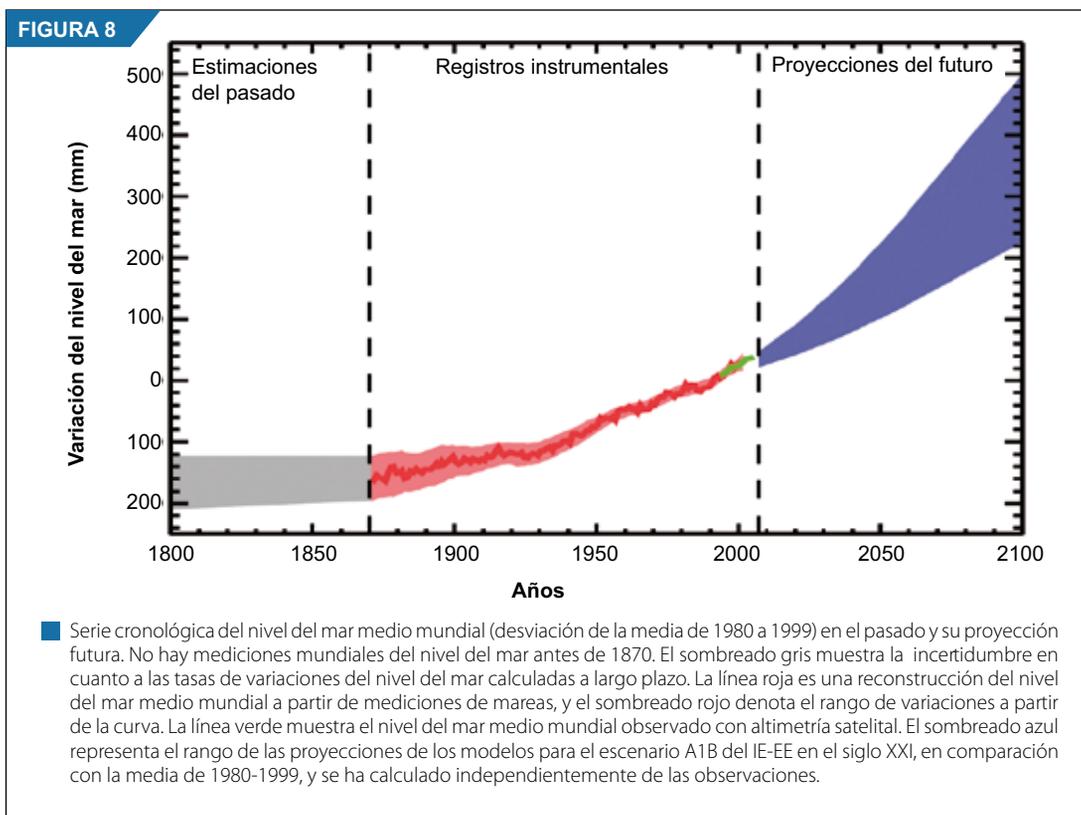
FIGURA 7



La disminución de la cobertura de hielo sobre la región Ártica continuará 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 suficiente consenso.

Según el IPCC, es probable (66% de probabilidad) que los tifones y huracanes se aumenten 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 Ver en <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/005.htm>



1.2.3 Cambio climático y amazonía

El cambio climático debido al aumento de los gases de efecto invernadero, además de los cambios en el uso del suelo, representa una seria amenaza para los ecosistemas naturales del mundo y su biodiversidad. La influencia del hombre en el equilibrio natural del planeta podría llegar a magnitudes sin precedentes si las tasas actuales de emisiones de estos gases continúan en las próximas décadas. El cambio climático antropogénico está asociado a las actividades humanas con el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, a través de incendios, deforestación, formación de islas de calor, etc. La amazonía desempeña un papel fundamental en el ciclo del carbono planetario, y puede ser considerada como una región de gran riesgo desde el punto de vista de la influencia del cambio climático (Nobre et al., 2007).

Salazar, F. (2008), señala que en general todos los modelos globales de cambio climático muestran aumentos en la temperatura media global del planeta y específicamente para la Amazonía, los modelos proyectan un aumento promedio de 2 °C en el escenario optimista (B1) y de hasta 4 °C en el escenario más pesimista (A2) para el final del siglo XXI (algunos modelos llegan a valores de hasta 6 °C). Aumentos de esta magnitud, aun sin considerar los cambios en los regímenes de precipitación, ya son suficientes para afectar algunos tipos de vegetación de la Amazonía. Scholze et al. (2006) presenta en sus resultados, basados en estos datos, la existencia de un riesgo de más de 40% de pérdida de vegetación en algunas áreas de la amazonía, si la anomalía de temperatura fuera mayor a 3 °C.

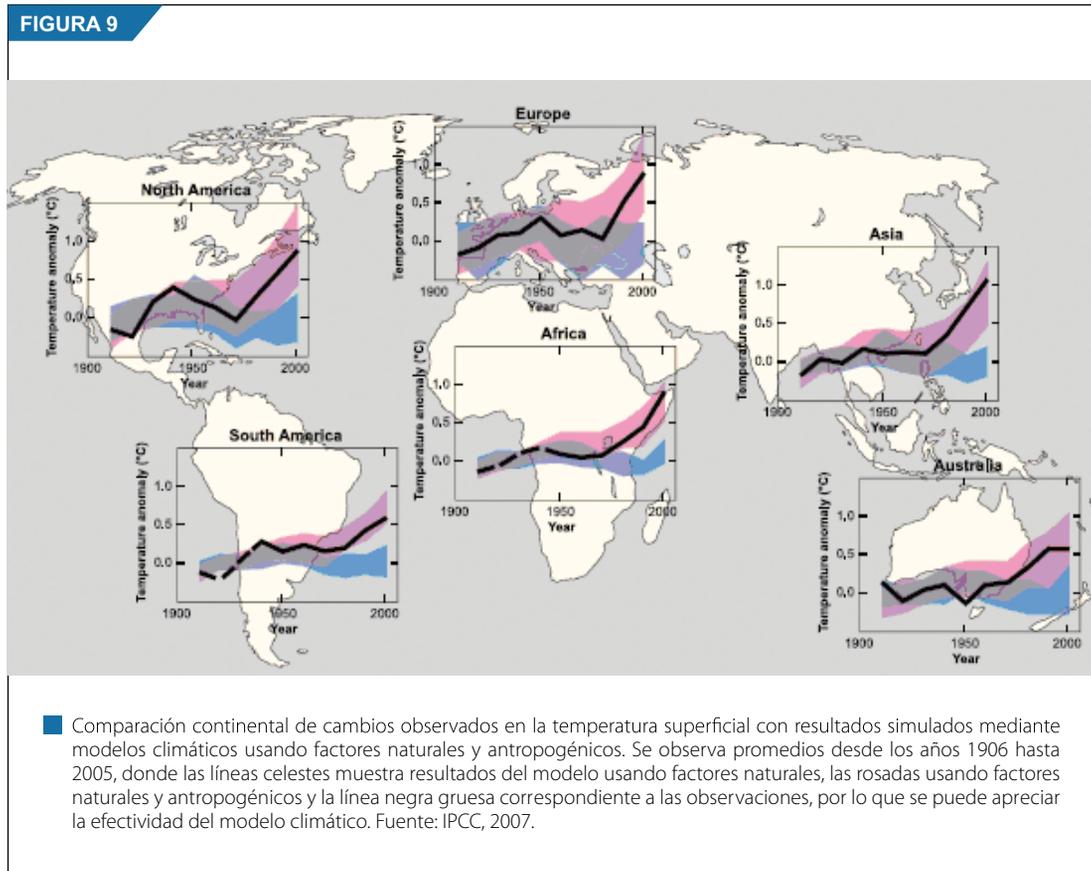
La Amazonía es la selva tropical más extensa del mundo, su extensión llega a los 6 000 000 de km² repartidos entre nueve países sudamericanos. La mayor extensión de selva amazónica la poseen Brasil y Perú. El territorio peruano está cubierto por más de 60% de Amazonía y es una de las áreas con mayor biodiversidad y endemismos del planeta.

1.2.4 Confiabilidad de modelos numéricos para proyectar el cambio climático futuro

En el año 2007, el IPCC indicó que se tiene un nivel de confianza considerable de que los modelos climáticos proporcionan estimaciones cuantitativas creíbles sobre los cambios climáticos futuros, en particular a escala continental y más allá de esta. Esta certeza se fundamenta en 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 basa en que los principios fundamentales de estos modelos climáticos tienen en cuenta leyes físicas: la conservación de la masa, la energía y la fuerza.
- Una segunda razón se fundamenta en la capacidad de estos modelos climáticos 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, los modelos han sido utilizados para evaluar la implicancia del forzamiento de los GEI en el calentamiento mundial observado durante los últimos 50 años (ver Figura 9).
- Una tercera razón se deriva de la capacidad de estos modelos 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 estos estudios, estos 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.

1.2.5 Tratamiento de las incertidumbres

El tratamiento de las incertidumbres fue tratado 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 ofrecían en los reportes de evaluación sobre el cambio climático.

Hoy 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:

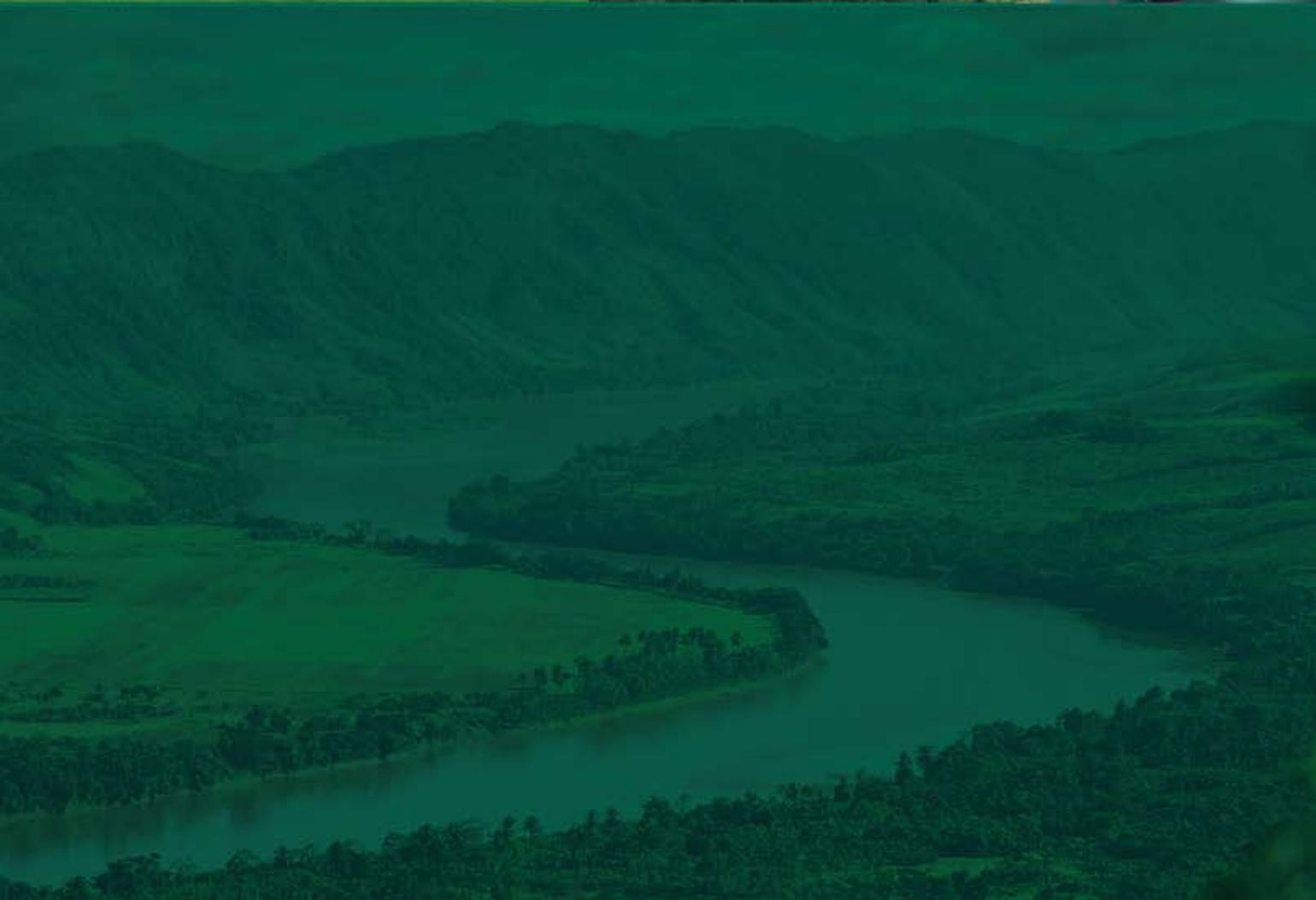
Terminología de los Niveles de Confianza	Nivel de Confianza en acertar
Confianza muy alta	Al menos 9 de 10 probabilidades
Confianza alta	Al menos 8 de 10 probabilidades
Confianza media	Al menos 5 de 10 probabilidades
Confianza baja	Al menos 2 de 10 probabilidades
Confianza muy baja	Al menos 1 de 10 probabilidades

Los términos universales utilizados para definir la probabilidad de un resultado, siempre que este 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

LA CUENCA DEL RÍO MAYO



LA CUENCA DEL RÍO MAYO

2.1 Ubicación y características geográficas

La cuenca del río Mayo es alargada, predominantemente sigue una dirección noreste-sureste. Desde sus nacientes adopta una forma progresivamente ensanchada hasta la mitad de su curso (desembocadura del río Gera). Aguas abajo, el cauce se estrecha hasta confluir con el río Huallaga. El río principal es el Mayo y la longitud aproximada de su curso principal es de 254.49 Km. La cuenca del río Mayo forma un extenso valle densamente poblado, localizándose ciudades importantes como Rioja, Moyobamba y Tarapoto (ver Mapa de Relieve de la Cuenca-Apéndice 1).

La zona alta y media de la cuenca llamada Alto Mayo se encuentra ubicada en la región septentrional de la selva alta del Perú, el cual comprende las provincias de Rioja, Moyobamba, (Región San Martín) y la provincia de Rodríguez de Mendoza, que pertenece a la Región Amazonas. Esta cuenca del Alto Mayo presenta las siguientes coordenadas: 77°45'53'' - 77°12'17'' longitud oeste y 5°23'04'' - 6°10'56'' latitud sur. Limita por el norte y este con la Región Loreto, por el oeste con el departamento de Amazonas y por el sur con la localidad de Tabalosos.

En la zona baja de la cuenca se encuentran localidades importantes como Shapaja, Tabalosos, Lamas, Cacatachi, Zapatero, Tarapoto y Juan Guerra.

2.2 Características climáticas de la cuenca

Las caracterización climática de la cuenca del río Mayo fue desarrollada por SENAMHI (2007), y en ella se describe el comportamiento espacial de la variación multianual de la temperatura máxima, mínima y precipitación y el impacto de los eventos El Niño/La Niña en dichas variables.

2.2.1 Precipitación

La precipitación total anual en la cuenca varía entre 1 000 y 2 000 mm.; por lo cual solo se consideró las estaciones meteorológicas Pueblo Libre, San José, La Conquista, Buenos Aires, Shimpiyacu, Moyobamba, Rioja, Jepelacio y Naranjillo.

Las mayores precipitaciones ocurren del suroeste al noreste de la cuenca; registrándose las mayores lluvias en la estación del verano. El período lluvioso presenta su mayor notoriedad de diciembre a abril; y en las estaciones meteorológicas de Rioja y Soritor. Marzo es el mes con mayor cantidad de lluvias acumuladas, entre todos los meses del año.

2.2.2 Temperatura

En Moyobamba, las temperaturas medias mensuales oscilan entre 22,7 °C (julio) a 23,3 °C (abril). En tanto, en Rioja estas mismas temperaturas varían entre 22,3 °C (julio) a 23,3 °C (abril).

En la localidad de La Conquista la temperatura media mensual oscila entre 23,8 °C (agosto) y 25,6 °C (noviembre).

Según estudios, los valores analizados en la climatología de temperaturas medias corresponden a datos de las estaciones climatológicas de Moyobamba (períodos 1959-1987), Rioja (períodos 1964-1983) y La Conquista (período 1996-1998).

2.2.3 Humedad relativa

La humedad relativa en Moyobamba presenta su valor más alto en marzo con 84,2% y su valor más bajo en agosto, con 80,0% de humedad relativa. Siendo el comportamiento de alta humedad cuasi permanente en la región.

Para un mejor análisis de la humedad relativa, se consideró el período 1964 a 1976 de la estación climatológica de Moyobamba.

2.2.4 Variación multianual de las temperaturas extremas y precipitación

Las temperaturas máximas más altas se localizan en las partes más bajas de la cuenca, cerca al límite sureste, alrededor de El Porvenir, donde en promedio alcanza los 32,8 °C. Los valores más bajos de la temperatura máxima se asientan en la margen derecha del río Mayo, donde las temperaturas máximas pueden alcanzar valores menores de 20 °C sobre los 2 000 m de altitud. Asimismo, las isotermas tienen una orientación noroeste a sureste, que es también la orientación de la cuenca (ver Mapa N° 1 del Apéndice 2).

La temperatura mínima presenta sus valores más altos en la parte baja de la cuenca, superando en promedio los 20 °C en la zona de El Porvenir; en tanto, los valores más bajos están localizados en las partes altas de la margen derecha del río Mayo, donde las temperaturas mínimas presentan valores por debajo de los 10 °C hacia la frontera con la región de Amazonas y sobre los 2 000 msnm (ver Mapa N° 2 del Apéndice 2).

Las precipitaciones en la cuenca del Alto Mayo aumentan del suroeste al noreste con valores que fluctúan entre los 800mm/año a 2 000 mm/año. Las zonas de mayores precipitaciones están ubicadas en la parte baja de la margen izquierda del río Mayo (zona de Tarapoto) y la zona de Soritor, situada en la margen derecha de la cuenca media del río Mayo, donde las precipitaciones alcanzan valores poco mayores a 1 800 mm/año. La zona de menores precipitaciones se ubica en las partes altas de la cuenca situadas en la margen derecha del río Mayo, en la que llueve menos de 1 000 mm/año (ver Mapa N° 3 del Apéndice 2).

2.2.5 Variación temporal y espacial de las temperaturas máxima, mínima y precipitación en extremos climáticos: El Niño/La Niña

“El Niño” 1982/83

La temperatura máxima promedio para el año 1983 muestra un ligero incremento respecto a los promedios multianuales, principalmente en los lugares aledaños al río Mayo, pero manteniéndose las características climáticas, es decir las temperaturas más altas se asientan al sureste de la cuenca en El Porvenir y Juan Guerra, donde alcanzó 33,1 °C y las más bajas en las partes altas de la margen derecha del río Mayo, en que las temperaturas máximas fueron menores a 20 °C sobre los 2 000 msnm (ver Mapa N° 4 del Apéndice 2).

En la cuenca la temperatura mínima varía entre 10 °C y 22 °C, observándose que las isotermas son aproximadamente paralelas al curso del río Mayo. Al compararlas con las características climáticas normales, se notan valores mayores de hasta 1 °C, principalmente hacia el fondo del valle (ver Mapa N° 5 del Apéndice 2).

La precipitación acumulada en el período lluvioso setiembre-abril, muestra una variación entre 400 mm y 2 100 mm entre las zonas de Moyobamba y Tabolosos, respectivamente. Las zonas de mayor precipitación se ubican hacia el noreste de la cuenca. Asimismo, las precipitaciones debajo de los 600 mm se sitúan al sur de la cuenca y al noroeste de Moyobamba (ver Mapa N° 6 del Apéndice 2).

“La Niña” 1988/89

Para este período, las temperaturas máximas aumentaron de suroeste al noreste de la cuenca, registrándose hasta 33 °C en El Porvenir (similar al valor climático). Valores mayores a 32 °C se presentan en la parte alta de la cuenca media del Alto Mayo (ver Mapa N° 7 del Apéndice 2).

Asimismo, las temperaturas mínimas muestran sus valores más altos en la parte baja de la cuenca con valor promedio de 21 °C en la estación de El Porvenir; mientras que en las partes bajas de la cuenca media y alta, las temperaturas mínimas fueron ligeramente inferiores a sus valores climáticos o promedio multianual (ver Mapa N° 8 del Apéndice 2).

La precipitación acumulada del período lluvioso setiembre-abril presenta un aumento de suroeste a noreste con valores que fluctúan entre los 600 mm a 1 600 mm. Las precipitaciones más altas se ubican en la zona de Tarapoto y las más bajas al sureste de la cuenca (ver Mapa N° 9 del Apéndice 2).

“El Niño” 1997/98

En este período las temperaturas máximas para el año 1997 tienen una orientación noroeste a sureste, con promedios que fluctúan entre 24 °C a 34 °C y que representan valores superiores a los promedios multianuales, sobre todo en las partes altas de la cuenca media. En la parte baja de la cuenca, la temperatura máxima promedio fue de 33,6 °C (ver Mapa N° 10 del Apéndice 2).

La configuración de las isotermas de las temperaturas mínimas es ligeramente paralela al río Mayo. Los valores promedios de las temperaturas mínimas varían entre 14 °C y 24 °C y los valores más altos se ubican en la parte más baja de la cuenca (en la estación de El Porvenir) con un promedio de 21,2 °C (ver Mapa N° 11 del Apéndice 2).

La precipitación acumulada en el período lluvioso setiembre-abril, presenta valores acumulados entre 1 000mm a 1 500 mm en la cuenca media y alta; mientras, en la cuenca baja los acumulados de precipitación varían entre 600 mm y 1 400 mm (ver Mapa N° 12 del Apéndice 2). En relación al período lluvioso 1982/83, las lluvias fueron significativamente menores y presentaron una configuración diferente.

En general, en los extremos climáticos El Niño/La Niña, la temperatura máxima, mínima y precipitación en la cuenca presentaron configuraciones atípicas en relación a su climatología.

2.3 Clasificación climática

La clasificación climática de la cuenca (Mapa 03 del Apéndice 1), se basa en el mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), el cual ha sido elaborado considerando factores que condicionan de modo preponderante el clima, la latitud, la altitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur, la continentalidad y las condiciones locales. 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.

La cuenca del río Mayo es la región que presenta estribaciones al oeste de la cuenca. En la región denominada Selva Alta (por encima de los 2 000 msnm) muestra un clima (C(o,i)B'2H3) semiseco con deficiencias de lluvias en otoño e invierno y con alta humedad relativa. Hacia el este y sureste (margen izquierda del río Mayo) deja ver una topografía que va de 2 000 a 200 msnm y una exuberante vegetación, siendo estas características locales determinantes en su clasificación climática. Los climas existentes en esta región, varían desde un clima (B(i)B'1 H3) lluvioso semicálido con deficiencia de lluvias en invierno y humedad relativa alta (Rioja) a un clima (B(r)A' H4) lluvioso cálido con lluvias abundantes en todas las estaciones del año y muy húmedo (Yuracyacu, Japelacio, Moyobamba, Yurimaguas, Lamas).

En tanto, la zona suroeste de la cuenca, aledaña a la margen derecha del río Mayo, se caracteriza por presentar un clima (C(o,i,p)A'2H3) muy cálido con deficiencias de lluvias en otoño, invierno y primavera y con alta humedad relativa, siendo las localidades de Shapaja y Tabalosos las que obedecen a esta clasificación.

2.4 Importancia socioeconómica y potencialidades de la cuenca

2.4.1 Recurso hídrico:

El río Mayo pertenece al sistema hidrográfico del Atlántico. Tiene sus orígenes en los contrafuertes montañosos de la Sierra Cahuapanas y la Cordillera Oriental y sus cursos de agua son alimentados primordialmente con las precipitaciones estacionales. Asimismo, presenta un alineamiento norte – sur, desde sus nacientes hasta la desembocadura del río Serrañoyacu, y desde este punto el alineamiento es sur-sureste, hasta su desembocadura en el río Huallaga. Siendo la pendiente promedio del cauce del río Mayo de 1,16%.

Los afluentes más importantes del río Mayo en la margen derecha son los ríos Serrañoyacu, Amangay, Aguas Claras, Mirador, Naranjos, Túmbaro, Naranjillo, Soritor, Yuracyacu y el río Negro; mientras que por la margen izquierda son los ríos Huasta, Cachiyacu, Tioyacu, Avisado y Huascayacu.

La amplitud y pendiente suave de la cuenca de la margen izquierda del río Mayo ha permitido que los ríos Huasta, Cachiyacu, Tioyacu, Avisado y Huascayacu, que nacen en las estribaciones de la Sierra Cahuapanas, drenen a través de extensas áreas y presenten un gran desarrollo, observándose la presencia de numerosos meandros con intercalaciones de pequeños tramos rectos, que se hacen más notables en el río Huascayacu. En la cuenca de la margen derecha, la cercanía del río Mayo a la Cordillera Oriental ha condicionado la existencia de tributarios como Aguas Verdes, Serrañoyacu, Aguas Claras, Amangay y Mirador, que presentan un regular desarrollo, tramos rectos, regular caudal y fuerte pendiente; mientras que los ríos Naranjos, Túmbaro, Naranjillo, Soritor, Yuracyacu y río Negro presentan regular desarrollo, tramos rectos con pequeños meandros y regular caudal y pendiente.

2.4.2 Actividades agrícolas

Las líneas de producción más importantes de la cuenca del Alto Mayo son el maíz y el arroz (en las partes bajas de la cuenca) y en la parte alta, el café, los que son producidos para el mercado nacional e internacional.

Otros cultivos como yuca, plátano, maíz, piña, cacao, maní, frutales diversos y otros, generalmente son para la subsistencia o son vendidos en los mercados locales en cantidades menores.

Las principales superficies agrícolas importantes están ubicadas en la provincia de Moyabamba y Rioja, con un total de 9 653 078 Ha al año 1994 (ver tabla 1).

Tabla 1: Superficie agrícola, según uso de tierra (Hectáreas)

Provincia	TOTAL	Tierra de labranza	Cultivos permanentes	Cultivos asociados
Moyabamba	55,309.83	32,160.59	21,033.38	2,115.86
Rioja	41,240.95	26,419.40	13,726.96	1,094.59

Fuente: INEI 1994

Según el INEI, en 1996 el 61% de los campesinos del Alto Mayo poseían ganado. Las especies pecuarias existentes son vacuno, ovino, porcino, equino, cuy, gallina, pato y pavo.

Los rendimientos de los principales cultivos en el Alto Mayo varían de acuerdo a la zona y a la tecnología utilizada. Al hacer un resumen de estos productos, presentamos el diagnóstico 2002 ATDR-AM-, que se puede apreciar en la tabla siguiente:

Tabla 2: Rendimientos de los principales cultivos del Alto Mayo

Cultivos	Rendimiento Promedio (Kg/Ha)
Arroz	5 000 - 8 000
Arroz a secano	1 800 - 2 000
Plátano	11 000
Yuca	12 000
Maíz	2 000 - 3 000
Cacao	600 - 3 000
Maní	800 - 1 000
Café	2 200
Frutales diversos	3 800 - 5 000

Fuente: Diagnóstico 2002 ATDR - AM

2.4.3 Biodiversidad

Según información del INRENA (2008), en la parte alta y media de la Cuenca del Mayo (región oeste) se encuentra el Bosque de Protección del Alto Mayo (BPAM), que es un área natural protegida que se extiende sobre 182 mil Ha de administración e importancia biológica nacional que fue establecida sobre tierras del Estado en 1987, para ser conservados a perpetuidad en su estado natural.

Este Bosque de Protección presenta una fisiografía montañosa, que va desde los 750 msnm hasta cerca de los 4 000 msnm en la zona más occidental, originando impresionantes cataratas, la formación de hábitat de diversas especies emblemáticas, como el mono choro de cola amarilla, el oso de anteojos, orquídeas y bromelias.

La flora del Bosque del Alto Mayo presenta un aproximado de 1 277 especies de plantas. La mayor parte pertenecen a las familias de plantas arbustivas y epífitas que típicamente se encuentran en los bosques montanos de neblina. Ya se han reportado 59 especies de orquídeas.

Los bosques del Alto Mayo presentan diferentes tipos de vegetación, como los Bosques Premontanos que están ubicados al este del Bosque de Protección del Alto Mayo (BPAM) y representa el 6,14% del área total del Bosque. Asimismo, alberga vegetación arbórea como el cedro de altura, mohenas, tornillo, latapi, siendo este ecosistema uno de los más vulnerables por la acción humana debido a actividades de sobreexplotación, deforestación y quema de bosques.

El bosque de neblinas representa el 72% del bosque protegido, y se desarrolla entre los 1 200 hasta 2 500 msnm, donde la característica principal es la alta diversidad de epífitas, entre ellas especies de orquídeas, bromelias, helechos. Estos bosques son importantes porque atrapan la neblina y condensan el agua, infiltrándola al suelo, que luego pasa a incrementar el caudal de los ríos. Además, constituye el hábitat de especies como el oso de anteojos y el mono choro de cola amarilla.

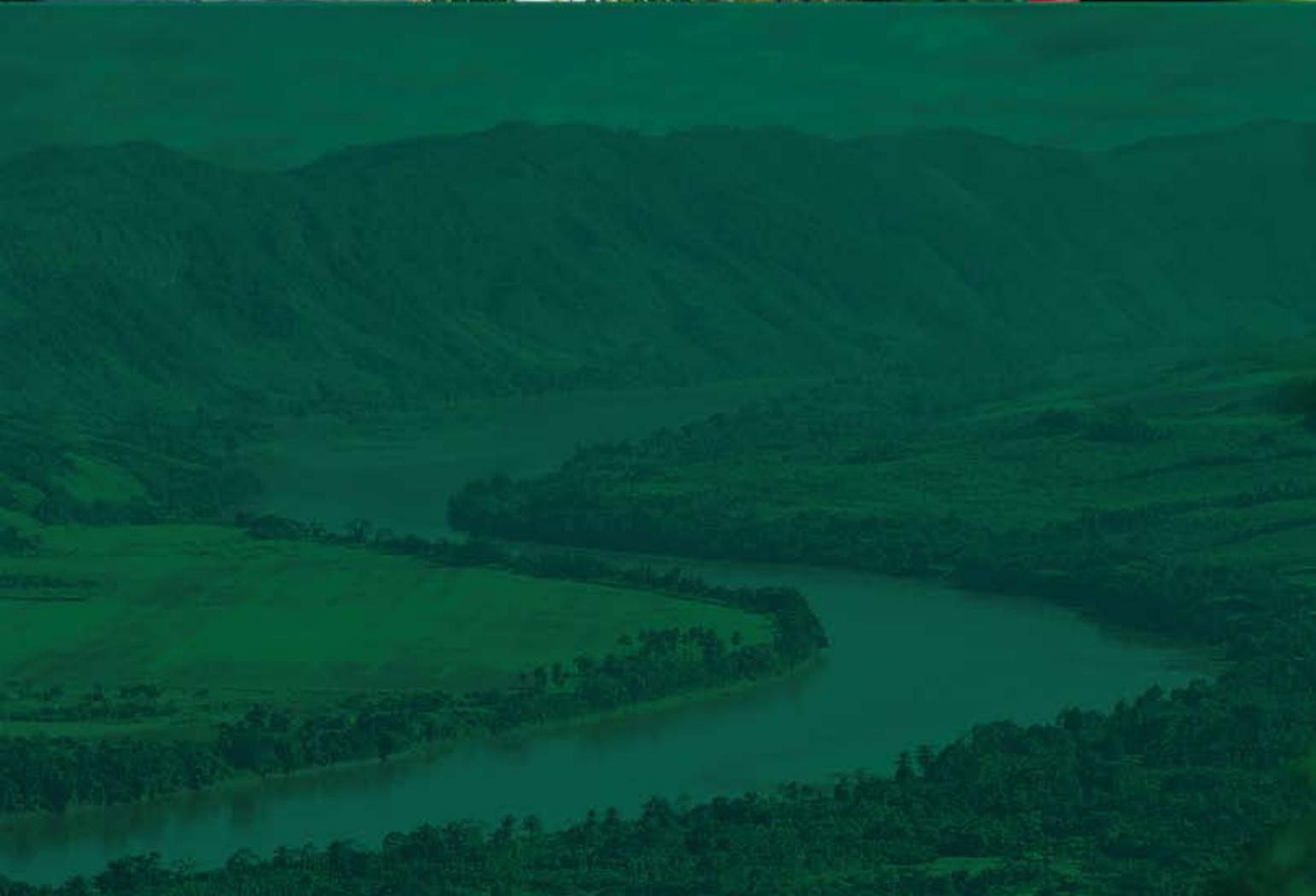
Los bosques enanos, se desarrollan entre 500 y 3 200 msnm, donde la vegetación predominante es de tipo arbustiva con altura promedio de 10 m. Aquí son abundantes los musgos y manchales de bromelias terrestres. Este tipo de bosque cubre aproximadamente el 15% del Bosque de Protección y alberga especies endémicas como la lechucita bigotona.

Los pajonales húmedos de la parte alta del bosque protegido retienen en sus suelos hidromórficos, gran cantidad de volúmenes de agua y probablemente el carbono. Esta zona cubre unas 7 370 Ha (4.5%) del área total. Es de difícil acceso, pues presentan áreas pantanosas. Existen comunidades herbáceas entre 2 900-3 950 msnm, y en el sotobosque existen especies leñosas, herbáceas, sobre una densa capa de musgos y líquenes, helechos, orquídeas y bromelias.

En cuanto a la fauna del BPAM, alberga especies de mamíferos (gallito de las rocas, pumas, monos de cola amarilla, roedores, murciélagos, oso de anteojos) y aves (colibrí, halcones, águilas, lechuzas, búhos), anfibios (ranas de cristal y venenosas), reptiles (lagartija, loro machaco, culebra verde) e invertebrados (mariposas y coleópteros), entre otros.

CAPÍTULO 3

TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO



TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO

El estudio "Escenarios Climáticos en la cuenca del río Mayo para el año 2030" se realiza con las siguientes finalidades: 1. Detectar los cambios climáticos, caracterizando las tendencias climáticas e índices de extremos climáticos. 2. Analizar las sequías como extremo climático. 3. Obtener las proyecciones del clima. Estudio que se basa en datos históricos observados a nivel nacional en el período 1965 - 2006.

Este estudio es la primera experiencia en la detección de posibles cambios del clima ocurridos en la cuenca, durante los últimos 40 años, debido al impacto evidente del calentamiento global. Asimismo, se ha realizado un análisis de sequías ocurridas durante el mismo período, enfatizando el carácter de la dinámica climática de cada evento.

En el presente Capítulo se analiza y discute con detalle los resultados de la detección de los cambios climáticos a un nivel regional (cuenca). En ese sentido, este Capítulo constituye la base de la variabilidad del clima y de extremos climáticos actuales en la cuenca del río Mayo.

3.1 DATOS

Los datos utilizados en este estudio incluyen datos totales diarios y mensuales de precipitación, así como de temperaturas extremas (máximas y mínimas) diarias y medias mensuales, en la cuenca para el período de 1965 a 2006 (42 años). Estos datos siguieron los procedimientos de control de calidad señalados en el Documento Nacional de Cambio Climático, tratando de determinar los posibles errores y luego, a partir de los análisis de continuidad temporal y gráficos éstos se corrigieron. Estaciones hasta con 15% de datos faltantes fueron consideradas (ver Mapa 1 - Apéndice 1).

La estación de Naranjillo fue considerada a pesar de contar con 32 años de información (1975 - 2006), debido a que está localizada al norte de las estaciones seleccionadas (ver Mapa 1 - Apéndice 1), lo que nos permitió tener una idea mas clara de la distribución de algunos índices climáticos.

Así, finalmente se seleccionaron diez estaciones en la cuenca del río Mayo, con precipitación diaria y mensual descritas en la Tabla 3 y representadas en la Figura 10 y dos estaciones con temperaturas indicadas en la Tabla 4.

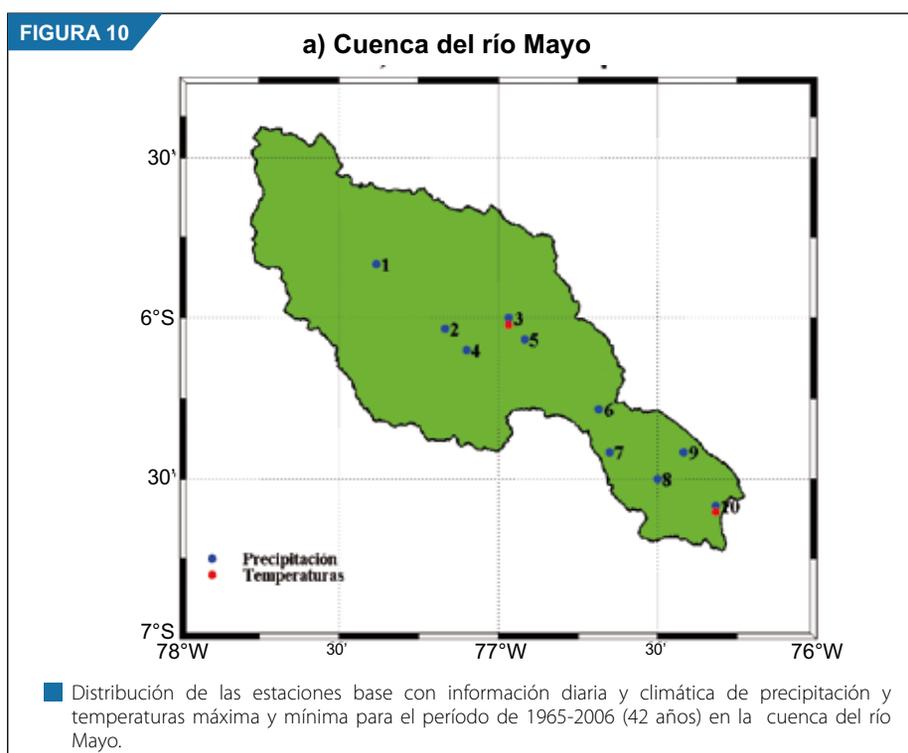
Tabla 3: Estaciones en la cuenca del río Mayo con precipitación diaria

	NOMBRE	LONG	LAT	ALT	INICIO	FINAL
1	NARANJILLO	77°23'1"	5°50'1"	1090	1975	2006
2	RIOJA	77°10'00"	06°02'00"	880	1965	2006
3	MOYOBAMBA	76°58'00"	06°00'0"	860	1965	2006
4	SORITOR	77°6'1"	06°6'1"	870	1965	2006
5	JEPELACIO	76°55'1"	6°4'1"	1000	1965	2006
6	PACAYSAPA	76°41'0"	06°17'0"	760	1965	2006
7	TABALOSOS	76°39'1"	06°25'1"	560	1965	2006
8	CUÑUNBUQUE	76°30'1"	06°30'1"	240	1965	2006
9	SAN ANTONIO	76°25'1"	06°25'1"	430	1965	2006
10	EL PORVENIR	76°19'1"	06°35'1"	230	1965	2006

Tabla 4: Estaciones en la cuenca del río Mayo con temperatura máxima y mínima diaria

	NOMBRE	LONG	LAT	ALT	INICIO	FINAL
1	MOYOBAMBA	76°58'00"	06°00'0"	860	1965	2006
2	EL PORVENIR	76°19'1"	06°35'1"	230	1965	2006

Las mismas estaciones, con datos diarios de precipitación, son utilizadas en los análisis que requieren los totales mensuales. Esto se consiguió después de completar los datos faltantes y realizar el control de calidad (ver Documento Nacional). Lo mismo ocurrió con las temperaturas extremas de las dos estaciones de la cuenca del Mayo.



3.2 METODOLOGÍA

Se describe, en forma resumida, la mayoría de los métodos utilizados en el presente trabajo, pues estos estudios fueron descritos con más detalle en el Documento Nacional. La excepción se hace en la metodología utilizada en el cálculo de proyección de precipitación de los escenarios climáticos futuros por medio del downscaling estadístico y downscaling dinámico.

3.2.1. - Estimación de la Tendencia lineal

Para realizar el cálculo de la magnitud de la tendencia lineal estimada de una serie temporal, que es la razón de la variable por unidad de tiempo, se utilizó el método desarrollado por Sen (1968) y extendido por Hirsch et al. (1982), con la finalidad de minimizar el efecto de los valores discrepantes ("outliers") de las series temporales que se utilizan. Para homogenizar los resultados, debido a la alta variabilidad de la precipitación, se calculan las tendencias en porcentaje, en relación a los promedios de toda la serie. En relación a las temperaturas, éstas se calculan en base a 10 años (década) por las pequeñas magnitudes que muestran.

3.2.2. - Determinación de la significancia estadística de la tendencia lineal

En la determinación de la significancia estadística se utiliza el test no- paramétrico de Mann-Kendall, cuya ventaja es utilizar la magnitud relativa de los valores de la serie temporal, filtrando valores extremos, a cambio de utilizar los valores reales, pero su gran desventaja es que las series necesitan cumplir con ser variables aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas (iid). Por tanto, la aplicación de este test no es la más adecuada en las series climatológicas, como la precipitación, debido a la fuerte dependencia mensual o estacional, pero se puede utilizar en las series de totales o promedios anuales, estacionales o en determinado mes, que pueden ser considerados como independientes.

3.2.3. - Determinación de los Índices de Extremos Climáticos

Los Índices de los Extremos Climáticos son calculados para la precipitación y temperatura en base a la metodología descrita en Frisch et al. (2002) y utilizados en el Informe del IPCC AR4 (Trenberth et al. 2007) para definir variaciones de los extremos en el clima del futuro. Cada uno de los índices se encuentra definido en la tabla 5.

Tabla 5: 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 1971-200	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 1971-200	días
TN90p	Noches Cálidas	Porcentaje anual en la cual $TN > 90$ th percentil en relación a la climatología	días

3.2.4. – Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)

El Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés) es la metodología utilizada en el análisis de sequías, definida por McKee et al. (1993 y 1995). La ventaja de utilizar el SPI es porque es un índice que da un valor simple para medir la intensidad de la sequía, como una medida de probabilidad de ocurrencia, para cualquier escala de tiempo deseado, los cuales reflejan el impacto de las sequías sobre la disponibilidad de los recursos hídricos.

A partir de los registros de precipitación mensual de 1965 al 2006 (42 años), de las estaciones distribuidas sobre la cuenca, fueron acumulados en forma trimestral y anual y ajustados a una distribución de probabilidades Gama, condición necesaria para la aplicación del SPI, para determinar los valores mensuales, trimestrales y anuales del índice. Esta distribución posteriormente es transformada en distribución normal estándar para que la media sea cero y la desviación 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, los períodos de sequía son caracterizados por los valores negativos del SPI (Tabla 6).

Tabla 6- El SPI y severidad 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.

3.2.5 Teleconexiones de las sequías en la cuenca

Estas teleconexiones fueron calculadas mediante las correlaciones entre los SPI mensuales de cada estación de la cuenca, con los índices de los patrones de circulación de gran escala de los fenómenos: a) El Niño/Oscilación Sur (anomalías de temperatura superficial del mar en el Niño 3,4 mayor + 1,0 °C), b) Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) y, c) la diferencia de temperaturas superficiales de agua de mar (TSM) en el Atlántico Tropical Sur y Norte (TSA-TNA).

Asimismo, se realizaron estas correlaciones para determinar el efecto que tienen los mecanismos de gran escala en la generación de lluvias en la cuenca, por ende las sequías, para de este modo asociar estos mecanismos con las condiciones locales de la cuenca en particular y conocer mejor su variabilidad.

3.2.6 – Análisis de la Transformada de Onditas

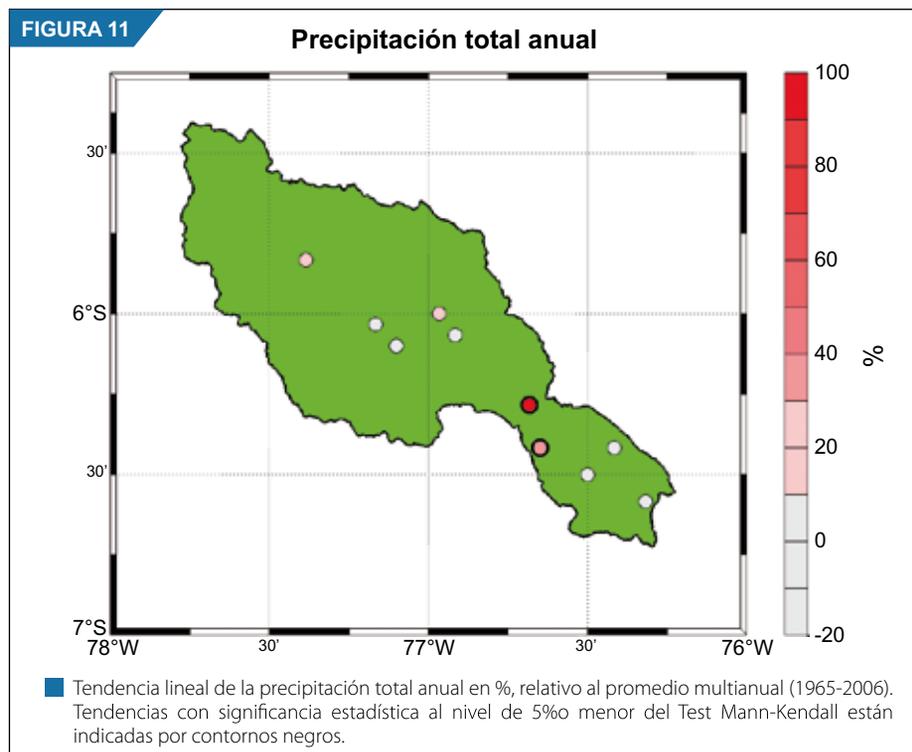
La Transformada de Onditas (TO) se utilizó para determinar las oscilaciones en las diferentes escalas de variabilidad interanual o mayores, características de las series temporales de los promedios mensuales de los SPI calculados para la cuenca. También se aplicaron los datos promedios trimestrales (sequías agrometeorológicas) de los SPI de todas las estaciones de la cuenca por la mejor continuidad temporal de estas series que la escala mensual, debido a la marcada estacionalidad de la precipitación que produce valores nulos cuando hay persistencia de meses secos. Igualmente, porque no hay ninguna desventaja ni alteraciones significativas en la interpretación de los resultados.

3.3 RESULTADOS

En el presente estudio se analiza en detalle la detección del cambio climático, índices de extremos climáticos para la cuenca del río Mayo.

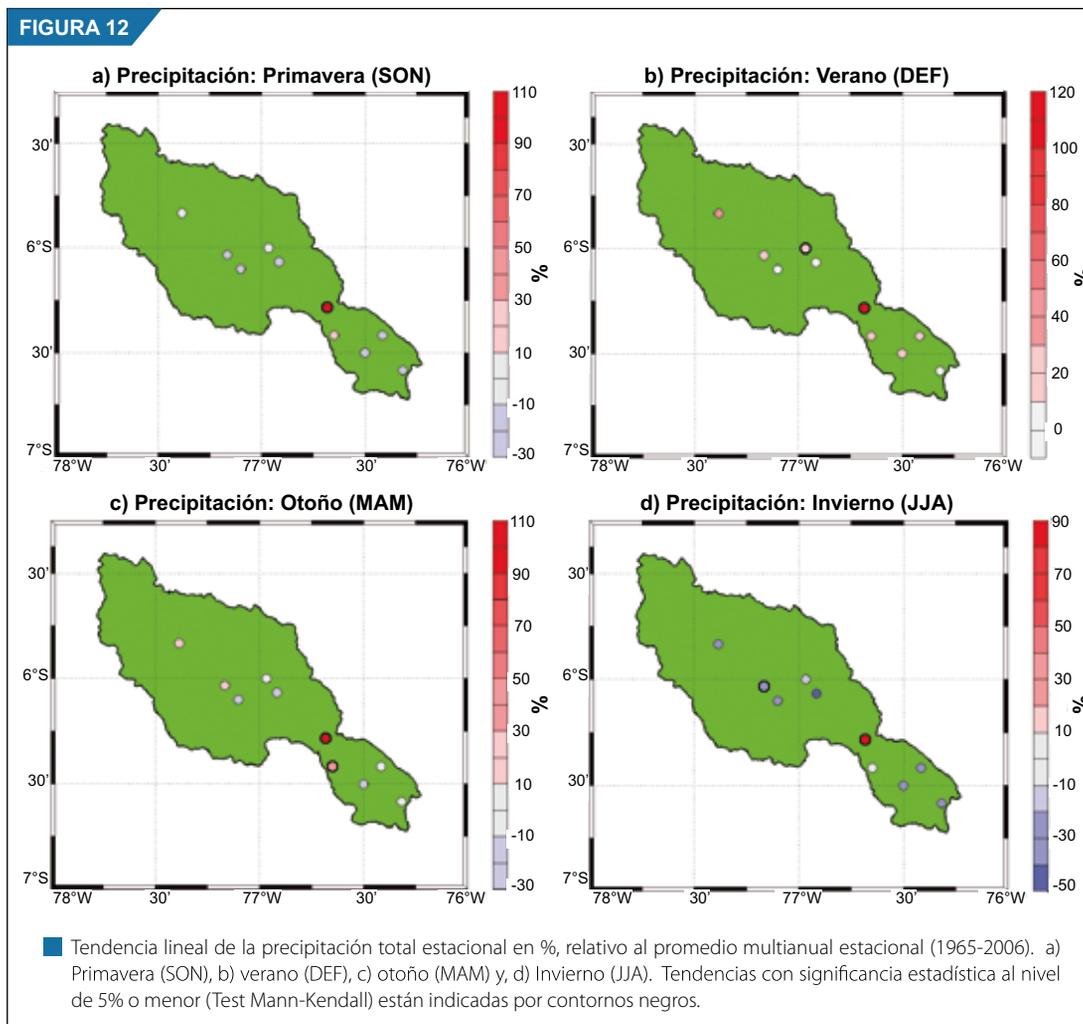
3.3.1 Tendencias lineales de la precipitación.

Para entender mejor esta investigación, en la Figura 11 se muestra la distribución de la tendencia lineal de la precipitación total anual de la cuenca del Mayo donde se observan valores de tendencias estadísticamente significativas en las localidades de Tabalosos y Pacaysapa, y valores entre 40%-50% y entre 90%-100%, respecto a sus promedios, respectivamente. En las demás localidades se registran tendencias con valores entre -20% y +20, lo cual significa que en la mayor parte de la cuenca no hay señal de aumento o disminución significativa de precipitación total anual. Lo que ocurre en la zona de las dos localidades, con incrementos significativos de precipitación, posiblemente se deban a condiciones locales que responden de una forma diferenciada a las condiciones de gran escala que modulan las precipitaciones sobre toda la cuenca, pues en esa zona se estrecha la cuenca y es probable un mayor incremento de las precipitaciones de tipo orográficas.



Las tendencias lineales de la precipitación total estacional de la cuenca del Mayo (Figura 12 a-d)), muestran valores extremos entre -50% y -30%, como +90%-y +110%, con excepción de los meses de verano (Figura 12 b) que van entre -10% y 120%. Los patrones espaciales de la primavera (Figura 12 a) y otoño (12 c) son muy similares, con predominancia de valores negativos y valores positivos muy bajos, salvo en la localidad de Pacaysapa en las dos estaciones (primavera y otoño) y Tabalosos (otoño), en que se muestran valores positivos muy altos que son estadísticamente significativos.

En verano (DEF), las localidades de Jepelacio y El Porvenir presentan tendencias negativas muy pequeñas, en el resto de localidades se observan tendencias positivas menores al 40%, en relación a su climatología, como es el caso de Moyobamba y con alta significancia estadística. En Pacaysapa el valor de la tendencia positiva llega a ser muy alto: entre 110% y 120%.



Por otro lado, durante el invierno (Figura 12 d), hay un predominio de tendencias negativas, con valores que alcanzan hasta el 40% y 50% y son significativas en la localidad de Rioja. Las tendencias en las localidades de Pacaysapa y Tabalosos siguen un comportamiento idéntico a las observadas en las otras estaciones del año. O sea, inclinaciones positivas en ambas localidades con valor significativo en Pacaysapa.

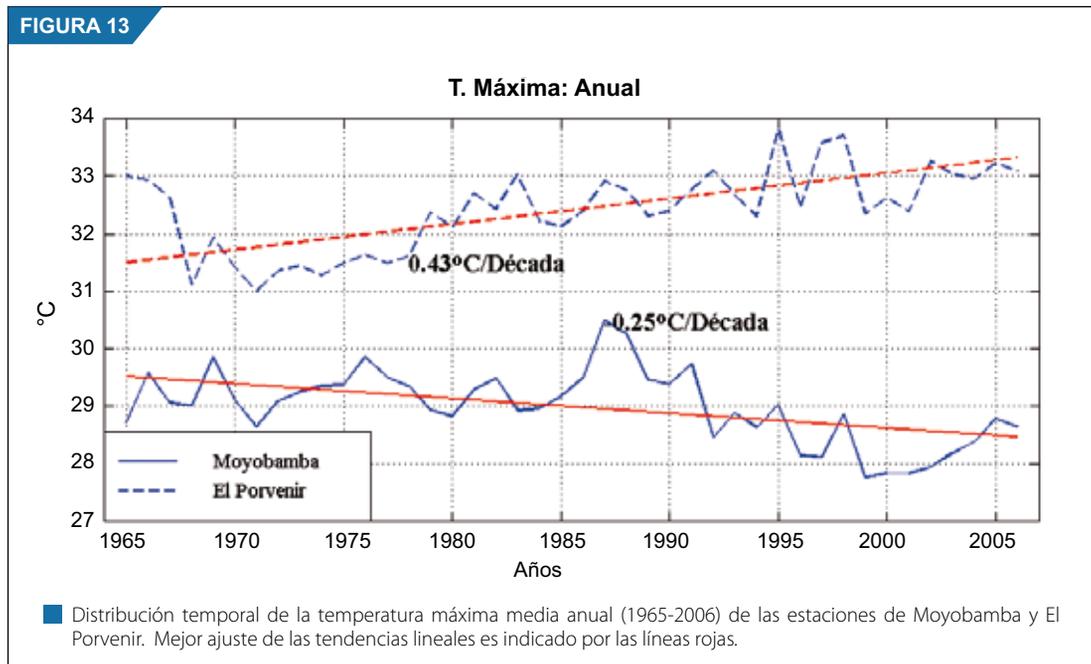
Las precipitaciones en todo el año muestran un comportamiento muy regional, lo que se refleja en el comportamiento del total anual y, aparentemente, los meses de verano (DEF) tienen un peso mayor durante el año. Al mismo tiempo, el efecto regional, posiblemente orográfico, parece ser el principal en influenciar las precipitaciones en Pacaysapa y Tabalosos.

3.3.2. – Tendencias lineales de las temperaturas

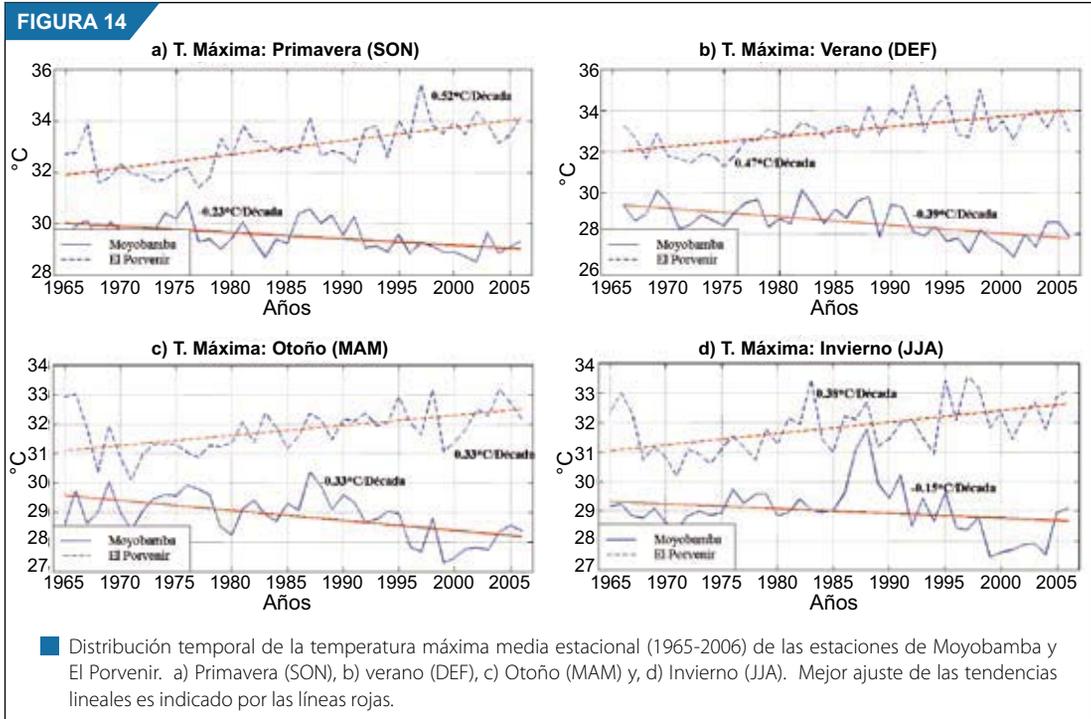
Las tendencias lineales de las temperaturas máximas y mínimas se presentan mediante la distribución temporal de todo el período, pues solo son dos estaciones localizadas en la cuenca: Moyobamba y El Porvenir.

Como podemos observar, en la Figura 13 se muestra la distribución temporal de las temperaturas máximas medias anuales de las estaciones de Moyobamba y El Porvenir, indicando el valor de las tendencias y el mejor ajuste lineal de estas tendencias. Se observa que ambas estaciones siguen inclinaciones opuestas

a través de los años, con valores estadísticamente significativos y la variabilidad de largo plazo parece ser más evidente, posiblemente asociado a oscilaciones de largo plazo, lo cual se ve reflejado por la persistencia de valores similares, como es el caso de la década de los años 70 en El Porvenir y década de los años 80 en Moyobamba. Hay, aparentemente, ligeras evidencias del efecto de los eventos ENOS en estas distribuciones, como en los años de 1976 en Moyobamba y 1997 en El Porvenir.

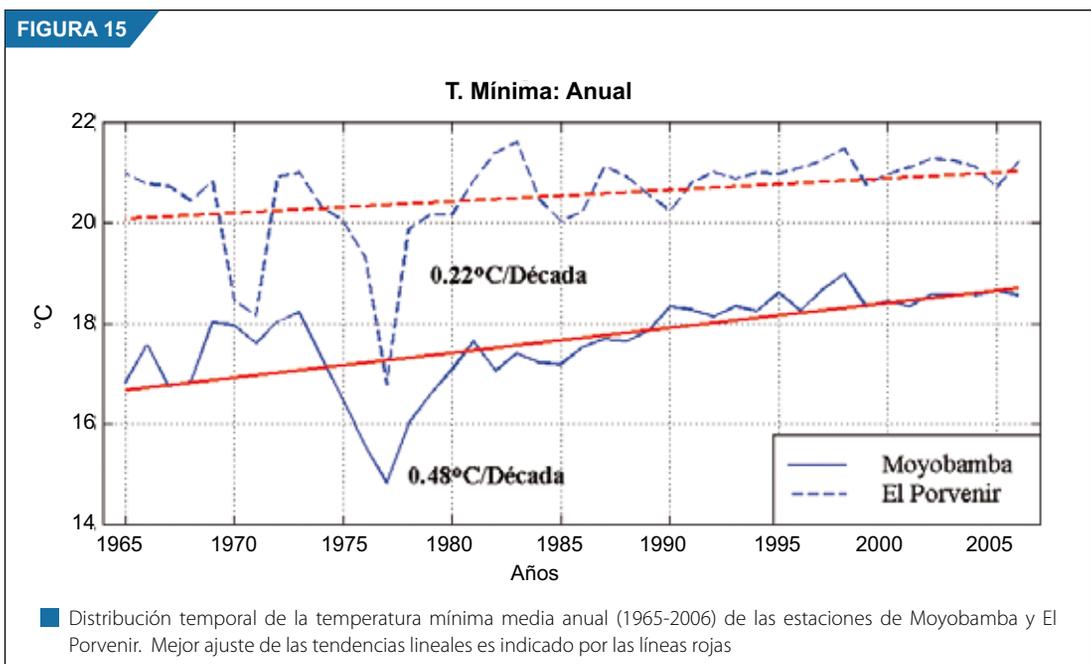


Las distribuciones de las temperaturas máximas medias estacionales (Figura 14 a-d) muestran que las direcciones de las tendencias son semejantes a las medias anuales, con valor máximo de $+0.52\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ observadas durante el verano en El Porvenir y $-0.39\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ analizadas en Moyobamba en el verano. Todos los valores de las tendencias son estadísticamente significantes. Durante las cuatro estaciones del año, las dos series temporales muestran, aparentemente, modulaciones con escalas de períodos largos y con las mismas características estudiadas en la distribución de las medias anuales. Esta característica es más evidente en los meses de invierno por la amplitud observada. También, la señal de los eventos ENOS es mínima en la variabilidad interanual, sobresaliendo los inviernos de 1983 y 1997 en Moyobamba, que es también la estación del año que presenta la menor tendencia negativa con $-0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$.

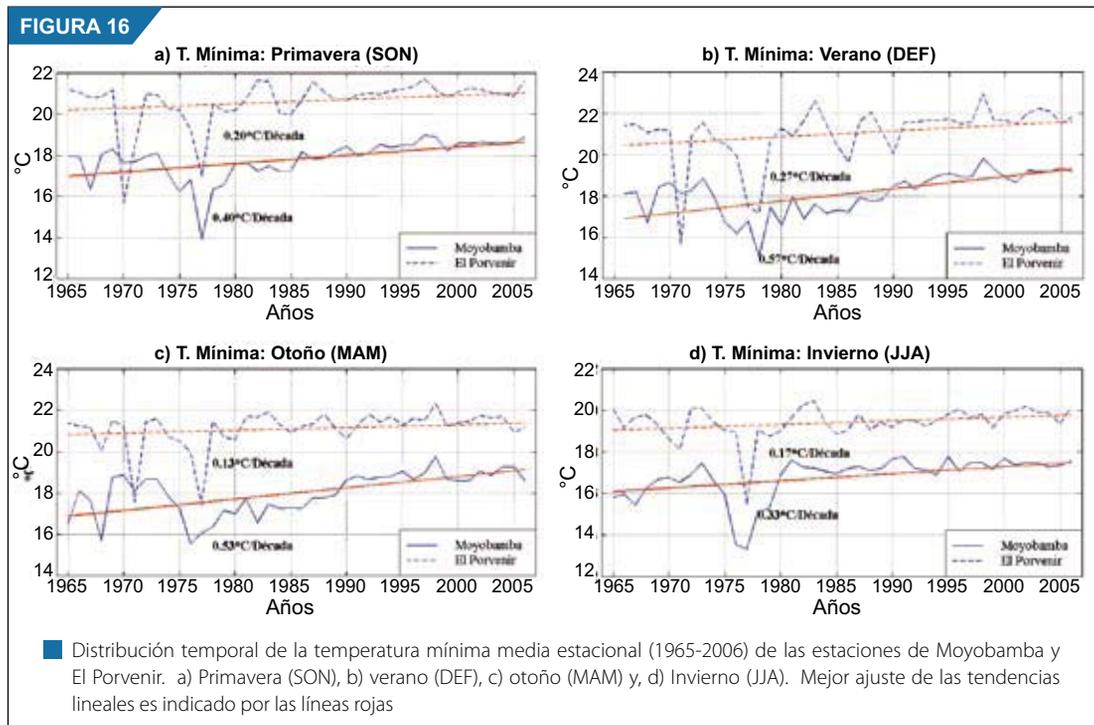


Las temperaturas mínimas medias anuales en El Porvenir y Moyobamba localizadas en la cuenca del Mayo (Figura 15) presentan tendencias positivas de $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y de $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente. Siendo estadísticamente significativo en Moyobamba.

En ambas series de temperatura se observa en la década de 1970 una alta variabilidad interanual con valores muy bajos en el verano 1971/72 en El Porvenir, y en el año de 1977 ambas estaciones están relacionadas con los eventos cálidos del ENOS. Aumentos graduales en la temperatura mínima son observados a partir de la década de 1980, así como poca variabilidad interanual sin señal de oscilaciones mayores.



En todo el año, las tendencias lineales de las temperaturas mínimas medias estacionales (Figura 16 a-d) presentan las mismas características observadas en las temperaturas mínimas medias anuales. Los valores de las tendencias son mayores en Moyobamba que en El Porvenir, en todas las estaciones del año. El mayor valor de las tendencias fue registrado durante el verano en Moyobamba con 0,57 °C/década y el menor de 0,13 °C/década fue observado en El Porvenir. En la década de los años 1970 se observa alta variabilidad interanual en los dos lugares, aparentemente, relacionados con los eventos cálidos del ENOS. En 1971 se observa anomalías negativas muy intensas en la primavera, verano y otoño, en la localidad de El Porvenir. Similar comportamiento se observa en el año 1977, en que las anomalías son muy intensas en ambas estaciones.



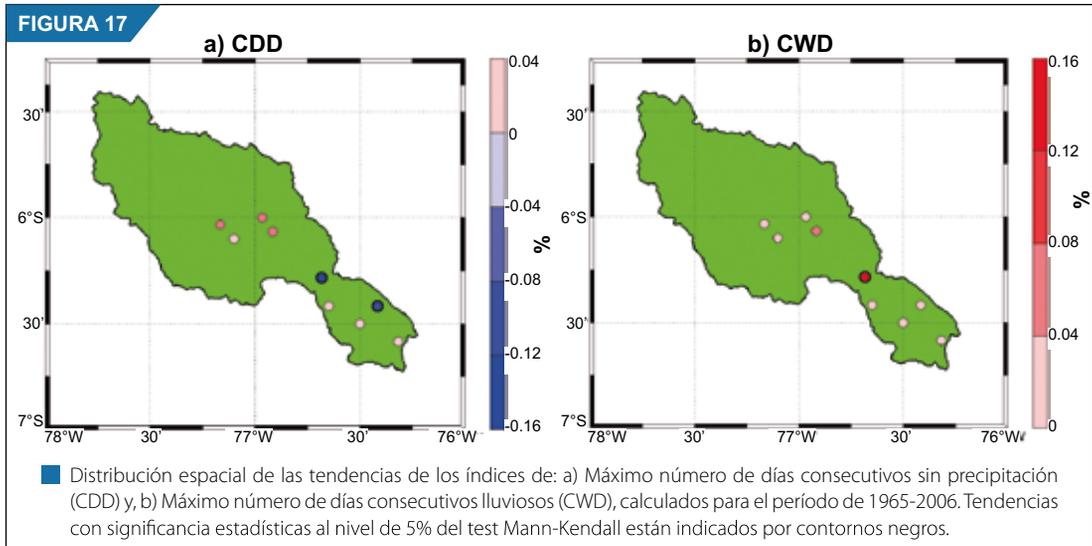
3.3.3. – ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

3.3.3.1. – Índices de extremos climáticos de la precipitación.

La distribución espacial de los índices de días consecutivos sin lluvia (CDD) y de días consecutivos lluviosos (CWD) en la cuenca del Mayo (Figura 17 a-b), muestran distribuciones coherentes. La mayoría de estaciones de la cuenca manifiestan valores positivos muy bajos de tendencias de CDD y solo dos estaciones con valores negativos estadísticamente significativos, Pacaysapa y San Antonio, las cuales indican una disminución significativa de días secos durante el período del presente estudio.

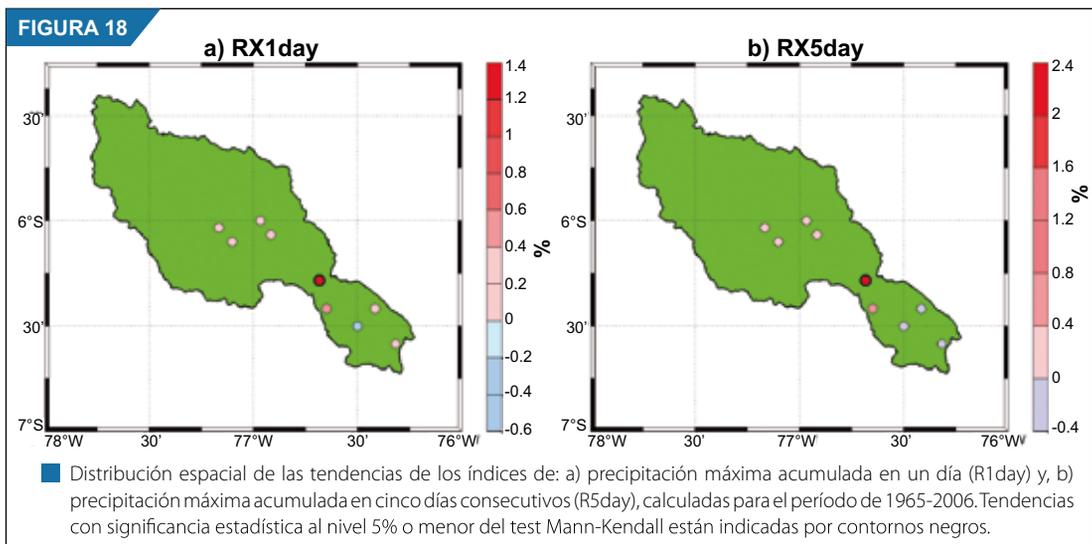
Por otro lado, los días lluviosos, aparentemente, se incrementaron en la cuenca, pero la mayoría de los valores son muy pequeños y estadísticamente no significantes, con excepción de Pacaysapa. Este análisis nos lleva a concluir que la localidad de Pacaysapa, en la cuenca del Mayo, es la única que probablemente registra un aumento de días lluviosos, en desmedro del número de días secos continuos. Asimismo, en la localidad de San Antonio, es posible que exista una disminución de días secos que no necesariamente se tornaron en días lluviosos.

Los índices de precipitación acumulada en un día (RX1day) y en cinco días (RX5day) presentan distribuciones espaciales y de tendencias similares (Figura 18 a-b). Ambas distribuciones presentan en general valores muy pequeños, sean positivos o negativos, en casi todas las localidades de la cuenca, con

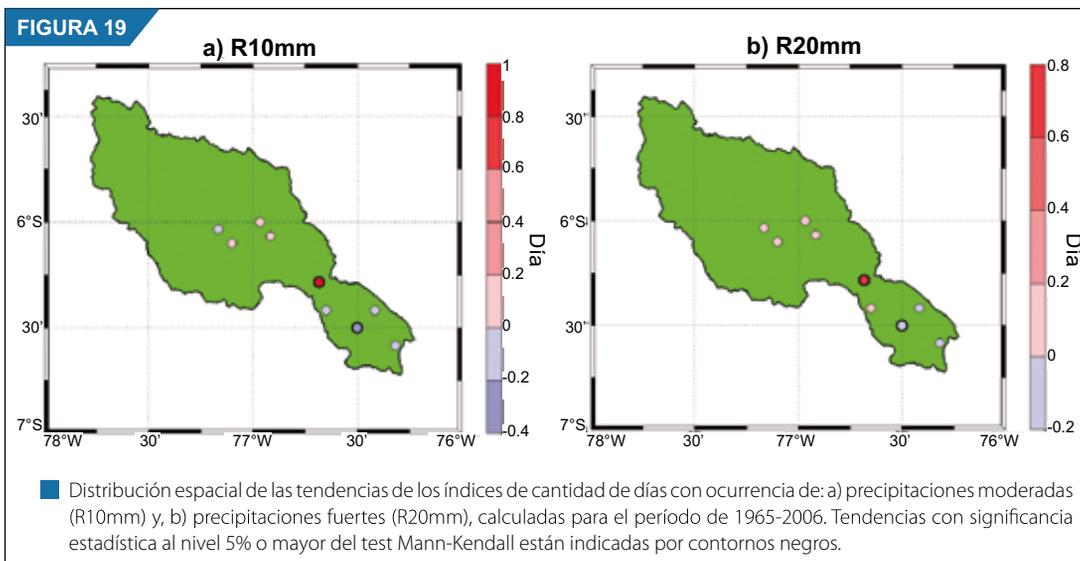


excepción de la localidad de Pacaysapa, donde la tendencia de ambos índices es alta y estadísticamente significativa.

Esta característica indica que la localidad de Pacaysapa registra, al mismo tiempo, un aumento de días consecutivos con precipitaciones y también precipitación acumulada en uno y cinco días, lo cual es necesario tener en cuenta en la prevención de deslizamientos de tierra, huaicos, etc. La tendencia del índice RX5day, son positivos al norte de Pacaysapa (Alto Mayo) aunque con valores muy bajos, y negativos al sur (Bajo Mayo), mostrando una distinción de posibilidades de riesgo, siendo mayor al norte que al sur de Pacaysapa.

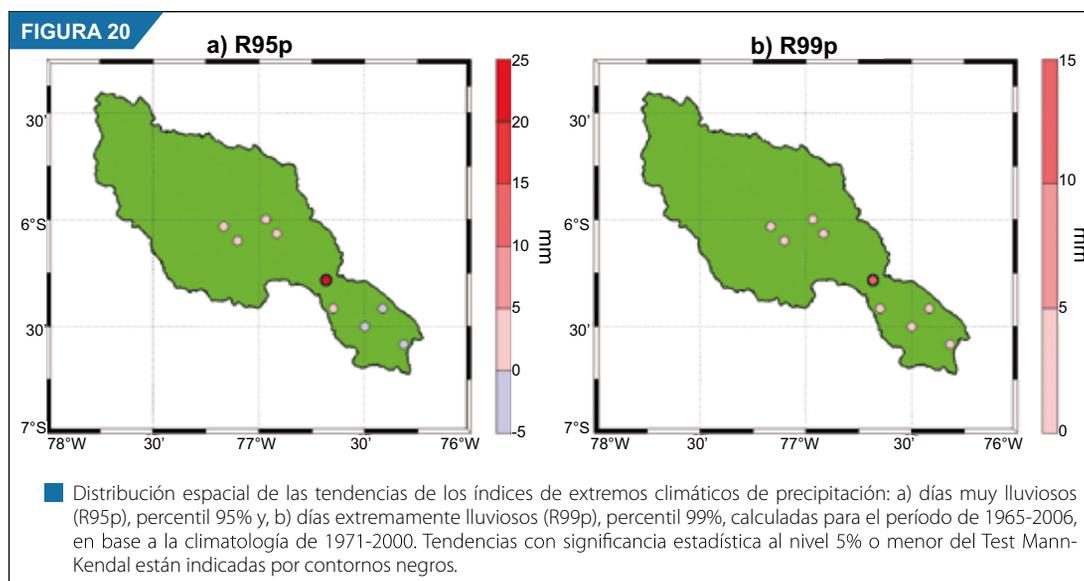


Para entender mejor este análisis, se muestra la distribución de los índices de precipitaciones moderadas (R10mm) e intensas (R20mm) en la cuenca del Mayo, presentando las mismas características que la distribución de los índices anteriores ya analizados (ver Figura 19 a-b). La distribución espacial de estos dos índices muestra con más claridad que la zona donde se localiza Pacaysapa, con tendencias positivas significativas, parece ser la divisoria de dos regiones con características de precipitación particulares dentro de la cuenca del Mayo. Se observa que hubo una disminución de días con precipitaciones moderadas e intensas al sur de Pacaysapa (Bajo Mayo), inclusive la localidad de Cuñumbuque presenta tendencias negativas estadísticamente significativas en las dos distribuciones. En el Alto Mayo se advierten tendencias positivas, particularmente en las precipitaciones intensas (Figura 19 b).



Las distribuciones de las precipitaciones con días muy lluviosos (R95p) y días extremadamente lluviosos (R99p) en la cuenca del Mayo (Figura 20 a-b), calculadas en base a los años de 1971 a 2000, continúan presentando patrones espaciales con características parecidas a la distribución de los índices analizados anteriormente y en particular las distribuciones de los índices R95p y R20mm son similares. El patrón espacial del índice R95p muestra un aumento significativo de días muy lluviosos en la localidad de Pacaysapa, además de confirmar la existencia de una aparente regionalización de las precipitaciones en esta cuenca.

Asimismo, se registraron incrementos significativos de días extremadamente lluviosos (R99p) en Pacaysapa y en las demás localidades se observan tendencias positivas muy bajas que muestran indicios de incrementos de días extremadamente lluviosos, pero que en realidad son resultado de la variabilidad normal de este índice.

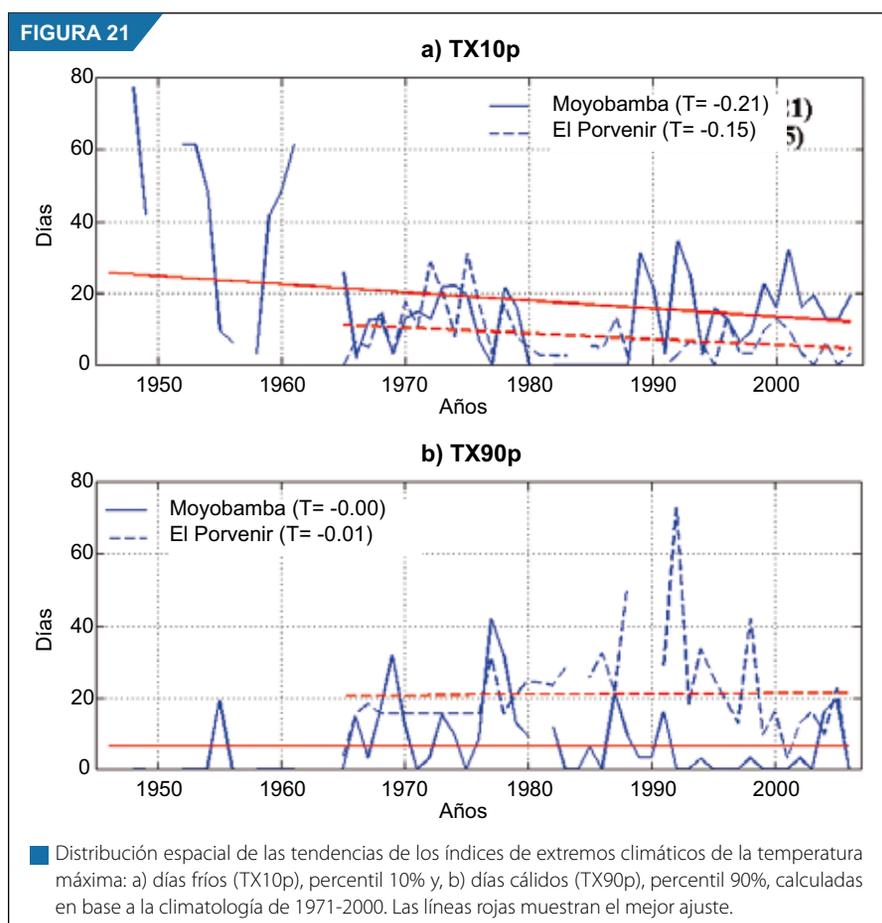


3.3.3.2. – Índices de extremos climáticos de las temperaturas

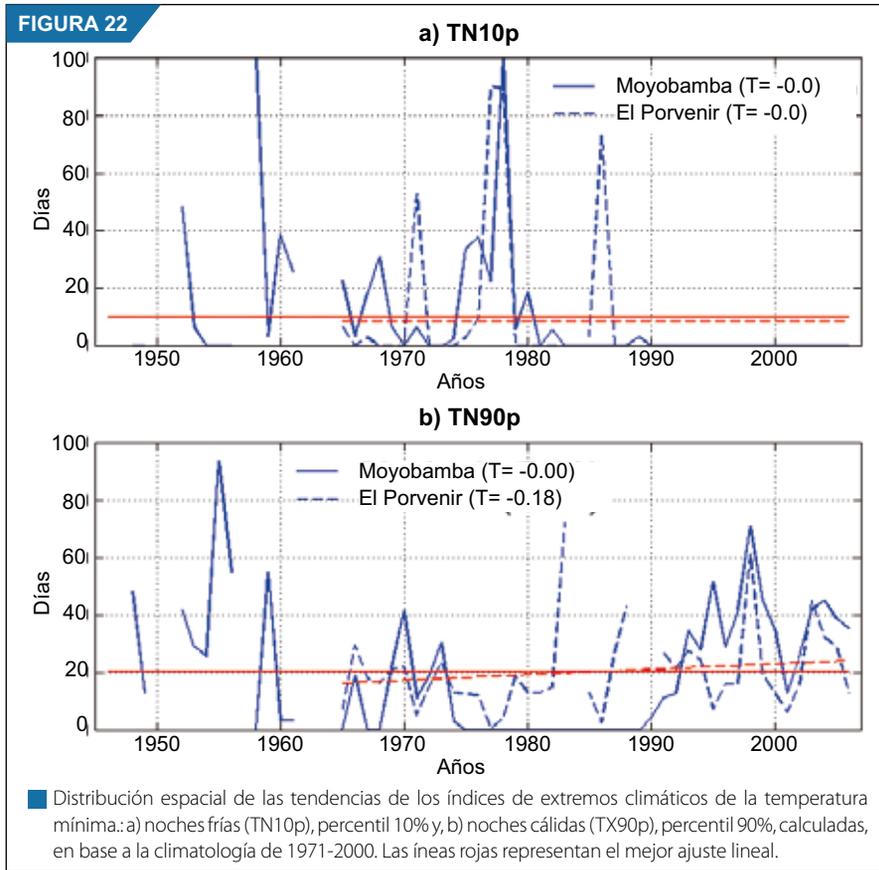
Las series temporales de los índices de días fríos (TX10p) y días calientes (TX90p) de las estaciones de Moyobamba y El Porvenir, calculadas en base a los años de 1971 a 2000, son mostradas en la Figura 21 a-b. Las tendencias del índice de días fríos de ambas localidades (Figura 21 a) son negativas no

significativas. Estas tendencias son resultado de la alta variabilidad interanual observada antes de la década de 1960 en Moyobamba, y durante la década de 1970 en El Porvenir. Adicionalmente, se puede observar que este índice en ambas estaciones parece estar modulado por oscilaciones de largo plazo, con evidentes períodos activos en la década de 1970 y alrededor de los años 1990 y 2000, asociados a períodos de variabilidad interanual muy alta y, particularmente, a los eventos cálidos del ENOS, como 1972, 1976, 1992 y 2001.

Con respecto a la distribución temporal del índice de días cálidos (Figura 21 b) se observa tendencias nulas en ambas localidades. Una característica que es necesario resaltar es la alta variabilidad interanual, en la que algunos años están relacionados con la fase cálida del ENOS, como 1992 en El Porvenir, pero ambas zonas no muestran ninguna, aparentemente, modulación por escalas mayores.



Los índices de noches frías (TN10p) y noches cálidas (TN90p), calculados en base al período 1971-2000, para las dos localidades de la cuenca del Mayo (Figura 22 a-b), presentan patrones temporales ligeramente inversos, principalmente después de la década de 1970. Las noches frías (Figura 22 a) presentan valores máximos durante la década de 1970 y, aparentemente, en la década de 1950 y posterior a la década de 1980, prácticamente se torna nulo. Sucediendo lo contrario con las noches cálidas (Figura 22 b) que tienen valores mínimos hacia la década de 1970, pero a partir de este período se va incrementando hasta finales de la década de 1990. En ambos índices la tendencia es nula, con excepción de las noches cálidas en El Porvenir, que tienen un valor positivo no significativo. Otra característica de ambas distribuciones es la alta variabilidad interanual con aparente modulación por escalas de largo plazo y sin alguna señal fuerte que evidencie el efecto del ENOS en estos índices.



3.3.4 ANÁLISIS DE SEQUÍAS

Los análisis de las sequías son realizados mediante los Índices de Precipitación Estandarizada (SPI), que fueron calculados para las escalas meteorológica (mensual), agrometeorológica (trimestral) e hidrológica (anual) en nueve estaciones, con información de precipitaciones totales mensuales (1965-2006) distribuidas en la cuenca. No se utilizó la estación localizada en Naranjillo por tener solamente datos de 1975-2006.

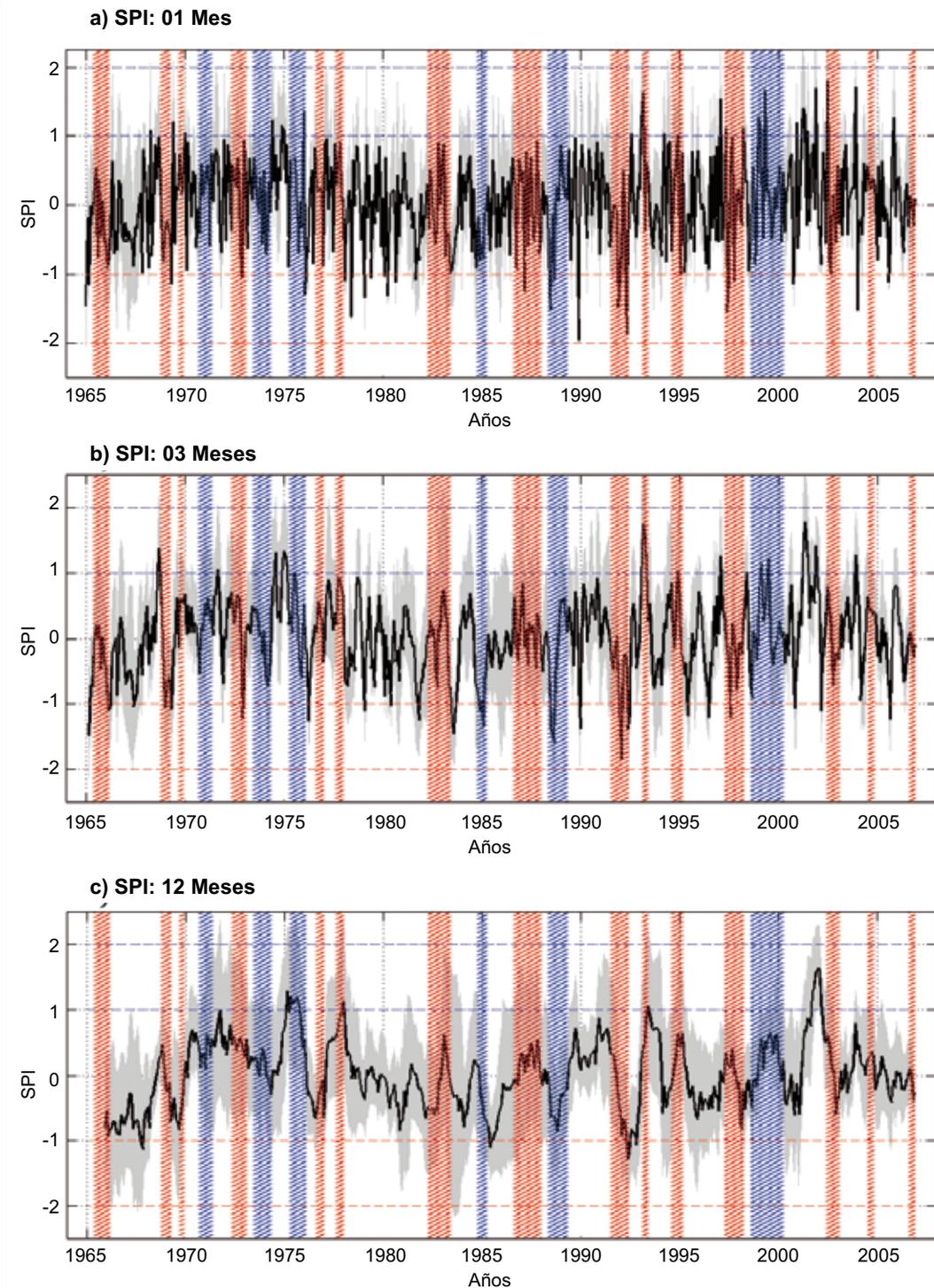
3.3.4.1. – Distribución temporal de las sequías

Para un mejor análisis, la distribución temporal promedio de los SPI en la cuenca del Mayo, para las tres escalas, meteorológica, agrometeorológica e hidrológica, es mostrada en la Figura 23 a-c. En promedio, las sequías meteorológicas (escala mensual) presentan alta variabilidad interanual, centradas en su valor medio (0,0), sin ninguna tendencia de incremento o disminución durante el período de análisis. Sequías extremas (menor que -2,0), prácticamente, no existen; sequías severas (-2,0 a -1,5) se registraron en los años 1990 y 1992 y sequías moderadas (-1,5 a -1,0) son las más frecuentes. Una característica importante es que no hay una evidencia fuerte que indique una relación directa entre la ocurrencia de sequías, aunque moderadas, con los eventos ENOS, salvo en los años de 1992 en que se observa una sequía severa, y 1997/98, una sequía moderada.

En las escalas agrometeorológica (Figura 23 b) e hidrológica (Figura 23 c) se observa el mismo patrón que en la escala meteorológica. En ambas escalas, además de no observarse alguna relación directa intensa con los eventos ENOS, tampoco se observa algún tipo de tendencia durante el período de análisis, pero se consigue distinguir alguna modulación de escala mayor que la interanual. Las sequías agrometeorológicas en su mayoría fueron moderadas y regionalizadas, como se puede apreciar en los desvíos estándar bastante intensos. Aquí también la sequía más intensa fue registrada durante la fase cálida del ENOS de 1992.

En la cuenca del río Mayo, las sequías hidrológicas son, aparentemente, más intensas, como las registradas a fines de la década de 1960 e inicios de la década de 1980, que fueron extremas y persistieron por varios meses, y ocurrieron después de los eventos cálidos del ENOS de 1965/66 y 1982/83, tal como se muestra en las grandes desviaciones estándar que representan sequías regionales severas.

FIGURA 23

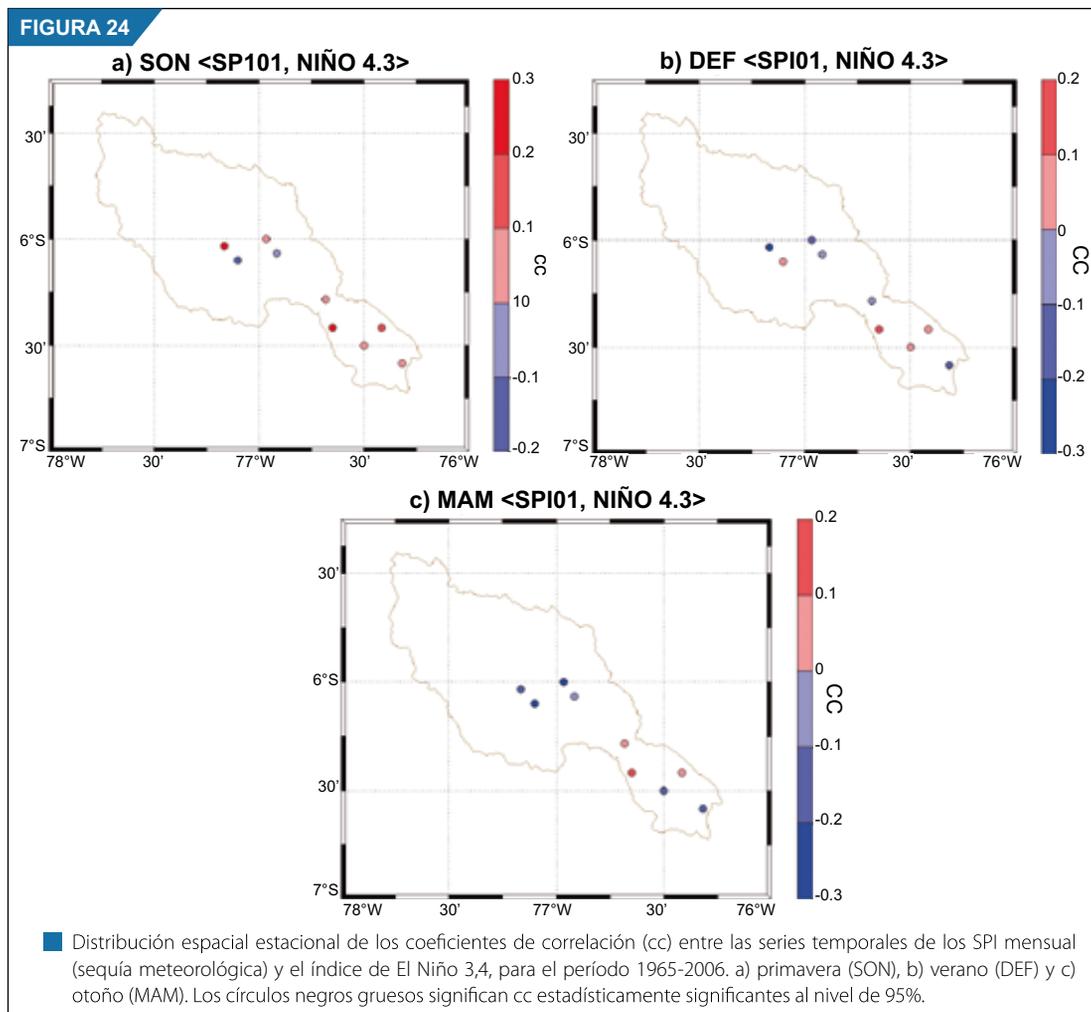


■ Distribución temporal del valor promedio de Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), para el período de 1965-2006. a) sequías meteorológicas (SPI mensual), b) sequías agro-meteorológicas (SPI trimestral) y, c) sequías hidrológicas (SPI anual). Las áreas sombreadas por color gris indican el desvío estándar de los SPI. Las áreas sombreadas de color rojo (azul) identifican períodos de la ocurrencia de los eventos cálidos (fríos) del fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS).

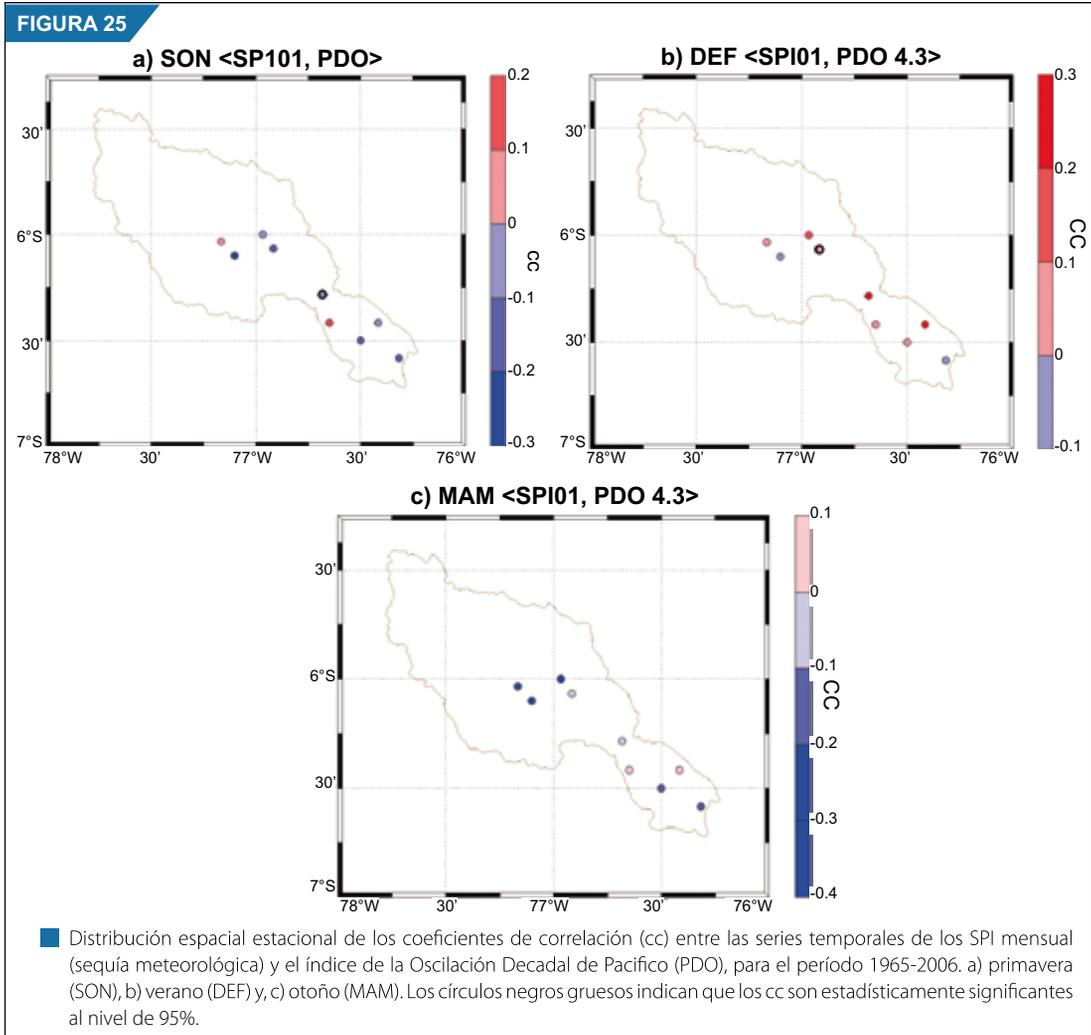
3.3.4.2. – Teleconexiones de las sequías

Las correlaciones lineales estacionales entre la temperatura superficial del mar en el Niño 3,4 y los SPI (Figura 24 a-c), no muestran ningún coeficiente de correlación (cc) estadísticamente significativo durante las tres estaciones (de primavera a otoño). Los cc varían entre -0,3 y +0,3 en el período de los análisis, con una distribución que indica una dualidad en el comportamiento de las precipitaciones ante un evento ENOS. Es decir, algunas regiones de la cuenca se favorecen con los eventos cálidos, mientras que otros con los eventos fríos.

Igualmente, no se observa ningún patrón espacial que persista en las tres estaciones del año; al contrario, es un cambio que parece ser bastante regional y teniendo como punto de separación más o menos es la zona donde se localiza Pacaysapa. La región o zona más propensa a sufrir sequías durante los eventos cálidos del ENOS se circunscribe en el Alto Mayo, entre las localidades de Rioja, Moyobamba y Jepelacio durante las estaciones de máximas lluvias, mientras que en el Bajo Mayo la zona más propensa a tener sequías es El Porvenir. La zona menos propensa se localiza entre San Antonio y Tabalosos.



Los patrones de correlación entre los SPI y el índice del PDO (Figura 25 a-c) muestran que las fases positivas del PDO son mucho más favorables para que ocurran sequías en la cuenca del Mayo, en las estaciones de primavera y otoño, pero no en el verano, en que hay predominancia de coeficientes de correlación positivas. El hecho que en primavera (verano), la localidad de Pacaysapa (Jelepacio) muestre coeficiente de correlación negativa (positiva) estadísticamente significativa, sugiere la predominancia de efectos regionales dentro de la cuenca, que resultan en coeficientes de correlación bien diferenciados.

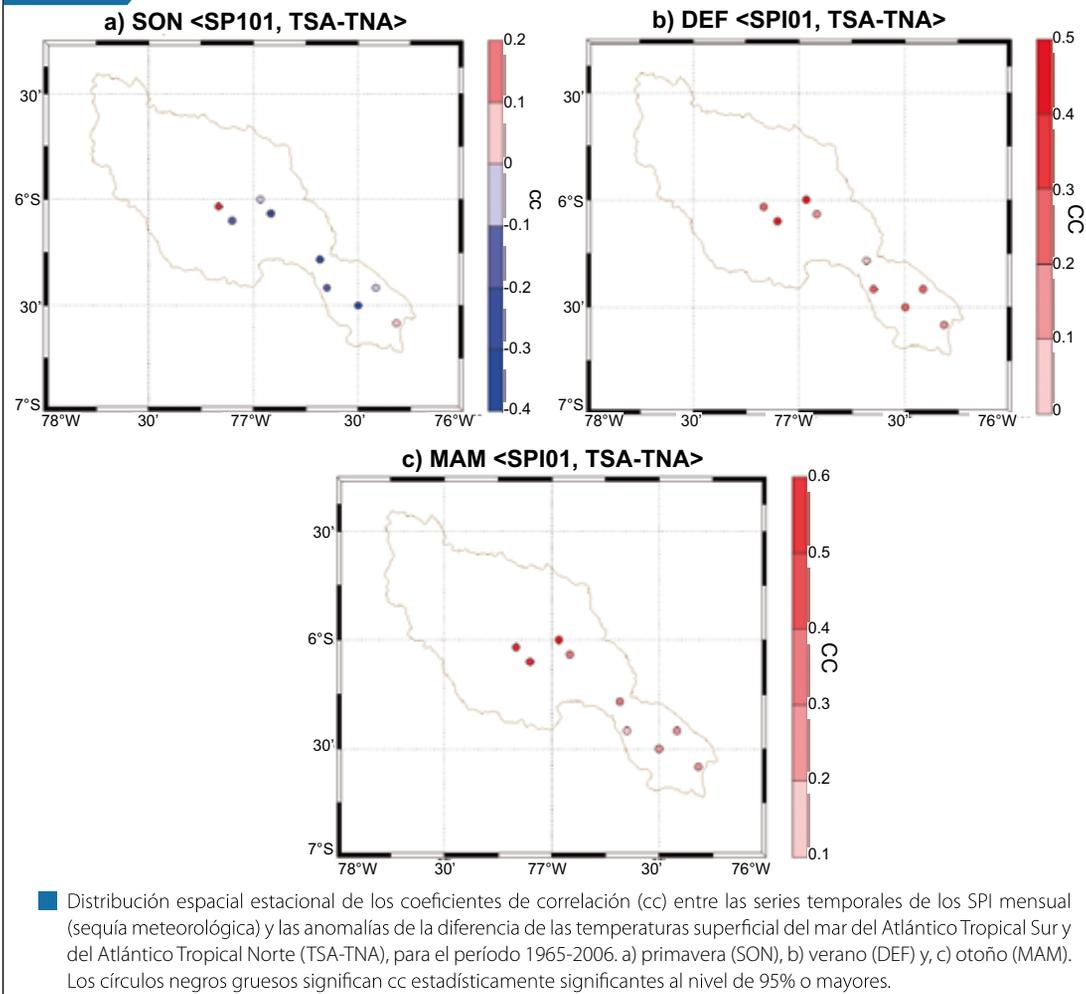


El gradiente de las temperaturas del Atlántico Tropical (TSA-TNA) causa efecto a nivel de toda la cuenca entre la primavera y el otoño, como lo muestran las correlaciones con los SPI (Figura 26 a-c). Las temperaturas mayores en el Atlántico Tropical Norte que en el Atlántico Sur, durante la primavera, inhibe las sequías en la mayor parte de la cuenca, con excepción de las zonas alrededor de las localidades Rioja y El Porvenir (Figura 26 a), debido a que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) estará más al norte de su posición normal ($TNA > TSA$). En los meses de verano y otoño (Figura 26 b-c) las condiciones térmicas se invierte favoreciendo las mayores temperaturas en el Atlántico Sur respecto al Norte ($TSA > TNA$), condicionando la ocurrencia de precipitaciones y por ende la inhibición de las sequías en ambas estaciones astronómicas. La explicación para este comportamiento se encuentra en la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), asociada al gradiente de temperaturas del Atlántico tropical, que favorece el transporte de humedad.

Para un mejor análisis, en la figura 27 se muestra la Transformada de Onditas de los SPI trimestral (sequías agrometeorológicas), mostradas en la figura 3.1 b. Se observa que las oscilaciones intra-anales (~180 días) predominan en todo el período del análisis y las oscilaciones cuasi-bienales 2-3 años al inicio de la década de 1980 y durante la década de 1990, son significativas. Otras oscilaciones menos intensas con períodos entre 3 y 4 años se presentan en los años 1975, 1990 y 2000, además de una oscilación de escala mayor que la decadal se observa desde el inicio del análisis hasta fines de la década de 1980.

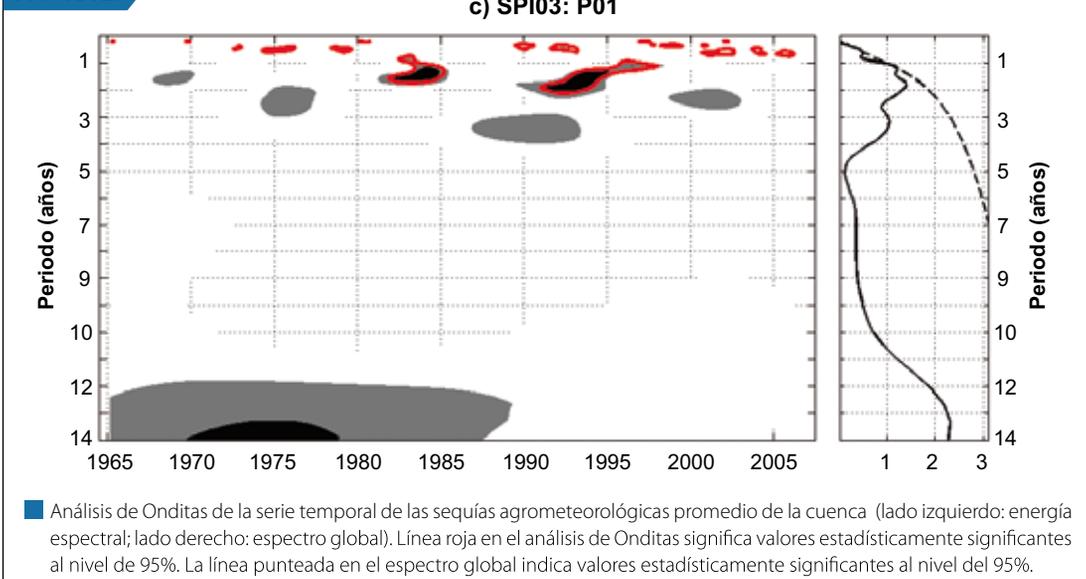
Estas oscilaciones nos indican que las sequías intensas ocurridas en 1991/92 están asociadas a la oscilación bienal ocurrida en esa época. Asimismo, el evento cálido del ENOS de 1982/83, seguido del

FIGURA 26



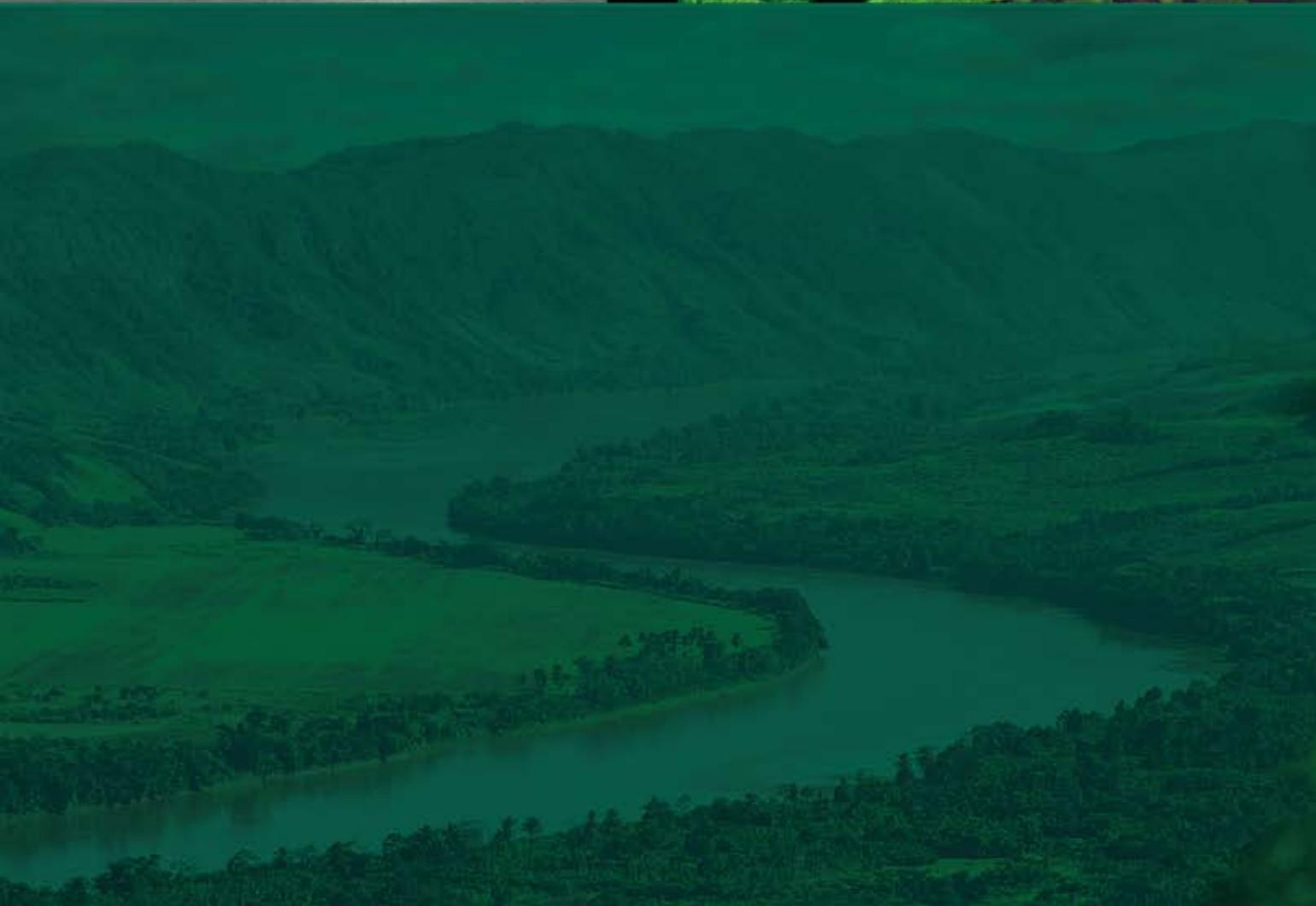
evento frío de 1984/85, son resultados de otra oscilación bienal, los que produjeron cambios bruscos en los patrones de precipitación en la cuenca del Mayo, como puede ser verificado en la Figura 27 b.

FIGURA 27



CAPÍTULO 4

ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO



ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO AL 2020 - 2030

En este Capítulo se presenta el proceso seguido para la generación de los escenarios climáticos futuros para la cuenca del río Mayo, en el cual se muestran las proyecciones de cambio climático para el 2020 y 2030, en base al clima medio (1983-2003) y se analizan los extremos climáticos: percentil 90 de la temperatura y percentil 95 de la precipitación para el 2030. Estos estudios servirán de base para la discusión de posibles impactos directos en la agricultura, biodiversidad, energía, consumo de agua, entre otros, y sus impactos indirectos económicos, sociales y ambientales.

Asimismo, se continúa la secuencia de presentar los datos y la metodología utilizada, junto con las discusiones.

El capítulo incluye la metodología de las técnicas de downscaling estadístico y dinámico aplicado en la elaboración de proyecciones climáticas del futuro, en la cual se incorporaron como condiciones entrada en el downscaling estadístico, la información de escenarios A2 y B2 de Temperatura Superficial del Mar (TSM) de cinco modelos globales internacionales y en el downscaling dinámico, se incorpora la información de escenarios del clima del modelo global CCSM, de la National Center Atmospheric Research (NCAR) al modelo Regional Atmospheric Model Systems (RAMS). La metodología de forma más detallada se encuentra en el estudio "Escenarios Climáticos a nivel Nacional para el año 2030", SENAMHI, 2008.

4.1 DATOS

Los datos utilizados para la generación de escenarios estadísticos regionalizados al 2030, en la cuenca del río Mayo, han sido la precipitación mensual del período de 1965 al 2006 de las estaciones de observación distribuidas en la cuenca, y los datos de TSM mensual (1990-2040) de cinco modelos globales ECHAM4/OPYC3 (Alemania), CSIRO (Australia), CCCma (Canadá), CCSR/ NIES (Japón/EEUU), GFDL (EEUU) con sus respectivos escenarios A2 y B2, tal como se indica en la tabla 7.

Tabla 7: Características generales de los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCG) utilizados en el downscaling estadístico

N°	Centro	País	Acrónimos	Modelo	Resolución	Escenarios	Años
1	Max Planck Institute für Meteorologie	Alemania	MPIfM	ECHAM4/OPYC3	T42	A2, B2	1990-2040
	Australia's	Australia	CSIRO	CSIRO-Mk2	R21	A2, B2	
2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Canadá	CCCma	CGCM2	T32	A2, B2	1990-2040
3	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Japón/EEUU	CCSR/ NIES	CCSR/ NIES AGCM + CCSR OGCM	T21	A2, B2	1990-2040
4	Center for Climate System Research (CCSR) National Institute for Environmental Studies (NIES)	EEUU	GFDL	R30	R30	A2, B2	
5	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory						1990-2040

Los datos utilizados en la generación de escenarios del clima al 2020-2030, mediante downscaling dinámico, es la información de cada 6 horas desde 1983 al 2030 de la temperatura del aire, presión a nivel del mar, vientos, humedad y temperatura superficial del mar del modelo del NCAR. Estos datos en formato binario y corresponden al escenario de emisión A2.

La información de la precipitación y temperaturas (máxima y mínima) mensuales provenientes de las estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI del período 1965-2005, fueron utilizadas en el posproceso del downscaling dinámico.

4.2 METODOLOGÍA

Los Escenarios de Cambio Climático están basados en interpretaciones cualitativas de los Modelos de Circulación General (GCMs), en los cuales se ha supuesto para un determinado intervalo de tiempo futuro un incremento en concentraciones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, los cuales modifican el comportamiento natural de la atmósfera (Nakicenovic, N. and Swart, R., 2001). Debido a que los GCMs contienen información de variables atmosféricas y/o oceánicas a una escala espacial muy grande como para estudios a niveles regionales, aproximadamente 200 km, es necesario mejorar la resolución de éstos. Para lograr este objetivo se utiliza la técnica denominada Regionalización, Proyección local o downscaling. Existen diferentes tipos de downscaling, siendo los más utilizados el downscaling estadístico y dinámico.

En este análisis se describe las técnicas de downscaling empleadas en la proyección de escenarios futuros para la cuenca del río Mayo.

4.2.1 Downscaling estadístico

Para calcular las proyecciones de la precipitación al 2030 en la cuenca del río Mayo, mediante downscaling estadístico, se procedió a determinar el índice de precipitación estacional de verano (DEF), a partir de la media estacional estandarizada de la precipitación de las estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca. Este índice se correlacionó con el campo de las TSM medias estandarizadas de verano de todo el Océano Pacífico, con la finalidad de determinar áreas o regiones con coeficientes de correlación significativa al nivel del 95%.

Luego se determinaron los parámetros de regresión, a partir de los análisis de regresión lineal entre el índice de precipitación y las TSM en las áreas o regiones, donde las correlaciones fueron estadísticamente significativas. Para la cuenca del Mayo se utilizaron 5 regiones significativas:

- a) área 1: 1690W-140W , 18-28S
- b) área 2; 145W-170W , 0-10N
- c) área 3: 115W-130W , 10N-20N
- d) área 4:165E- 175W , 18N -28N
- e) área 5: 5W-25W, 0 10S

Posteriormente se determinaron las proyecciones de los TSM en las áreas significativas en base a los escenarios de los modelos globales, para ello se les agrupó en tres tipos de escenarios: máximo, promedio y mínimo. Esta denominación está en función a la intensidad de las TSM. El escenario máximo agrupa los valores más altos de los TSM de todos los modelos y escenarios, el mínimo lo contrario y el promedio implica la media de los 10 modelos.

Las proyecciones de los TSM se realizaron para la década del 2030, para lo cual se promediaron los valores mensuales entre el año 2025 y 2035.

Finalmente, se realiza la construcción de las proyecciones de las series de precipitación en base a los parámetros de los análisis de regresión lineal con las proyecciones de los tres tipos de escenarios futuros.

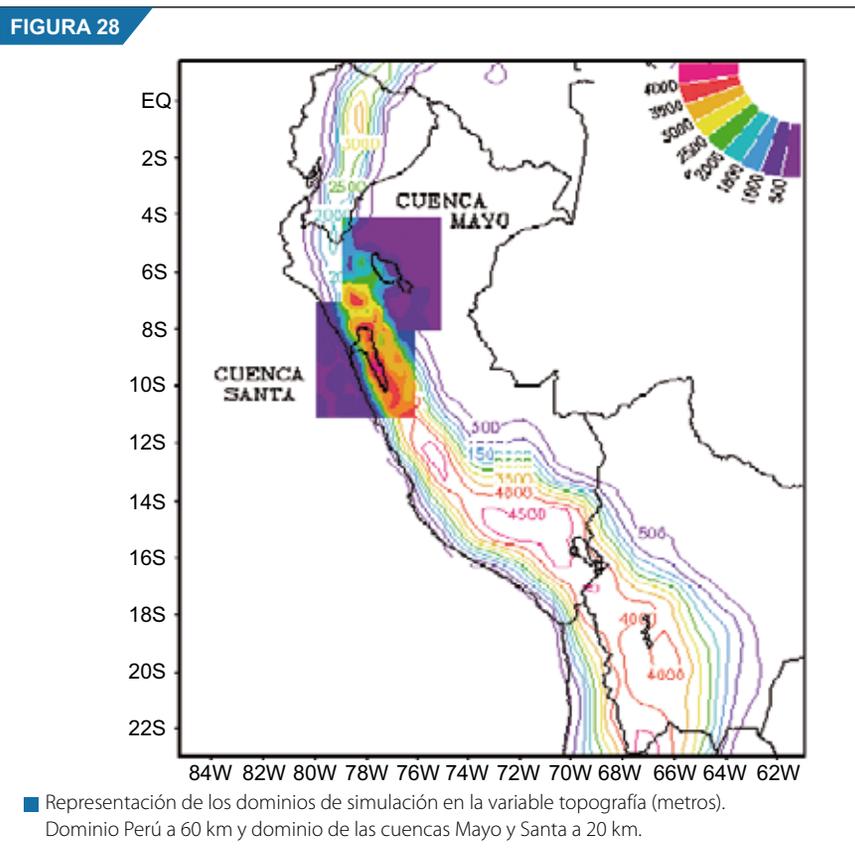
4.2.2 Downscaling Dinámico

El downscaling dinámico que se utilizó para generar los escenarios futuros del clima al 2020 y 2030 para la cuenca del río Mayo, es el modelo regional RAMS versión 4.4.

El RAMS es un modelo meteorológico numérico desarrollado en la Universidad Estatal de Colorado (Pielke et al. 1992). Está en capacidad de simular procesos a pequeña como a gran escala y predecir fenómenos meteorológicos. Es importante destacar que está construido en base a las ecuaciones de movimiento que gobiernan la dinámica atmosférica. También utiliza una serie de parametrizaciones que tienen en cuenta diversos procesos atmosféricos, tales como difusiones turbulentas, radiación solar y terrestre; procesos húmedos de formación e interacción de nubes y precipitaciones; intercambio de calor entre la atmósfera y varios estratos del suelo, la cubierta vegetal y la superficie del mar, entre otros. Posee un proceso de asimilación de datos a partir de observaciones meteorológicas (radiosondajes, estaciones meteorológicas convencionales y automáticas). El RAMS es un modelo tridimensional, no-hidrostático, con capacidad para realizar anidamientos de dominios. El anidamiento es una técnica que aumenta la resolución de la simulación en un área de interés y se da en dos direcciones, lo cual significa que los cambios en la atmósfera por efectos de la orografía o por esquemas de parametrización, son transmitidos del dominio anidado al dominio dre.

En el downscaling dinámico con RAMS se incorpora como condiciones de entrada (presión a nivel del mar, vientos, humedad, temperatura y altura geopotencial), salidas del modelo de rejilla gruesa del escenario A2 del NCAR. El modelo RAMS considera, además, valores de la topografía, tipo de suelo y vegetación, entre otros, en la simulación.

La simulación con RAMS es realizada en dos dominios, la primera a 60 Km de resolución (Perú) y la segunda está referido a las cuencas de los ríos Mayo y Santa, cada uno con una resolución de 20 km (ver Figura 28).



El período de simulación fue de 1983 a 2035, siendo el tiempo para la integración de las ecuaciones de la atmósfera de 50 segundos y cada 10 días el dominio de 20 km (cuenca del río Mayo) fue inicializado en las grillas internas y en su frontera, con condiciones de atmósfera del dominio de 60 km (Perú) y con condiciones climáticas de suelo y Temperatura Superficial del Mar (TSM) del modelo RAMS. Los datos de los TSM (condición de borde de RAMS) estuvieron fijos, con valores apropiados para la última mitad del siglo XX; estos datos están a nivel mensual.

Esta inicialización afectan los dos primeros días para cada 10 días de simulación, datos que fueron removidos de los resultados. También se plantea un período más largo que podría ser usado entre la reinicialización con fines de investigación.

4.2.2.1 Escenarios proyectados

Las salidas resultantes de la simulación fueron interpoladas a punto de estación, esto se realizó para dos variables: temperatura (máxima, mínima) y precipitación acumulada para el dominio de Perú y como para la cuenca del río Mayo. Luego fueron promediados a nivel diario y posteriormente a nivel mensual. Seguidamente eliminé el BIAS del modelo y se incorporó la variabilidad climática estacional con las siguientes relaciones:

$MAP = CLIMOBS + (VARSCENR - VARCLIM)$ Para la temperatura y precipitación (Hulme et al, 2000).

$MAP = CLIMOBS * (VARSCENR/VARCLIM)$ Para precipitación en la costa (Lenderkin, 2007)

Donde:

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

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

VARSCENR = Valor del escenario producto de la simulación.

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

Finalmente, los mapas de los escenarios climáticos para el 2020 y 2030, son interpolados a punto de estación y expresados como la media de los períodos 2015-2025 y 2025-2035, respectivamente, agrupados en promedios y acumulados anuales y estacionales como verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON).

4.2.2.2 Indicadores de Extremos Climáticos proyectados

El índice de extremo climático del percentil 90 de la temperatura máxima, mínima y percentil 95 de la precipitación para el 2030, índices asociados a días muy cálidos, noches cálidas y precipitaciones intensas, respectivamente, son calculados a partir de los datos diarios simulados (resultado de la regionalización dinámica) en el período 2025-2035 para las coordenadas de las estaciones meteorológicas El Porvenir (06°35'1", 76°19'1", 230 msnm) y Moyobamba (06°00'0", 76°58'00", 860 msnm).

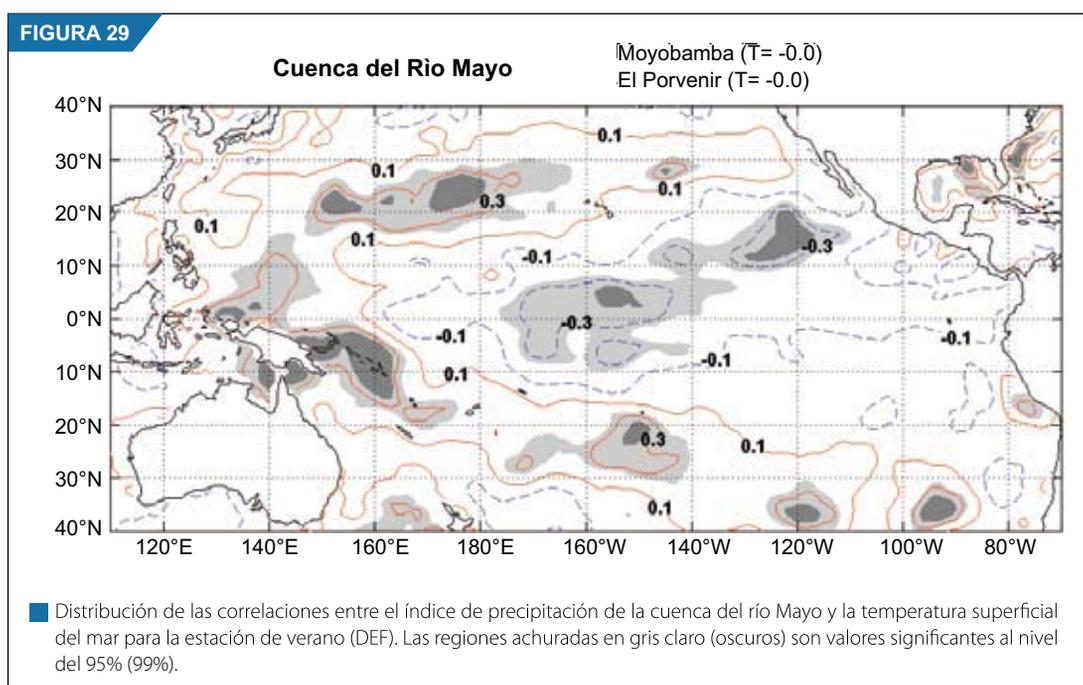
4.3 RESULTADOS

En este punto se analiza y discute acerca de los resultados en la proyección de escenarios del clima futuro en la cuenca del río Mayo, mediante las técnicas de downscaling empleadas.

Los resultados de temperaturas máximas y mínimas proyectadas están dados a resolución de 1 km y la variación o anomalía de las temperaturas a resolución de 20 km. Similar es el caso de la Precipitación y su variación porcentual (anomalía porcentual) proyectada.

4. 3.1 Downscaling estadístico

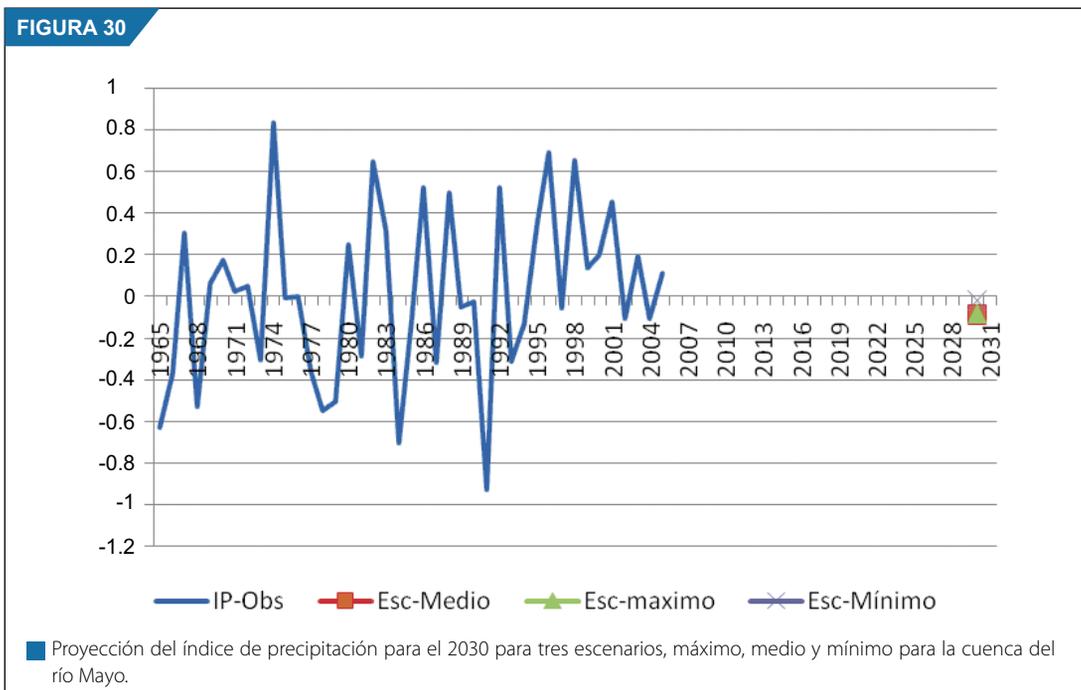
La correlación del índice de precipitación de verano en la cuenca del Mayo y las anomalías de verano de las temperaturas superficiales de mar del Océano Pacífico (Figura 29), muestran un patrón espacial inverso a los eventos cálidos del ENOS. Es decir, incrementos o anomalías positivas de los TSM en el Pacífico ecuatorial están relacionados con anomalías negativas o disminución de los índices de precipitación en la cuenca. Los coeficientes de correlación positivos estadísticamente significativos al nivel del 95%, se localizan sobre el Pacífico oeste y se extienden hacia latitudes mayores en dirección sureste y noreste en los hemisferios sur y norte, respectivamente. Correlaciones inversas significativas al nivel del 95% se localizan en el centro del Pacífico tropical que se extiende hacia latitudes altas del hemisferio norte con dirección a las costas del sur de Estados Unidos.



Para poder precisar este análisis se muestra la distribución temporal del índice de precipitación estandarizada observada y la proyección para el año 2030 (ver Figura 30). La proyección está basada en la determinación de los parámetros de regresión entre el índice de precipitación y las 5 áreas correlacionadas y estadísticamente significativas, cuyas TSM modulan las precipitaciones, tal como se ha visto en el análisis de las sequías (3,4), con un índice de correlación del 0,52 entre ambas variables. Este método de obtención de las precipitaciones se basan en el supuesto esencial de que la relación estadística actual son válidas, incluso bajo condiciones climáticas diferentes (Hewitson y Crane, 1996).

Este resultado implica que cuanto más se calienta el mar, especialmente en la parte ecuatorial, se tiene la probabilidad que se presenten menores precipitaciones en promedio en la cuenca. Estos resultados son bastante sensibles a la variación que tendrían las temperaturas de los océanos; para el caso del escenario promedio, los incrementos de los TSM en las 5 áreas significativas estarían en el orden de 0,4 a 0,67 °C, mientras en el escenario máximo los incrementos son del orden entre 0,5 a 1,66 °C, mientras el escenario mínimo varía entre 0,18 a 0,38°C.

Los tres tipos de escenarios futuros al 2030, derivados de las intensidades de los TSM (Regionalización Estadística) muestran índices negativos de precipitaciones con valores menores a 0,1 σ (desviación estándar), lo cual indicaría que las precipitaciones estarían ligeramente por debajo de sus promedios en el trimestre de mayor lluvia climatológica (DEF). Esta disminución de precipitaciones puede enmarcarse dentro de la variabilidad normal para esa década.



4.3.2 Downscaling dinámico

A continuación se muestran las proyecciones de las temperaturas máxima, mínima y precipitación para los años 2020 y 2030. Estas proyecciones tienen que entenderse como escenarios que tienen niveles de incertidumbre provenientes de los diferentes pasos, hasta su obtención. Las fuentes de incertidumbre en este caso provienen del escenario de emisión de gases de efecto invernadero, de las configuraciones de modelo Global de NCAR y del propio desarrollo del downscaling dinámico. Estas salidas son complementadas con las salidas del downscaling estadístico para consistenciar los resultados, para así reducir las incertidumbres.

Asimismo, se muestran las anomalías de las temperaturas y precipitaciones en la cuenca para el 2030 y están expresadas en términos de variaciones en °C y porcentuales (%), lo cual solo se ha realizado para el 2030, ya que los resultados para el 2020 son cercanamente similares al 2030. En cuanto a la distribución espacial y valores promedios de temperatura y valores totales de lluvia, no se observan cambios muy significativos entre una década y otra (ver Tabla 8 y mapas).

Finalmente, estos escenarios proyectados constituyen herramientas técnicas para la toma de decisiones y planificación futura en la cuenca.

4.3.2.1 Escenarios proyectados a nivel anual

Los resultados del downscaling dinámico para la generación de escenarios son expresados en mapas anuales y estacionales al 2020 y 2030 (ver Apéndice 3) para la temperatura máxima, mínima y precipitación.

Asimismo, los mapas 1, 6, 17 y 22 y las tablas 8, 9, 10 y 11 muestran las proyecciones al 2020 y 2030 de las temperaturas (máxima y mínima) y los mapas 11 y 27 la variación de la temperatura máxima y mínima anual al 2020 y 2030 respecto al período 1983-2005. También detalles regionales aparecen en los mapas del área de estudio (cuenca del río Mayo).

Temperatura máxima al 2020-2030

El comportamiento espacial de la temperatura máxima proyectada al 2030 relativo al 2020, configura cambios en la distribución de las isoterma, principalmente en la zona media de la cuenca (al noreste y en Moyobamba), con aparición de nuevos núcleos de temperaturas cuyos rangos oscilarían entre 30 y 32 °C. (ver tabla 6 y mapas 1 y 6 - Apéndice 3). Estos cambios podrían estar relacionados con el uso del suelo, deforestación e incremento de la población, principalmente en la ciudad de Moyobamba.

Asimismo, al 2030 se proyecta cambios positivos (anomalías positivas) de temperatura máxima del aire anual en toda la cuenca a razón de +0,9 a +1,2 °C. (ver mapa 11 – Apéndice 3 y tabla 9). Estos cambios afectarían las localidades de Naranjos, ubicada al noroeste de la cuenca (margen derecha del río Mayo), Tarapoto y Juan Guerra, ambas situadas al sureste de la cuenca (margen izquierda del río Mayo).

Tabla 8. Escenario de Temperatura máxima anual y cambios proyectados al 2030 en °C.

Regiones	Cuencas	Promedio Anual al 2020°C	Promedio Anual al 2030°C	Cambios proyectados al 2030°C
Alto Mayo	Alta	14-20	14-20	+1,0 +1,2
	Media	22-32	22-32	+0,9 +1,1
Bajo Mayo	Baja	24-34	26-34	+0,9 +1,2

Temperatura mínima al 2020-2030

La temperatura mínima promedio anual para el 2030, respecto al 2020, presentaría ligeros cambios en su distribución mas no en sus cantidades en toda la cuenca (ver tabla 10, mapas 17 y 22 – Apéndice 3). Núcleos de temperaturas con valores de 20-22 °C se observarían en la cuenca baja, en ambas décadas y valores mínimos de temperatura 2- 4 °C serían percibidos en la zona noroeste de la cuenca (cuenca alta) o al noroeste y oeste de la localidad de Vista Alegre.

Al respecto, se proyectan al 2030 cambios positivos (anomalías positivas) de la temperatura mínima del aire anual en toda la cuenca a razón de +0,2 a +0,7 °C, valores ligeramente inferiores a los cambios en la temperatura máxima (ver mapa 27 – Apéndice 3 y tabla 10). Las localidades que podrían estar afectadas, a razón del incremento de las temperaturas mínimas, serían Tarapoto y Juan Guerra.

Tabla 9. Escenario de temperatura mínima anual y cambios proyectados al 2030 en °C.

Regiones	Cuencas	Promedio Anual al 2020 °C	Promedio Anual al 2030 °C	Cambios proyectados al 2030 °C
Alto Mayo	Alta	2-12	2-12	+0,2 +0,4
	Media	12-20	12-20	+0,2 +0,5
Bajo Mayo	Baja	14-22	14-22	+0,3 +0,7

Precipitación al 2020-2030

Las precipitaciones totales anuales para estas dos décadas muestran valores muy similares entre sí, así como cantidades parecidas a sus promedios climáticos (mapas 33 y 38 – Apéndice 3). Estos escenarios futuros continúan presentando los grandes núcleos de las precipitaciones en la cuenca, similares a sus promedios, como las zonas ubicadas en la parte oriental del Bajo Mayo, con totales anuales de 2 000 mm, y en el Alto Mayo, sobre el lado oeste del río Mayo (Soritor), concentrando el núcleo de 1 800 mm.

La diferencia entre la década del 2020 y el 2030 se produce principalmente en la parte occidental del Alto Mayo, en la que se proyectan mayores precipitaciones para la década del 2020, alrededor de 200 mm adicionales. Esto se asociaría a un mayor incremento de vientos del este (mayor transporte de humedad) en la parte norte de la cuenca, que originaría mayores lluvias orográficas.

A nivel anual, el mapa 43 y Tabla 10 – Apéndice 3 muestran la variación porcentual de la precipitación para la década del 2030, con anomalías negativas, significando deficiencias entre -1 a -3%. Las menores variaciones porcentuales negativas se localizan al este de la cuenca, tanto del Bajo Mayo como del Alto Mayo y las mayores variaciones se ubican en la parte oeste del Bajo Mayo y en la parte noroeste del Alto Mayo. Estas cantidades negativas representarían valores de deficiencia ligera, pero debemos entender que interpretan el promedio de 10 años, lo cual ya es significativo si estimamos deficiencias para un período grande de años.

Tabla 10. Escenario de precipitación anual y cambios proyectados al 2030

Regiones	Promedio Anual al 2020 (mm)	Promedio Anual al 2030 (mm)	Cambios proyectados al 2030 (%)	Localidades Principales de mayores cambios
Bajo Mayo	900-2000	900-2000	0 - -3	Zona oeste
Alto Mayo	1000-1800	900-1800	0 - -3	Zona noroeste

Este escenario de proyección del total anual de la precipitación al 2030 es consistente con los tres escenarios (mínimo, medio y máximo), proyectados mediante la regionalización estadística al 2030 para las lluvias en la cuenca.

4.3.2.2 Escenarios proyectados a nivel estacional

La temperatura máxima al 2020-2030 y sus anomalías proyectadas al 2030, la temperatura mínima del aire y sus cambios proyectados para el 2030 y la precipitación son mostradas en los mapas 2-5, 7-10 y 12-15– Apéndice 3; 18-21, 23-26 y 28-31 - Apéndice 3 y 34-37, 39-42 y 44-47– Apéndice 3 y en la Tabla 11, respectivamente, siendo éstos a nivel estacional.

Temperatura máxima al 2020-2030

La distribución espacial y valores de la temperatura máxima, proyectadas a nivel estacional al 2020 y 2030, mostrarían similitudes, principalmente en la estación de otoño (MAM) y primavera (SON) (ver mapas 3, 5, 8, 10 – Apéndice 3 y Tabla 11).

Asimismo, en verano (DEF) e invierno (JJA), los cambios en la distribución y cantidad son observados especialmente en la cuenca media al 2030, con valores que oscilarían entre 24 y 34 °C, y en relación al 2020, con 24 a 32 °C, en verano. En invierno las temperaturas al 2030 oscilarían entre 22 y 30 °C y en el 2020 entre 20 y 30 °C (ver mapas 2, 4, 7,9 – Apéndice 3 y Tabla 11).

Para el verano del 2030, las anomalías positivas se registrarían en todos los sectores de la cuenca, alcanzando valores hasta de +1,8 °C, principalmente en la zona baja (Tarapoto, Cacatachi, Zapatero y Juan Guerra). Para el otoño (MAM) del 2030 se proyectan anomalías positivas que llegarían hasta +1,1 °C (Tarapoto y Juan Guerra). En la primavera (SON) se observan anomalías de mayor calentamiento de hasta +2,1 °C en la región alta (Naranjos) y baja de la cuenca del río Mayo (al este de las localidades de Tarapoto y Juan Guerra). Ver mapas 12, 13, 15 – Apéndice 3 y Tabla 11.

En invierno se evidencian débiles anomalías de enfriamiento de -0,2 °C, en gran parte de la cuenca, principalmente en las zonas media y baja (localidades de Soritor, Rioja, Posic, Yuracyacu, Calzada, Habana, Moyabamba, Jepelacio y Shapaja, Pinto Recodo, Tabalosos, Lamas, Cacatachi, Zapatero y Juan Guerra), que probablemente estarían asociados a circulaciones frías de gran escala en la región (incursión de friajes). Ver mapa 14 – Apéndice 3 y Tabla 11.

Tabla 11. Escenario de la temperatura máxima estacional y cambios proyectados al 2030 en °C.

Regiones	Zonas		Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	△	Prom	△	Prom	△	Prom	△
Alto Mayo	Alta	2020	14-22		14-20		12-20		14-24	
		2030	14-22	1,3 - 1,7	14-20	0,7 - 1	12-20	-0,1 - 0	14-24	1,7 - 2,1
	Media	2020	24-32		22-32		20-30		24-34	
		2030	24-34		22-32	0,5 - 1	22-30	-0,2 - 0	24-34	1,8 - 2,0
Bajo Mayo	Baja	2020	26-36		24-34		24-32		26-36	
		2030	26-36	1,5 - 1,8	24-34	0,7 - 1,1	24-32	-0,2 - -0,1	26.36	1,7 - 2,1

Temperatura Mínima 2020-2030

Las temperaturas mínimas en el verano del 2030, en la cuenca del río Mayo, experimentarían cambios en su distribución y valor en las zonas media y baja, oscilando entre 12-22 °C, siendo el valor al 2020 de 12-20 °C (ver mapas 18, 23 y Tabla 13). Asimismo, en invierno del 2030 las temperaturas mínimas mostrarían un descenso en la cuenca baja, cuyos rangos se proyectarían de 12 a 20 °C y el 2020 de 12-22 °C (ver mapas 20, 25 y Tabla 12).

En el otoño, la distribución y el valor de la temperatura mínima no mostrarían cambios significativos de una década a otra (ver mapas 19, 24 y Tabla 10). En la primavera, el comportamiento espacial de la temperatura mínima, proyectada al 2030 relativo al 2020, mostraría cambios en la distribución de las isotermas en la zona baja de la cuenca (al noreste de la localidad de Zapatero), con ampliación del núcleo de temperaturas de rango 22-24 °C (ver Tabla 12 y mapas 21 y 26 - Apéndice 3).

En invierno, en gran parte de la cuenca se proyectan al 2030 anomalías negativas débiles entre -0,1 y -0,4 °C, relativo a los valores actuales (ver mapa 30 y Tabla 12), que estarían asociados a una débil intensificación de friajes en la región, principalmente en la zona media (localidades de Yuracyacu, Posic) y en la zona alta (al este de la localidad de Vista Alegre).

En tanto, en otoño (trimestre del período lluvioso) se observarían calentamientos en la cuenca a razón de +0,3 y +0,9 °C, con valores altos que serían registrados al norte de la localidad de Naranjos. En verano y primavera (período lluvioso de la cuenca) el calentamiento llegaría hasta en +0,7 y +1,2 °C respectivamente, siendo las localidades afectadas Tarapoto y Juan Guerra. Estos calentamientos estarían asociados probablemente a cielos con mayor cobertura nubosa y no necesariamente lluvia en esta región (ver mapas 28-31-Apéndice 3 y Tabla N° 12).

Tabla 12. Escenario de la temperatura mínima estacional y cambios proyectados al 2030 en °C.

Regiones	Zonas		Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
			Prom	△	Prom	△	Prom	△	Prom	△
Alto Mayo	Alta	2020	2-12		4-12		2-12		4-12	
		2030	2-12	0,1 - 0,3	4-12	0,5 - 0,9	2-12	-0,1 - -0,3	4-12	0,7 - 0,9
	Media	2020	12-20		12-22		12-20		12-20	
		2030	12-22	0,1 - 0,4	12-22	0,5 - 0,8	12-20	-0,1 - -0,4	12-20	0,6 - 0,9
Bajo Mayo	Baja	2020	14-22		14-22		12-22		14-24	
		2030	14-24	0,2 - 0,7	14-22	0,3 - 0,7	12-20	-0,2 - -0,1	14-24	0,8 - 1,2

Precipitación al 2020-2030

Según estudios, en el verano (DEF) del 2020 y 2030, las lluvias presentarían similar distribución espacial (mapas 34 y 39 – Apéndice 3) y semejantes cantidades de precipitación acumulada. En el Bajo Mayo las precipitaciones oscilarían entre 200 mm/trimestre hasta 600 mm/trimestre (hacia la parte este de esta zona), mientras que en el Alto Mayo las precipitaciones oscilarían entre 300 a 500 mm/trimestre (Soritor).

En el otoño (MAM), ambas décadas (2020 y 2030) mostrarían similar distribución al verano, indicando que este trimestre es también lluvioso, especialmente en el Bajo Mayo, con precipitaciones entre 300 y 700 mm/trimestre, mientras que el Alto Mayo presenta iguales precipitaciones en el verano entre 300 y 500 mm/trimestre. Los mapas 35 y 40 muestran estas características. La única diferencia en ambas décadas está en la parte noroccidental del Alto Mayo, en la cual para la década del 2030 se presentaría con mayores precipitaciones (100 mm adicionales).

En el invierno (JJA), ambas décadas son parecidas en la distribución de las precipitaciones (mapas 36 y 41). Según observaciones, el comportamiento de las precipitaciones es similar a su climatología, o sea, menores precipitaciones en el Alto mayo, con valores entre 100 y 200 mm/trimestre, mientras que en el Bajo Mayo estas varían entre 100 y 500 mm/trimestre. Este comportamiento se debe a que la Zona de Convergencia Intertropical se encuentra en su posición más al norte, con lo cual hay disminución de precipitaciones.

En la primavera (SON) en el Bajo Mayo las precipitaciones son similares respecto al invierno, pero se incrementan en el Alto Mayo asociado a un mayor transporte de humedad que ingresa a la cuenca, respecto al invierno. Los mapas 37 y 42 muestran las precipitaciones acumuladas para la primavera durante la década del 2020 y 2030, respectivamente. En el Bajo Mayo las precipitaciones oscilarían entre 200 y 500 mm/trimestre para la década 2020 y entre 300 y 500 mm/trimestre para la década del 2030. En el Alto Mayo, en ambas décadas las precipitaciones serían similares entre 200 a 400 mm/trimestre.

El mapa 40, muestra variaciones porcentuales negativas de mayor grado para el verano 2030, presentando valores entre -2 y -7%, respecto a sus promedios climáticos. Estas deficiencias a nivel de toda la cuenca sí representa una proyección negativa, ya que se presenta en la época de mayores lluvias, indicando que para esos años (2030), la cuenca presentaría mayores deficiencias de lluvia. Las mayores deficiencias se presentarían en el Bajo Mayo, sobre la parte oeste (6-7%), mientras que en el Alto Mayo, las mayores deficiencias se darían en la parte noroccidental (3-4%).

Las variaciones porcentuales de las precipitaciones para el otoño se muestran en el mapa 45. En esta estación astronómica el comportamiento de las lluvias cambia, mostrando en gran parte de la cuenca, especialmente en el Alto Mayo, incrementos de lluvia hasta en un 3% sobre sus promedios. En el Bajo Mayo, las variaciones son normales a positivas, con valores ligeros hasta de 1%, que se presentarían hacia la parte este.

En el invierno, las variaciones porcentuales se muestran, según se observa en el mapa 46, con valores normales en el Bajo y parte del Alto Mayo y deficiencias hasta de 2% en la parte norte del Alto Mayo.

Las anomalías de las precipitaciones para la primavera son mostradas en el mapa 47, indicando deficiencias en toda la cuenca, siendo más intensas en la parte noroeste del Alto Mayo (hasta -4%), y zona oeste del Bajo Mayo (-3%). Las menores deficiencias, hasta de 1%, se observan en la parte oriental de la cuenca (ver Tabla N° 13).

Tabla 13: Escenario de la precipitación y cambios proyectados al 2030

Regiones		Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
		Prom (mm)	△ (%)	Prom (mm)	△ (%)	Prom (mm)	△ (%)	Prom (mm)	△ (%)
Bajo Mayo	2020	200-600		300-700		100-500		200-500	
	2030	200-600	-2 - 7	300-700	0 - 1	100-500	0 - -1	300-500	-1 - -3
Alto Mayo	2020	300-500		300-500		100-200		200-400	
	2030	300-500	-2 - -4	300-500	0 - 3	100-200	-1 - -2	200-400	-1 - -4

4.3.2.3. Indicadores de Extremos Climáticos proyectados

Percentil 90 de la temperatura máxima

Según se muestra, el índice de extremo climático, variación del percentil 90, de la temperatura máxima para el 2030, está asociado a días muy cálidos, y significa que durante el período proyectado, los días muy cálidos estarán incrementándose, especialmente en la cuenca baja (El Porvenir) y cuenca media (Moyobamba) (ver mapa 16, Apéndice 3). En tanto, la tendencia actual de los días muy cálidos en la cuenca es nula.

Percentil 90 de la temperatura mínima

En la muestra (ver mapa 32, Apéndice 3) el índice de extremo climático, variación del percentil 90, de la temperatura mínima para el 2030, proyecta el aumento de noches con temperaturas mínimas superiores al percentil 90 y significa que para el 2030, los noches cálidas estarán paulatinamente incrementándose, principalmente en la cuenca media (Moyobamba) y cuenca baja (El Porvenir).

Percentil 95 de la precipitación

Según se observa, la variación porcentual de las precipitaciones del percentil 95 para la década del 2030, indican un cambio negativo en toda la cuenca (ver mapa 48 – Apéndice 3), lo que advierte que las precipitaciones intensas, caracterizadas por este percentil, tenderán a disminuir en el 2030. Comparadas a la tendencia actual, son consistentes debido a que la tendencia al 2030 indica la disminución de las lluvias en toda la cuenca.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se desarrolló en el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - CMNUCC, con el objetivo de apoyar los esfuerzos nacionales y definir medidas de adaptación y alternativas de políticas que enfrenten los impactos previstos por el cambio climático, a nivel nacional y en las cuencas de los ríos Santa y Mayo. En este informe se presentan los "Escenarios climáticos en la cuenca del río Mayo para el año 2030", en cuya área de influencia se alberga una diversidad de ecosistemas que lo hacen particularmente especial para el desarrollo de la flora y fauna, y se constituye en una de las regiones amazónicas del país y como tal desempeña un papel importante en el ciclo del carbono planetario, y es considerada una de las regiones de gran riesgo desde el punto de vista de influencia del cambio climático.

De acuerdo con este estudio, se plantean dos objetivos: el primero, detectar los cambios climáticos, caracterizando las tendencias climáticas e índices de extremos climáticos y analizando las sequías como extremo climático, teniendo como base los datos históricos observados en la cuenca, en el período 1965 - 2006. El segundo objetivo, estimar las proyecciones futuras del clima al 2030 en la cuenca, aplicando técnicas de downscaling estadístico y dinámico.

El estudio consta de cinco capítulos, en el primero se hace una revisión del panorama actual del cambio climático a nivel global y se analiza las proyecciones climáticas hasta finales del siglo XXI. En el Capítulo 2, se realiza una descripción de la ubicación geográfica de la cuenca, características y clasificación climática.

Asimismo, en el Capítulo 3 se analiza y discuten los resultados presentados en el documento nacional, pero a nivel de la cuenca. En ese sentido, este Capítulo constituye la base de la variabilidad del clima y extremos climáticos actuales en la cuenca del río Mayo.

En lo referente al Capítulo 4, se elabora los escenarios climáticos futuros para la cuenca, mostrando las proyecciones de cambio climático para el 2020 y 2030 en base al clima medio (1983-2003) y se analizan los extremos climáticos percentil 90 de la temperatura y percentil 95 de la precipitación para el 2030. También se describe la metodología de las técnicas de downscaling estadístico y dinámico, aplicados en la elaboración de proyecciones climáticas del futuro.

Es importante resaltar que en los Capítulos 3 y 4 se consideran los aspectos de incertidumbre, derivados de la escasa información climática disponible en la cuenca y de los procesos seguidos para generar la información proyectada. Las incertidumbres son reducidas incorporando métodos estadísticos, dinámicos y conceptuales para dar mayor consistencia a los resultados proyectados.

En el presente Capítulo, se presentan el resumen, las conclusiones y recomendaciones del estudio.

A continuación presentamos las principales conclusiones y recomendaciones del estudio:

5.1 Sobre las tendencias del clima actual

Los cambios en la precipitación, ocurridos durante el período de estudio 1965-2006, son más regionales y están asociados a factores orográficos locales, particularmente en la zona entre Pacaysapa y Tabalosos. Por otro lado, el Bajo Mayo y el Alto Mayo parecen tener un comportamiento diferente y bastante regional, donde los aspectos locales tienen menor preponderancia que en la zona de Pacaysapa.

Las tendencias de las precipitaciones anuales en los últimos 40 años han mostrado tendencias positivas en gran parte de la cuenca, especialmente en localidades como Tabalosos con +40 y +50% y Pacaysapa con +90 y +110% respecto a su promedio, ambas con significancia estadística.

A nivel estacional, tanto la primavera y el otoño tienen patrones similares con tendencias ligeras decrecientes de lluvias en la cuenca, a excepción de Tabalosos con +20 a +30% y Pacaysapa entre +90 y +100% con significancia estadística. En el verano el aumento de lluvias es menor a +40%, siendo importantes en Moyobamba con +40% y Pacaysapa con +120%. En invierno, gran parte de la cuenca presenta tendencia decreciente en las lluvias y los valores son significativos estadísticamente en Rioja, los que oscilan entre -30 a -40%. En tanto, Pacaysapa presenta aumento de lluvias hasta en +90%.

Las temperaturas máximas en el Bajo Mayo y el Alto Mayo presentan tendencias opuestas con altas variabilidades interanuales en todas las estaciones del año y son afectadas por los eventos cálidos del ENOS a lo largo del año, principalmente por los más intensos. En el Bajo Mayo el incremento de las temperaturas máximas anuales (El Porvenir) ha sido de +0,43 °C/década, mientras que en el Alto Mayo (Moyobamba) el decrecimiento fue de -0,25 °C/década.

En lo referente a las temperaturas mínimas, presentan tendencias positivas graduales y fueron afectadas por los eventos ENOS, principalmente los ocurridos en la década de 1970, que dañaron todas las estaciones del año. En los últimos 40 años, en las localidades ubicadas en el Bajo y Alto Mayo, los incrementos fueron de +0,22 °C/década y de +0,48 °C/década, respectivamente.

Las tendencias de incremento de las temperaturas máximas son más intensas en primavera (+0,52 °C/década) y verano (+0,47 °C/década) en el Bajo Mayo, mientras que las temperaturas mínimas son más intensas en el verano (+0,57 °C/década) y otoño (+0,53 °C/década) en el Alto Mayo.

En relación a los índices de extremos climáticos de la precipitación, existe una regionalización diferente entre el Bajo Mayo y el Alto Mayo, separados por la región de Pacaysapa, donde los riesgos, debido a los extremos climáticos, son potencialmente mayores.

Los sistemas de gran escala presentan teleconexiones bien diferenciadas entre el Bajo y Alto Mayo y, con actuación distinta durante el período lluvioso. El ENOS y PDO actúan en forma casi inversa sobre la cuenca, especialmente en la primavera, pues con un evento como El Niño hay menor riesgo de sequías en la cuenca, contrariamente con una fase cálida del PDO. En otoño, ambos índices actúan casi en la misma dirección con riesgos de sequías mayormente en la cuenca. En el verano hay diferencias en ambos índices, ya que con una fase cálida de PDO no se registran sequías en la cuenca mientras que con un fenómeno como El Niño, el riesgo de sequías es mayor en el Alto Mayo. Estas teleconexiones son debido a factores que generan la precipitación en la cuenca, que en gran medida son condicionadas por lo que sucede en el Pacífico y que modulan las posiciones de algunos sistemas generadores de las precipitaciones (Alta de Bolivia, Zona de Convergencia del Atlántico sur, entre los principales), de este modo afectan la entrada de frentes fríos y producen impactos en el Perú. Pero el gradiente de temperaturas del Atlántico tropical actúa en el mismo sentido sobre toda la cuenca, probablemente el flujo de humedad es mucho más homogéneo sobre toda la cuenca durante el período lluvioso.

Las sequías registradas en esta cuenca son pocas, principalmente se producen a nivel moderado en las escalas mensual y trimestral, pero llegan a alcanzar índices extremos en la escala anual. También se observa que las sequías no están directamente moduladas por los eventos ENOS, a excepción del evento de 1991/92, el cual presentó sequías en las tres escalas temporales, el evento cálido de 1982/83 no causó sequías, sino al contrario, anomalías positivas de precipitación. Asimismo, estos dos eventos cálidos del ENOS están relacionados con oscilaciones bienales muy intensas y las variaciones interanuales de sequías están relacionadas con las oscilaciones del ciclo hidrológico, justificado por las oscilaciones intra-anales.

5.2 Sobre las proyecciones del clima al 2030

Según investigaciones realizadas, se proyectan cambios hasta +1,2 °C en las temperaturas máximas al 2030, principalmente en las zonas baja y alta de la cuenca del río Mayo. Estos cambios alcanzan +0,7 °C en las temperaturas mínimas al 2030, principalmente en la zona baja. El aumento de la temperatura en el futuro cercano (2030) guarda consistencia con la tendencia actual observada en la cuenca.

Los mayores cambios o anomalías se proyectan en la estación de primavera en las temperaturas máximas en el orden de +2 °C y en la temperatura mínima de +1,2 °C.

Asimismo, las precipitaciones para las décadas del 2020 y 2030 registrarían valores muy similares, tanto a nivel anual como estacional. Diferencias muy ligeras se presentarían en la distribución espacial.

También los resultados del downscaling estadístico proyectan una disminución ligera de las precipitaciones al 2030 para la cuenca, las que estarían asociadas al calentamiento de las TSM en la parte ecuatorial subtropical de ambos océanos (Pacífico y Atlántico) para el año 2030. Esta premisa se desprende de la regionalización estadística, lo que demuestra que el calentamiento es más determinante para las deficiencias de las precipitaciones en la cuenca, aunado a ello la posición de la zona de convergencia intertropical.

Los cambios proyectados o anomalías de la precipitación para el 2030, según la metodología del downscaling dinámico, son deficiencias de la precipitación hasta un -3% en el nivel anual, hasta un -7% en el verano, y entre -2 y -4% en invierno y primavera. Solo en el otoño las precipitaciones se proyectan normales a ligeramente positivas hasta un +3%.

Es de resaltar que los resultados de las metodologías de downscaling utilizados (estadística y dinámica) son convergentes en la proyección al 2030 de la disminución ligera de la precipitación anual en el área de influencia de la cuenca del río Mayo. Esta tendencia en los últimos 40 años es positiva en gran parte de la cuenca.

En relación a los Indicadores de Extremos Climáticos futuros (2030), los días muy cálidos tenderían a incrementarse, especialmente en la cuenca baja (El Porvenir) y cuenca media (Moyobamba). En tanto, la tendencia actual de los días muy cálidos en la cuenca es nula.

Igualmente, las noches cálidas estarían paulatinamente incrementándose, principalmente, en la cuenca media (Moyobamba) y cuenca baja (El Porvenir), siendo la localidad de El Porvenir, ubicada en la zona baja de la cuenca, la más consistente con la tendencia actual.

Las precipitaciones intensas tenderían a disminuir en el 2030 y comparadas con la tendencia actual, son consistentes, ya que indican la disminución de las lluvias intensas en toda la cuenca.

Recomendaciones

Los resultados del presente estudio deben ser tomados como una aproximación del clima actual, considerando las limitaciones de la información histórica disponible, restringiéndose las conclusiones a la parte media y baja de la cuenca, y como una aproximación del clima futuro, debido a que existen incertidumbres inherentes al modelo y a las proyecciones climáticas.

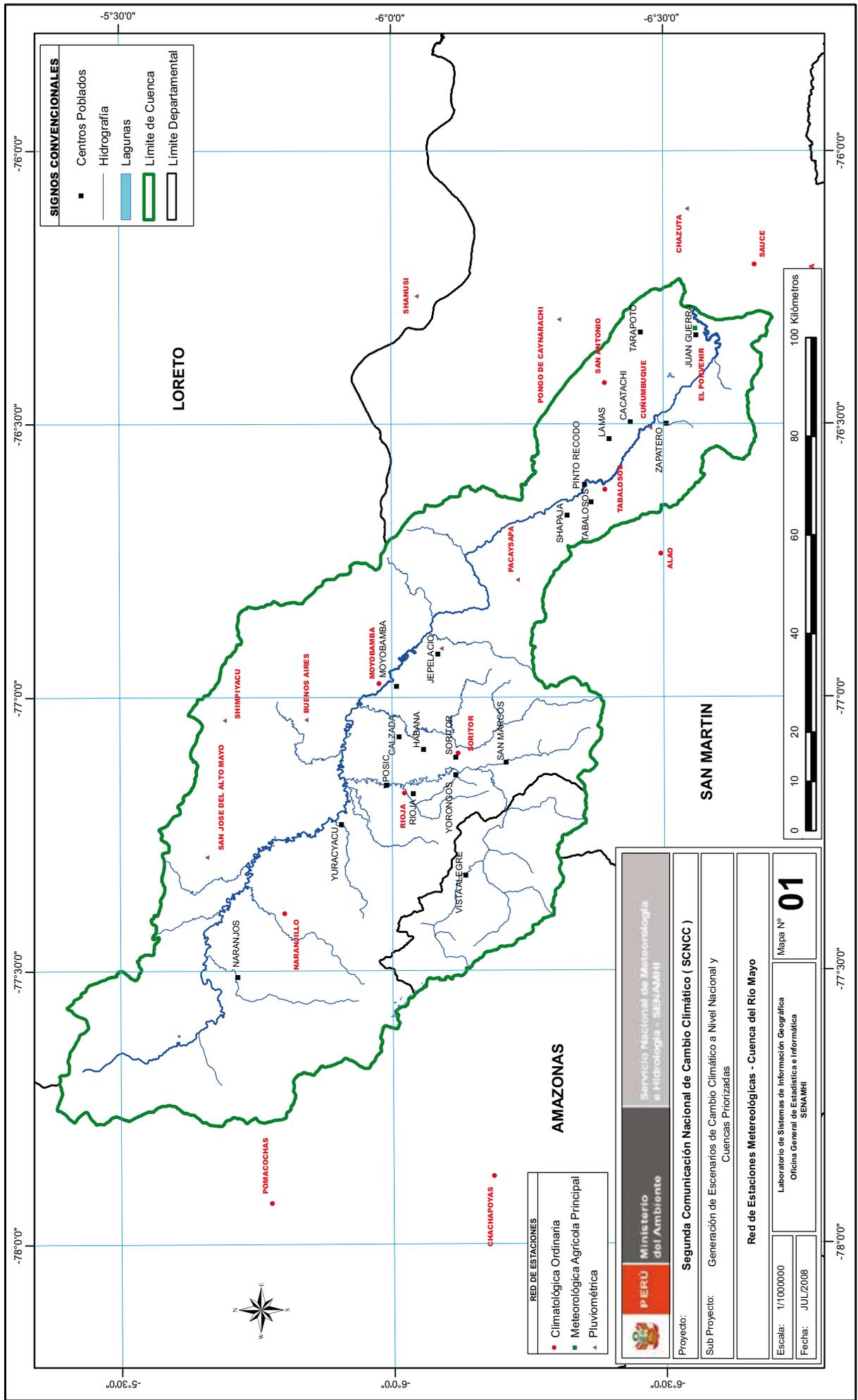
BIBLIOGRAFÍA

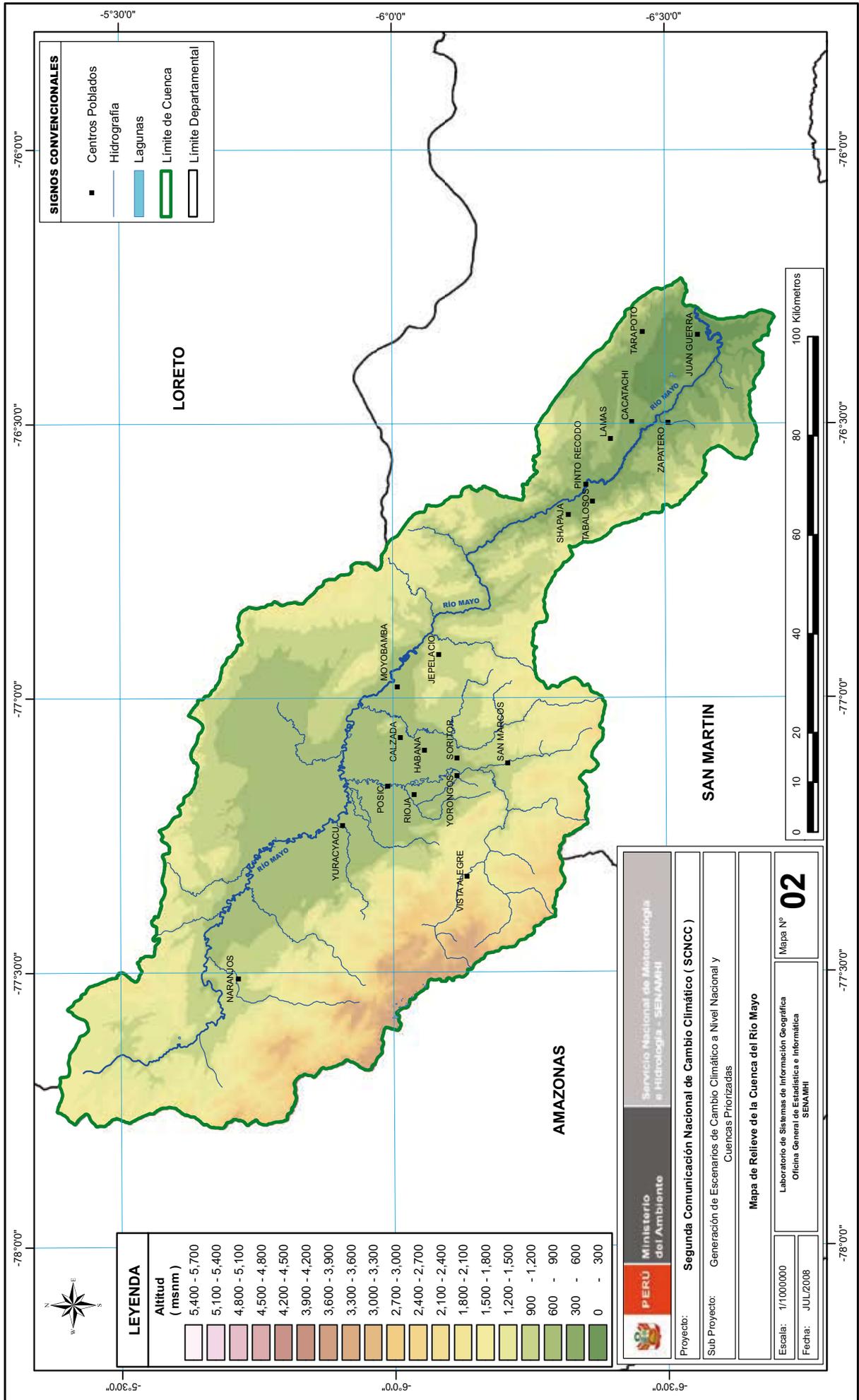
1. Frich P. Alexander L.V.; Della-Marta P. Gleason B. Haylock M. Tank AMGK and Peterson T. 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
2. Hewitson, B.C. and R.G. Crane, 1996. Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, 7, 85-95.
3. Hirsch, R.M.; Slack, J.R.; Smith, R.A. (1982). "Nonparametric tests for trend in water quality". *Water Resources Research*, 18: 107-121.
4. Hulme, Mike y Lu, Xianfu , 2000. How to Factor Interannual Climate Variability into Climate Scenarios. A note prepared for the DETR Fast-Track Impacts Group.
5. Hyndman, R.J. y Y. Fan, 1996. "Sample quantiles in statistical packages". *The American Statistician*, 50, 361-367.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Climate Change 2007a: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers, Working Group 1 IPCC, Geneva, 2007.*
7. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Climate Change 2007b: Impacts and Vulnerability, Summary for Policy Makers, Working Group 2 IPCC, Geneva, 2007.*
8. INRENA (2008), Bosque de Protección Alto Mayo. 255 p.
9. Lenderink, G. et al. (2007). "Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach". *Hydrology & Earth System Sciences*, 1145 - 1159.
10. Proyecto Regional "Cuencas Andinas" (CONDESAN-REDCAPA-GTZ) 2004. Análisis Socio-Económico y Ambiental de la cuenca de Alto Mayo. Programa Rural Sostenible - Sede Moyobamba (PDRS-GTZ); Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM). Perú. 230 p.
11. Mckee,T.B.; Doesken, N.J. e Kleist,J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on applied Climatology, 8, 1993, Boston. American Meteorological Society, Boston: PREPRINTS, 1993. p.179 - 184.
12. Mckee, T.B.; Doesken, N.J. e Kleist,J. Drought monitoring with multiple times scales. In: Conference on applied Climatology, 9, 1995, Boston. American Meteorological Society, Boston: PREPRINTS, 1995. p. 233 - 236.
13. MINEM, 1998. Estudio de evaluación ambiental territorial y de planeamiento para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Mayo.
14. Nakicenovic, N. and Swart, R., 2000. Emissions Scenarios. 2000, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
15. Nobre, C.A.; Sampaio G. y Salazar, L.F. (2007). Mudanzas climáticas y Amazonía. *Ciencia y Cultura (SBPC)*, v. 59, p. 22-27.
16. Pielke, R.A.; Cotton, W.R.; Walko, R.L.; Tremback, C.J.; Lyons, W.A.; Grasso, L.D.; Nicholls, M.E.; Moran, M.D.; Wesley, D.A.; Lee, T.J. and Copeland, J.H.: A comprehensive meteorological modeling system - RAMS. *Meteor. Atmos. Phys.*, 49, (1992), p. 69-91.
17. Pouyaud, B. et al. 1999. Glaciares y Recursos Hídricos en la cuenca del río Mayo.
18. Salazar, L.F., (2008). El Cambio Climático y la Amazonía. *Foro ambiental*, p. 9.
19. Schoalze, M., Knorr W., Arnell N.W. y Pretince I.C. (2006), A climate-change risk analysis for world ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103: 13116-13120.
20. Sen, P.K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
21. SENAMHI y OSE, 1986. Boletín agroclimático del Perú. Proyecto PADI - EIA. Características climáticas por Departamentos.
22. SENAMHI y OSE, 1985 - 1990. Informe decadal de la evaluación del impacto agroclimático en el Perú.
23. SENAMHI, et al. 2005. Caracterización climática de la cuenca del río Piura. Programa de Cambio Climático y Calidad del Aire (PROCLIM).
24. SENAMHI, 2005. Climate change scenarios in Peru: Piura river basin.
25. 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.

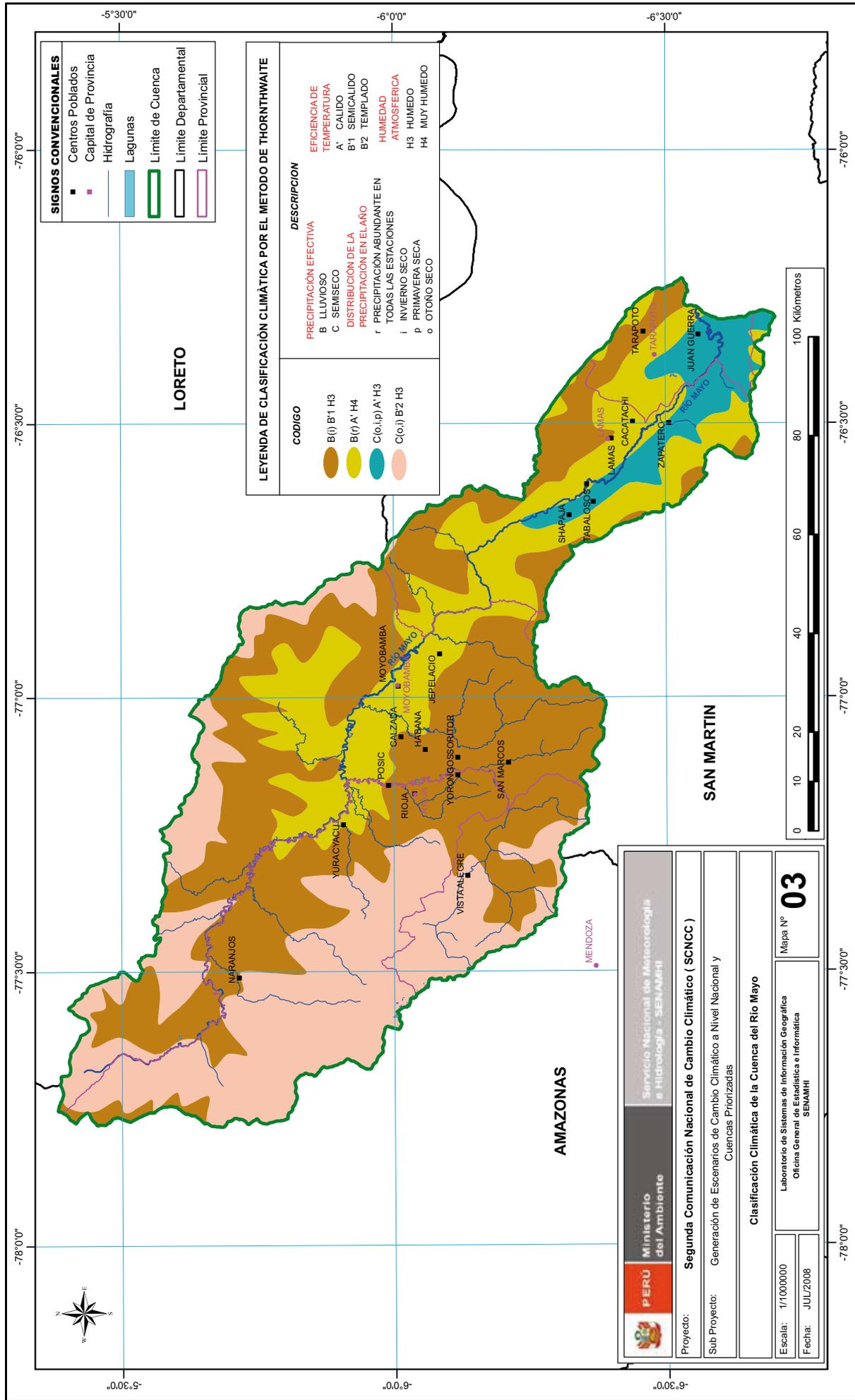
APÉNDICE 1

RED HIDROMETEOROLÓGICA MAPAS DE RELIEVE Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

N° de mapa	Nombre de mapa
Mapa N° 1	Red de estaciones meteorológicas
Mapa N° 2	Mapa de relieve de la cuenca
Mapa N° 3	Mapa de clasificación climática



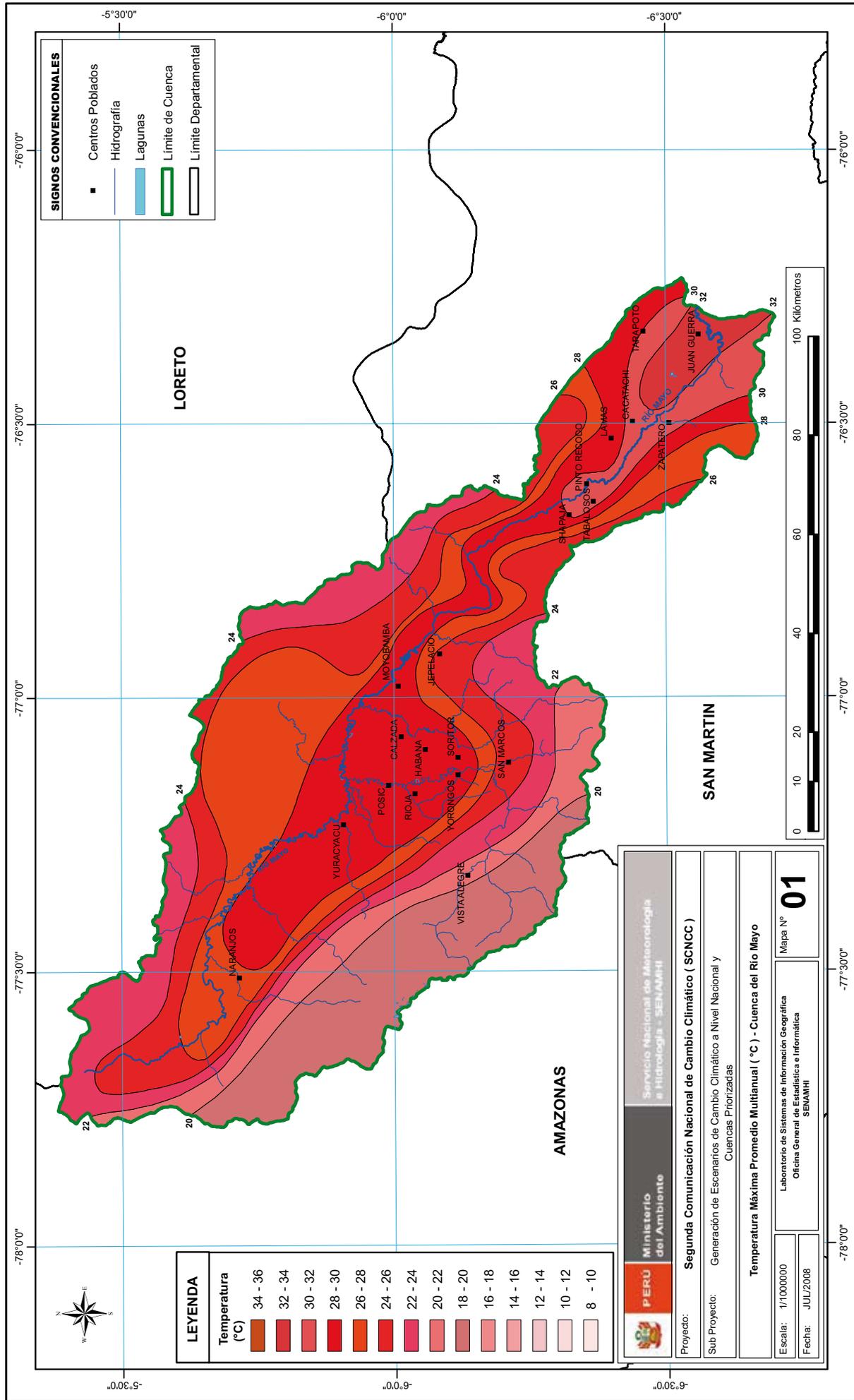


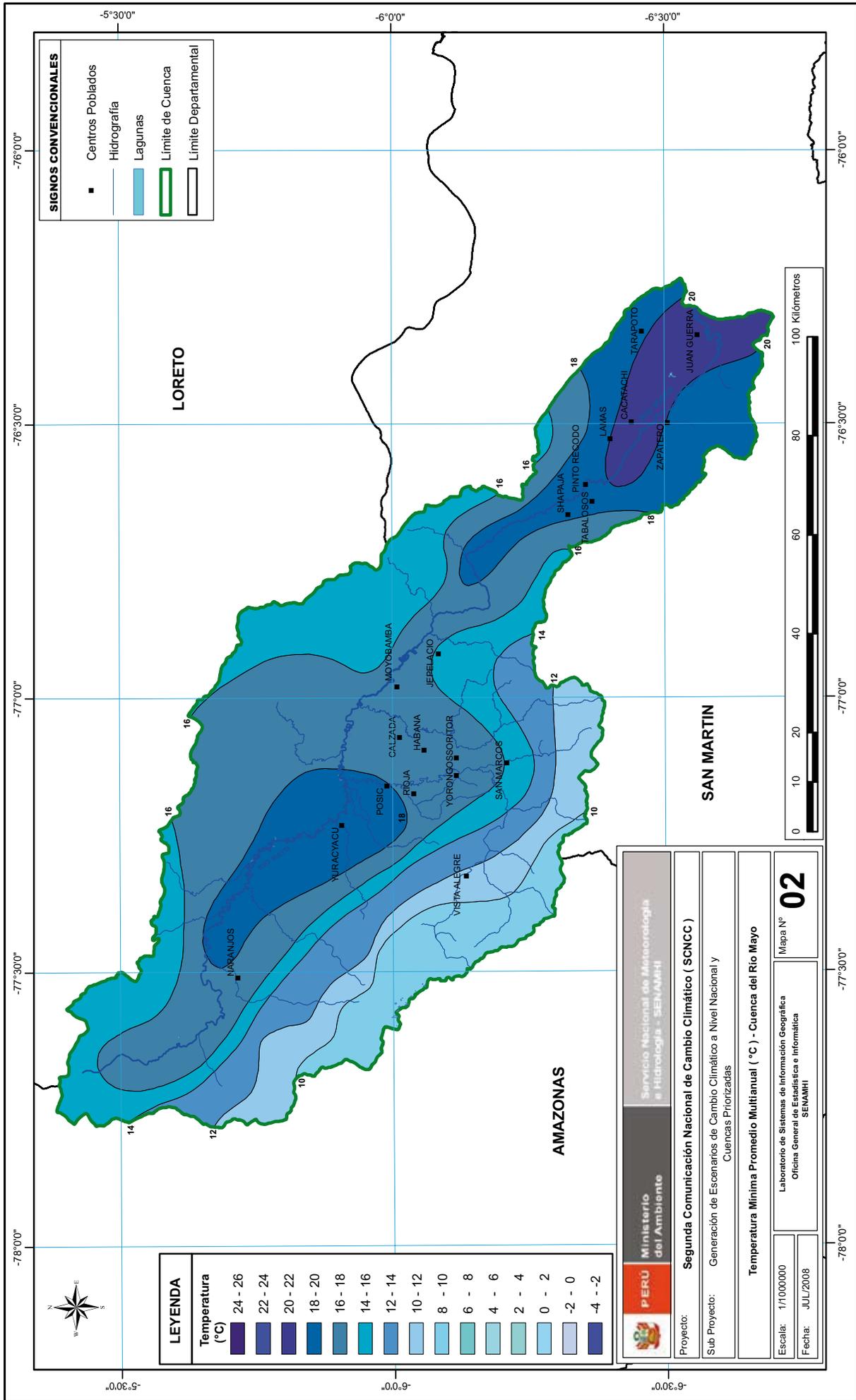


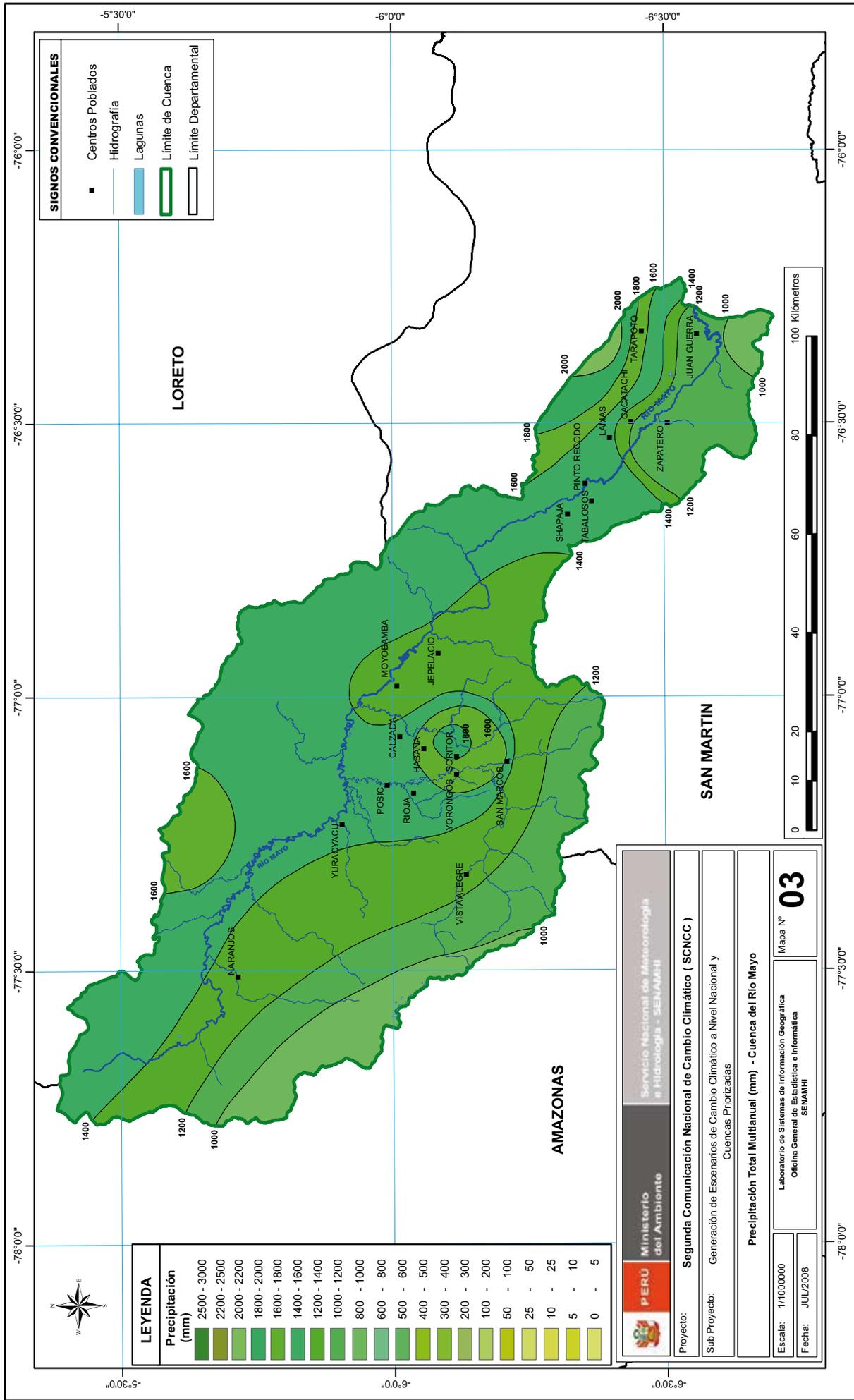
APÉNDICE 2

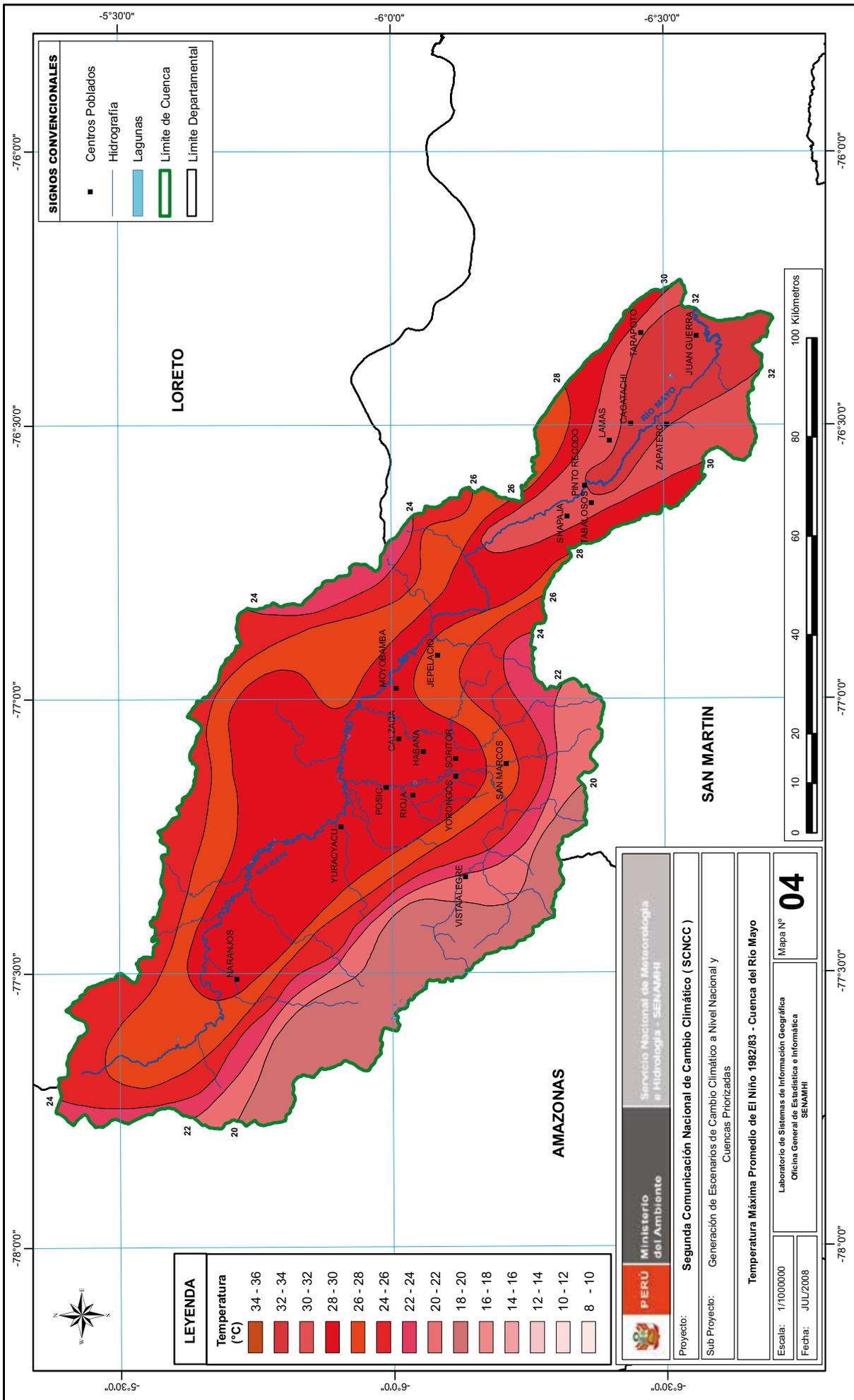
MAPAS DE PROMEDIOS MULTIANUALES EVENTOS EXTREMOS Y TENDENCIAS ACTUALES

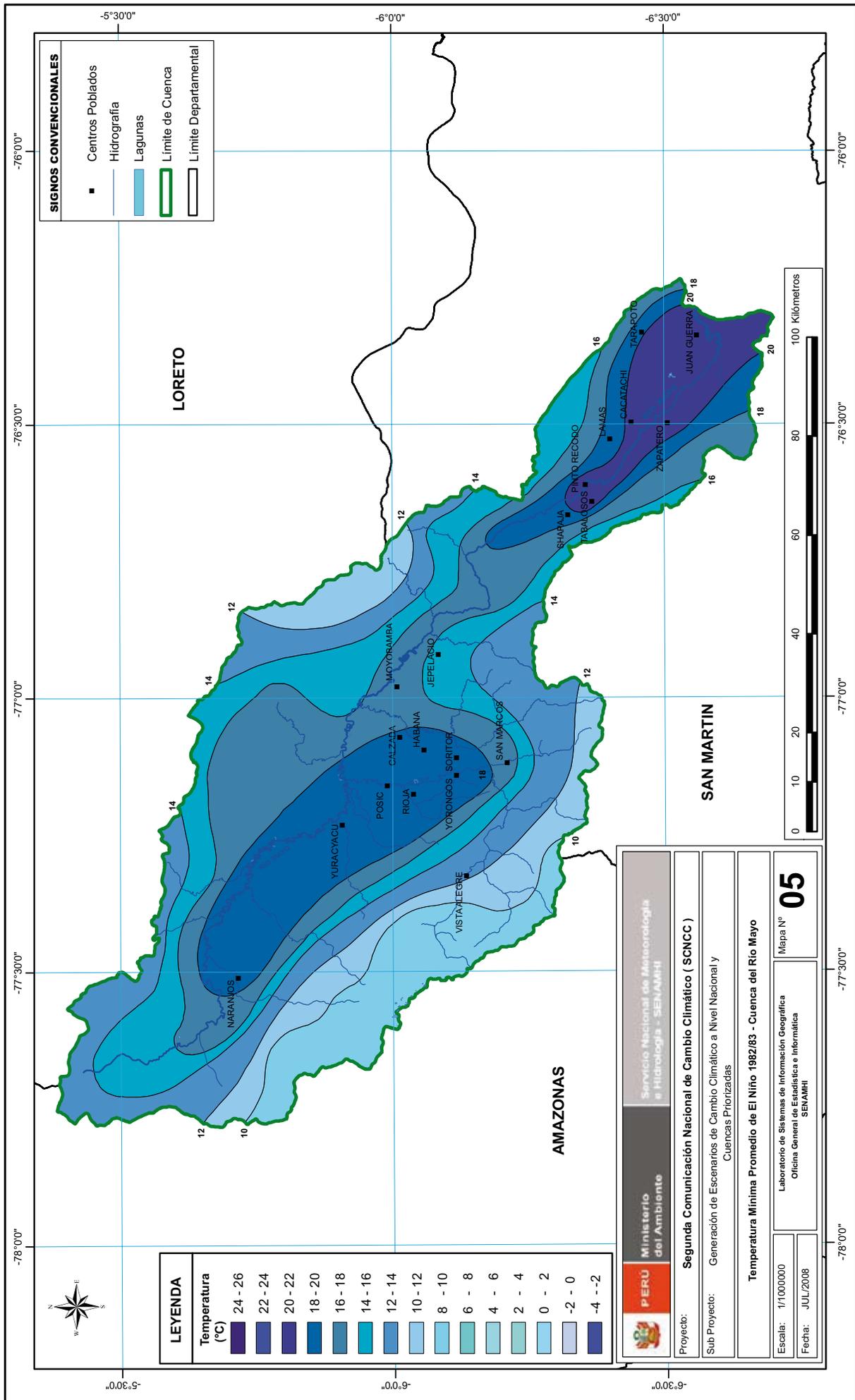
N° de mapa	Nombre de mapa
Mapa N° 1	Temperatura máxima promedio multianual (°C)
Mapa N° 2	Temperatura mínima promedio multianual (°C)
Mapa N° 3	Precipitación total multianual (mm)
Mapa N° 4	Temperatura máxima promedio 1983 (El Niño 1982/83) (°C)
Mapa N° 5	Temperatura mínima promedio 1983 (1982/83) (°C)
Mapa N° 6	Precipitación acumulada setiembre 1982 a abril 1983 (El Niño 1982/83) (mm)
Mapa N° 7	Temperatura máxima promedio 1988 (La Niña 1988/89) (°C)
Mapa N° 8	Temperatura mínima promedio 1988 (La Niña 1988/89) (°C)
Mapa N° 9	Precipitación acumulada setiembre 1988 a abril 1989 (La Niña 1988/89) (mm)
Mapa N° 10	Temperatura máxima promedio 1997 (El Niño 1997/98) (°C)
Mapa N° 11	Temperatura mínima promedio 1997 (1997/98) (°C)
Mapa N° 12	Precipitación acumulada setiembre 1997 a abril 1998 (El Niño 1997/98) (mm)











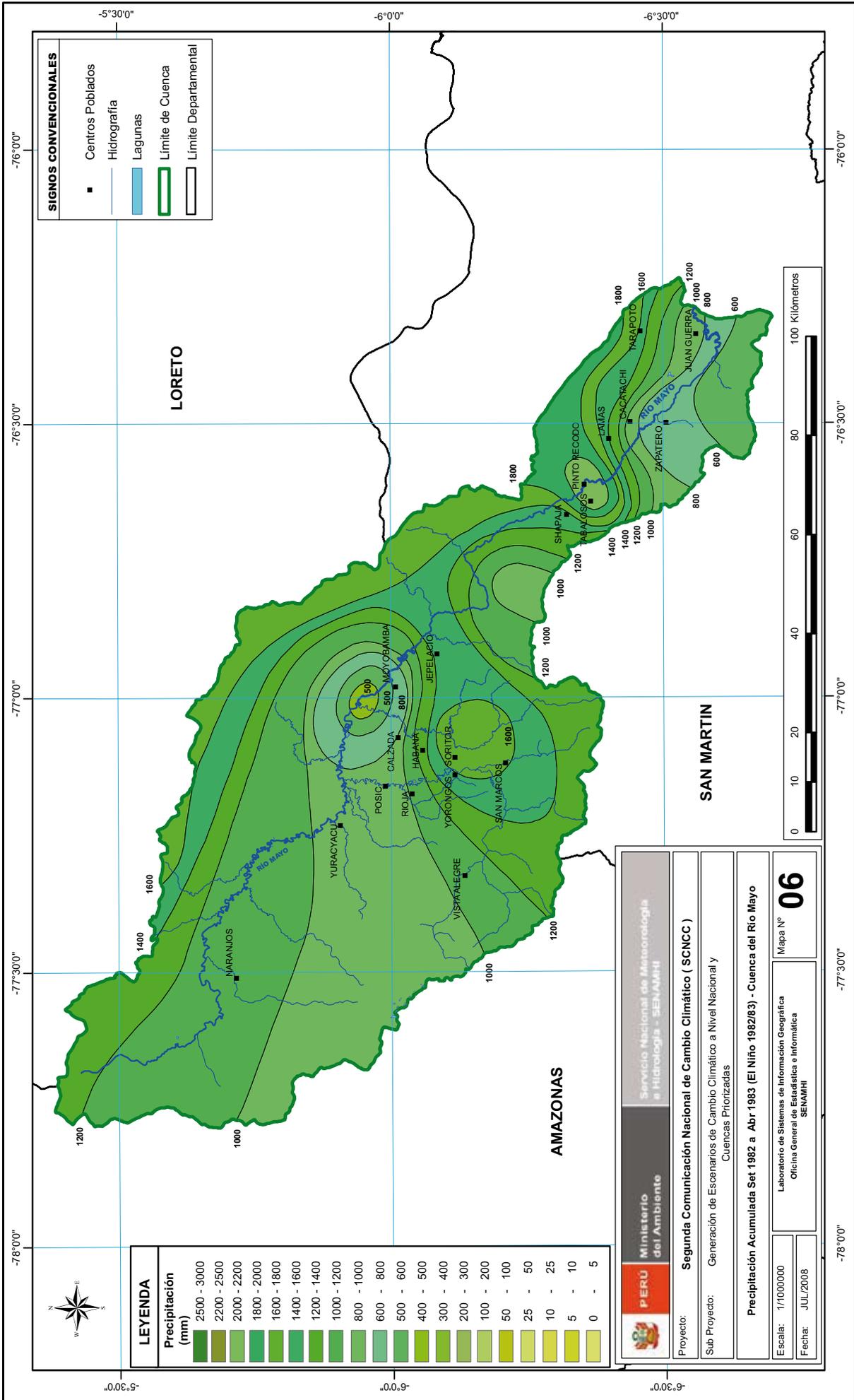
SIGNOS CONVENCIONALES

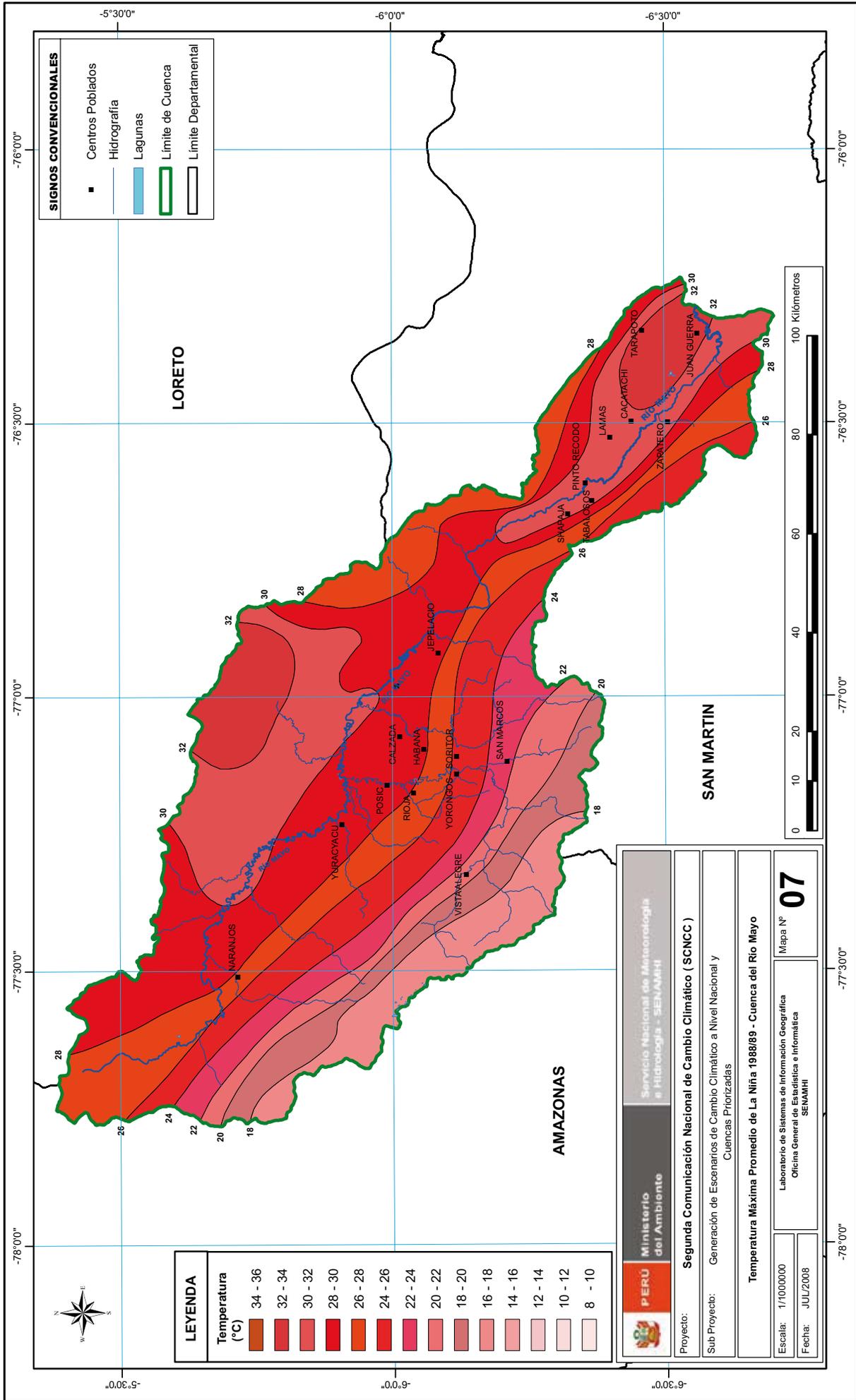
- Centros Poblados
- Hidrografía
- Lagunas
- Límite de Cuenca
- Límite Departamental

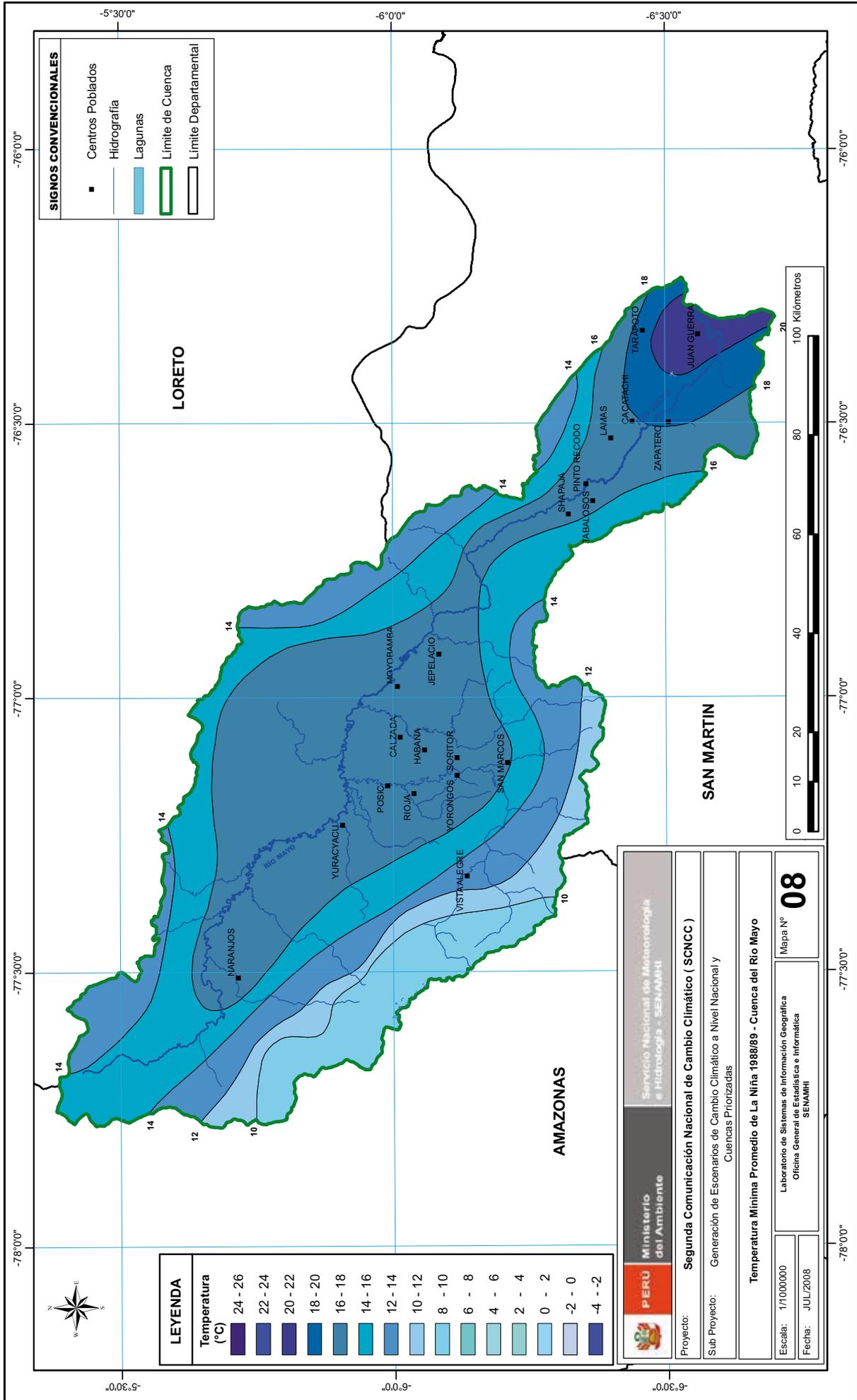
LEYENDA

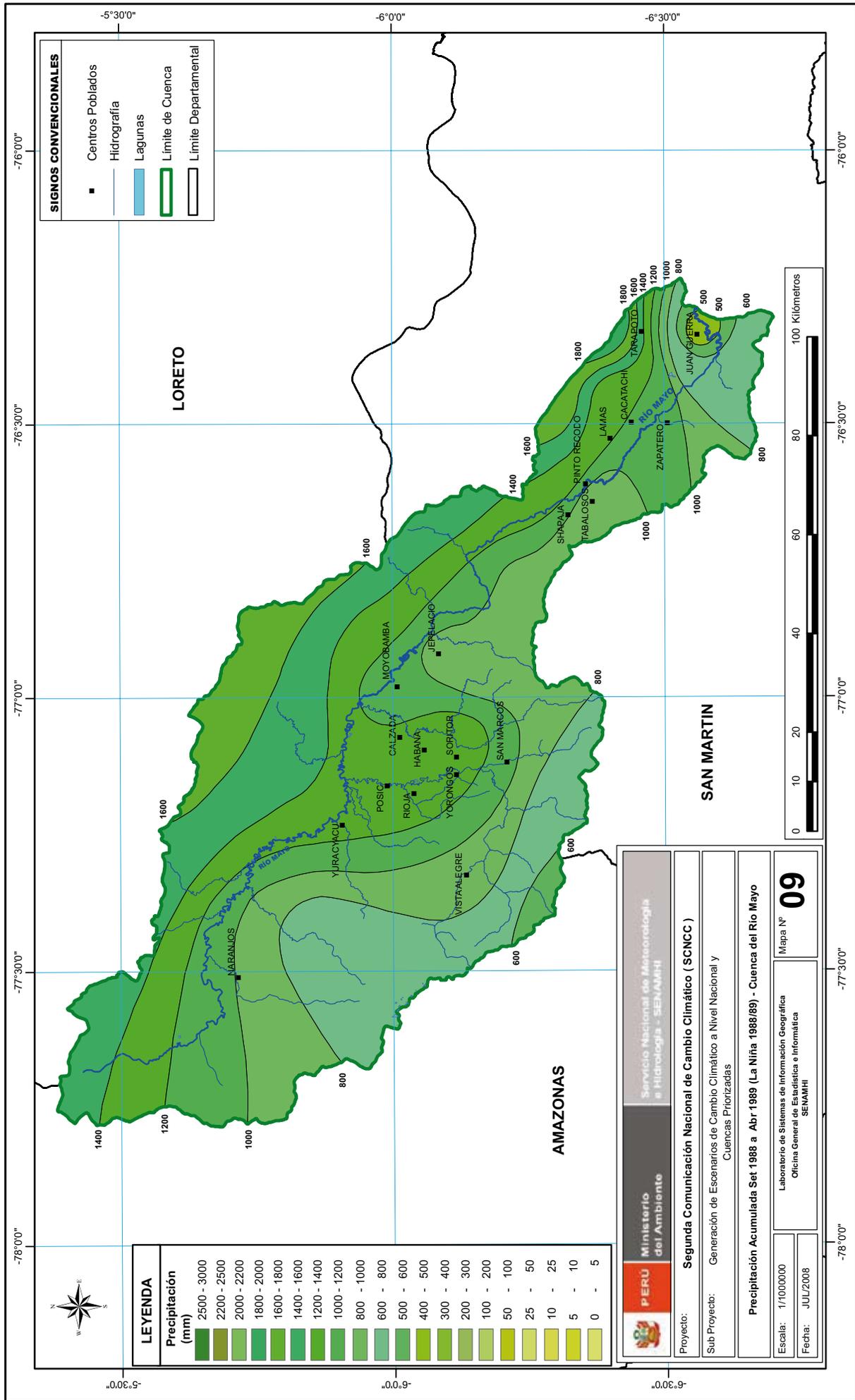
Temperatura (°C)
24 - 26
22 - 24
20 - 22
18 - 20
16 - 18
14 - 16
12 - 14
10 - 12
8 - 10
6 - 8
4 - 6
2 - 4
0 - 2
-2 - 0
-4 - -2

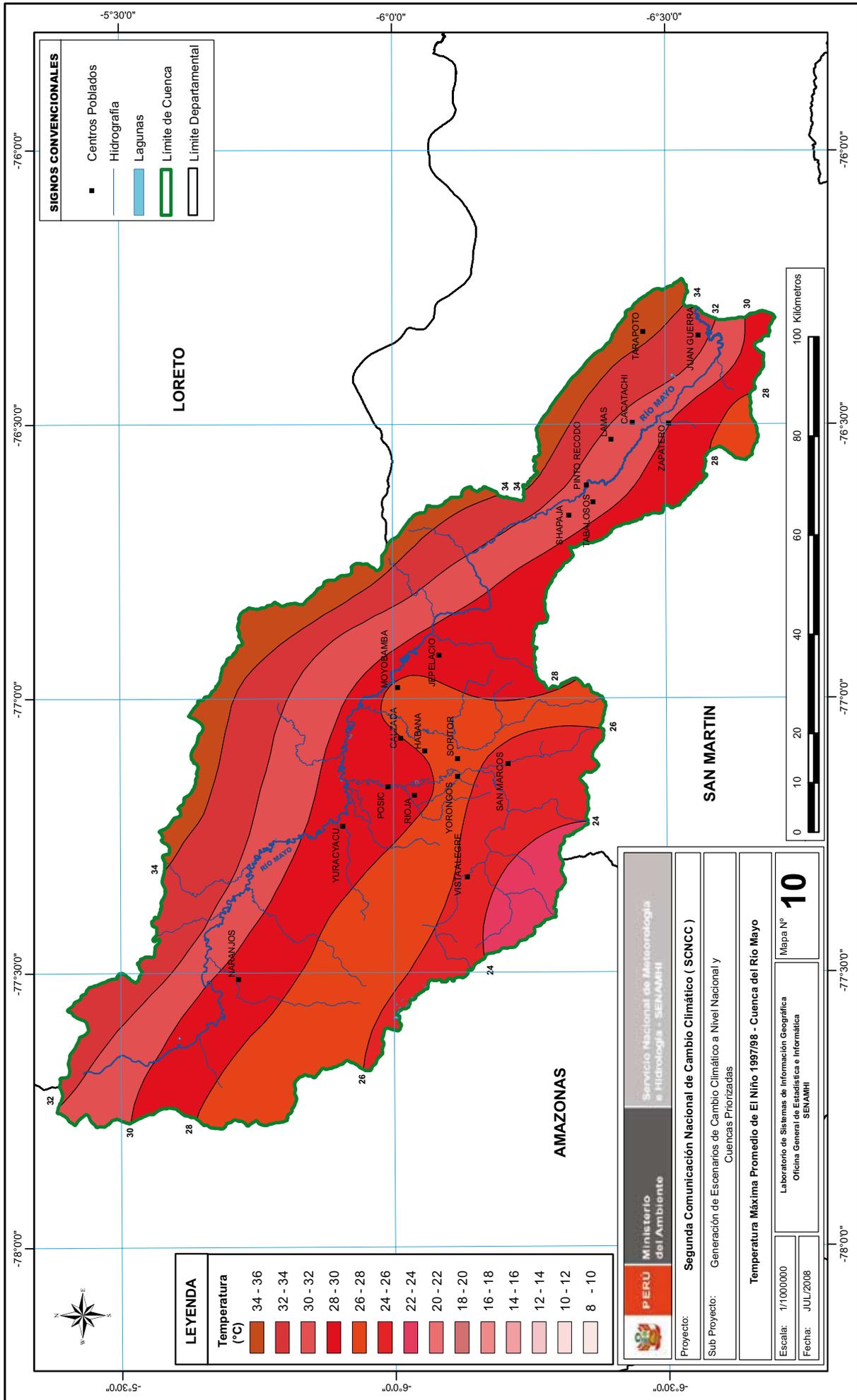
<p>PERÚ Ministerio del Ambiente</p>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI
	Segundo Comunicación Nacional de Cambio Climático (SCNCC)
Proyecto:	Generación de Escenarios de Cambio Climático a Nivel Nacional y Cuenclas Priorizadas
Sub Proyecto:	Cuenclas Priorizadas
Temperatura Mínima Promedio de El Niño 1992/83 - Cuenca del Río Mayo	
Escala: 1/1000000	Mapa N° 05
Fecha: JUL/2008	Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Oficina General de Estadística e Informática SENAMHI

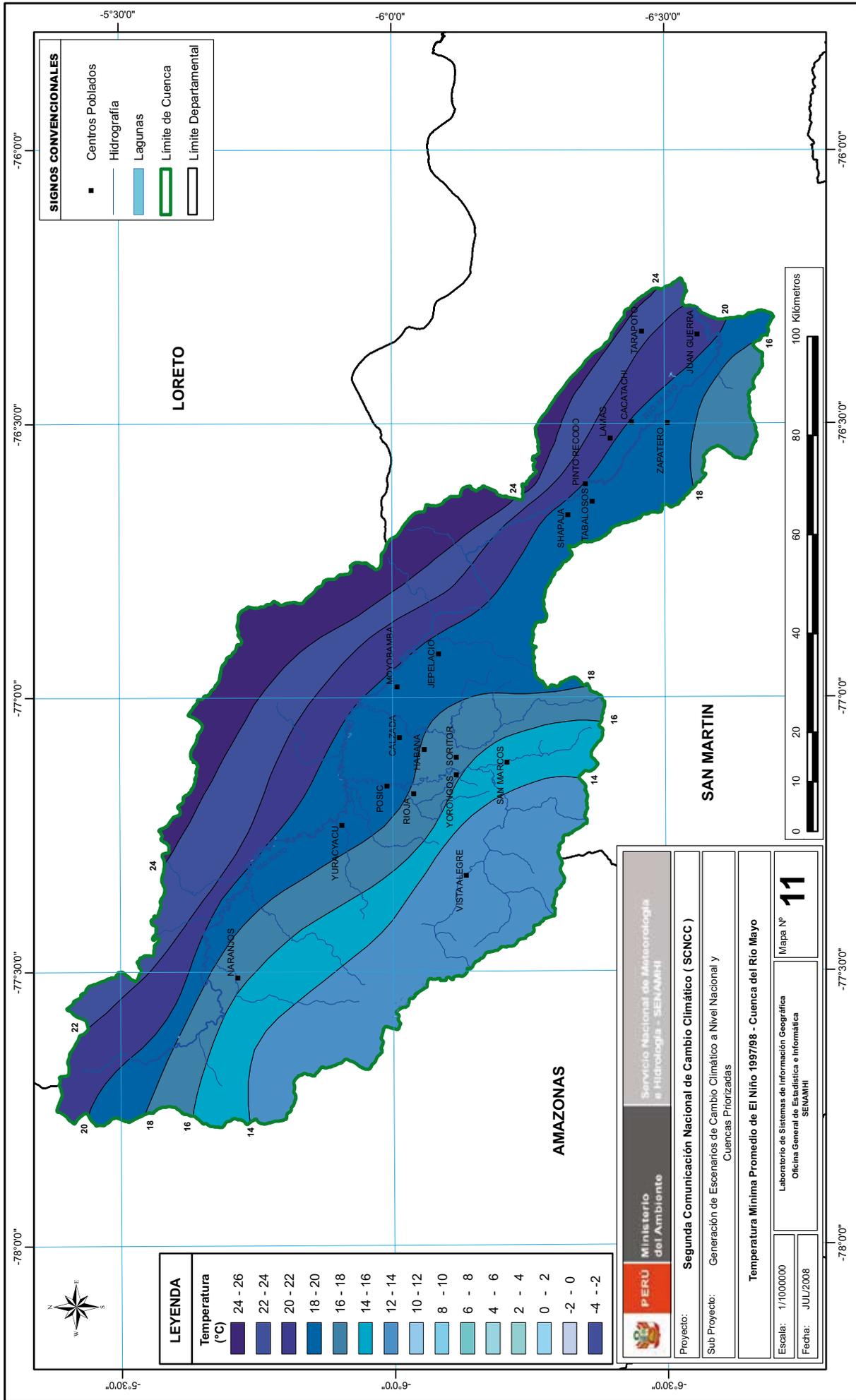


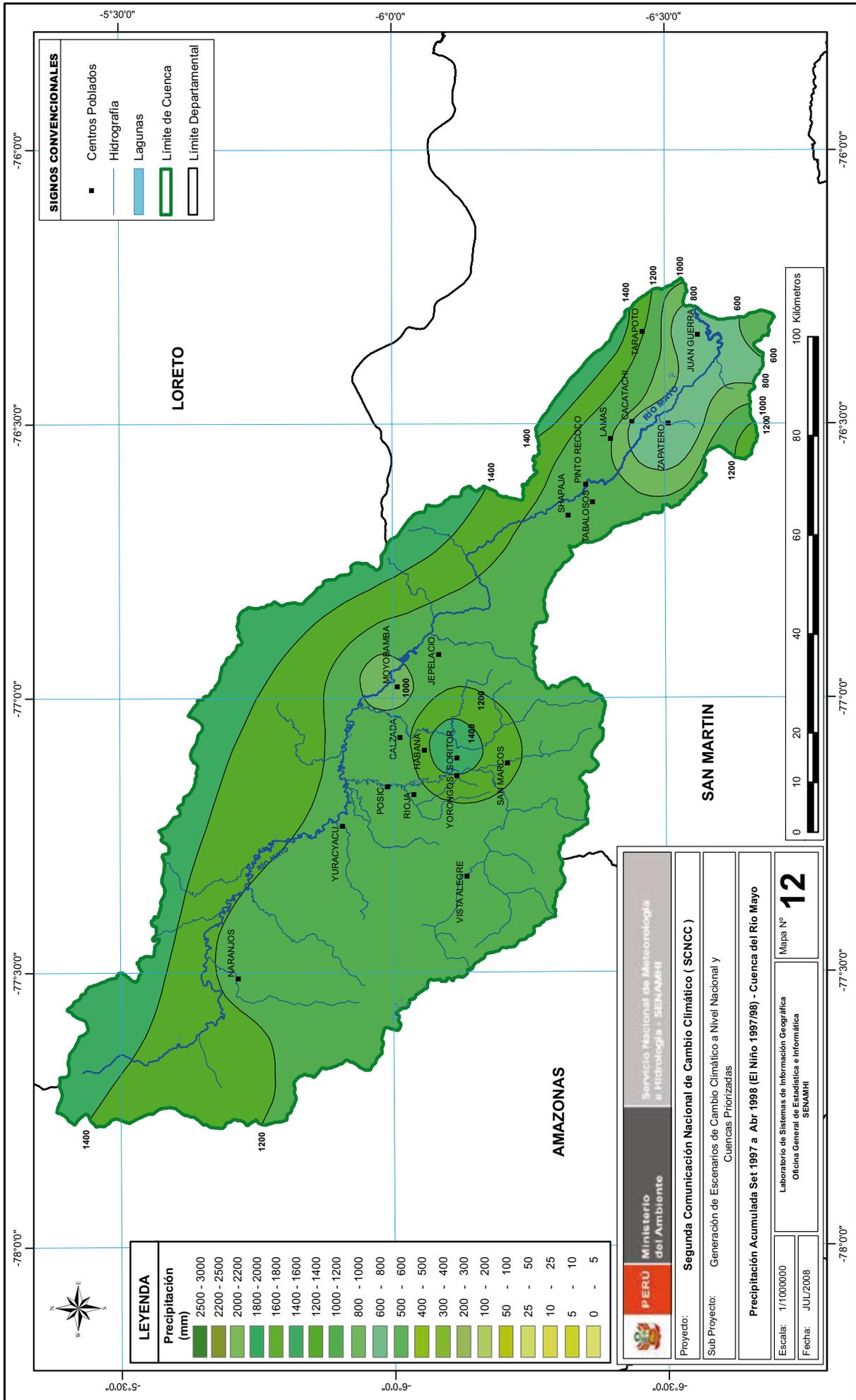








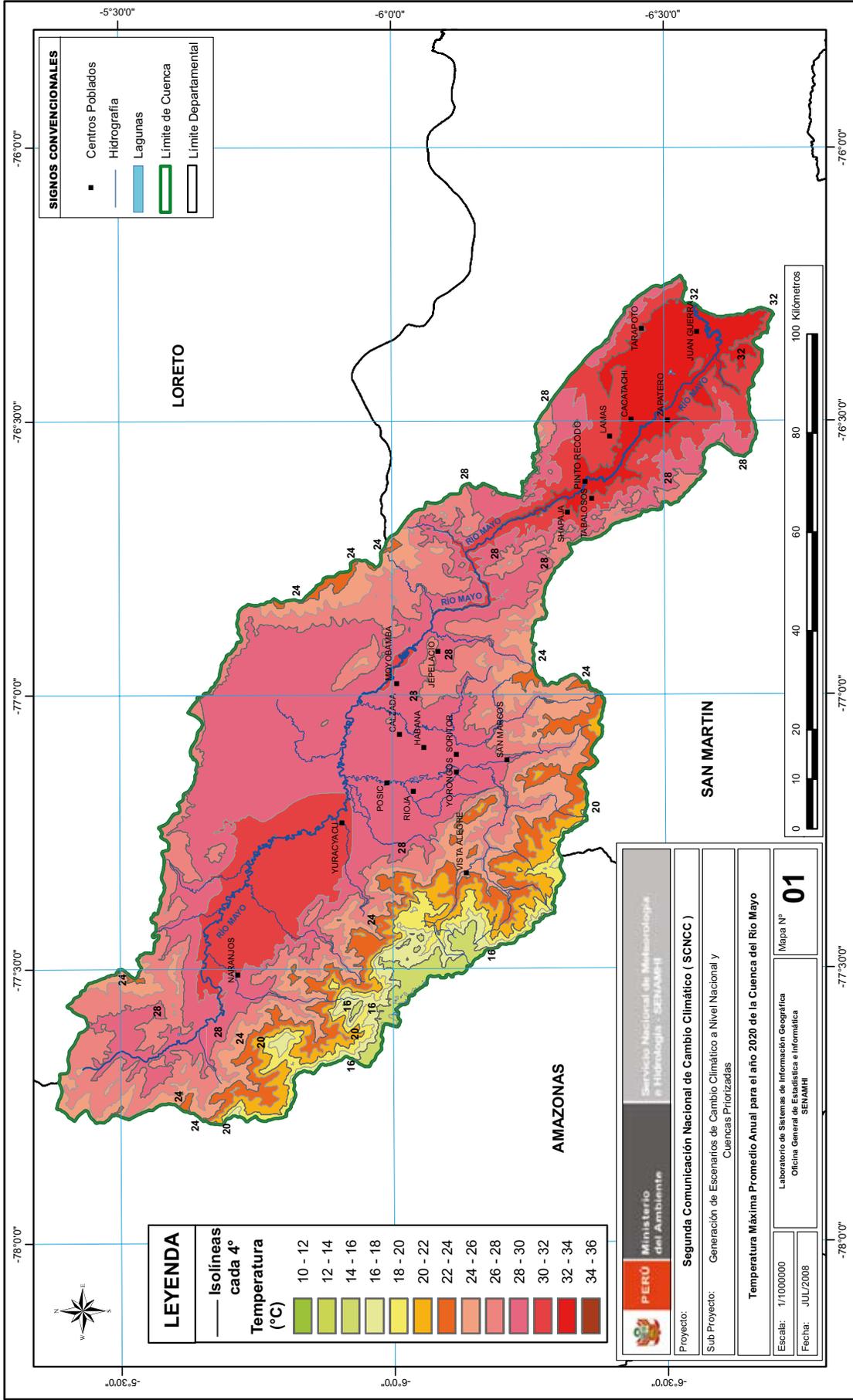


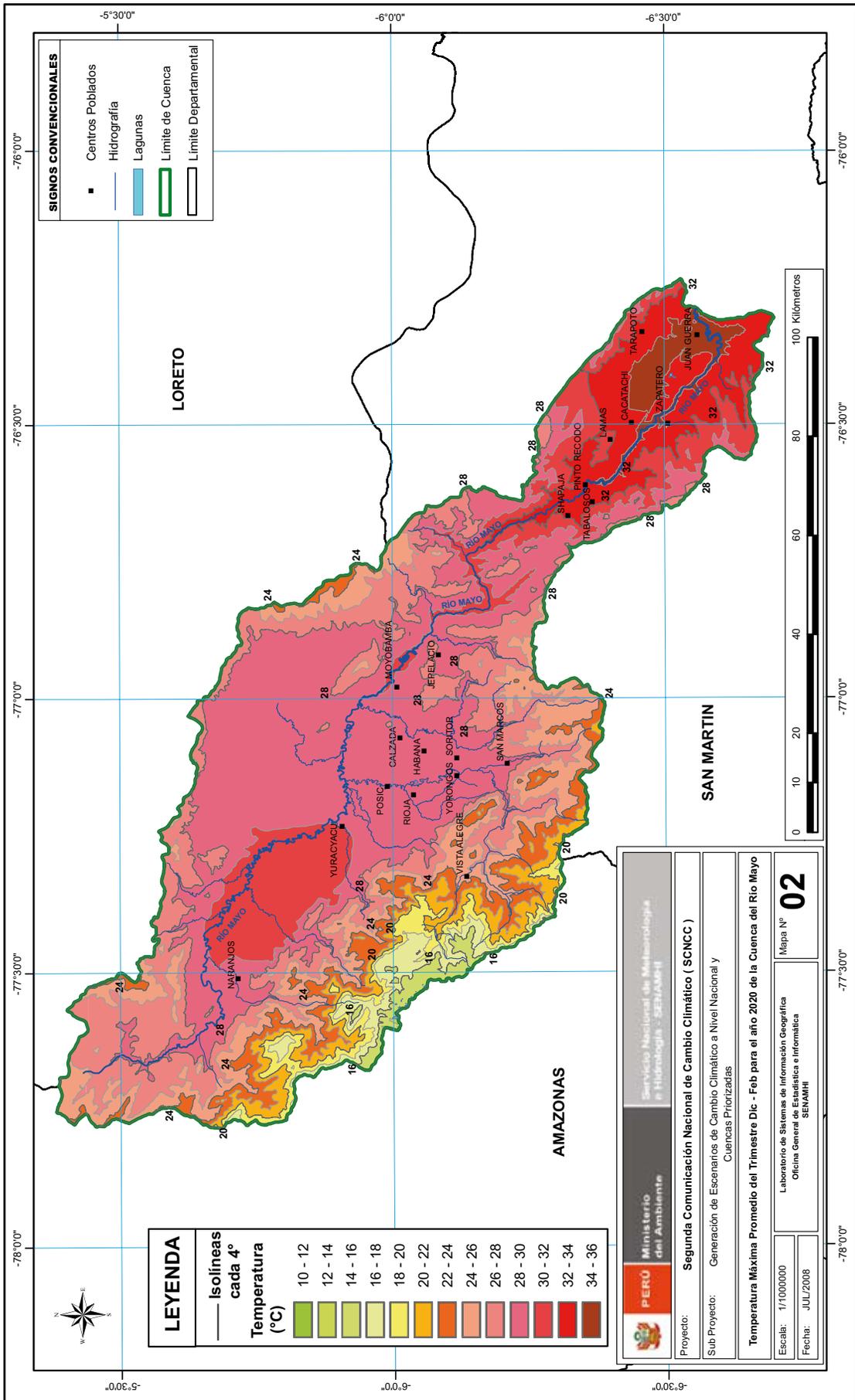


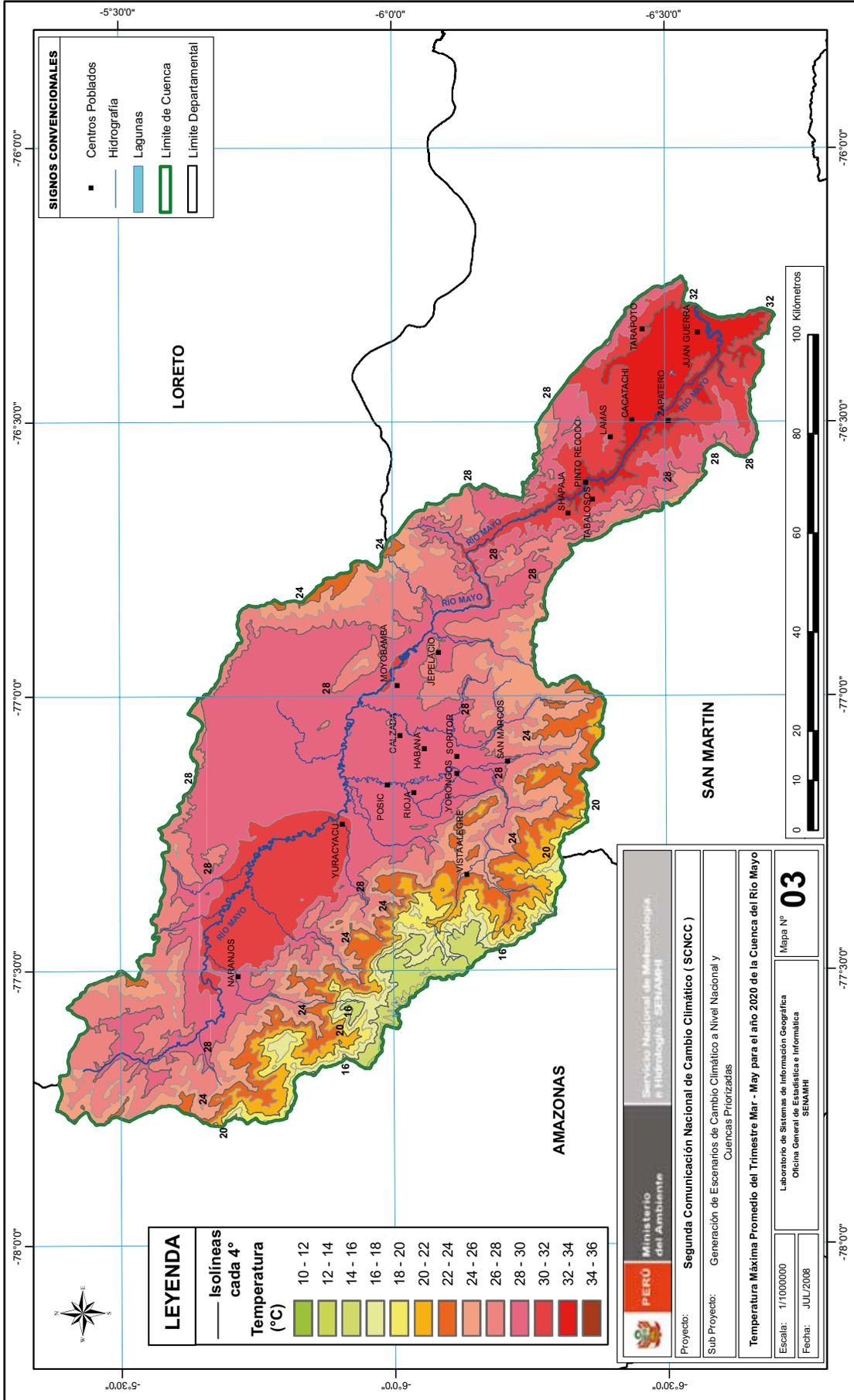
APÉNDICE 3

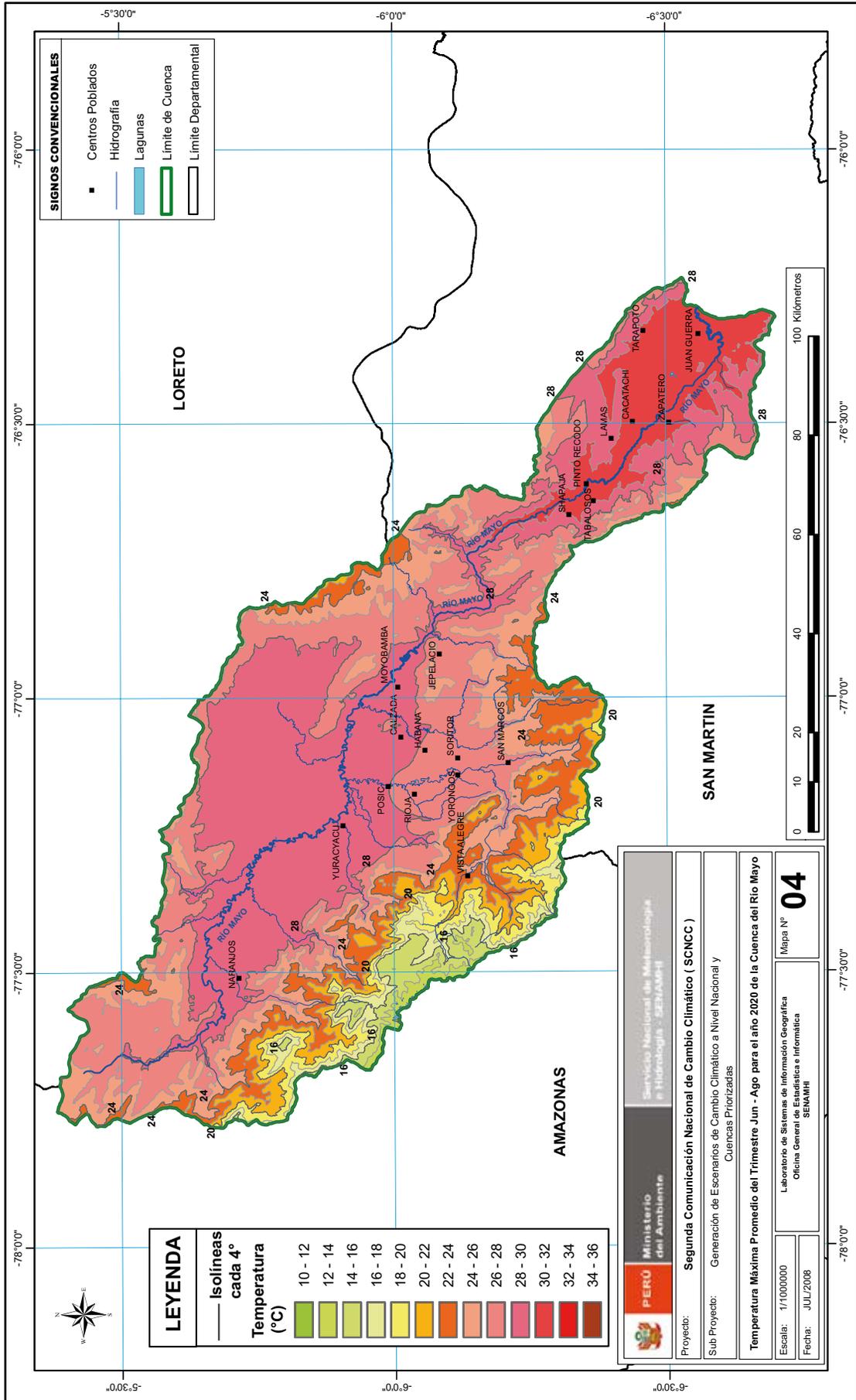
MAPAS DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

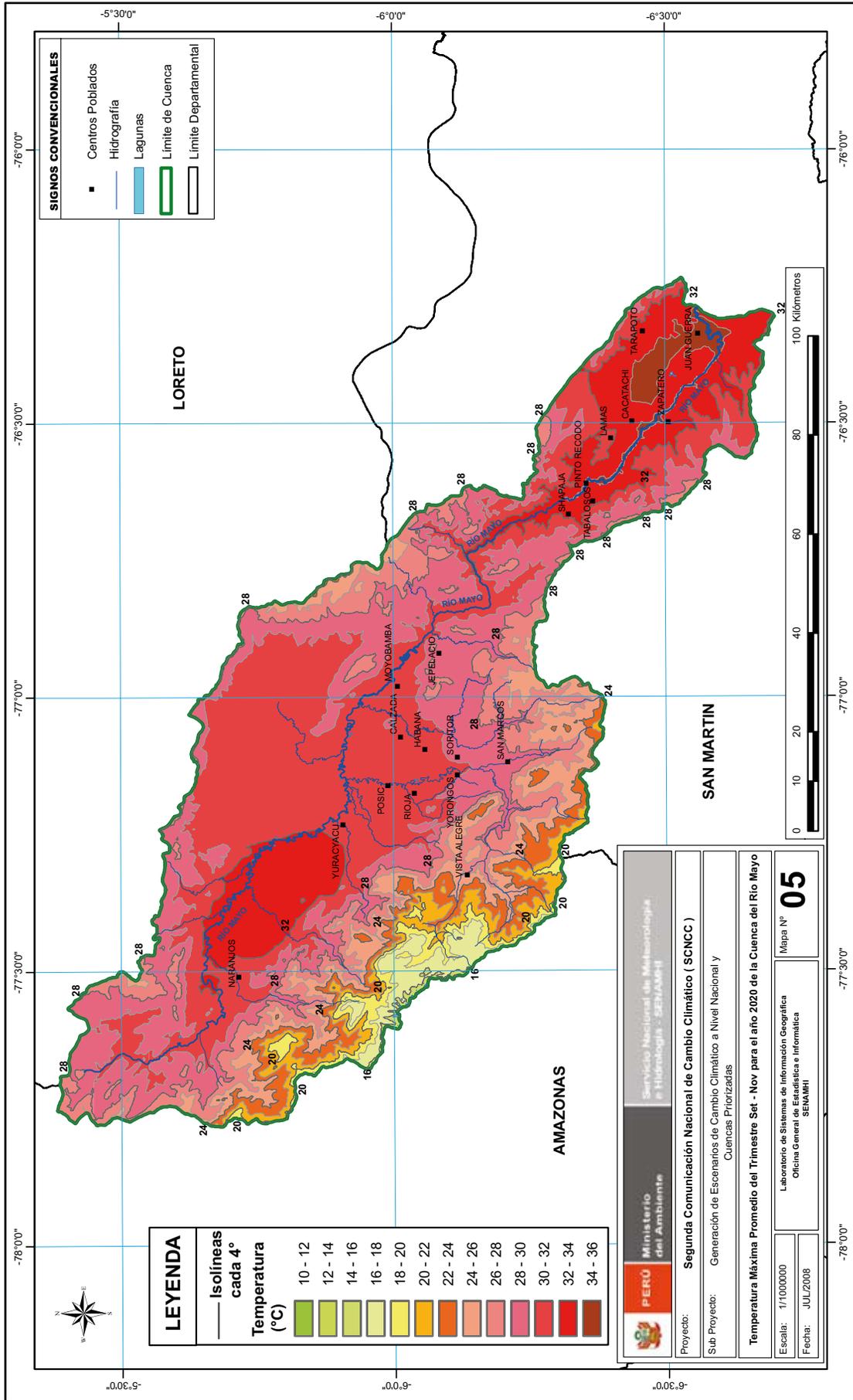
N° de mapa	Nombre de mapa
Mapa N° 1	Temperatura máxima promedio anual para el año 2020
Mapa N° 2	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero para el año 2020
Mapa N° 3	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo para el año 2020
Mapa N° 4	Temperatura máxima promedio del trimestre junio-agosto para el año 2020
Mapa N° 5	Temperatura máxima promedio del trimestre setiembre-noviembre para el año 2020
Mapa N° 6	Temperatura máxima promedio anual para el año 2030
Mapa N° 7	Temperatura máxima promedio del trimestre diciembre-febrero para el año 2030
Mapa N° 8	Temperatura máxima promedio del trimestre marzo-mayo para el año 2030
Mapa N° 9	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 para el trimestre diciembre-febrero 2030
Mapa N° 13	Variación de la temperatura máxima para el trimestre marzo-mayo 2030
Mapa N° 14	Variación de la temperatura máxima para el trimestre junio-agosto 2030
Mapa N° 15	Variación de la temperatura máxima para el trimestre setiembre-noviembre 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 para el trimestre diciembre-febrero 2030
Mapa N° 29	Variación de la temperatura mínima para el trimestre marzo-mayo 2030
Mapa N° 30	Variación de la temperatura mínima para el trimestre junio-agosto 2030
Mapa N° 31	Variación de la temperatura mínima para el trimestre setiembre-noviembre 2030
Mapa N° 32	Variación del percentil 90 de la temperatura mínima en el año 2030
Mapa N° 33	Precipitación acumulada para el año 2020 (mm)
Mapa N° 34	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero para el año 2020 (mm)
Mapa N° 35	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo para el año 2020 (mm)
Mapa N° 36	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto para el año 2020 (mm)
Mapa N° 37	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre para el año 2020 (mm)
Mapa N° 38	Precipitación Acumulada para el año 2030 (mm)
Mapa N° 39	Precipitación acumulada del trimestre diciembre-febrero para el año 2030 (mm)
Mapa N° 40	Precipitación acumulada del trimestre marzo-mayo para el año 2030 (mm)
Mapa N° 41	Precipitación acumulada del trimestre junio-agosto para el año 2030 (mm)
Mapa N° 42	Precipitación acumulada del trimestre setiembre-noviembre para el año 2030 (mm)
Mapa N° 43	Variación de la precipitación anual para el año 2030
Mapa N° 44	Variación de la precipitación para el trimestre diciembre-febrero 2030
Mapa N° 45	Variación de la precipitación para el trimestre marzo-mayo 2030
Mapa N° 46	Variación de la precipitación para el trimestre junio-agosto 2030
Mapa N° 47	Variación de la precipitación para el trimestre setiembre-noviembre 2030
Mapa N° 48	Variación del percentil 95 de las precipitaciones para el año 2030

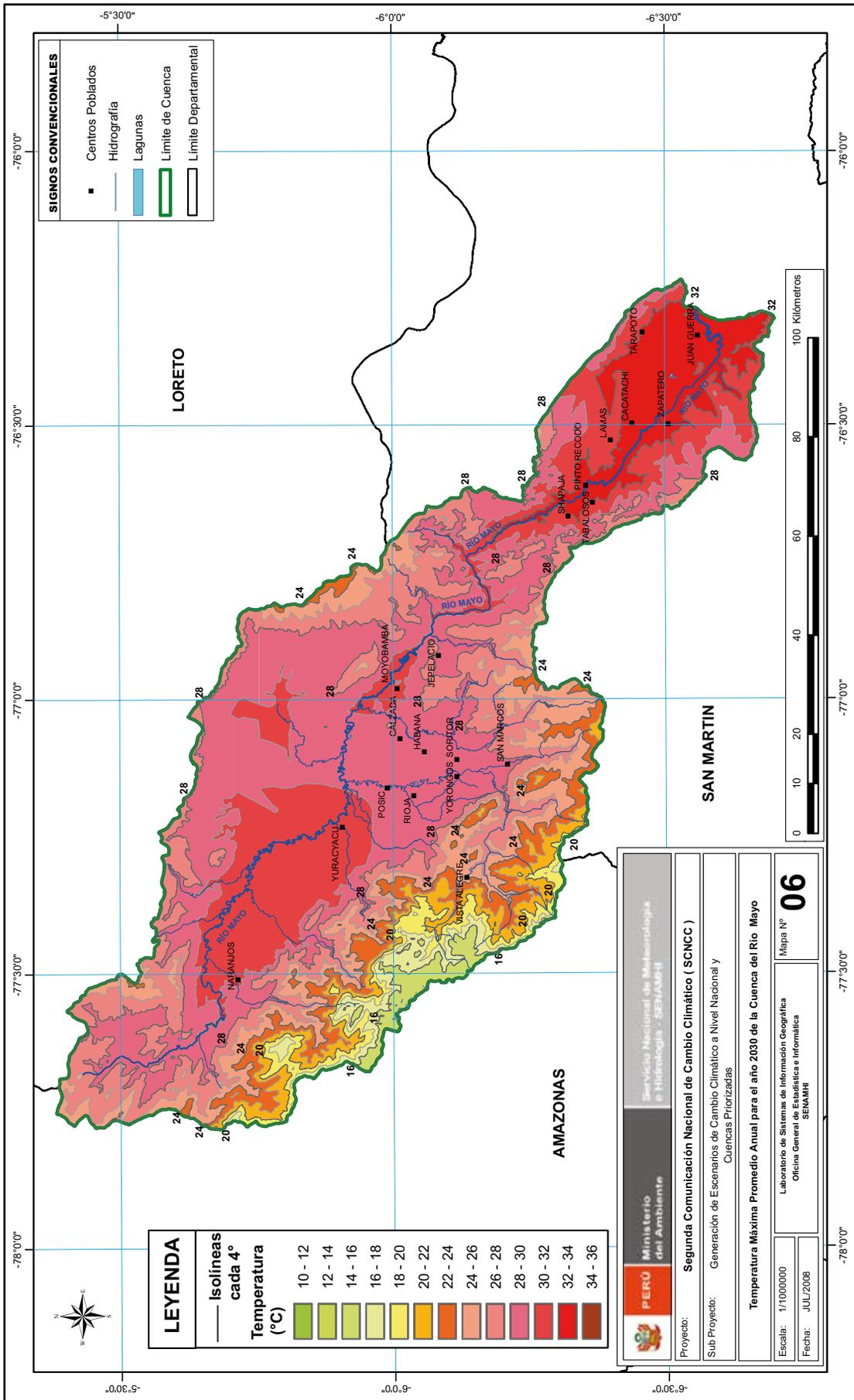


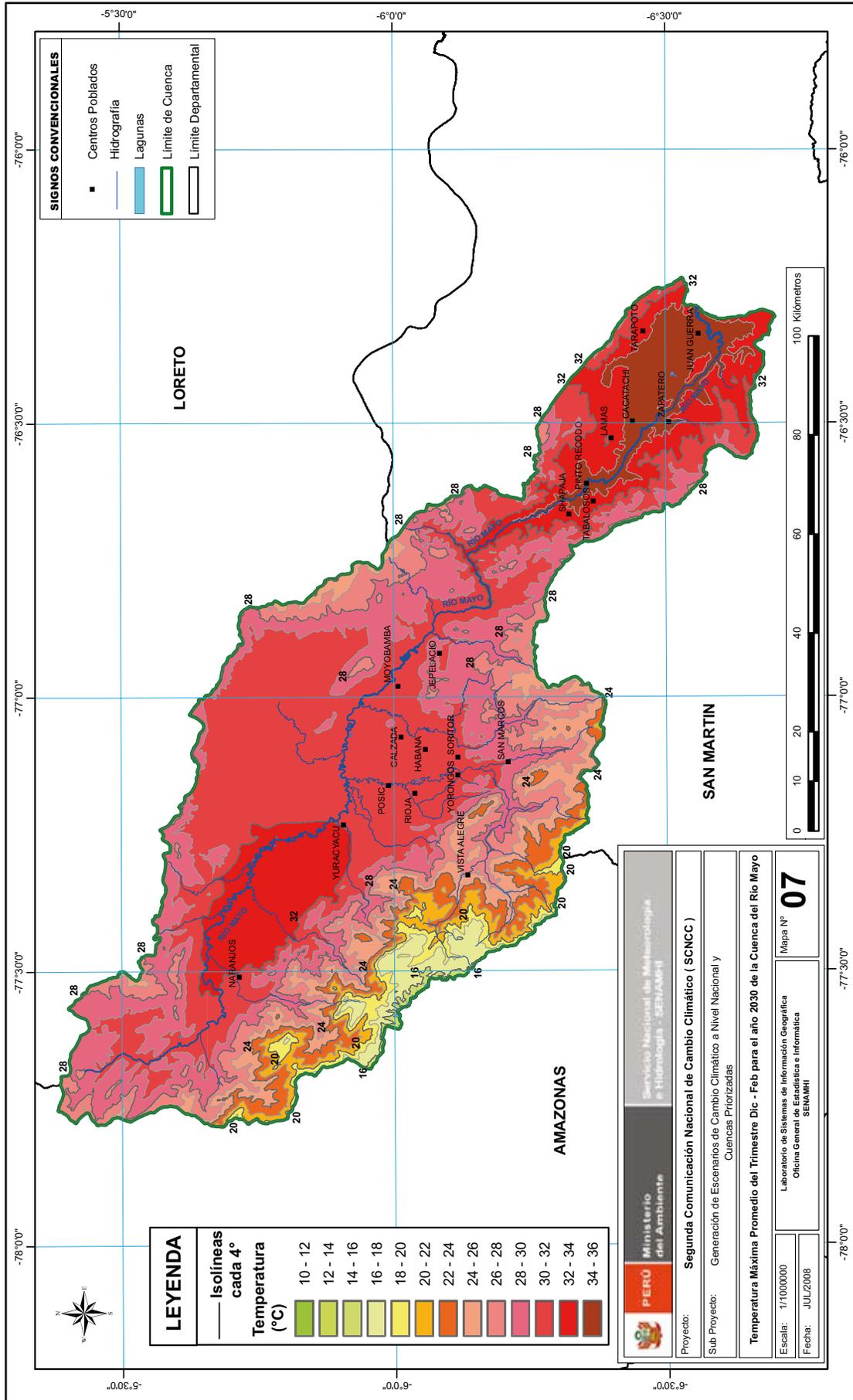


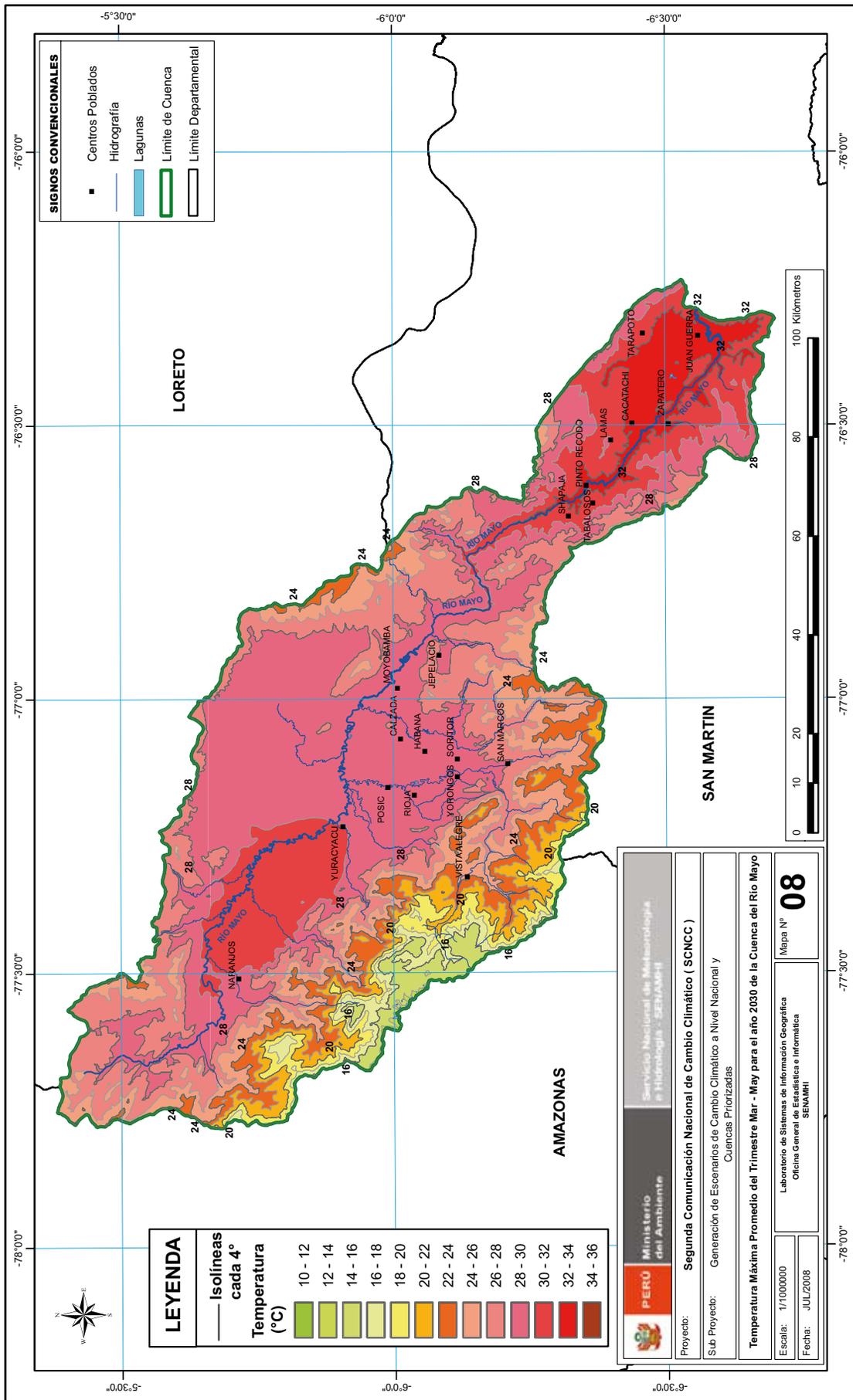


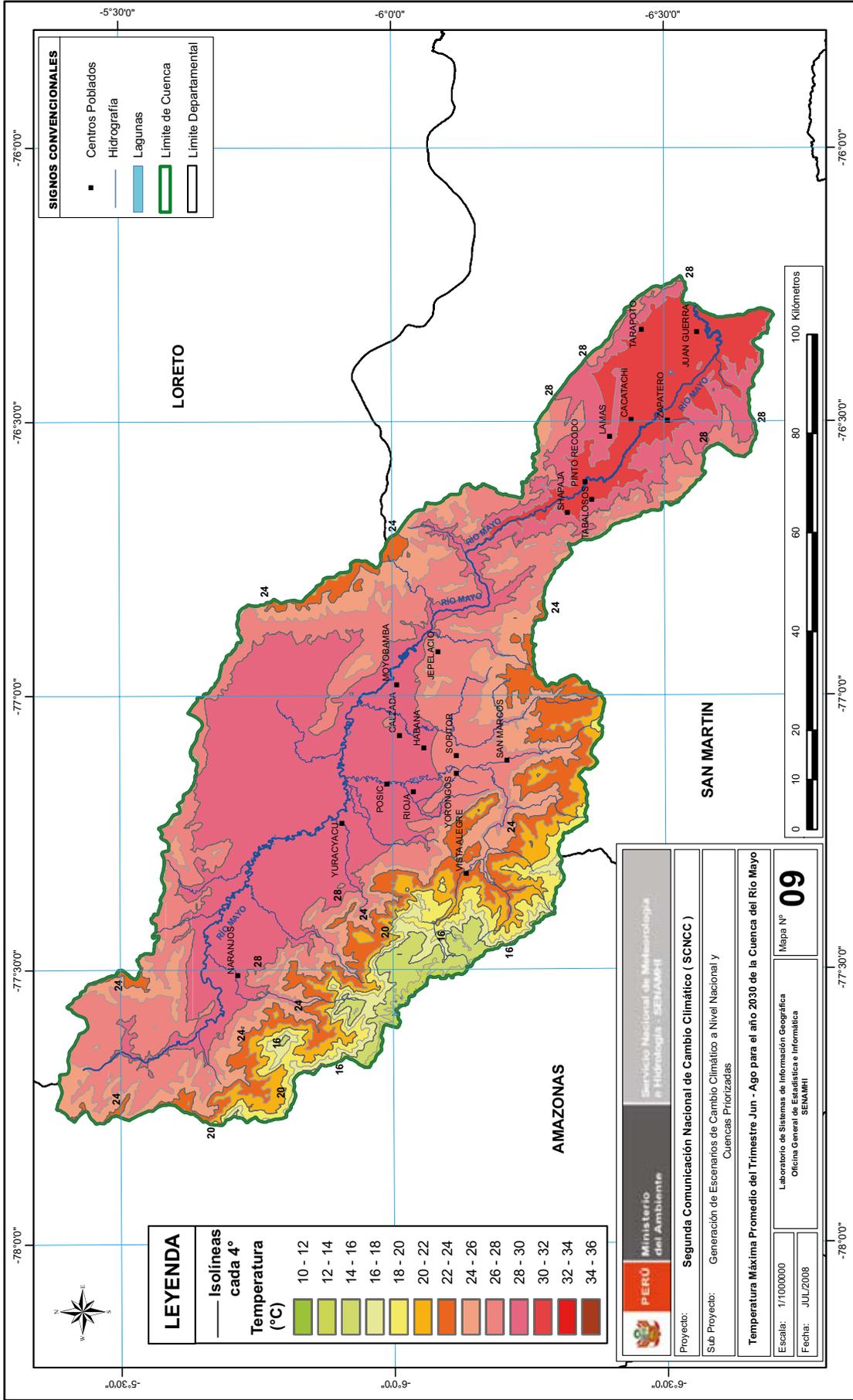


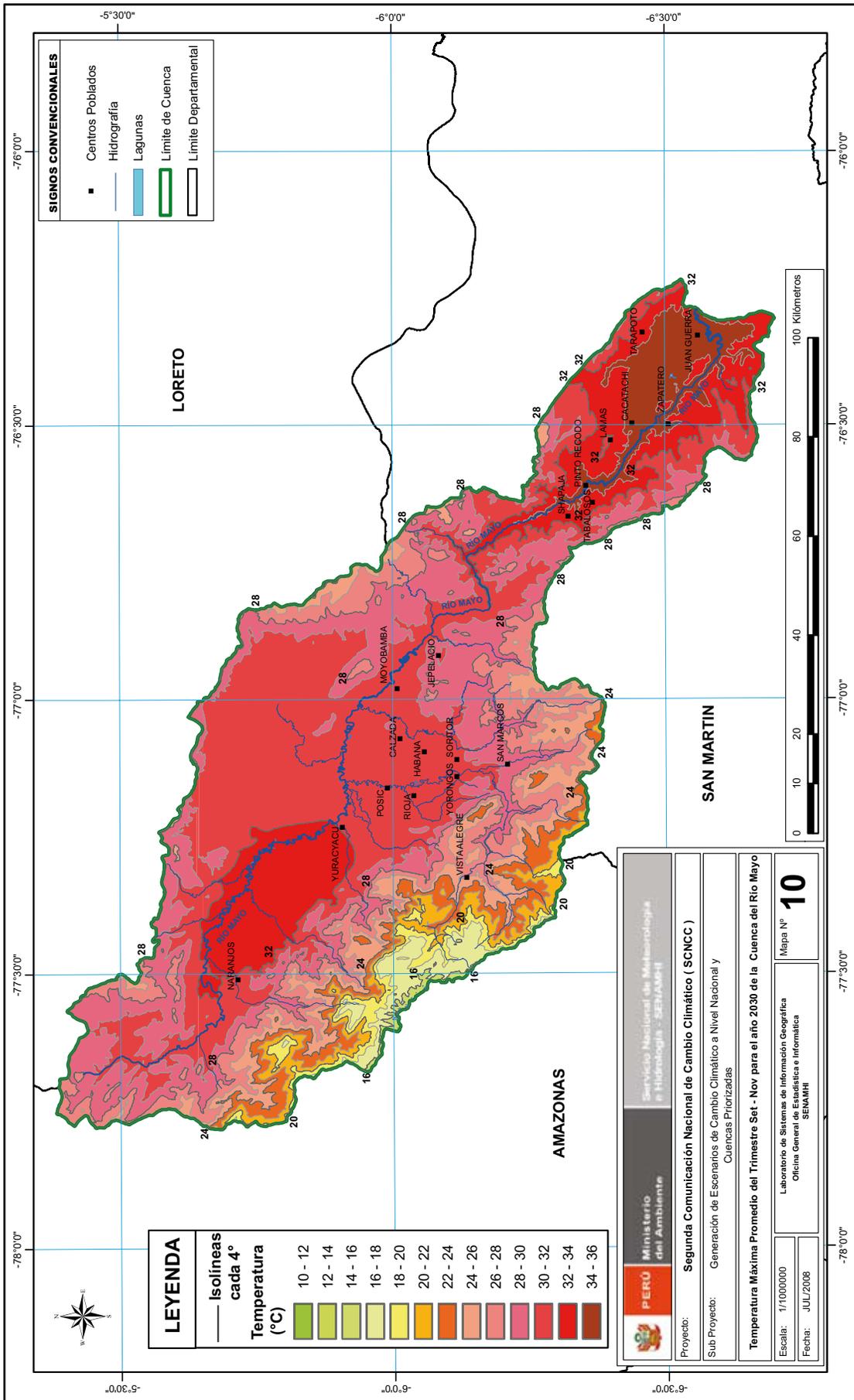


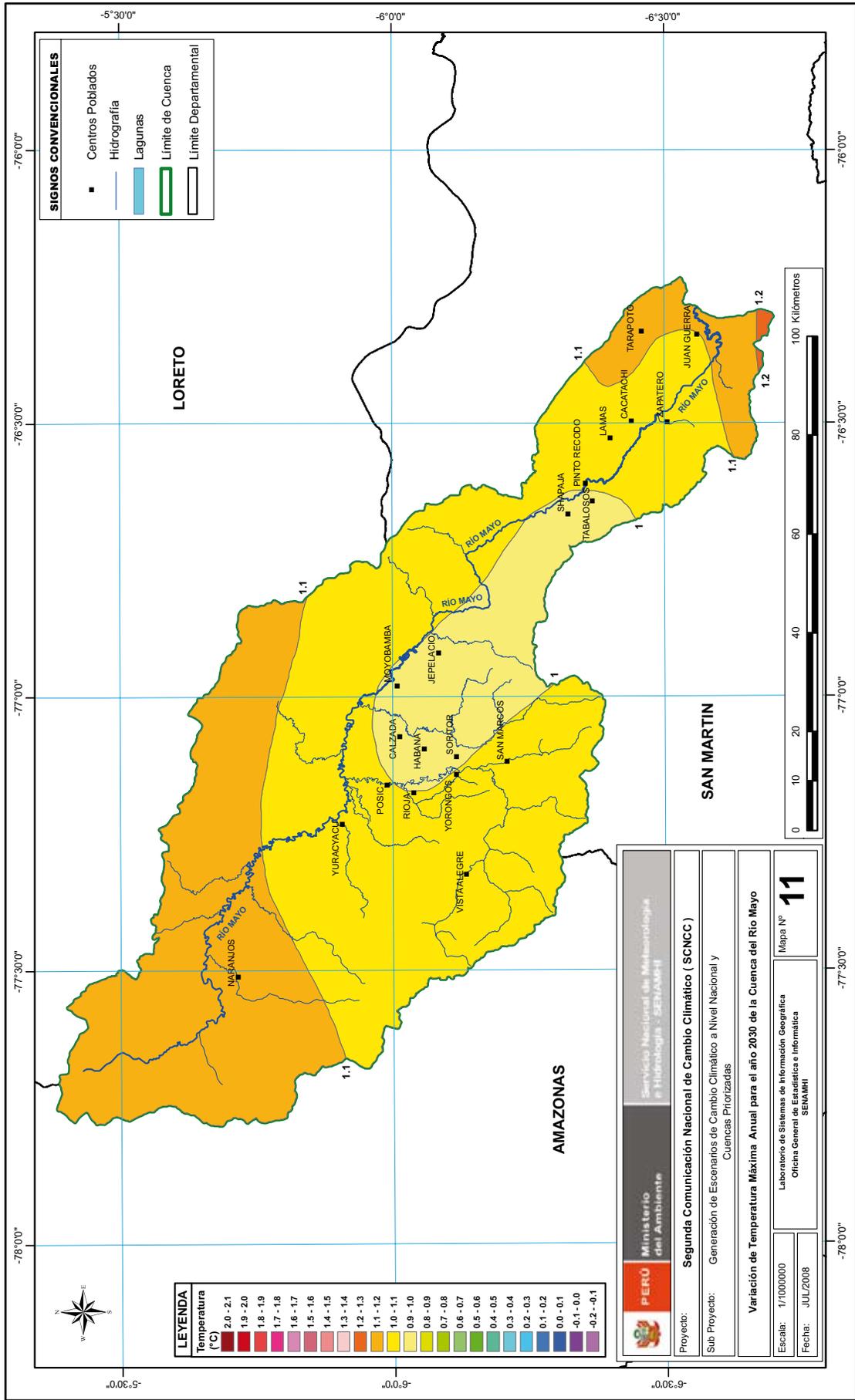


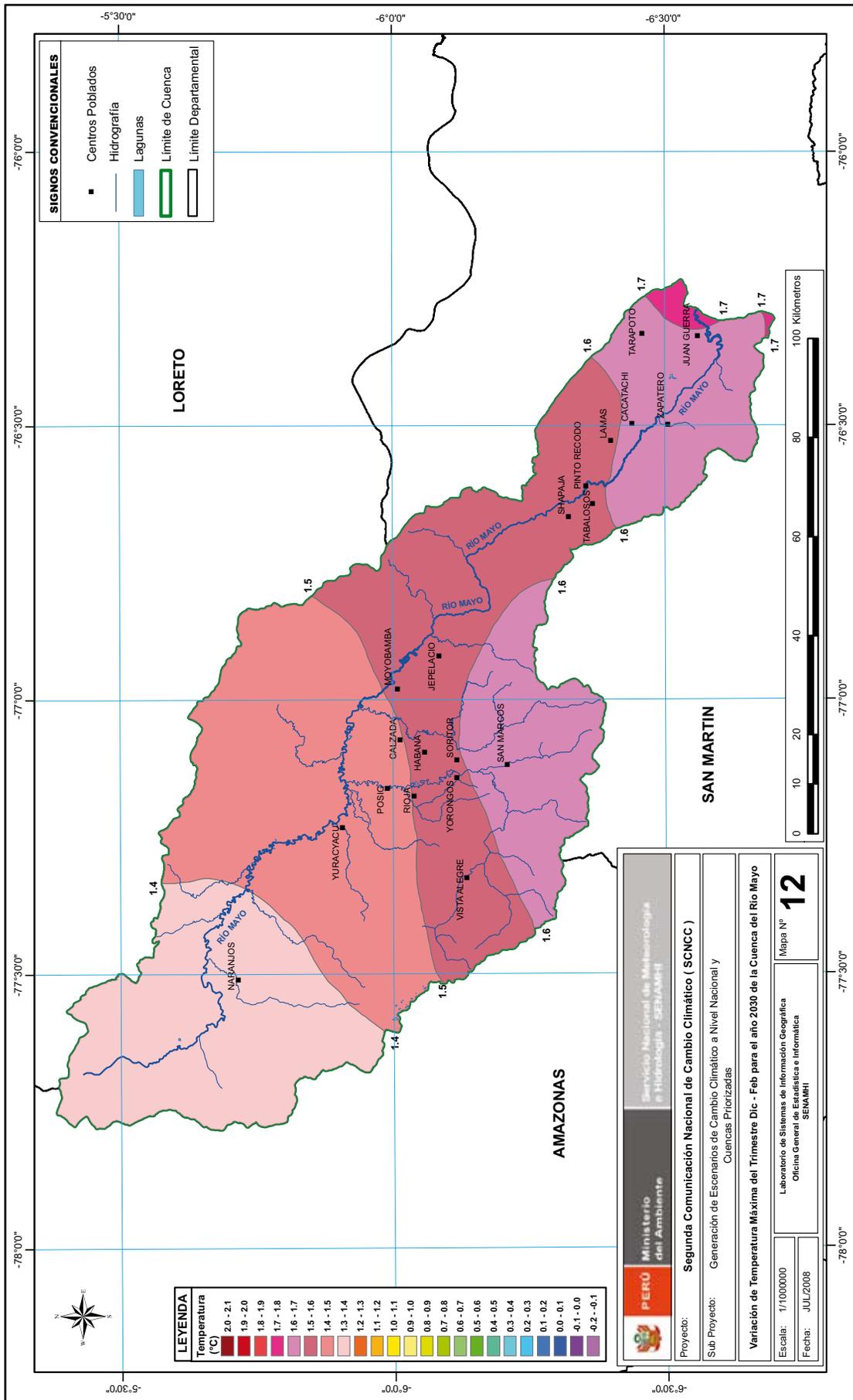


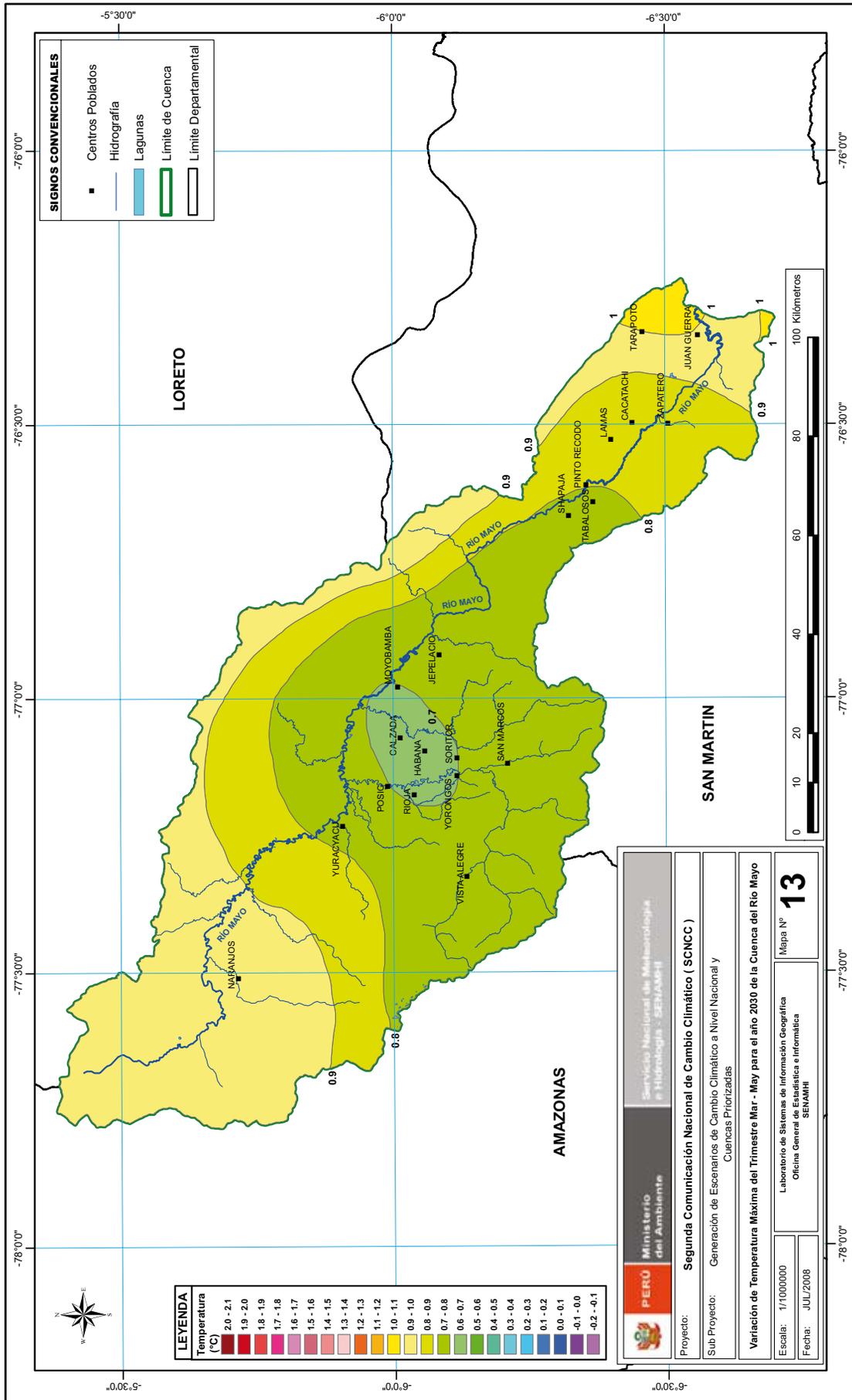


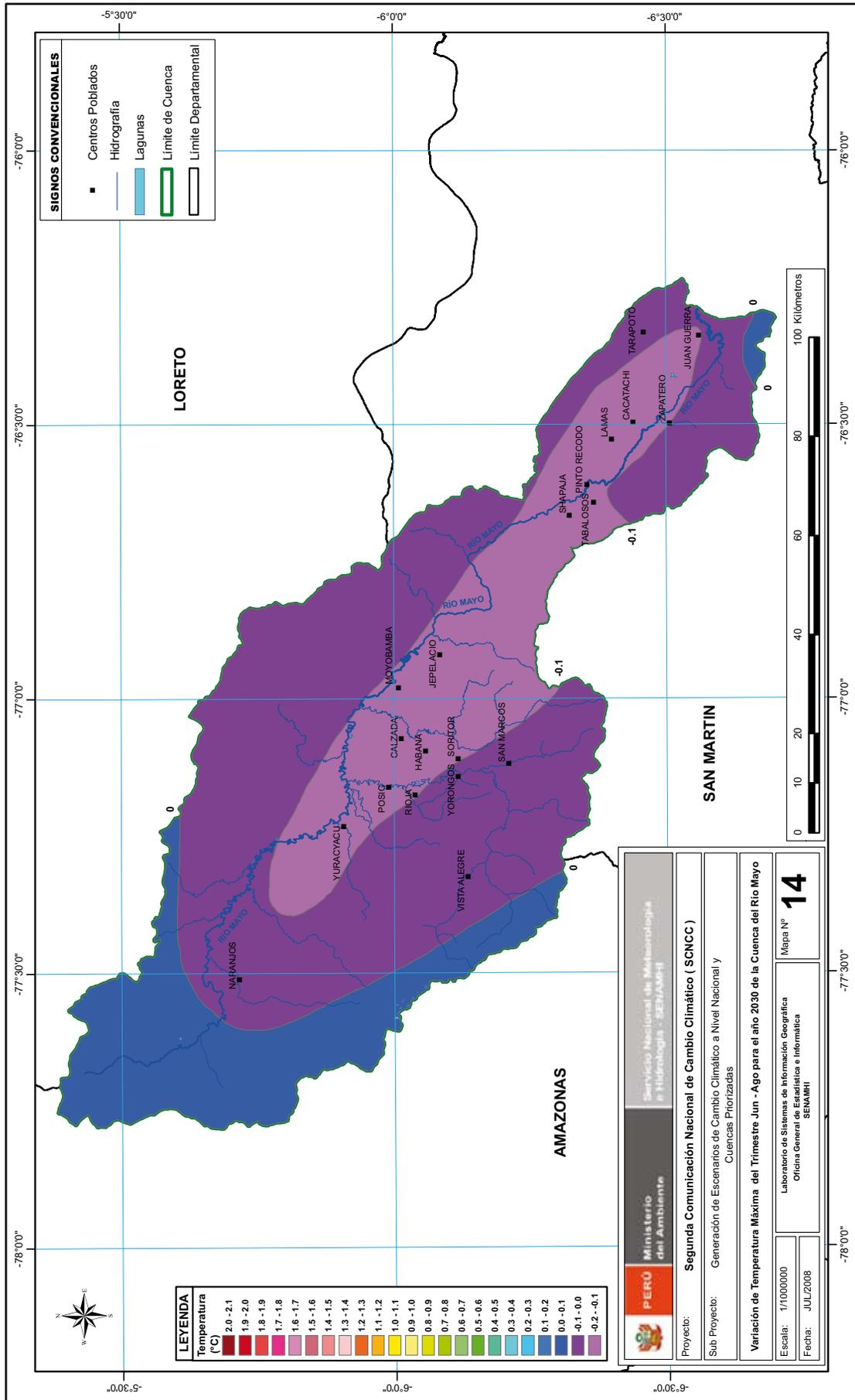


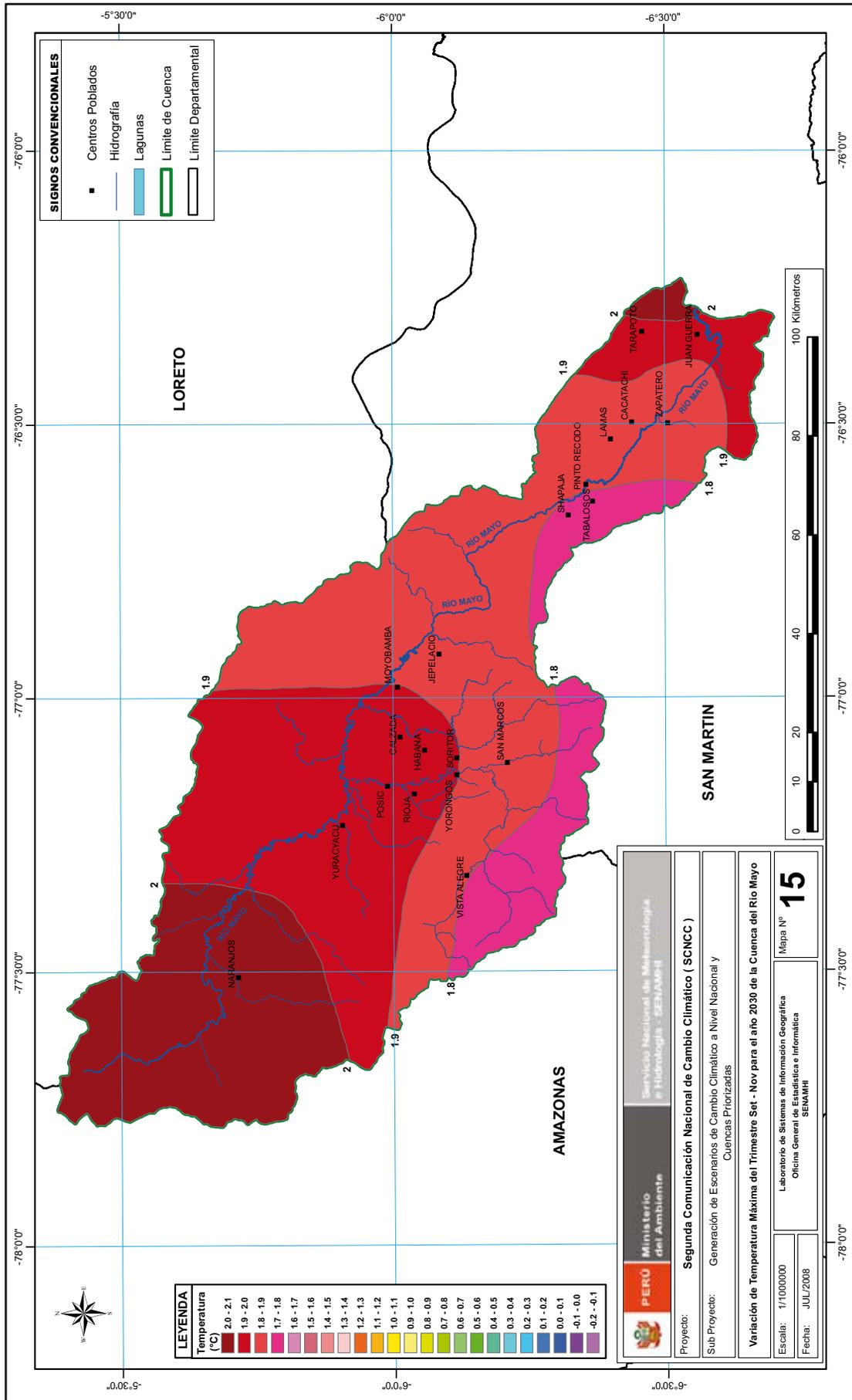


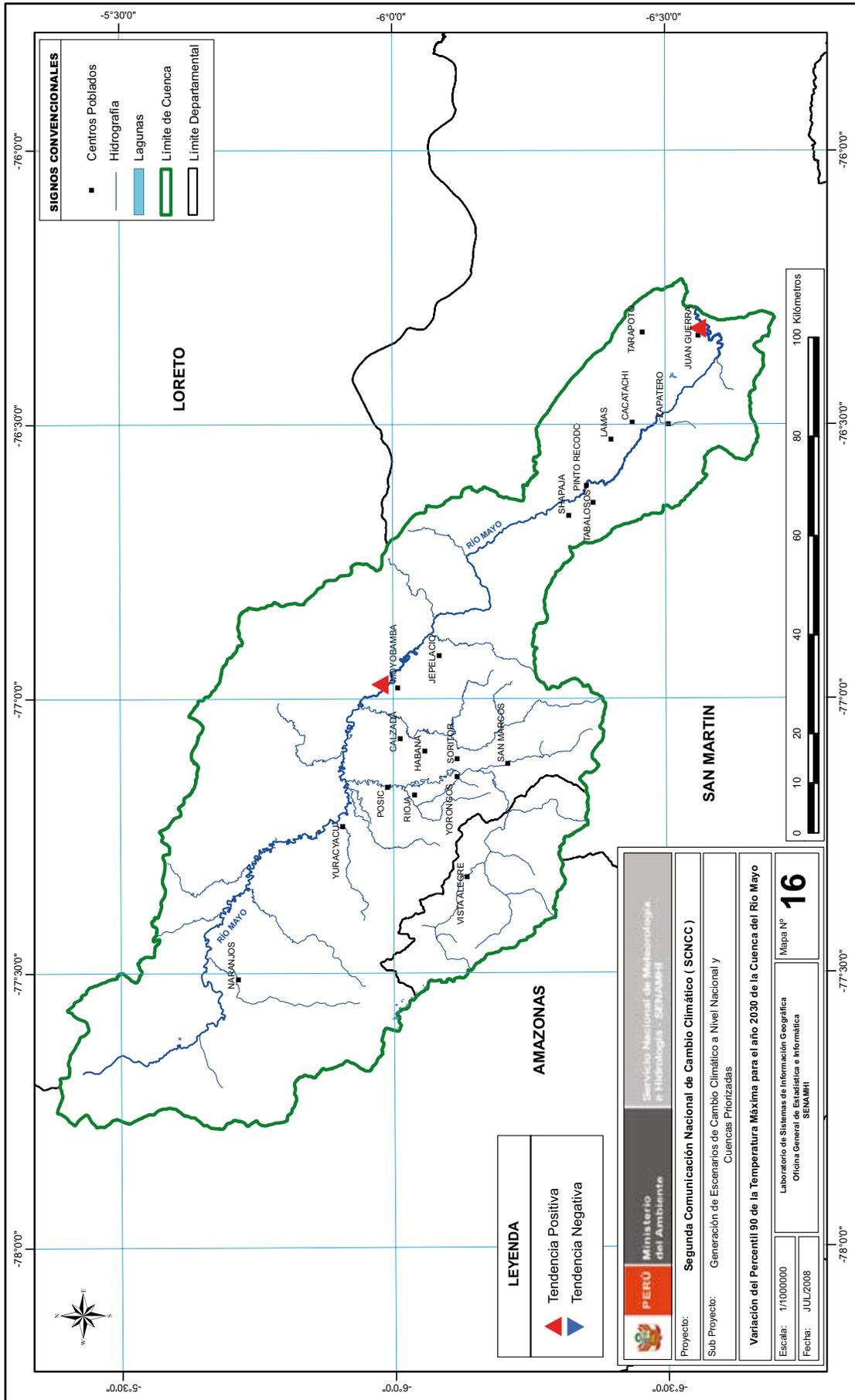


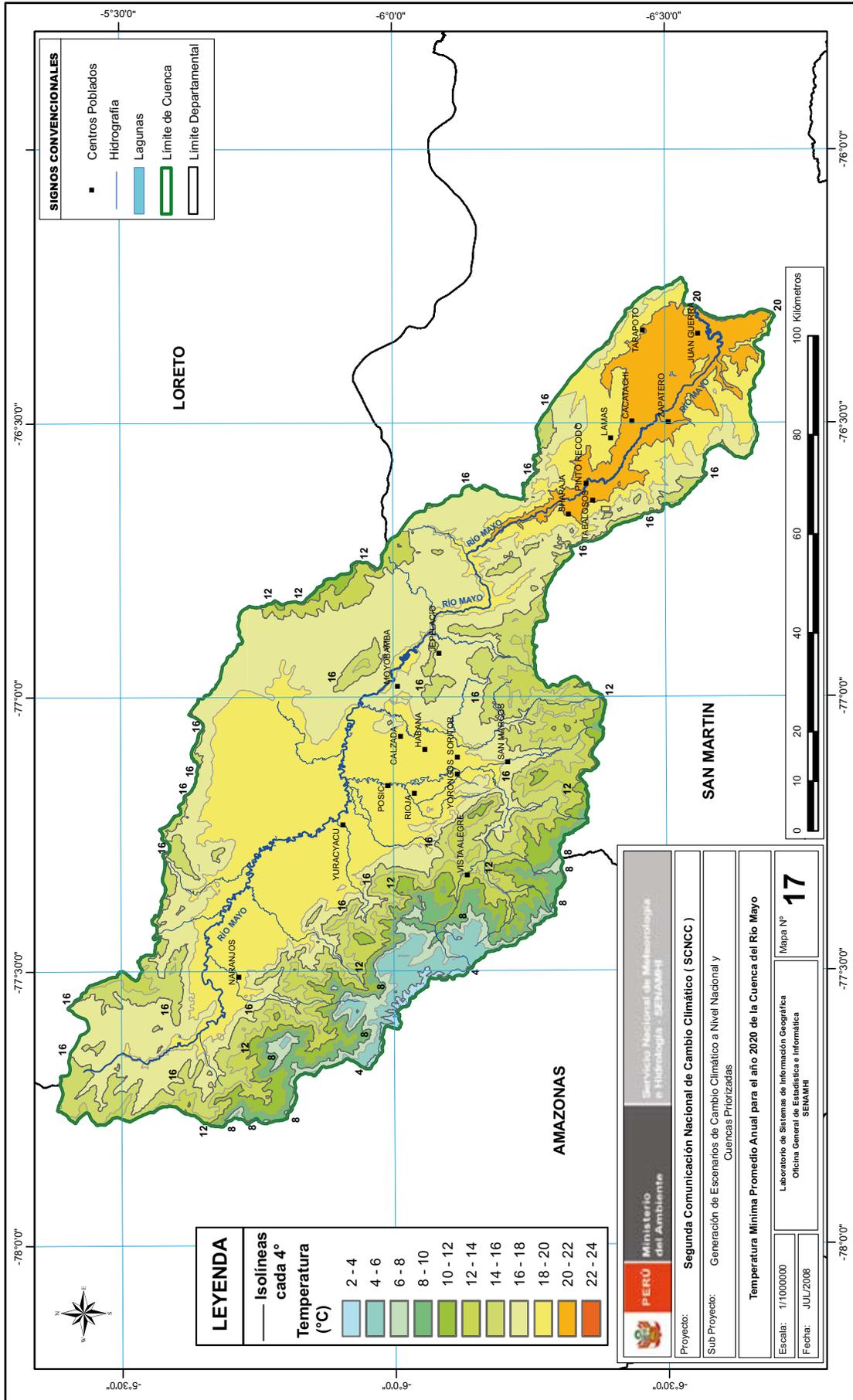


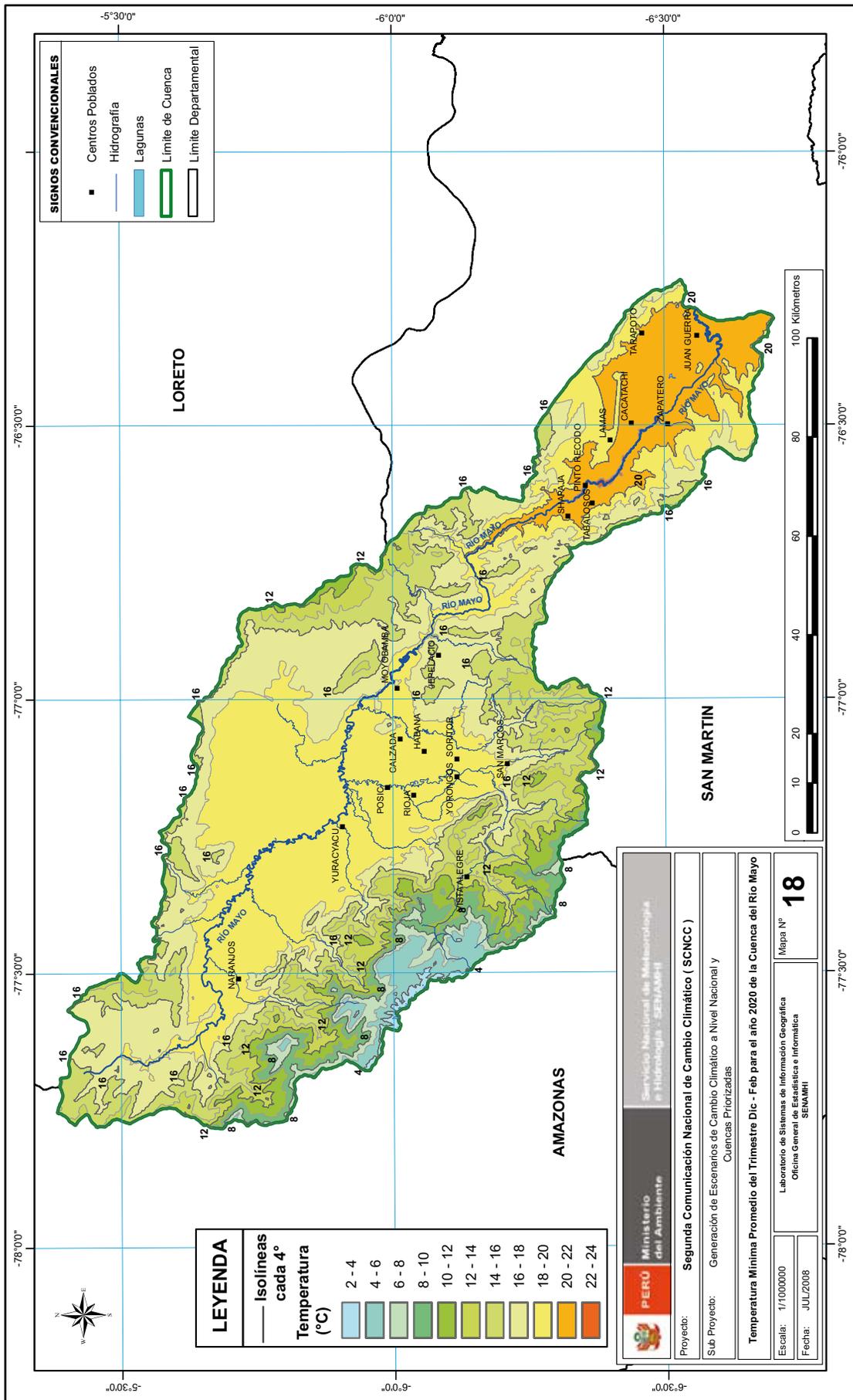


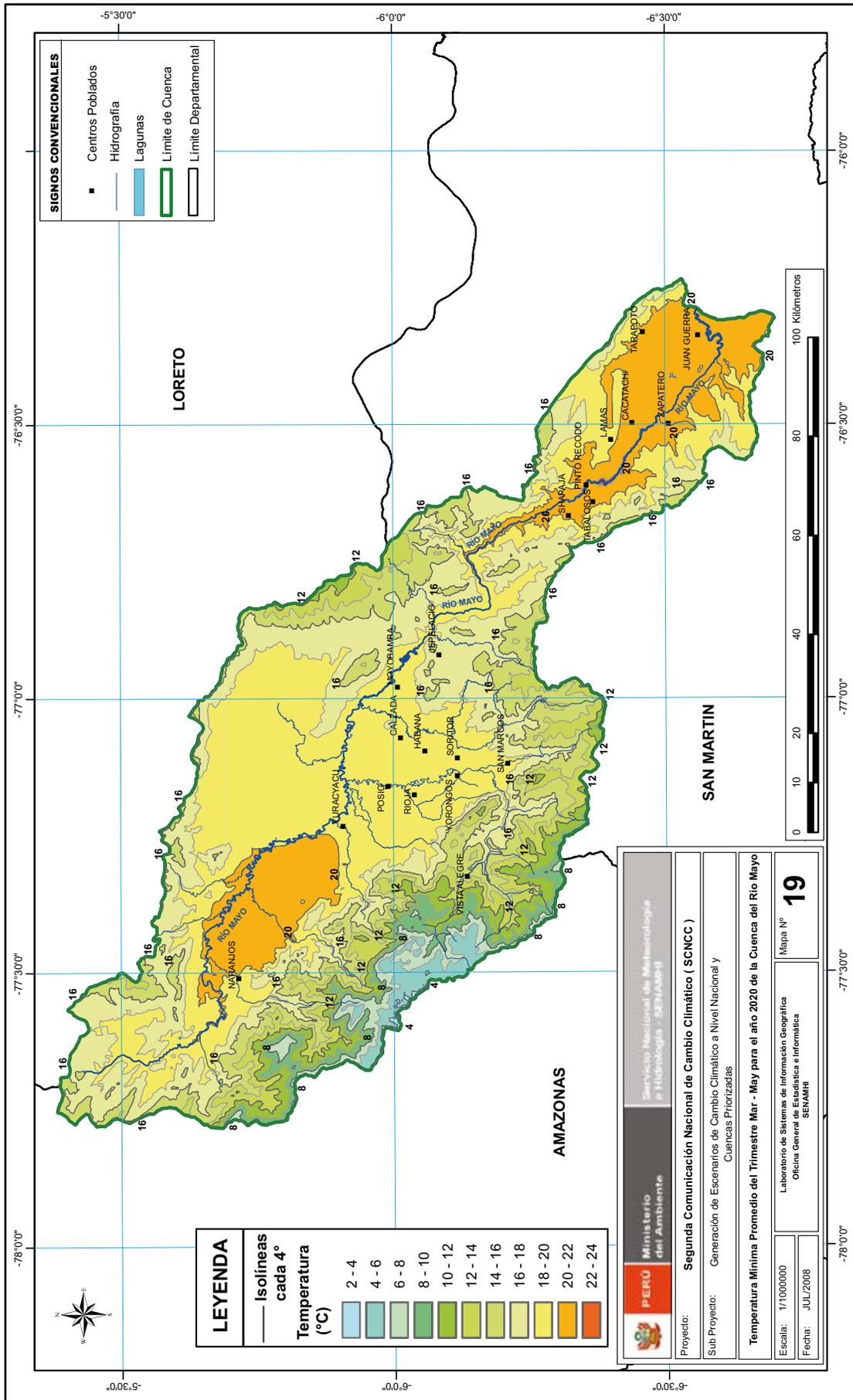


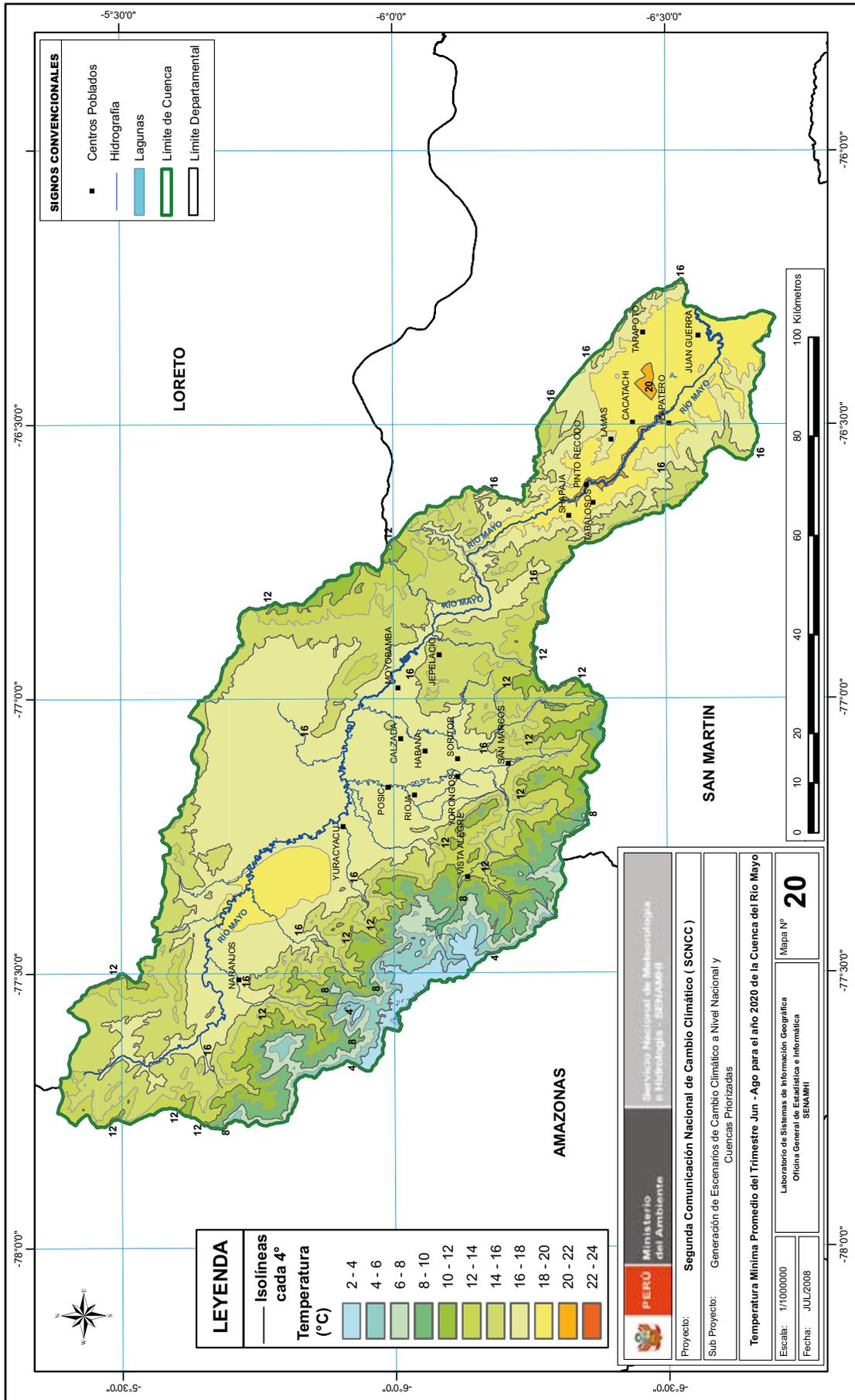


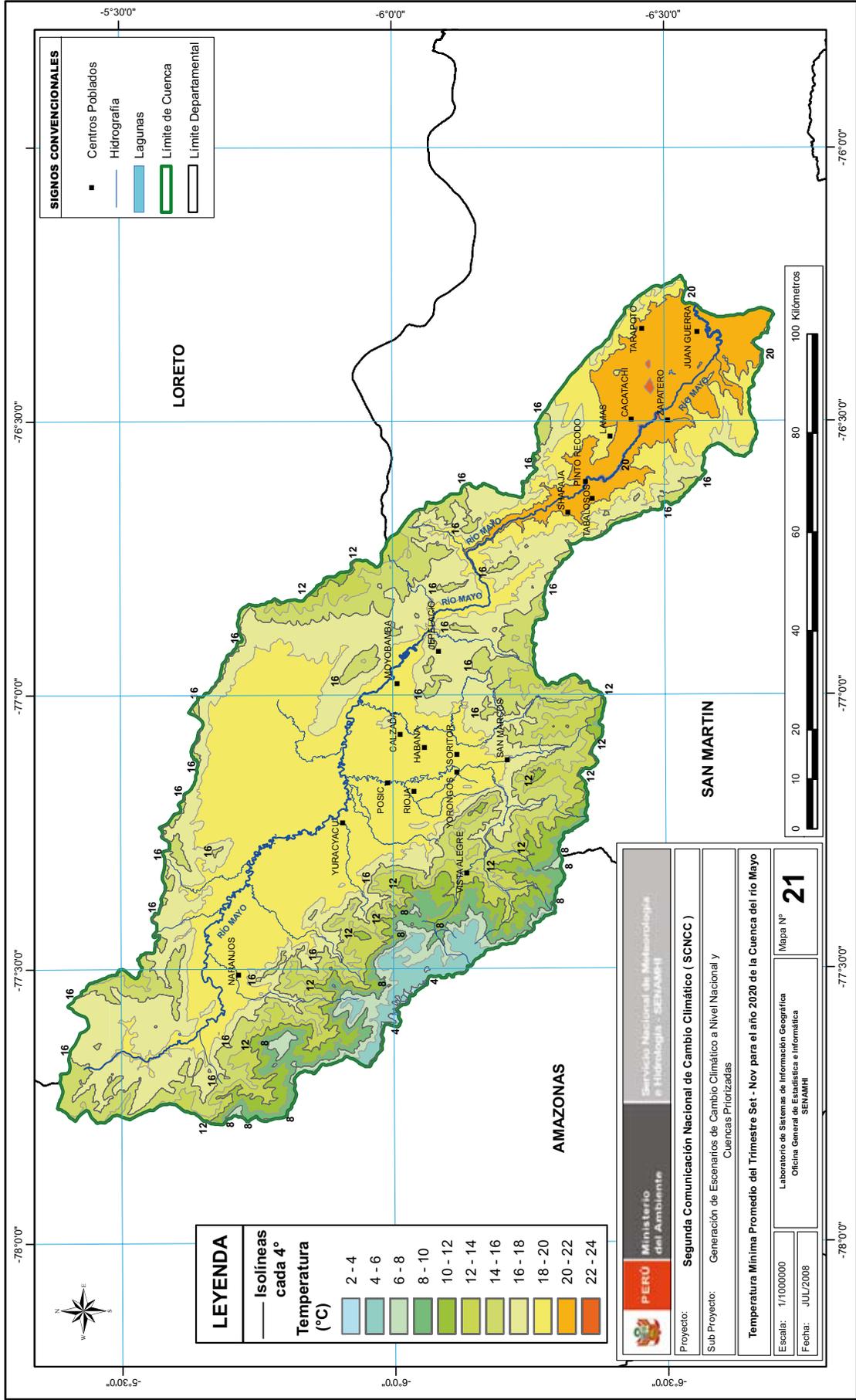


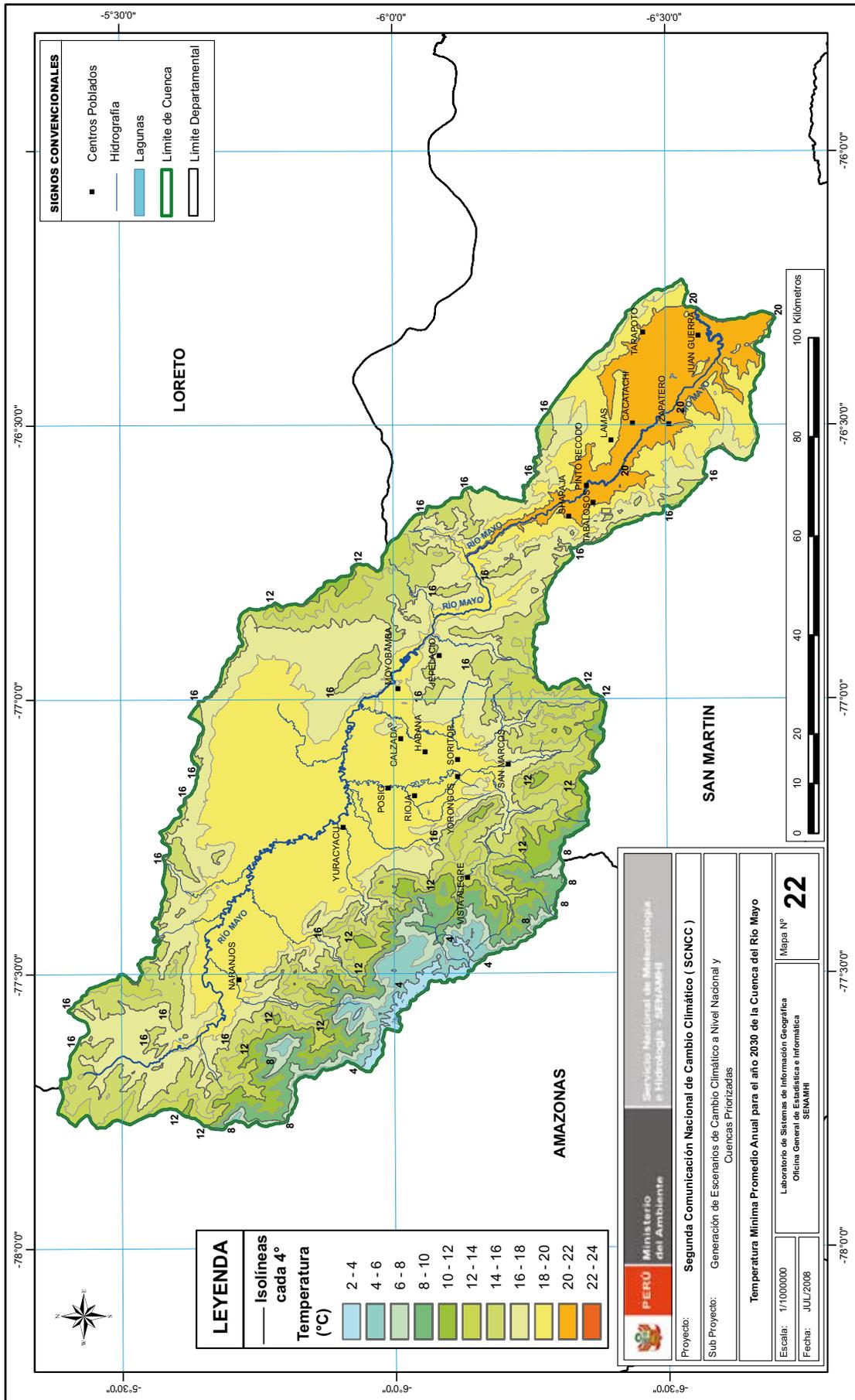


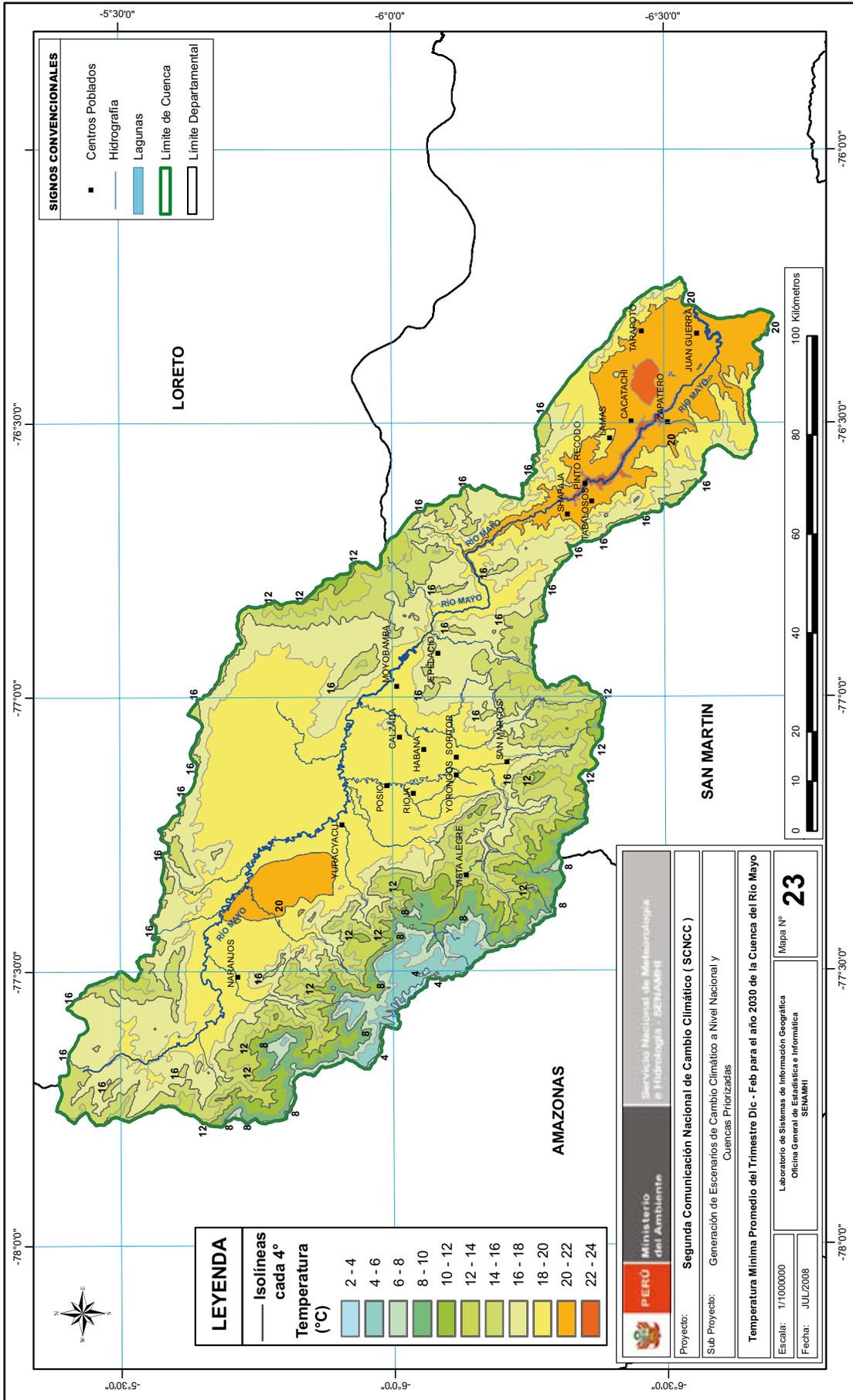


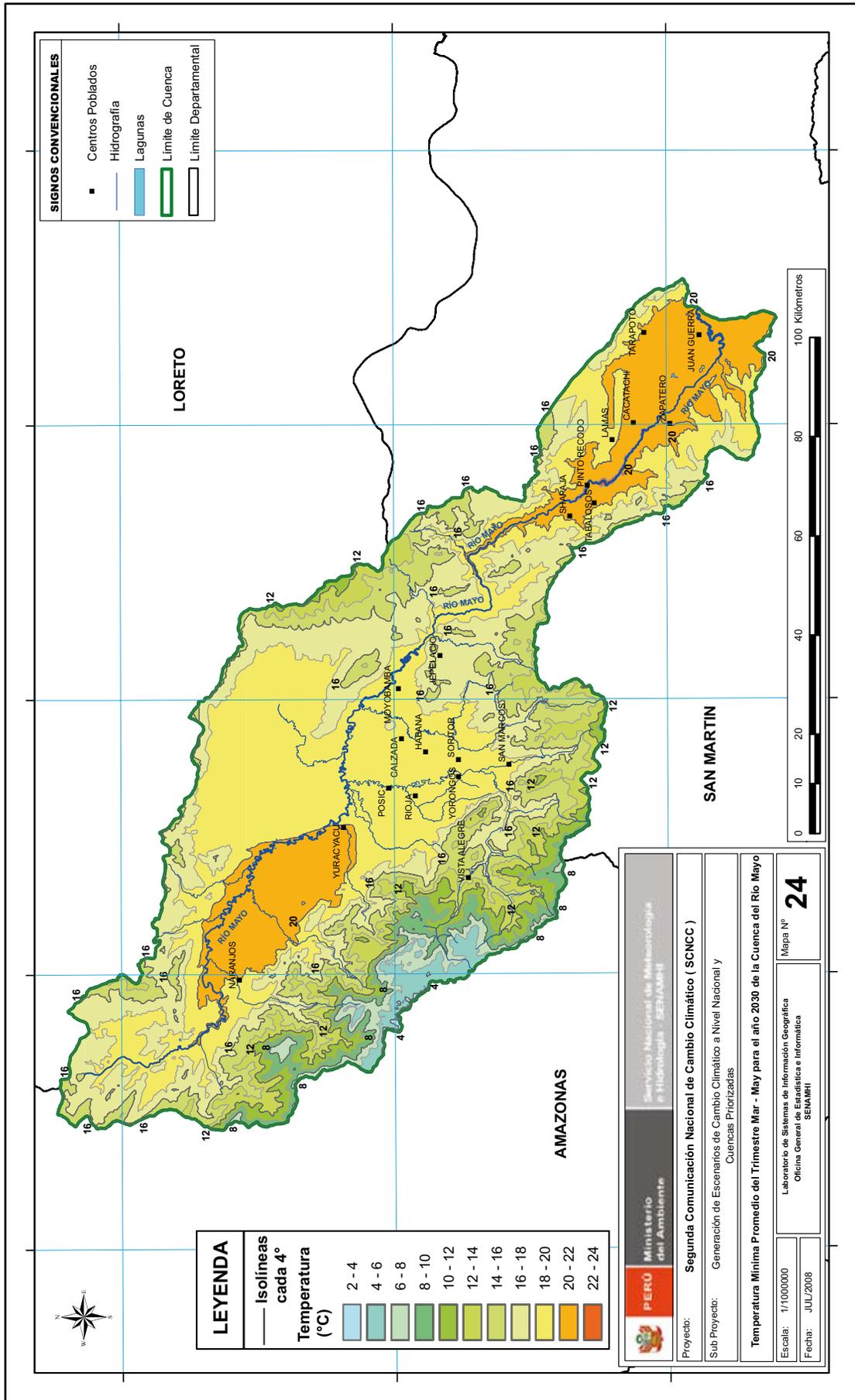












SIGNOS CONVENCIONALES

- Centros Poblados
- Hidrografía
- Lagunas
- ▭ Limite de Cuenca
- ▭ Limite Departamental

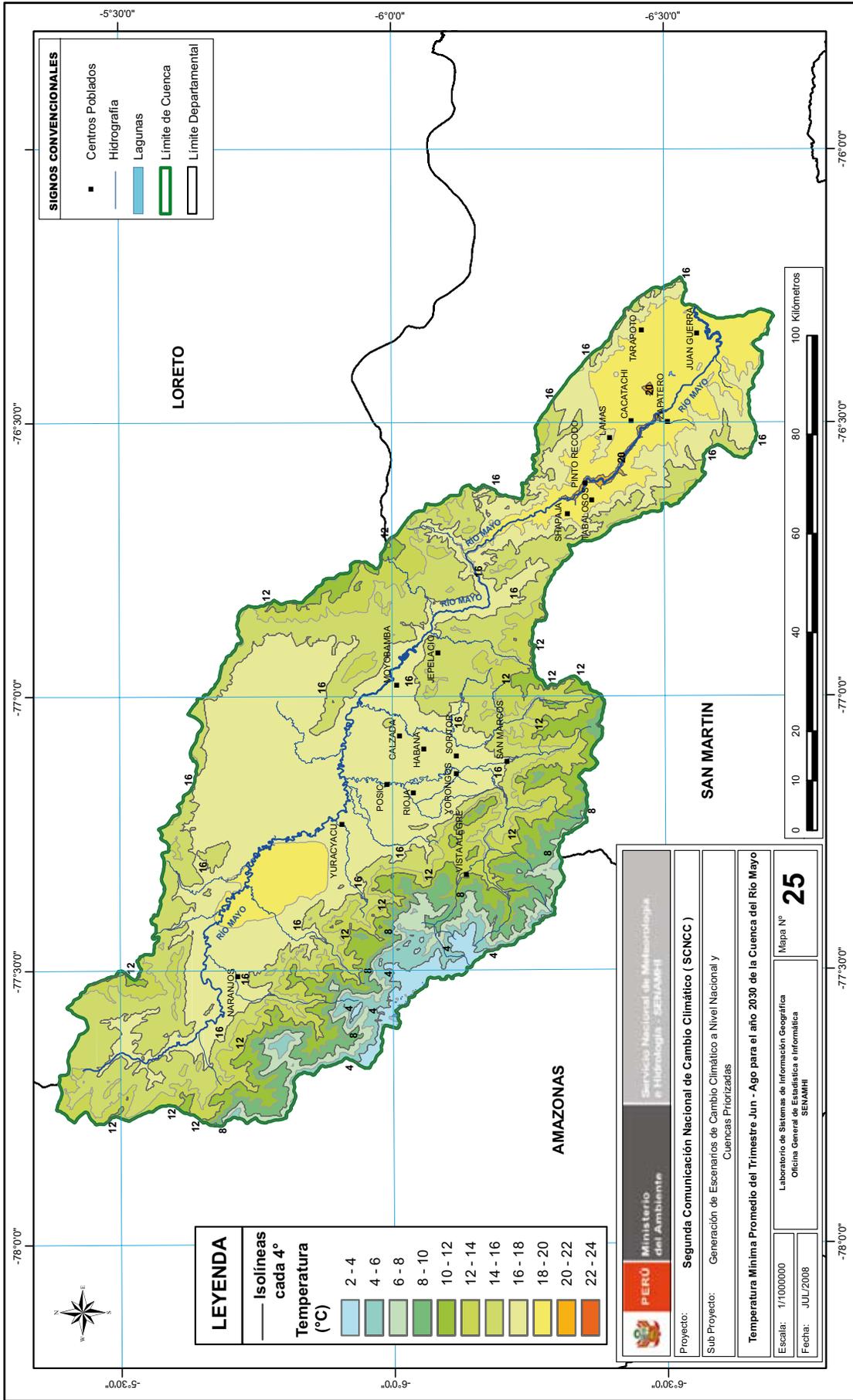
LEYENDA

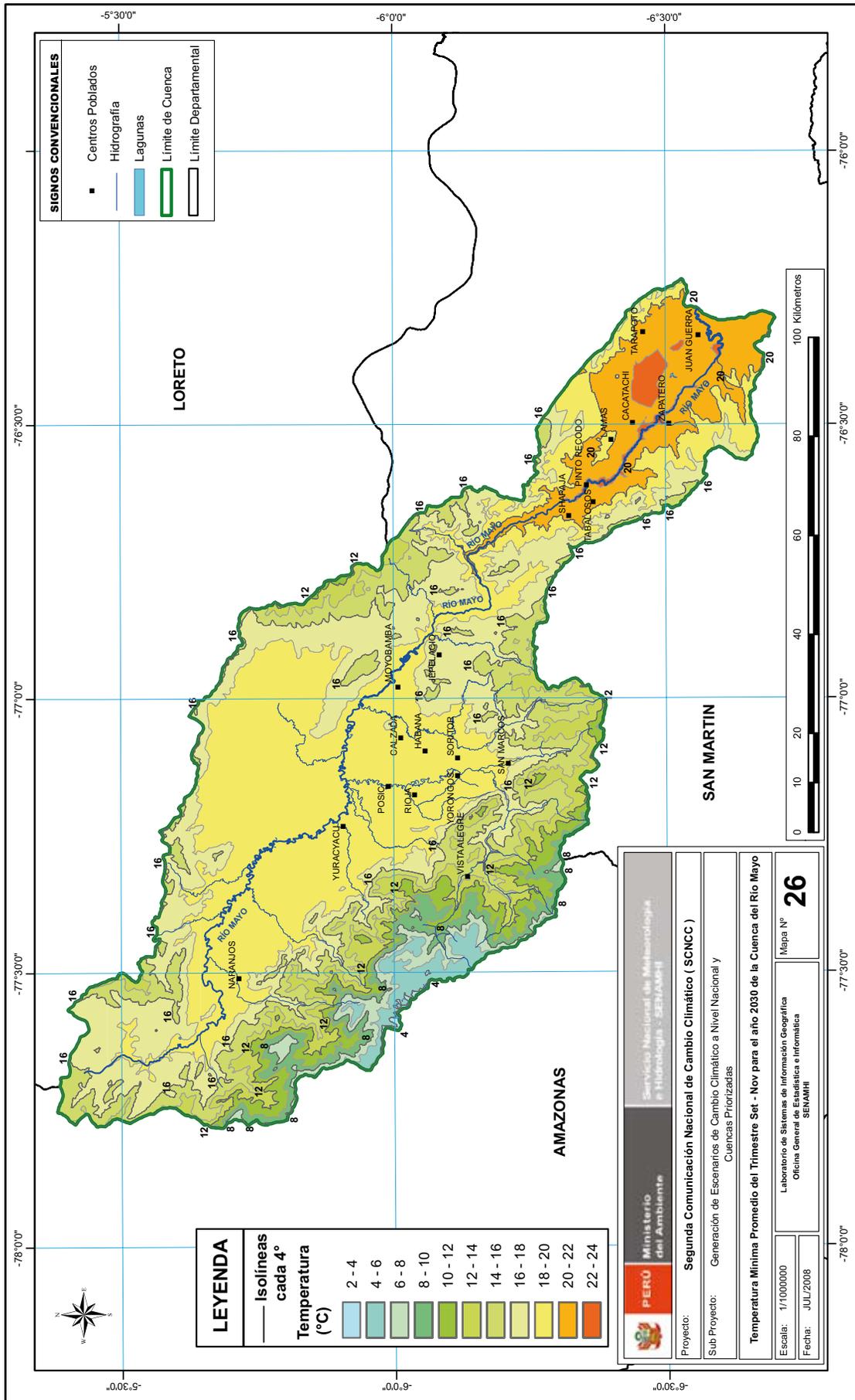
— Isolíneas cada 4°

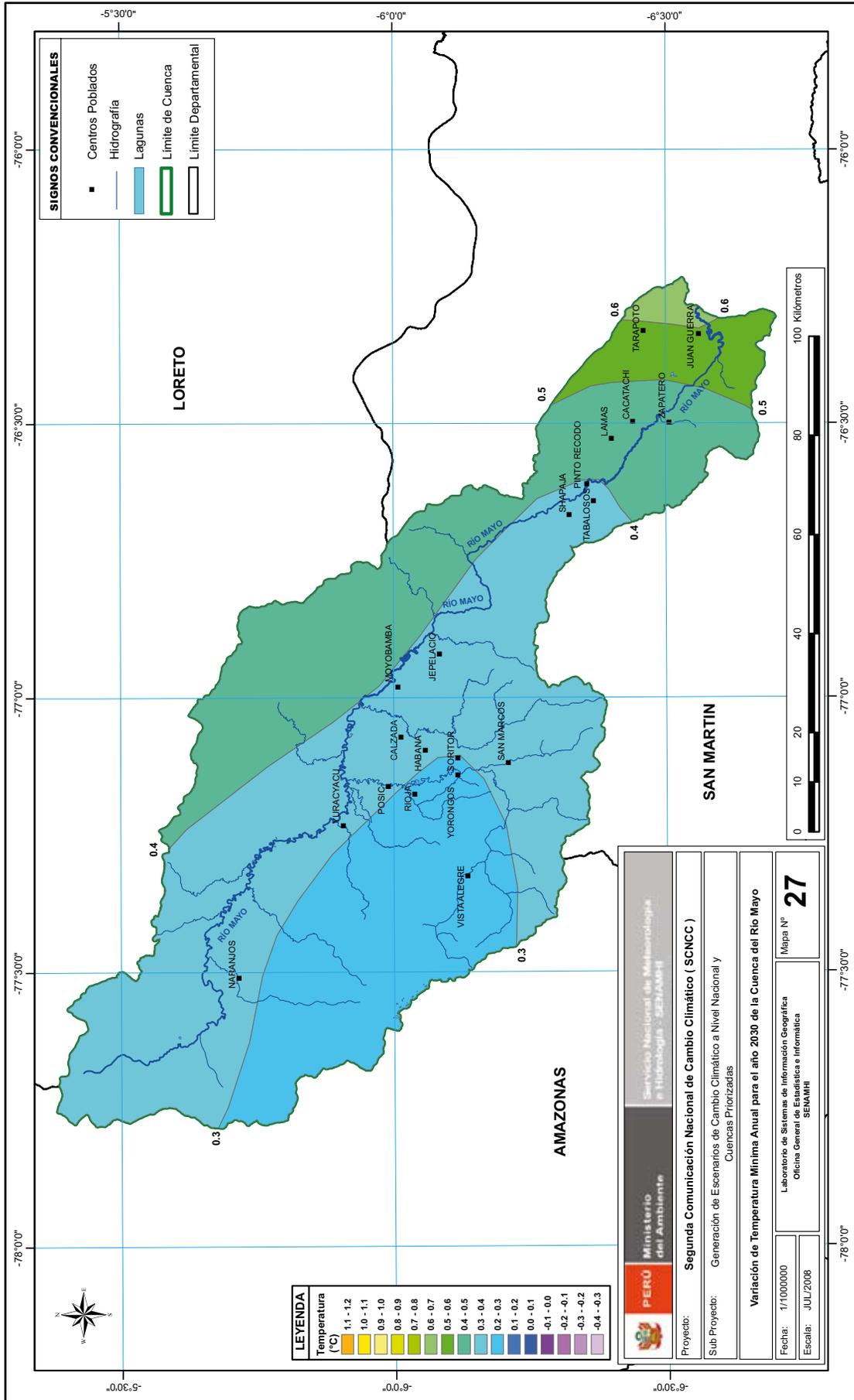
Temperatura (°C)

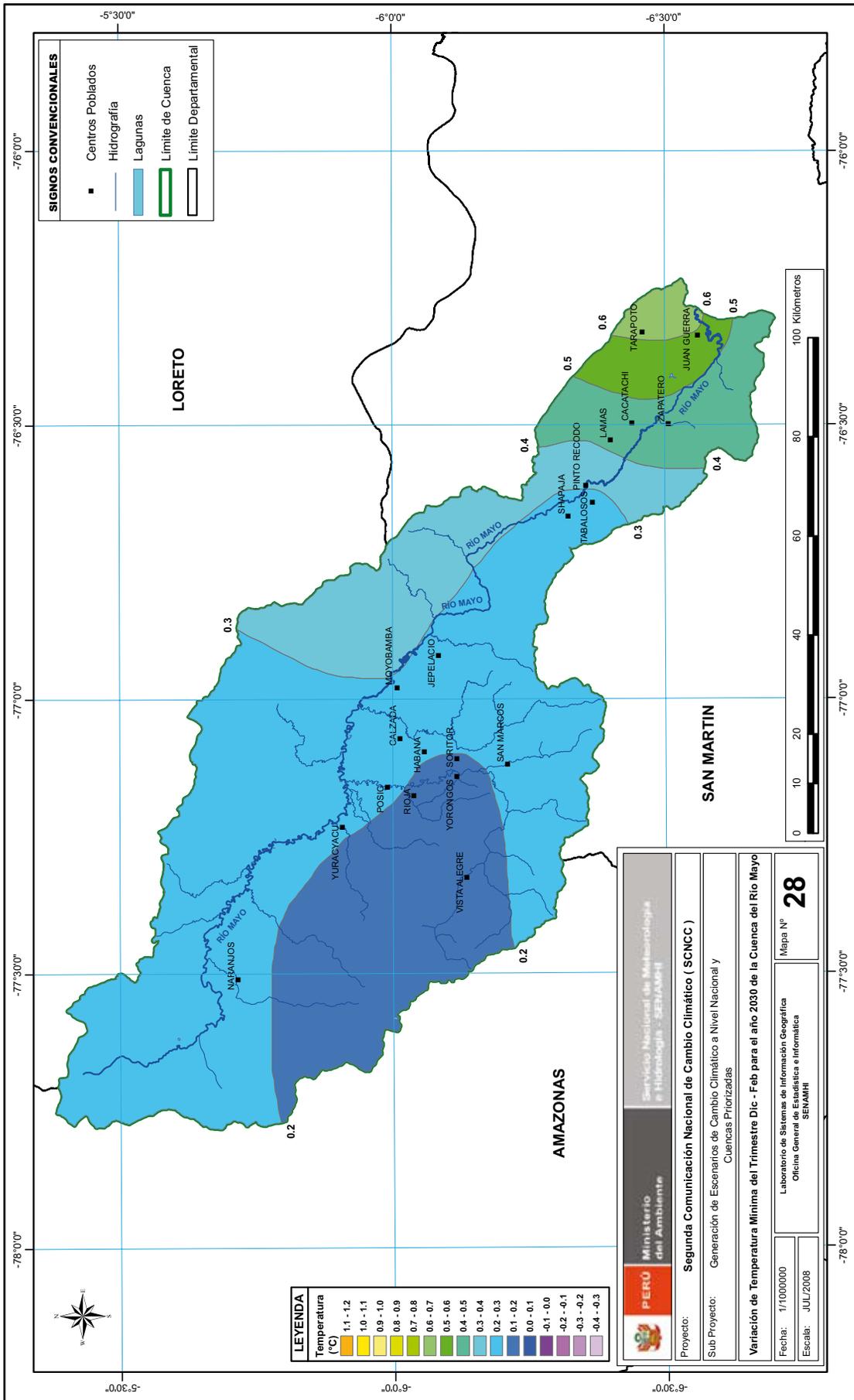
2 - 4
4 - 6
6 - 8
8 - 10
10 - 12
12 - 14
14 - 16
16 - 18
18 - 20
20 - 22
22 - 24

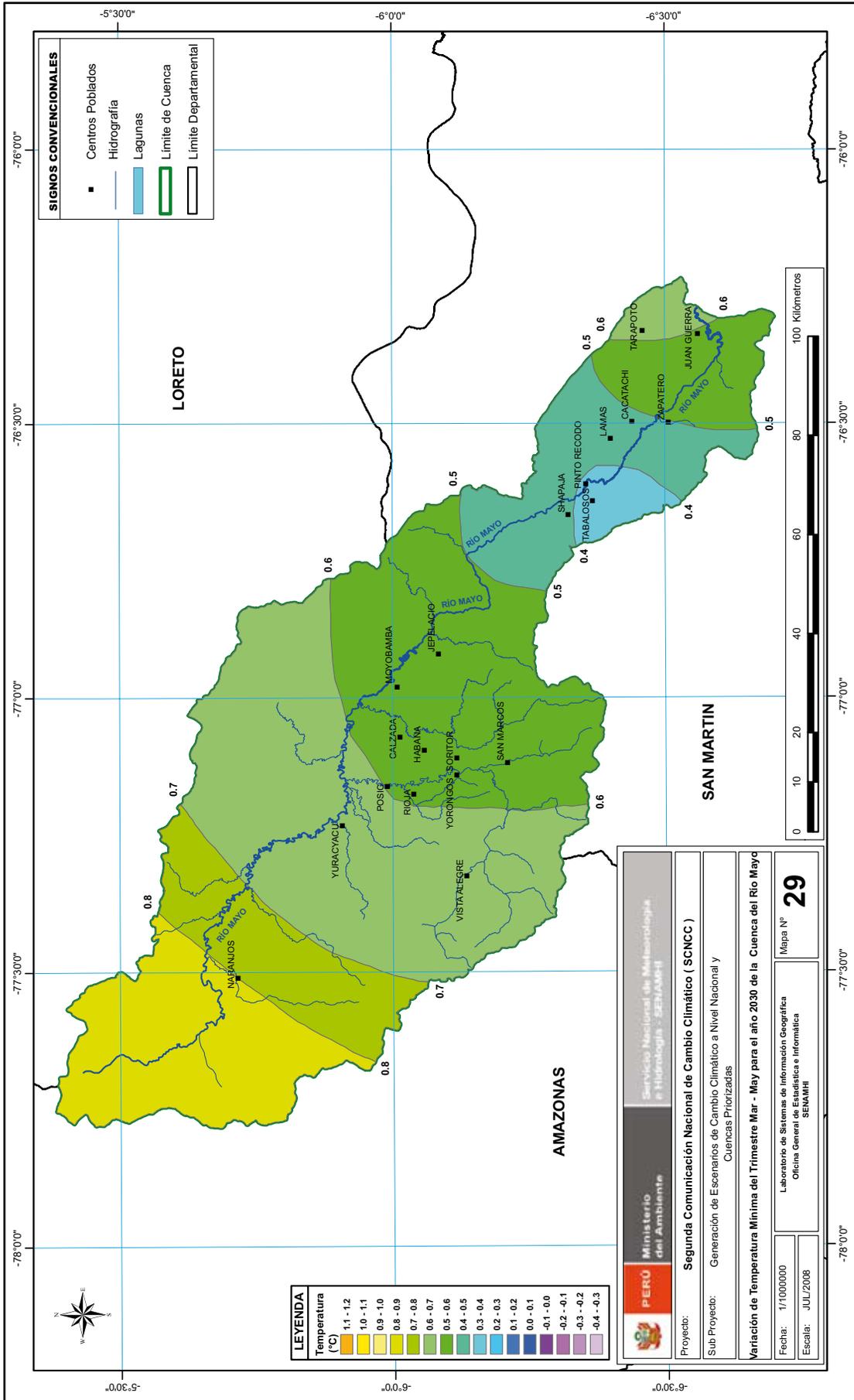
 PERÚ Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI	
	Proyecto: Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SCNCC)	Sub-Proyecto: Generación de Escenarios de Cambio Climático a Nivel Nacional y Cuencas Priorizadas
Temperatura Mínima Promedio del Trimestre Mar - May para el año 2030 de la Cuenca del Río Mayo		
Escala: 1/100000	Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Oficina General de Estadística e Informática SENAMHI	
Fecha: JUL/2008	Mapa N° 24	

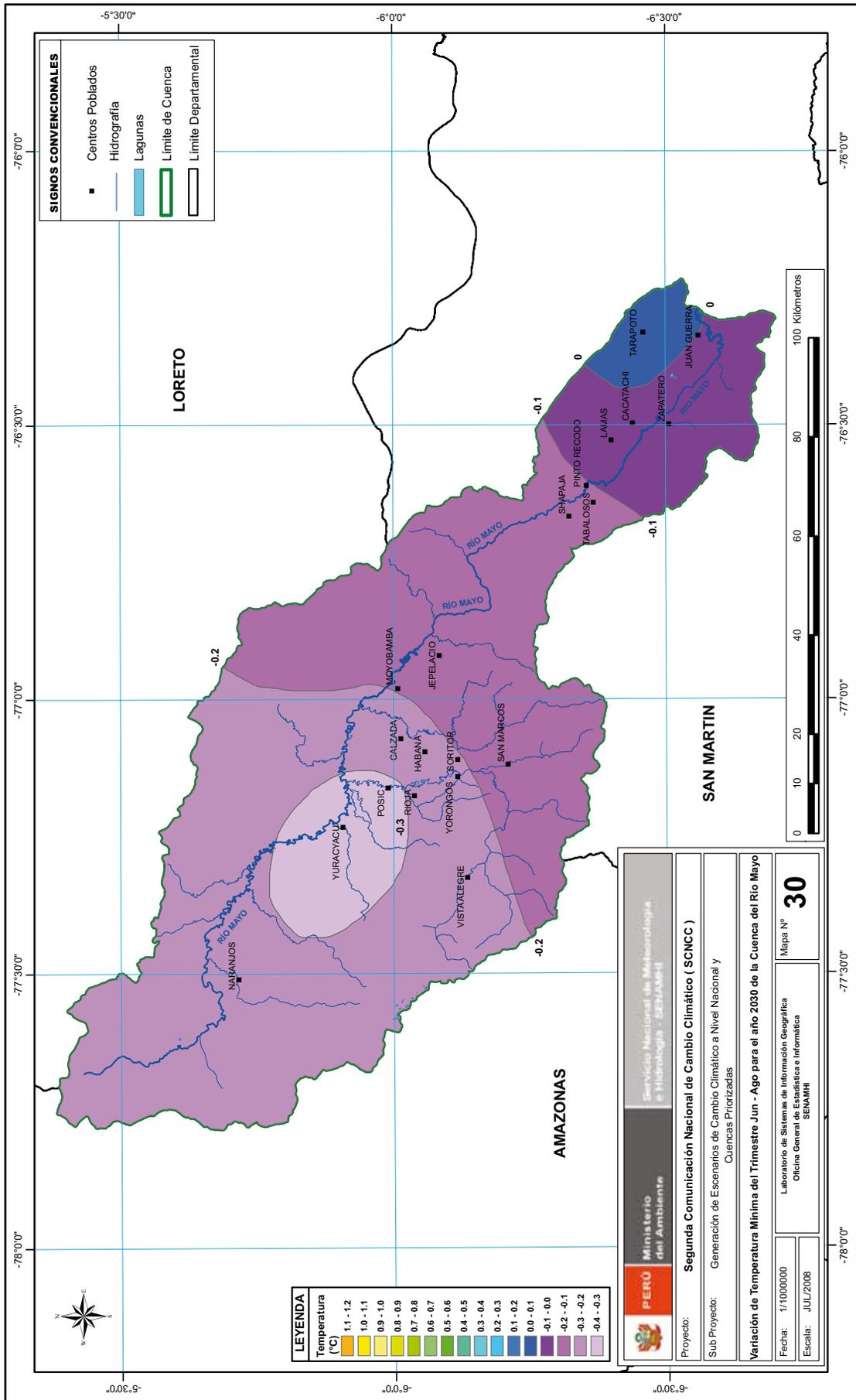


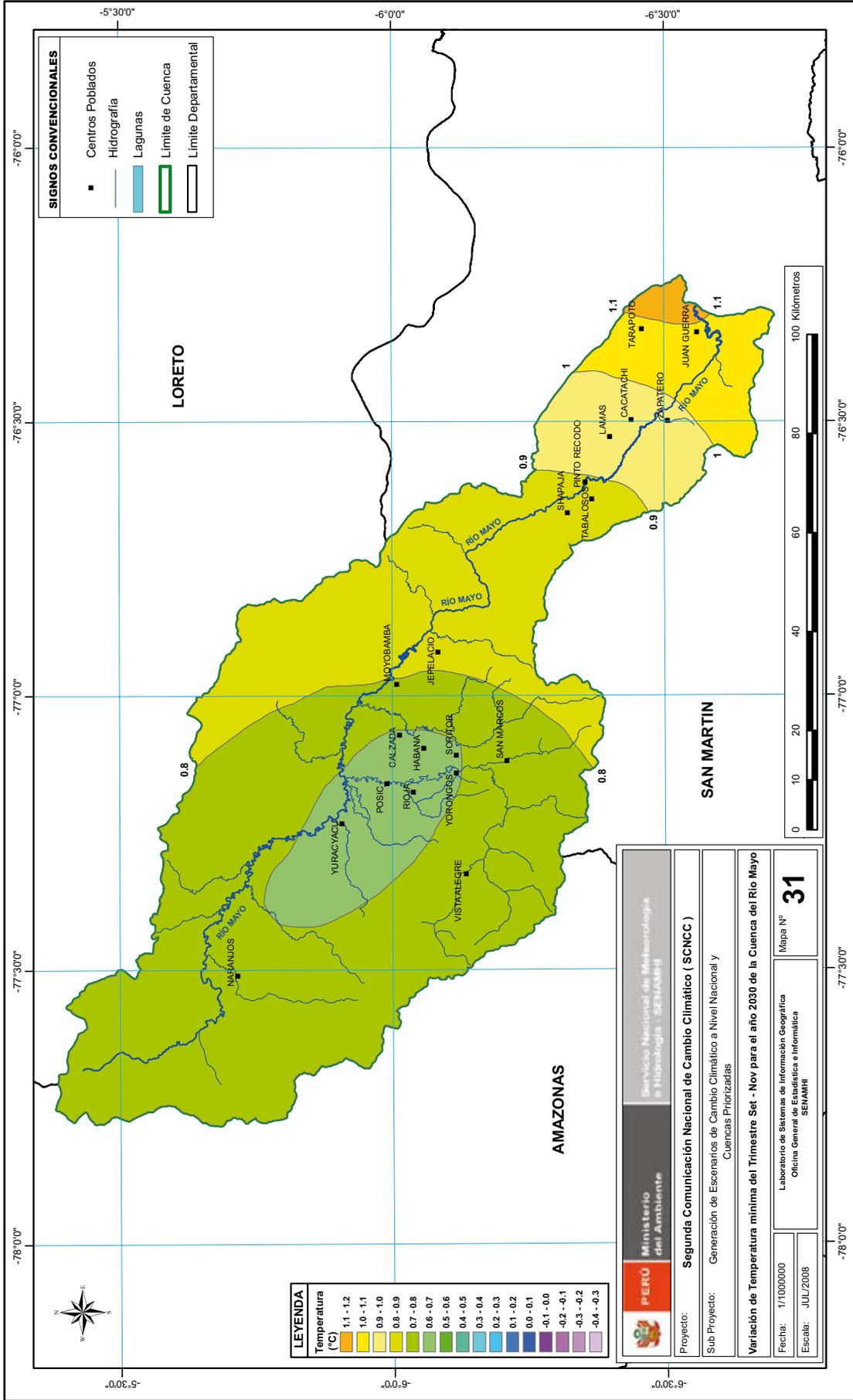


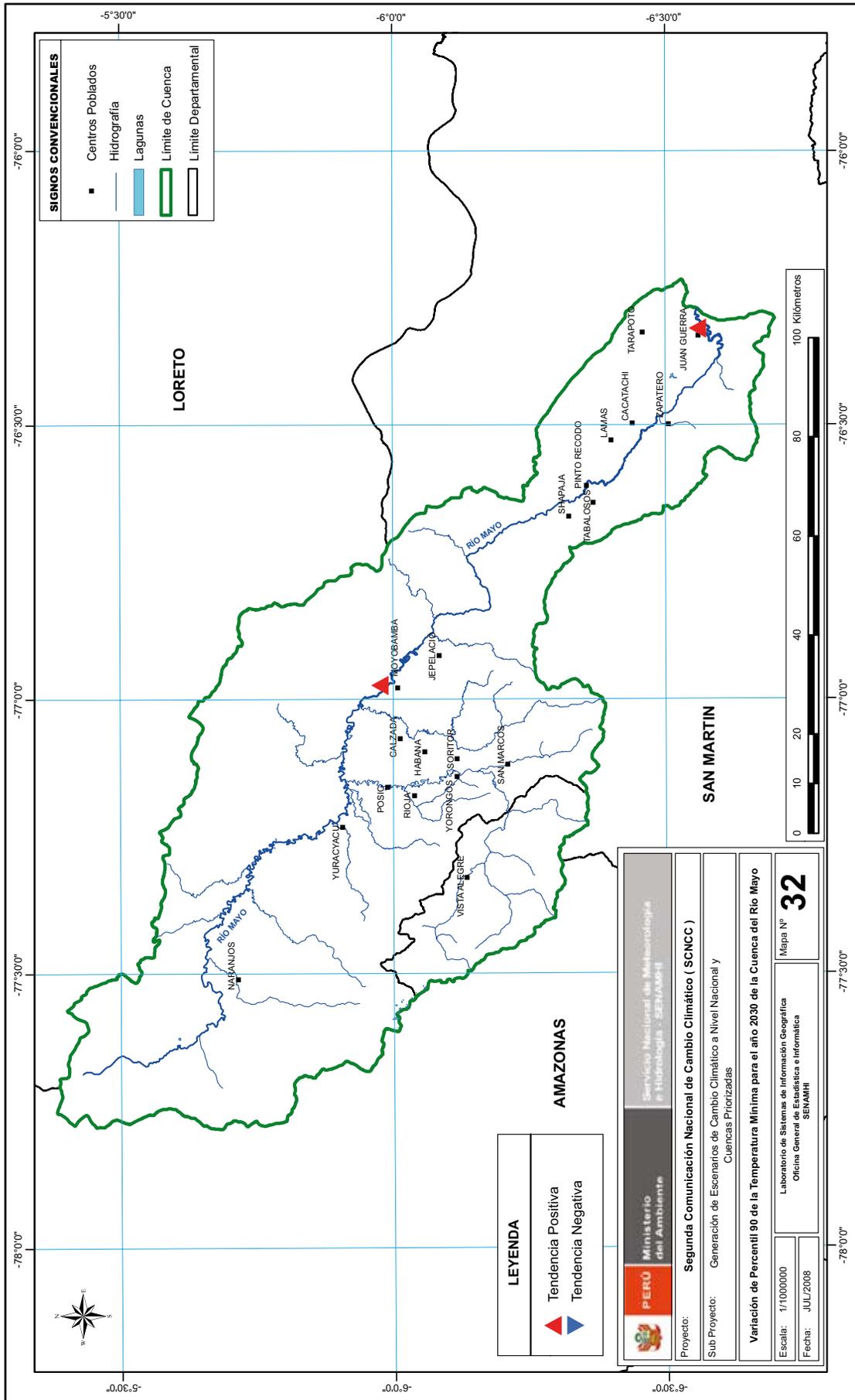


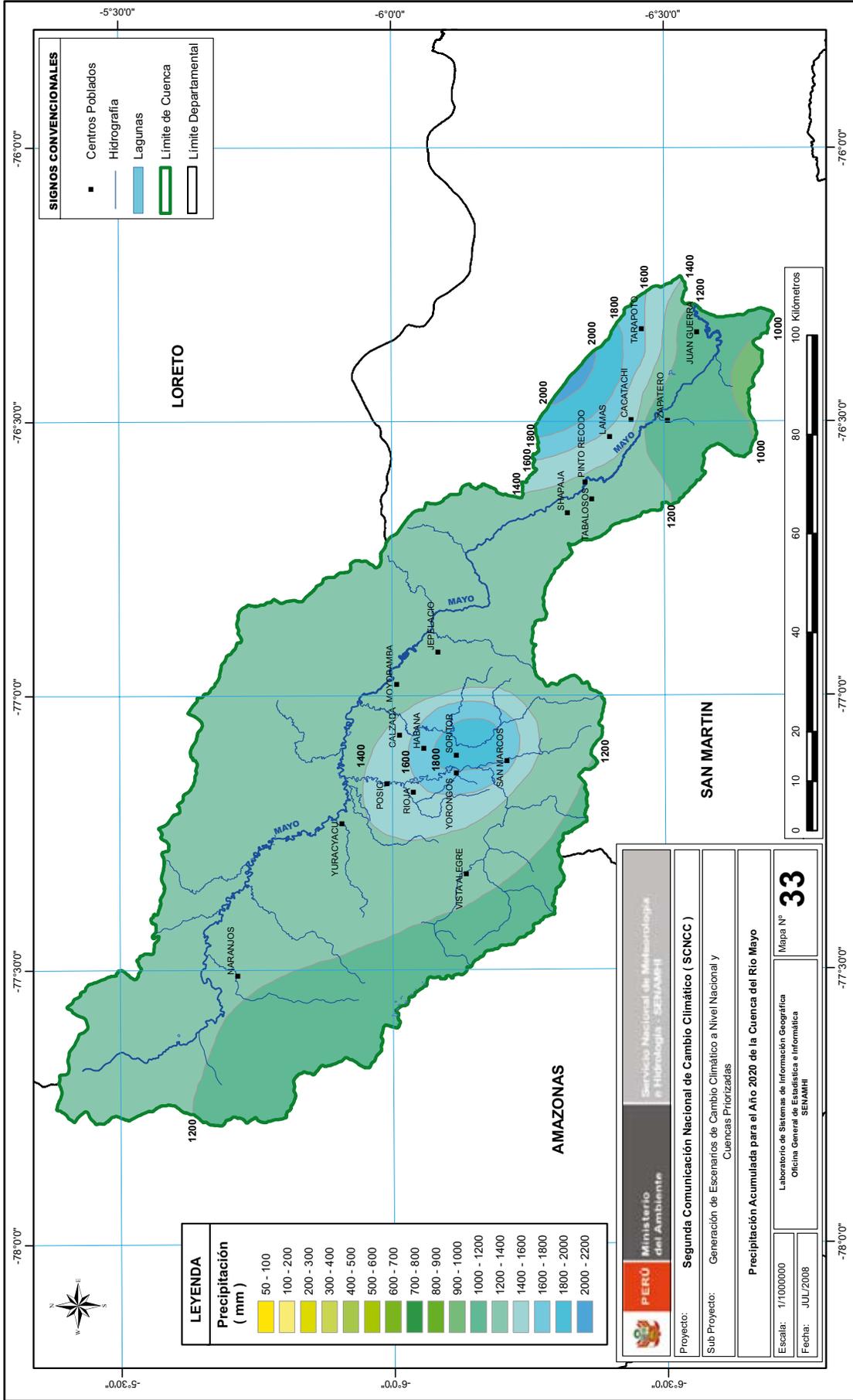


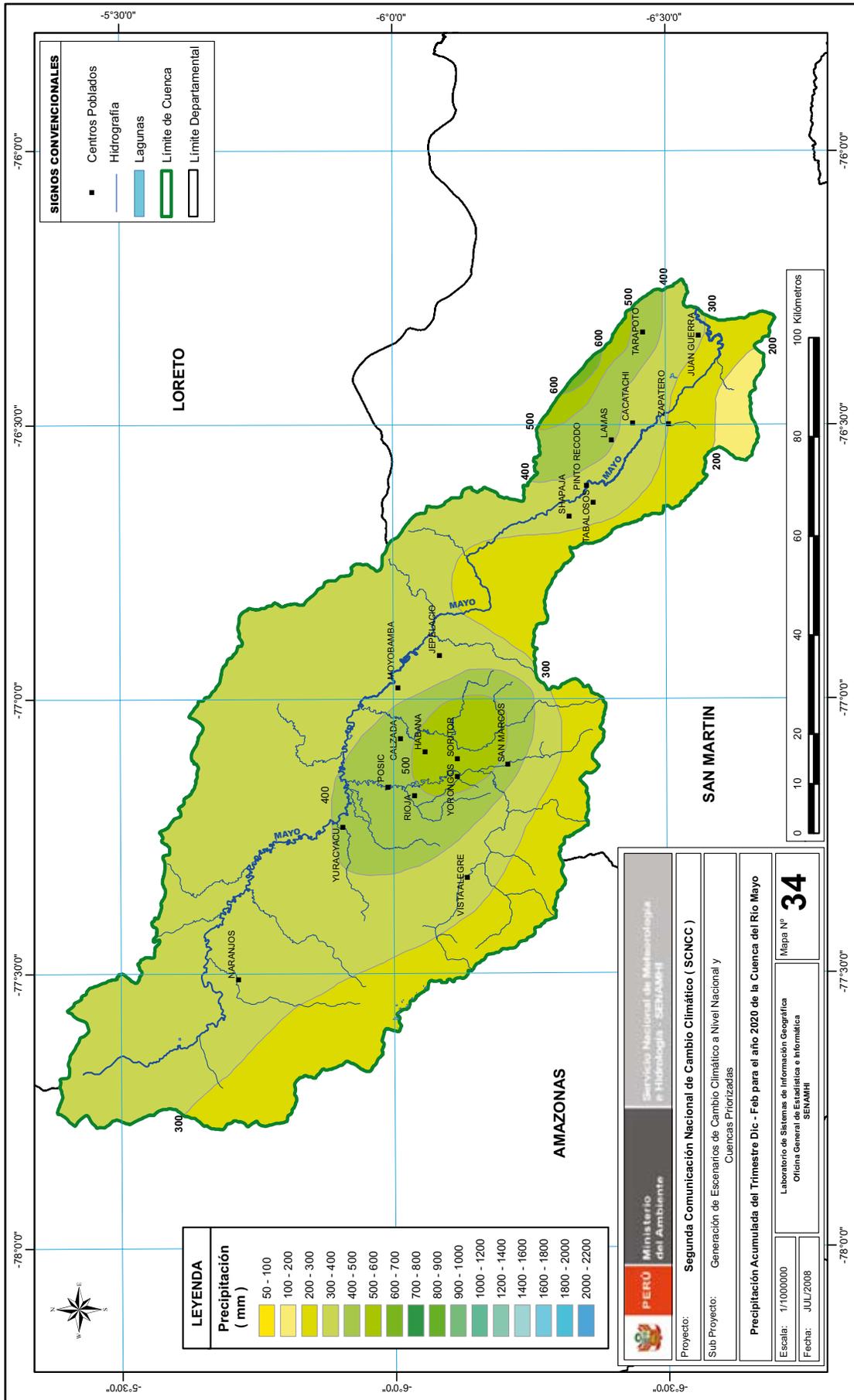


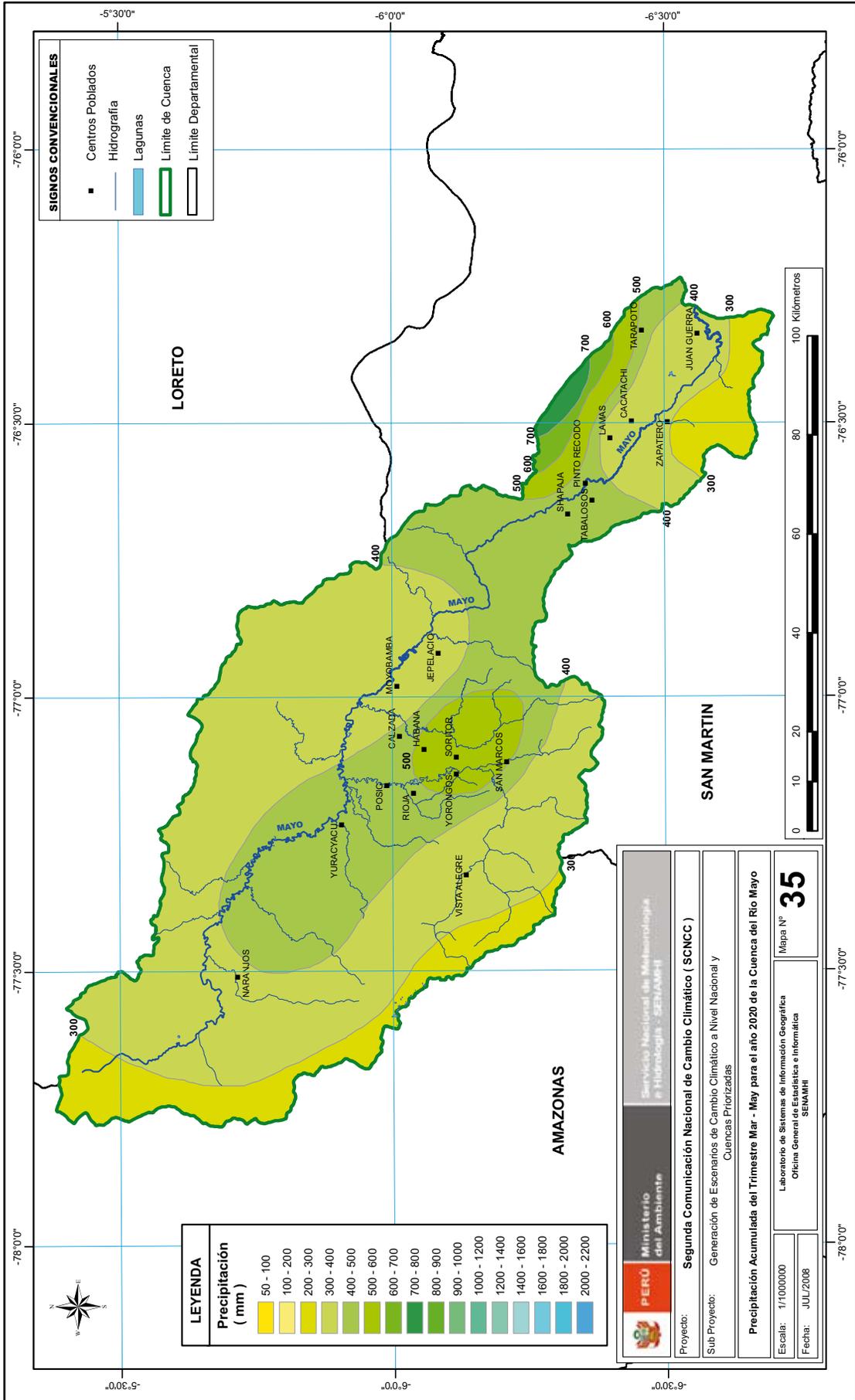


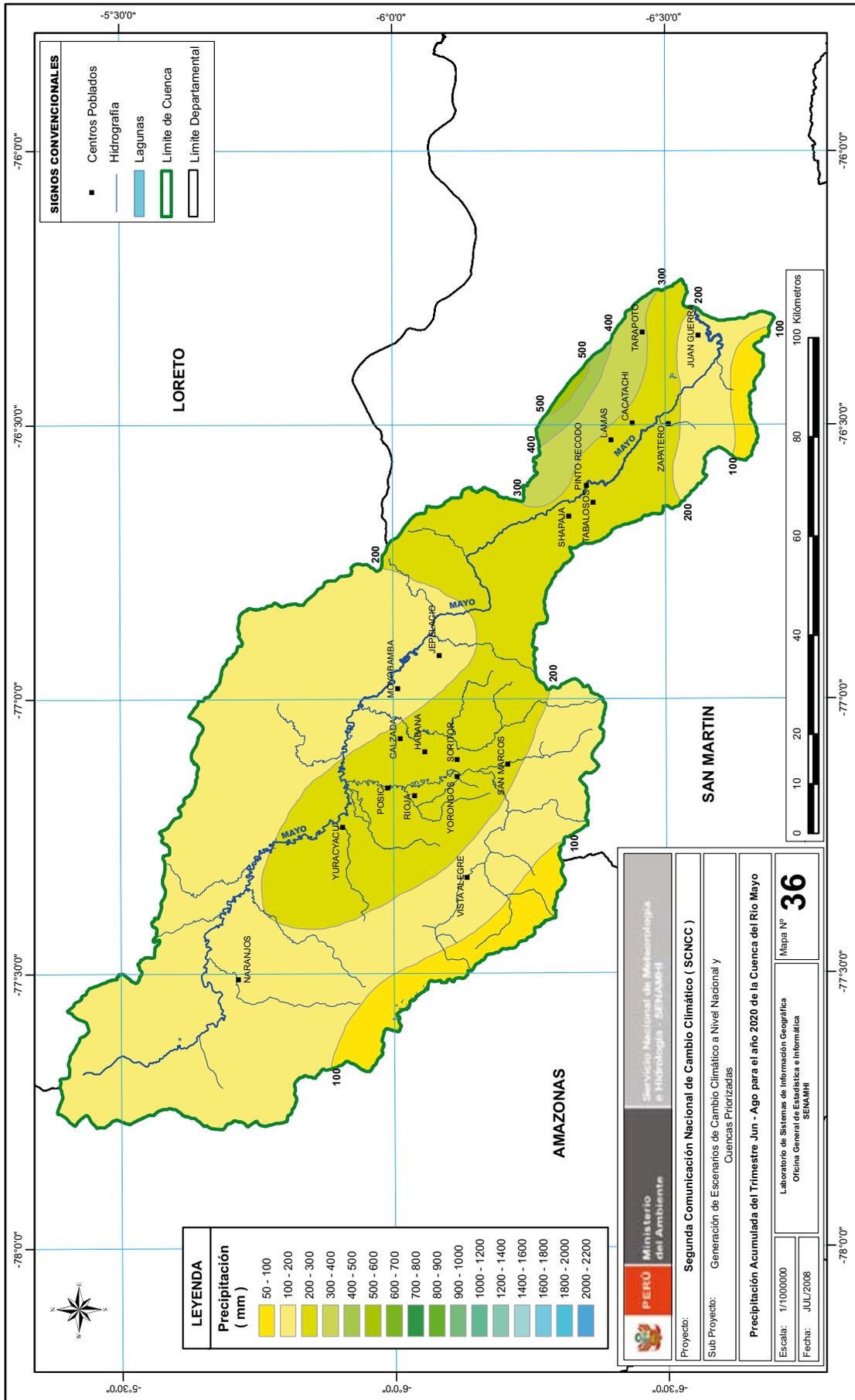


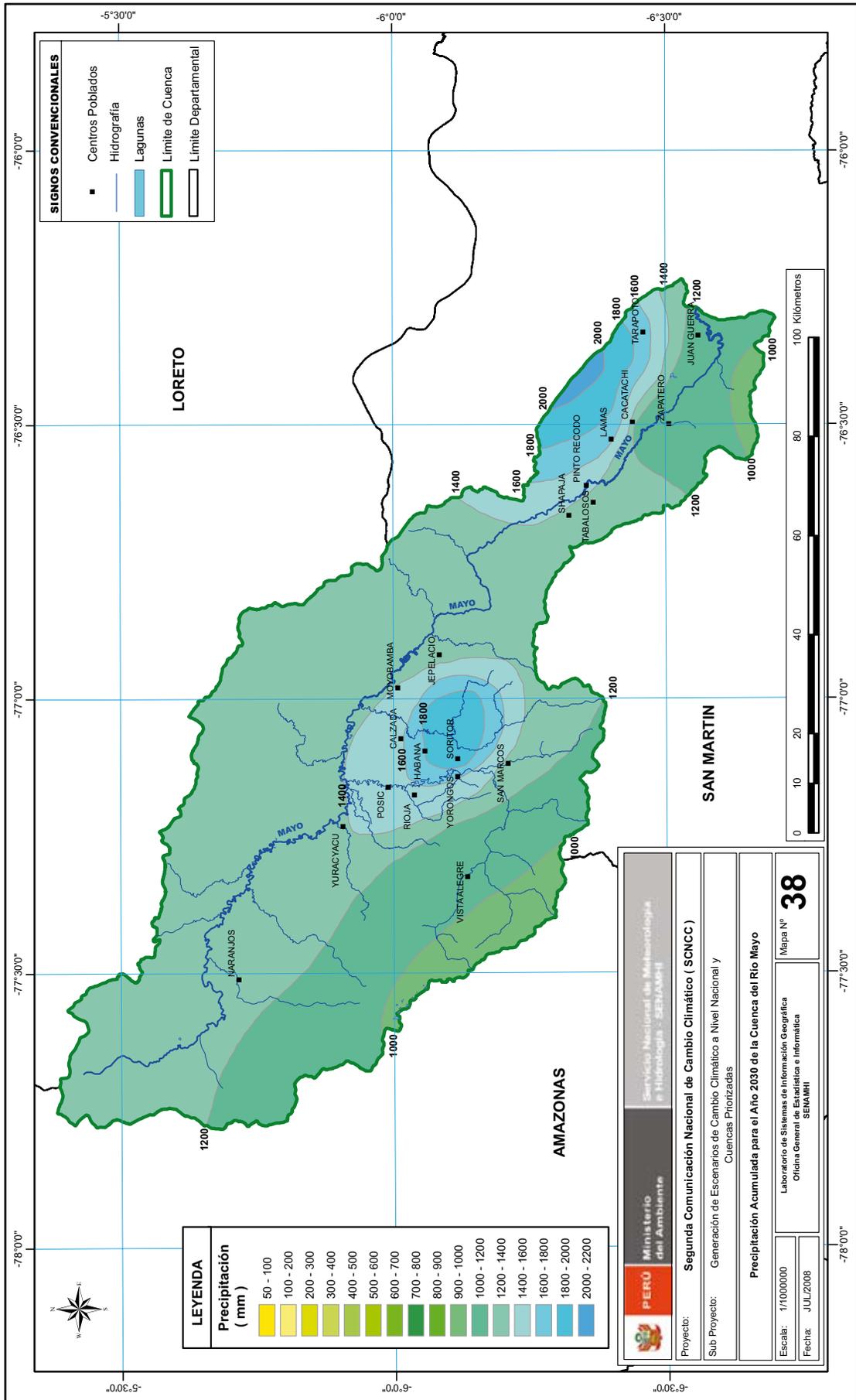


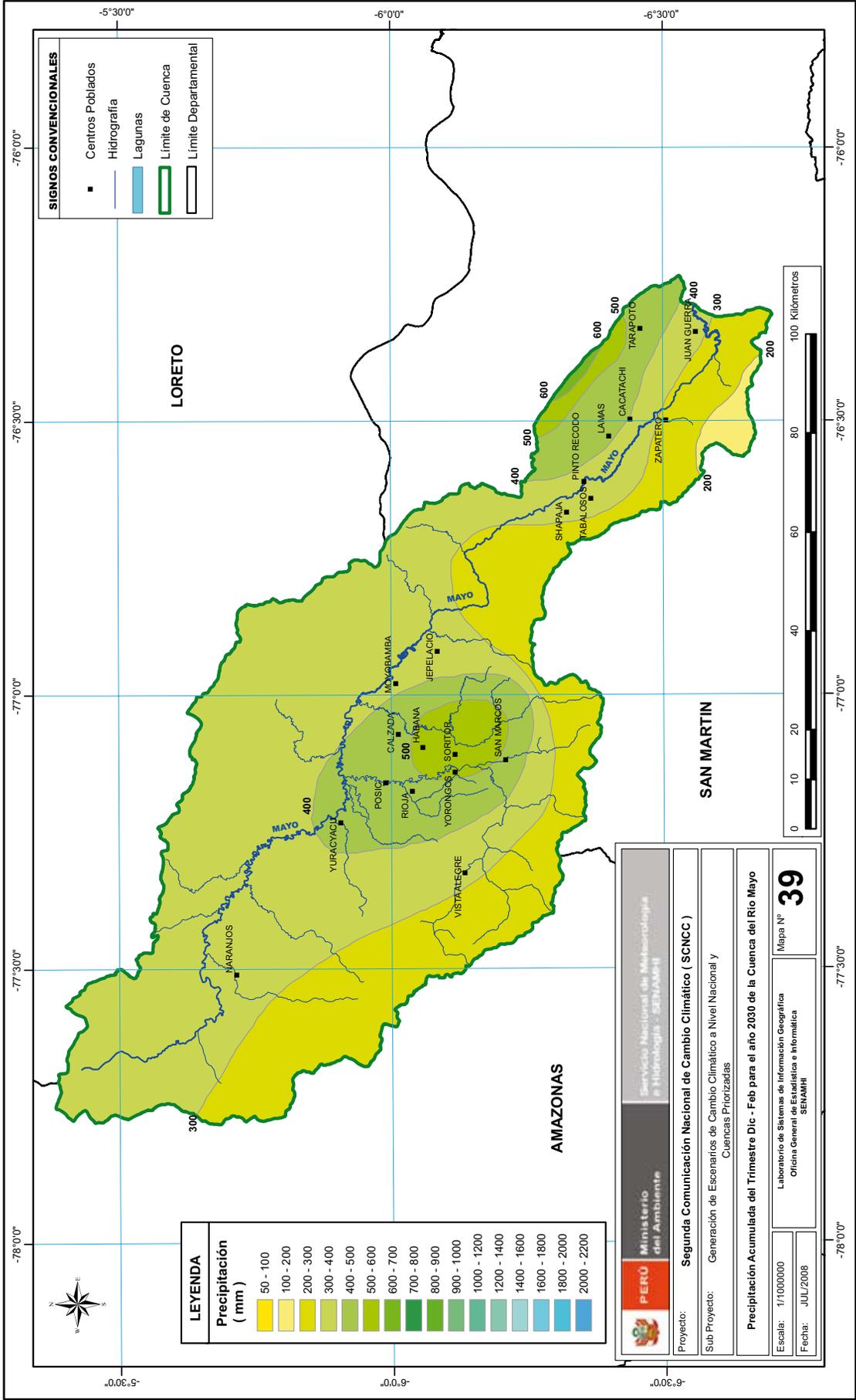


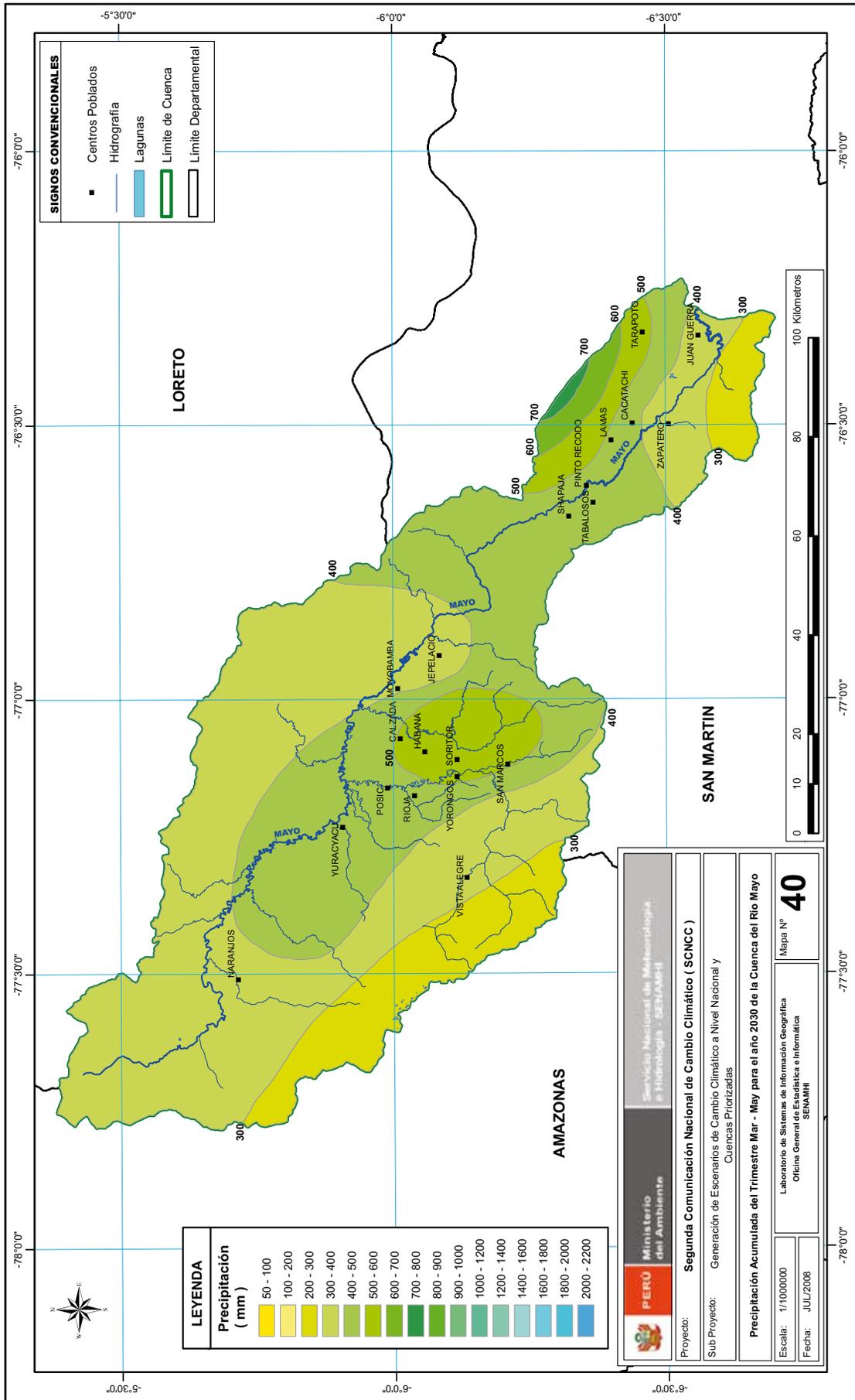


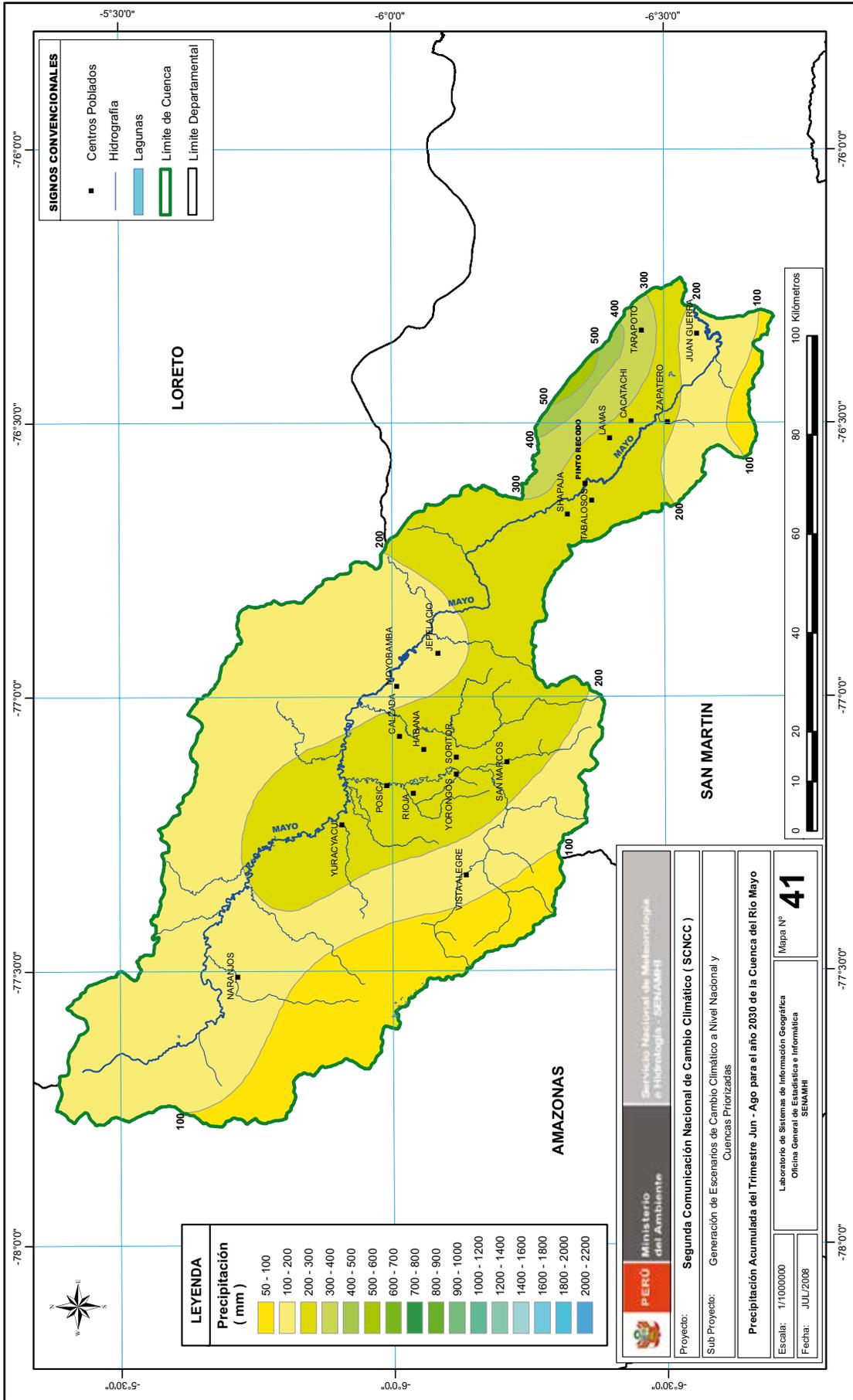


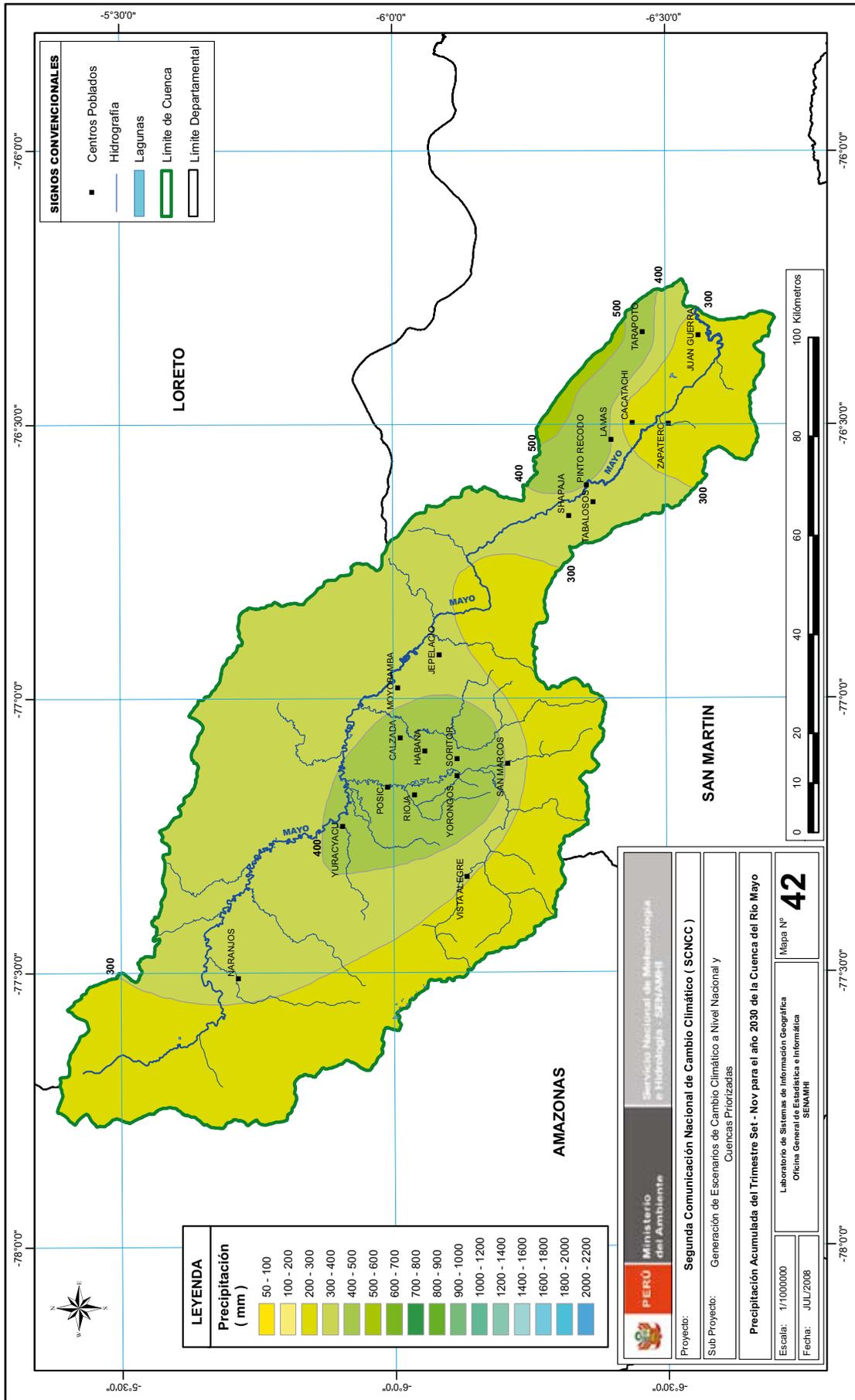


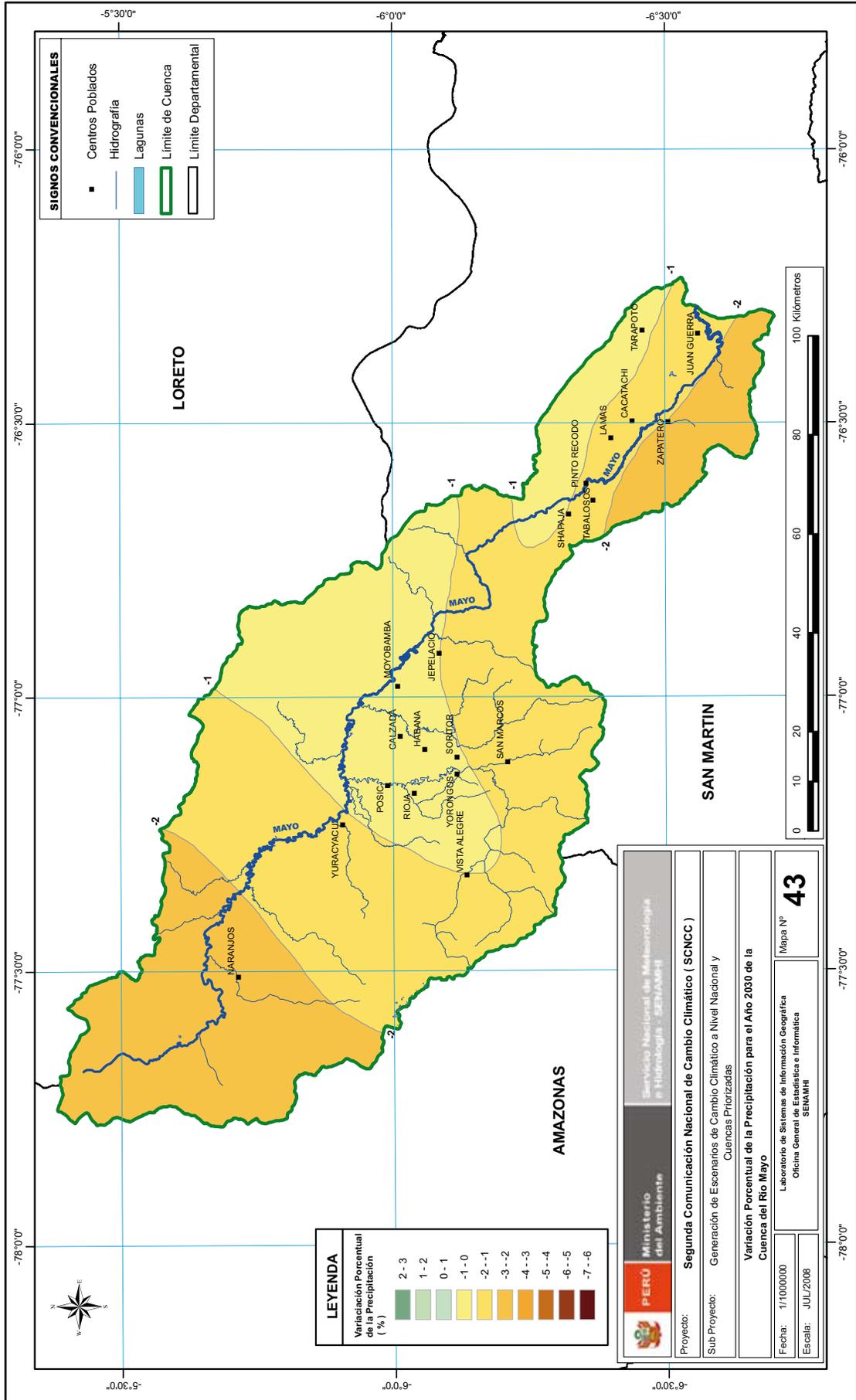


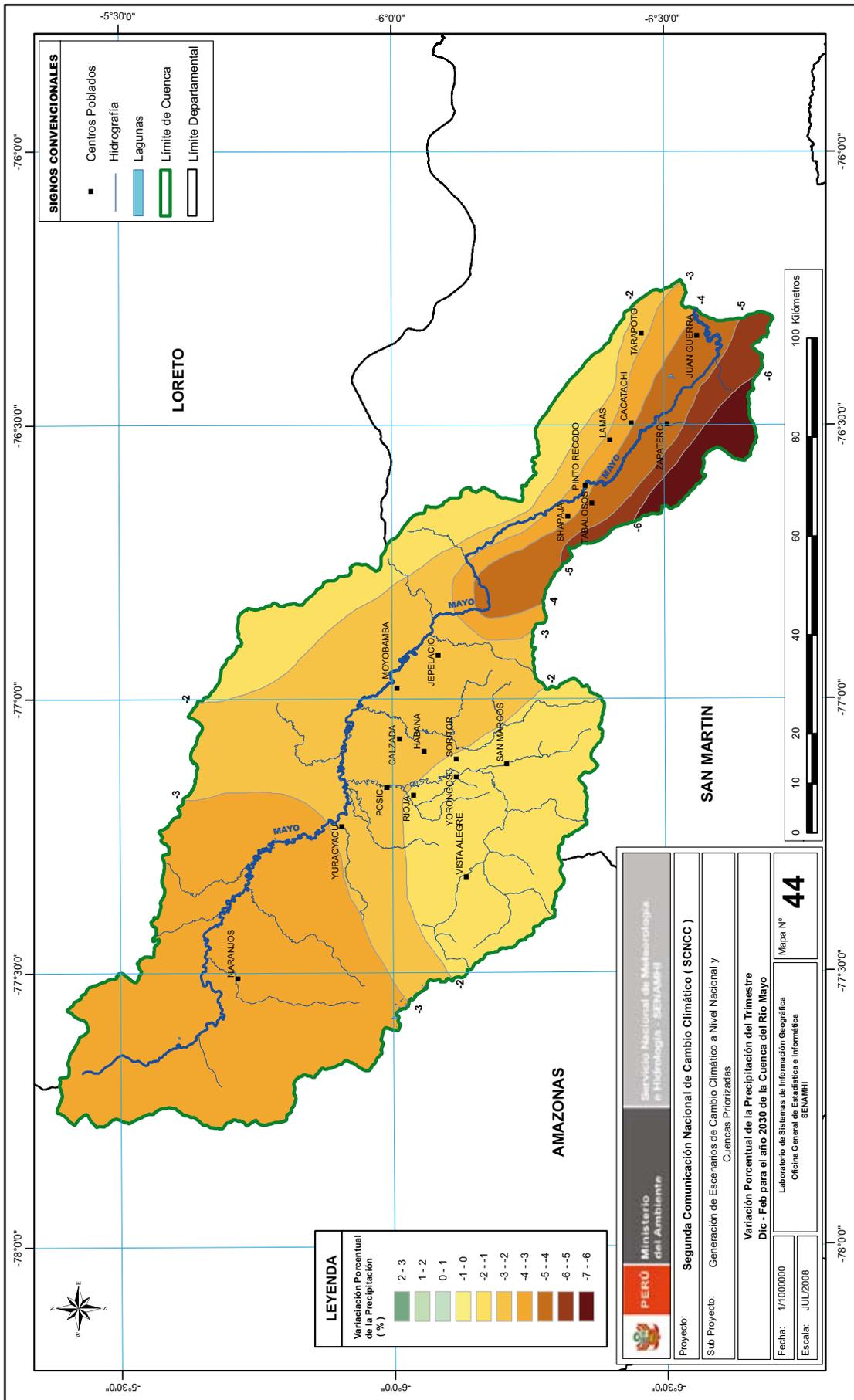


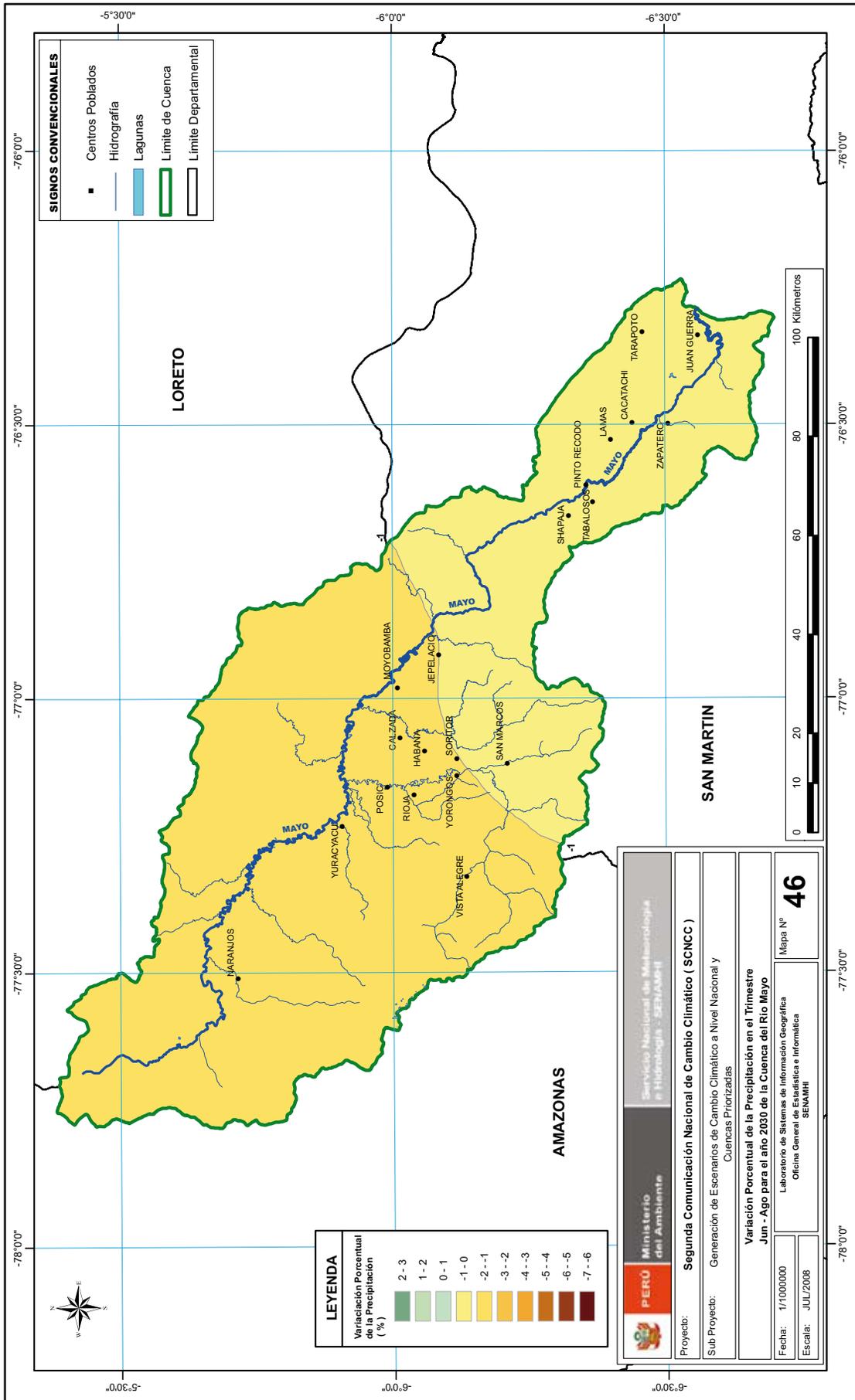


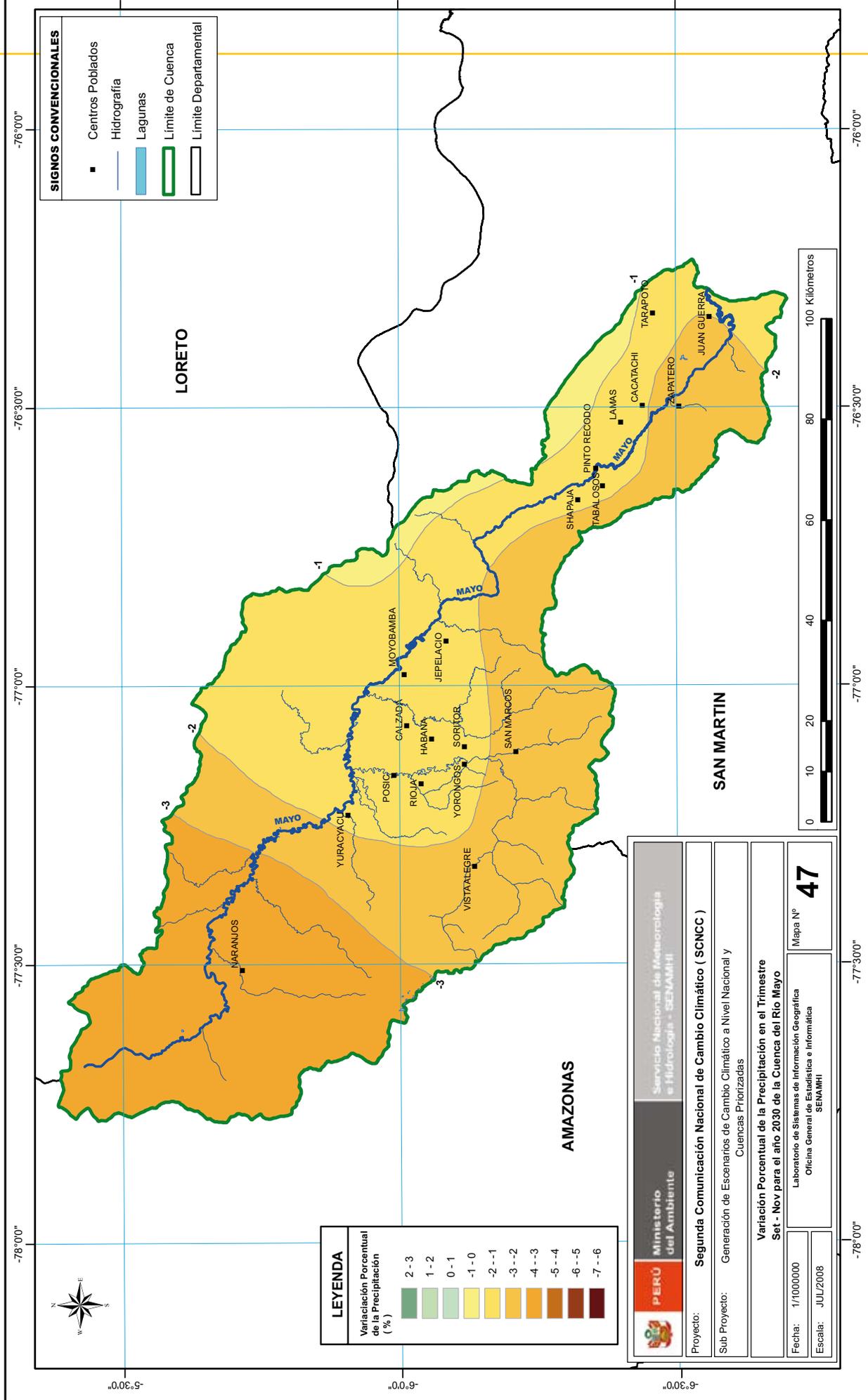












SIGNOS CONVENCIONALES

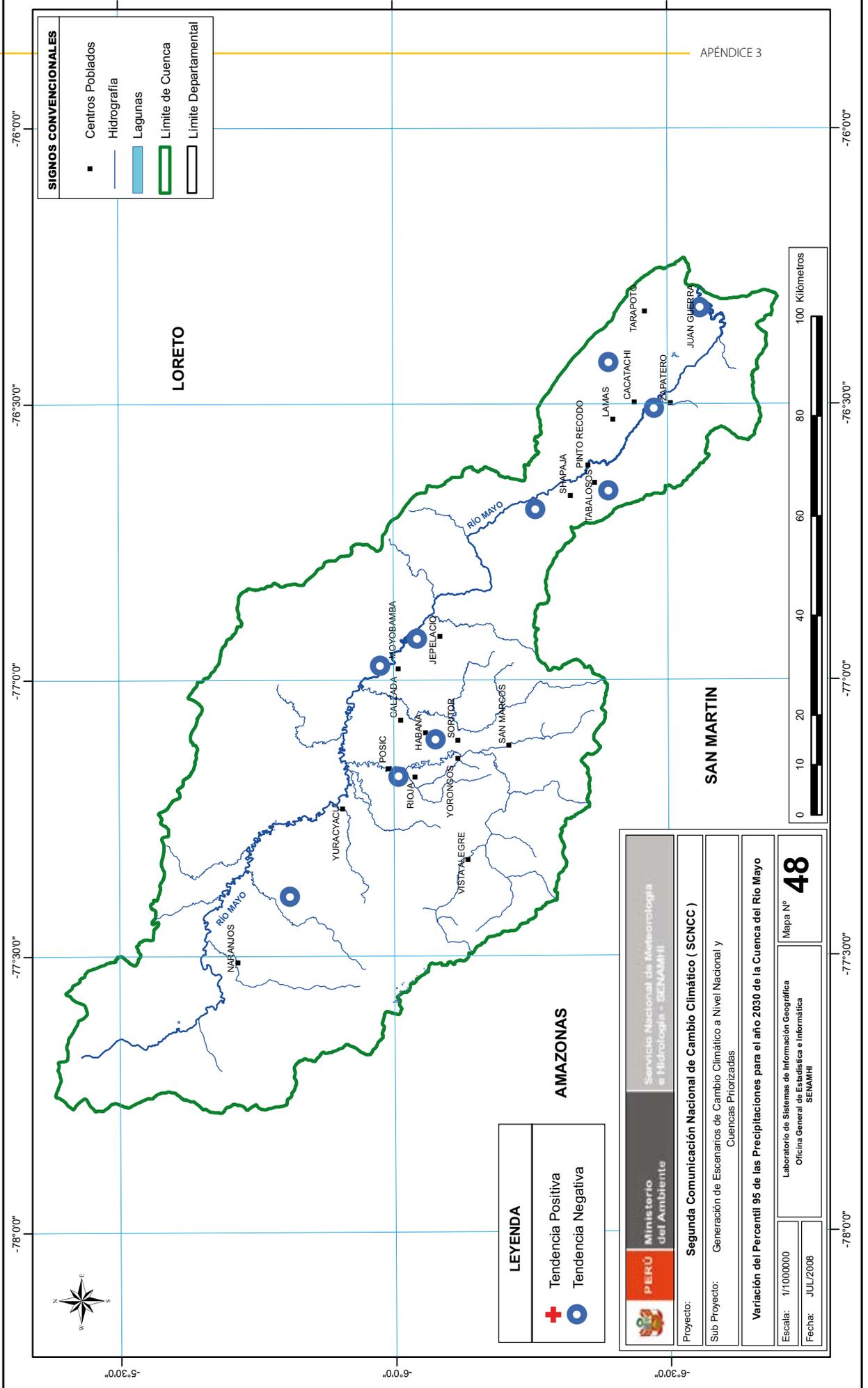
- Centros Poblados
- Hidrografía
- Lagunas
- Límite de Cuenca
- Límite Departamental

LEYENDA

Variación Percentual de la Precipitación (%)

2 - 3
1 - 2
0 - 1
-1 - 0
-2 - -1
-3 - -2
-4 - -3
-5 - -4
-6 - -5
-7 - -6

<p>PERÚ Ministerio del Ambiente</p>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI
	<p>Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SCNCC)</p>
Proyecto:	Generación de Escenarios de Cambio Climático a Nivel Nacional y Cuenclas Priorizadas
Fecha: 1/10000000 Escala: JUL/2008	Variación Percentual de la Precipitación en el Trimestre Set - Nov para el año 2030 de la Cuenca del Río Mayo
Mapa N° 47	Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Oficina General de Estadística e Informática SENAMHI



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 periodo 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 actual 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 periodo 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