

2.9 Uso energético del agua

2.9.1 Planes energéticos sectoriales

La situación energética mundial ha estado muy condicionada en las últimas décadas por la volatilidad de los combustibles fósiles, lo que ha movido a los gobiernos a reducir la dependencia de ellos. Por otra parte, el contexto de cambio climático, fundamentalmente debido a los gases de efecto invernadero producidos por esos combustibles fósiles, ha inducido igualmente a los gobiernos a promover las energías renovables y a buscar energías eficientes, robustas y a precios adecuados.

En los últimos años el Perú ha incrementado su desarrollo económico, y se dan todas las circunstancias para que esta tendencia continúe. En estas condiciones de desarrollo sostenido, las demandas energéticas crecen muy rápidamente, lo que representa, para poder atenderlas, un reto para el país, que debe plantear políticas energéticas eficientes y respetuosas con el medio ambiente, para adaptarse a la situación energética mundial y a los efectos del cambio climático.



Con este fin, se han desarrollado en los últimos años diversos instrumentos legales y de planificación sectorial para afrontar estos retos. Así, la *Política Energética Nacional del Perú (2010-2040)* establece objetivos y lineamientos de política enfocados en contar con una matriz energética diversificada y con énfasis en las fuentes renovables, sostenibles y la eficiencia energética, así como desarrollar un sector energético con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono. De los planes sectoriales desarrollados en los últimos años se encuentran enfoques de planteamientos similares y, así, el *Plan Estratégico Sectorial Multianual (PESEM, 2010-2016)* se plantea como objetivo promover el desarrollo eficiente y competitivo de la explotación de los recursos minero- energéticos para satisfacer las necesidades de la nación, preservando el medio ambiente. Por su parte, el *Plan Referencial de Electricidad (PRE, 2008-2017)* se ha formulado de acuerdo con un enfoque que considera los siguientes criterios básicos:

- Se formula desde la perspectiva de la autoridad del sector, sobre la base de información especializada de acceso público.
- En el mercado eléctrico peruano, la generación es libre y tiende a ser un mercado de competencias dentro de las políticas sectoriales que, en el largo plazo, llevará a que el suministro eléctrico sea de “mínimo costo”, suficiente, de calidad adecuada y seguro.

- Los proyectos de generación y transmisión eléctrica son de larga maduración, por la magnitud de la inversión y su periodo de vida útil, por lo que las previsiones de financiamiento de los agentes económicos se deben proyectar a un largo plazo.
- Dada la complejidad de las decisiones de carácter privado de los agentes que compiten en el mercado, el PRE-2008 no representa ninguna recomendación, sino una base para la toma de decisiones de las entidades públicas y privadas.

Con estos criterios, se formula una planificación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), desde una perspectiva de largo plazo, y se esboza hacia dónde se cree que se orientará la expansión de la generación y transmisión troncal del SEIN. En lo que concierne al PNRH, y limitándose a la expansión de la generación, esta planificación sectorial resulta de gran valor, porque concreta una serie de actuaciones relacionadas con el recurso hídrico que permiten, también, planificar el futuro de éste. Tanto el PRE-2008 como otros estudios y posibilidades detectadas en la interacción agua-energía, se desarrollan a continuación.



2.9.2 Plan Referencial de Electricidad (PRE-2008)

Este Plan describe la situación actual de la oferta y la demanda eléctrica del sector en relación con sus variables más relevantes, y presenta un plan de expansión de obras de generación y transmisión compatible con los requerimientos de demanda de potencia y energía, de acuerdo con los criterios de economía, seguridad y confiabilidad. El Plan parte de la base informativa existente hasta el 2008, y, a partir de esta situación, se basa en estudios de proyección de la demanda de electricidad y en la expansión de la generación y transmisión del SEIN.

En el 2008, la capacidad instalada al nivel nacional era de 7158 MW. De esta potencia, el 45,2% corresponde a la capacidad de tipo hidráulico y el 54,8% restante a la de tipo térmico. Por otra parte, el 83,0% de la capacidad instalada del 2008 corresponde al SEIN y el 17% restante a la capacidad instalada de los Sistemas Aislados Mayores. La producción total nacional de energía eléctrica en el 2008 fue de 34 443,6 GWh, siendo un 58,7% de esa producción de origen hidráulico y el 41,3% de origen térmico. En lo que concierne a la energía hidráulica, la situación conocida es la siguiente:

- A corto plazo, se cuenta con pocos proyectos hidráulicos en ejecución, por lo que la disponibilidad de este recurso es limitada.

- A mediano plazo, se dispone de proyectos hidroeléctricos medianos concesionados, suficientes para atender en una elevada proporción el crecimiento de la demanda.
- A largo plazo, existen proyectos hidroeléctricos, aún sin concesión, pero se sabe que son suficientes para atender, en una elevada proporción, el crecimiento de la demanda en ese periodo. También se espera, en esta etapa, un desarrollo pleno de proyectos de energía renovable.

Con todos los proyectos actualmente conocidos con posibilidades de ser ejecutados en el corto, mediano y largo plazo, el Plan de Expansión de la Generación del SEIN considera un incremento de la capacidad instalada de 6000 MW en el periodo 2008-2017 (serían unos 7720 MW estimados en el horizonte del 2021 del PNRH), de los cuales 2129 MW son proyectos de generación hidráulica. Para el periodo 2018-2027 se estima una oferta de generación de 5454 MW, de los cuales 5274 MW corresponden a las grandes centrales hidroeléctricas previstas para ese horizonte. La inversión estimada para este Plan de Expansión de la Generación al horizonte 2027 asciende a 13 524 millones de dólares estadounidenses.



Con esto se obtiene el balance oferta-demanda para el escenario considerado de oferta base. La proyección de la potencia total del SEIN en 2027 será de 15 845 MW, de los cuales la energía hidroeléctrica contribuirá con 10 323 MW (es decir, el 65%), lo que muestra el gran incremento previsto para la energía hidroeléctrica en el Perú a largo plazo. La demanda del escenario medio en 2027 sería de 12 285 MW, con lo que el balance oferta-demanda es ampliamente positivo (no sería suficiente, sin embargo, manteniendo la misma oferta para satisfacer la demanda en el horizonte 2035 del PNRH, por lo que sería necesario incrementar ligeramente la oferta estimada para 2027).

De la potencia efectiva del SEIN en el 2027, el 65% será energía hidroeléctrica y el resto prácticamente de generación térmica, y la producción por otros energéticos resultará muy reducida. Esto implica un enorme impulso para la energía hidráulica, y para ello está previsto desarrollar un conjunto de grandes aprovechamientos hidroeléctricos.

2.9.3 Atlas potencial hidroeléctrico del Perú

En este estudio se evalúa el potencial hidroeléctrico del Perú para el rango de 1 a 100 MW, y se seleccionan los 100 mejores aprovechamientos evaluados con matrices multicriterio y considerando criterios ambientales. El potencial hidroenergético se calculó de acuerdo con dos métodos: uno teórico, que cuantifica el potencial máximo de cada zona, y uno técnico,

que tiene en cuenta la factibilidad técnico-económica de cada aprovechamiento, incorporando además el índice costo-beneficio de éstos.

Con esta base metodológica se determina el Potencial Hidroeléctrico Técnico para todo el Perú, que resulta ser de 69 445 MW, de los cuales 60 627 MW corresponden a la RH Amazonas. El mapa 2.32 refleja la distribución espacial de los 100 mejores aprovechamientos seleccionados.



2.9.4 Otras posibilidades de desarrollo hidroeléctrico

Además de todas las actuaciones de tipo hidroeléctrico contempladas en el Plan Referencial de Electricidad PRE-2008 para incrementar la capacidad de generación en el Perú, el PNRH puede aportar un incremento adicional de la expansión de esa capacidad de generación utilizando, con criterios multiuso, los embalses de regulación previstos en este documento. Estos embalses, una vez definidos con precisión, dispondrán de un potencial hidroeléctrico notable que puede contribuir, compatibilizándolo con los usos previstos en el PNRH, al necesario desarrollo de la hidroelectricidad en el país.

Las Retribuciones Económicas obtenidas con el aprovechamiento hidroeléctrico mencionado contribuirán al incremento de los recursos disponibles.

2.9.5 Agua y uso energético

Las previsiones de un gran desarrollo de la energía hidroeléctrica en el Perú, con un 65% de la potencia efectiva total en el 2027, pone de manifiesto la importancia del recurso hídrico en la generación de energía. El uso del agua para la producción de energía hidroeléctrica no es consuntivo.

Con frecuencia, el uso hidroeléctrico ocupa en exclusiva un tramo de curso fluvial en el que unas veces se produce la deslocalización del recurso hídrico derivándolo de su curso, y otras veces, en centrales de pie de presa, se turбина solo en las horas de mayor demanda eléctrica. Por todo ello, resulta fundamental prever caudales ecológicos —o caudales mínimos— en los cauces.

Finalmente, es muy importante que la gestión de los embalses hidroeléctricos participe de las necesidades de control, al nivel de cuenca, en situaciones de avenida para contribuir a la mitigación de los efectos de las avenidas y evitar problemas en los cauces aguas abajo de las instalaciones.

2.10 Balances hídricos en régimen natural

2.10.1 Naturaleza del balance hídrico de planificación

El conocimiento del balance entre los recursos hídricos en régimen natural y las demandas consuntivas para cada AAA es esencial para esbozar la problemática de cada demarcación hidrográfica, de modo que se puede determinar si son excedentarias o



deficitarias para poder plantear las medidas apropiadas para solucionar los problemas detectados. En el marco del PNRH se han evaluado, al año 2012, tanto la cantidad de agua en régimen natural que existe en cada una de las 159 cuencas hidrográficas, como las demandas en las mismas cuencas cuando ha sido posible, ya que en varias AAA del Amazonas no se han podido desagregar por cuencas, aunque sí por ALA.

Los *recursos hídricos medios anuales en régimen natural* incluyen tanto las aguas superficiales como las subterráneas, y pueden quedar almacenados en las lagunas, reservorios o acuíferos, tal como se pone de manifiesto en el cuadro 2.24, donde se indican los recursos propios que se generan en el territorio de cada AAA.

CUADRO 2.24. Situación de los recursos hídricos en el Perú

Nº	AAA	RECURSOS HÍDRICOS NATURALES	ACUÍFEROS		RESERVOIRIOS	LAGUNAS
			RESERVOIRIOS	ACUÍFEROS		
I	Caplina-Ocoña	7 569	10 852	778	1 260	
II	Cháparra-Chincha	2 655	5 805	622	75	
III	Cañete-Fortaleza	6 500	4 879	726	407	
IV	Huarmey-Chicama	6 216	7 298	1 280	162	
V	Jequetepeque-Zarumilla	11 196	12 191	1 438	2 035	
Total RH Pacífico		34 136	41 025	4 844	3 939	1 995
VI	Marañón	118 224	5 428	4 887	7	
VII	Amazonas	708 024	75 001	260 779		
VIII	Huallaga	147 451	10 171	24 149		
IX	Ucayali	460 797	46 035	123 169		
X	Mantaro	14 013	8 432	1 790	189	
XI	Pampas-Apurímac	31 511	6 213	1 764	419	
XII	Urubamba-Vilcanota	81 415	8 478	15 024	176	
XIII	Madre De Dios	333 791	28 927	111 436		
Total RH Amazonas		1 895 226	188 685	542 998	791	4 611
XIV	Total RH Títicaca	6 259	5 612	615	836	150
Total Perú		1 935 621	235 322	548 457	5 566	6 756

Fuente: Elaboración propia.

Las *demandas consuntivas* actuales se han estimado a partir del análisis de los Derechos de Uso de Agua (DUA) y de todos los estudios hidrológicos recopilados de cada cuenca hidrográfica o Sistema de Proyectos Especiales. Se trata de una demanda real que, en general, supera a la que figura en los DUA.

El *balance hídrico de cada cuenca hidrográfica* es un *balance de planificación* que se deduce de restar a los recursos hídricos medios mensuales en régimen natural, más los trasvases, la demanda consuntiva actual estimada. Se trata, por lo tanto, de un valor teórico en el que cada mes del año medio da un resultado de superávit o déficit en función de esos valores.¹ A los recursos hídricos naturales se les han añadido los trasvases que están operativos en la actualidad, con el objeto de conocer el efecto que producen en el suministro de las demandas. Estos balances hídricos están elaborados con un objetivo de planificación de los recursos hídricos, por lo que no son comparables con los balances de explotación, que operan con recursos hídricos ya alterados y que son los que utiliza la ANA para programar y desarrollar su gestión anual. Cuando el resultado es deficitario, significa que los recursos hídricos naturales propios de la cuenca, más los trasvases, no pueden satisfacer las demandas estimadas en ella, independientemente de que el agua esté en los acuíferos o los embalses, o circule por los cauces.

2.10.2 Resultado de los balances en régimen natural con trasvases

Para obtener una primera aproximación al balance hídrico en régimen natural se han considerado los trasvases que se producen entre cuencas, tomando en cuenta, además, los recursos acumulados en cada AAA —los suyos propios más los que proceden de las situadas aguas arriba—, y también sus demandas consuntivas. El resultado se refleja en el cuadro 2.25.

CUADRO 2.25. Balances hídricos en régimen natural acumulado con trasvases

C.º	AAA	Balances hídricos en régimen natural con trasvases				
		Recursos hídricos acumulados	Trasvases	Recursos hídricos acumulados con trasvases	Demandas consuntivas	Resultado
I	Caplina-Ocoña	7 569		7 569	3 297	4 272
II	Cháparra-Chincha	2 655	111	2 766	3 691	-925

CUADRO 2.25. Balances hídricos en régimen natural acumulado con trasvases

Nº	AAA	RECARGO HIDROLÓGICO NATURAL (mm/año)	TRASVASES RECARGO NATURAL (mm/año)	RECARGO TOTAL NATURAL (mm/año)	DEMANDAS CONSECUTIVAS	BALANCE HÍDRICO ACUMULADO
III	Cañete- Fortaleza	6 500	195	6 695	4 465	2 230
IV	Huarmey- Chicama	6 216		6 216	3 098	3 118
V	Jequetepeque- Zarumilla	11 196	644	11 840	6 602	5 238
VI	Marañón	118 224	-644	117 580	771	116 809
VII	Amazonas	1 464 762		1 464 762	3 687	1 460 125
VIII	Huallaga	147 451		147 451	808	146 643
IX	Ucayali	587 735		587 735	2 055	585 374
X	Mantaro	14 013	-195	13 818	912	12 906
XI	Pampas- Apurímac	31 511	-111	31 400	429	30 971
XII	Urubamba- Vilcanota	81 415		81 415	574	80 841
XIII	Madre de Dios	333 791		333 791	80	333 711
XIV	Titicaca	6 259		6 259	1 160	5 099

Fuente: Elaboración propia.

Un primer análisis del cuadro 2.25 permite establecer las siguientes observaciones:

- Aunque de las cuencas de la RH se derivan 950 Hm³/año, sus cuantiosos recursos hacen que todas las AAA amazónicas, así como la RH Titicaca, ofrezcan balances hídricos positivos para el caudal medio anual.

- Los balances más ajustados son los de las AAA de la RH Pacífico, de tal forma que para el caudal medio la AAA de Cháparra-Chincha sigue siendo deficitaria en $-925 \text{ Hm}^3/\text{año}$, aunque se ha reducido en unos $100 \text{ Hm}^3/\text{año}$ con respecto a la situación sin trasvases.

En el cuadro 2.26 se puede observar este balance con la identificación de las demandas consuntivas, mientras que en el mapa 2.33 se ilustra la representación territorial de estos resultados para cada AAA.

El balance de planificación realizado al nivel de cuenca hidrográfica permite concluir que 17 de éstas presentan déficit anual o mensual con respecto a los recursos hídricos medios, que hay que equilibrar. El hecho de que haya cuencas deficitarias en las AAA de Caplina-Ocoña, Cañete-Fortaleza y Huarmey-Chicama, y que, sin embargo, su balance global sea positivo al considerar todas las cuencas de sus territorios, indica, por una parte, el valor de este balance —que, recuérdese, no es un balance de explotación, sino de planificación orientado a detectar problemas potenciales—, y, por otra, la redistribución de los recursos hídricos que se está produciendo en sus territorios, con trasvases entre unas cuencas y otras, tal como se ha puesto de manifiesto en el cuadro de Proyectos Especiales. Cuando una cuenca posee recursos hídricos propios suficientes para equilibrar el déficit mensual, se propone un embalse de regulación en la propia cuenca, mientras que cuando aquéllos son insuficientes se plantea además un trasvase procedente de una cuenca colindante.





CUADRO 2.26. Balances hídricos entre recursos y demandas consultivas: Situación actual 2012

Región	RECURSOS CONSULTIVOS (millones de metros cúbicos)						DEMANDAS CONSULTIVAS (millones de metros cúbicos)				Saldo hídrico (millones de metros cúbicos)
	Agua superficial	Agua subterránea	Agua de lluvia	Agua de riego	Agua de industria	Agua de consumo humano	Agua de riego	Agua de industria	Agua de consumo humano	Agua de consumo humano	
I. Caplina-Ocoña	3 027	162	6	102	3 297	3 297	7 569		7 569	7 569	4 272
II. Cháparra-Chincha	3 601	79	9	3	3 691	3 691	2 655	111	2 766	2 766	-925
III. Cañete-Fortaleza	3 317	1 057	44	48	4 465	4 465	6 500	195	6 695	6 695	2 230
IV. Huarmey-Chicama	2 893	189	8	8	3 098	3 098	6 216		6 216	6 216	3 118
V. Jequetepeque-Zarumilla	6 204	292	104	2	6 602	6 602	11 196	644	11 840	11 840	5 238
VI. Marañón	576	89	54	52	771	771	118 224	-644	117 580	117 580	116 809
VII. Amazonas	0	47	3	2	53	3 687	708 024		708 024	1 560 485	1 556 798
VIII. Huallega	687	87	1	33	808	808	147 451		147 451	147 451	146 643
IX. Ucayali	63	68	4	5	140	2 055	460 797		460 797	587 430	585 375
X. Mantaro	787	96	0	30	912	912	14 013	-195	13 818	13 818	12 906
XI. Pampas-Apurímac	384	36	0	9	429	429	31 511	-111	31 400	31 400	30 971

Plan Nacional de Recursos Hídricos – Memoria Final

XII. Urubamba-Vilcanota	515	58	1	1	574	574	81 415	81 415	81 415	80 841
XIII. Madre de Dios	6	13	15	47	80	80	333 791	333 791	333 791	333 711
XIV. Titicaca	1 107	47	0	6	1 160	1 160	6 259	6 259	6 259	5 099
Total (Hm³/año)	23 166	2 320	249	346	26 081	1 935 621	0	1 935 621		

Fuente: Elaboración propia.



MAPA 2.33
Balance hídrico
con recursos
medios naturales
acumulados y
trasvases
Fuente:
Elaboración
propia.



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
Ing. CARLOS SEVILLA
GIULMEISTER
JEFE
FEATURA

CUADRO 2.27. Cuencas con necesidad de recursos adicionales y/o regulación de los propios

Nº DE CUENCA	PROVINCIA	INTERVENCIÓN	VOLUMEN DE RECURSOS ADICIONALES (Hm³)
AAA I. Caplina-Ocoña			
14	Atico	Embalse	0,5
5	Sama	Embalse y trasvase	54
4	Caplina	Embalse y trasvase	94
3	Hospicio	Embalse y trasvase	39
Total AAA I			187,5
AAA II. Cháparra-Chincha			
24	San Juan	Embalse y trasvase	31
23	Pisco	Embalse	336
22	Ica	Embalse y trasvase	866
21	Grande	Embalse y trasvase	148
20	Acarí	Embalse	125
19	Yauca	Embalse	133
17	Chala	Embalse	0,4
Total AAA II			1 639,4
AAA III. Cañete-Fortaleza			
37	Fortaleza	Embalse	34
34	Huaura	Embalse y trasvase	183
32	Chillón	Embalse y trasvase	102
30	Lurín	Embalse y trasvase	97
29	Chilca	Embalse	1
Total AAA III			417
AAA IV. Huarney-Chicama			
39	Culebras	Embalse y trasvase	22
Total AAA IV			22
Total Perú (Hm³)			2 265,90



Su localización geográfica está representada en el mapa 2.34.

Por otra parte, si no se disminuyera la demanda de agua —mediante medidas de gestión y ahorro con modernización de infraestructuras—, se necesitaría un volumen útil de embalse y trasvase desde la RH Amazonas de unos 1636 Hm³/año para equilibrar los déficits, y unos 630 Hm³/año de volumen útil de embalse para la regulación propia de las cuencas.

Esta tensión hídrica en la RH Pacífico exige adoptar medidas, tanto de racionalización y ahorro en el uso del agua como de aportación de recursos externos para superar estas situaciones y atender el reto de garantizar la satisfacción de las demandas futuras.



Por su parte, en las cuencas de las RH del Amazonas y del Titicaca la abundancia de los recursos y lo reducido de las demandas proporcionan balances hídricos más favorables. La prodigalidad de estos recursos no debe ocultar, en ocasiones, su falta de disponibilidad, por no existir las infraestructuras apropiadas para llevar el recurso al lugar donde las demandas deben ser satisfechas, o, en algunos casos, por deterioro de la calidad del agua que conduce a que su disponibilidad sea cuestionable.

MAPA 2.34
Cuencas con
balance hídrico
deficitario
Fuente: Elaboración
propia.



2.11 Eventos extremos

2.11.1 Introducción



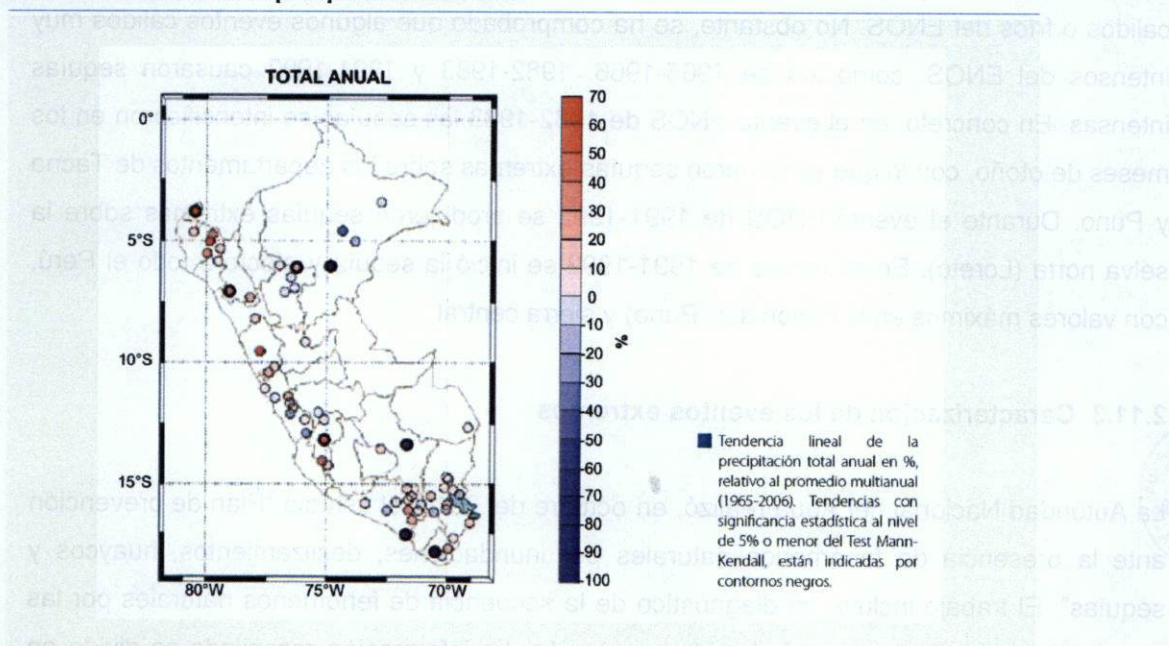
El Perú es un país cuyo clima es complejo tanto por las grandes elevaciones de la Cordillera de los Andes como por las corrientes oceánicas del Pacífico, lo que proporciona una gran variabilidad climática. La Cordillera de los Andes determina la heterogeneidad geográfica del Perú, con tres grandes masas continentales: la costa, la región andina o sierra y la Amazonía; así como tres Regiones Hidrográficas, Pacífico, Amazonas y Titicaca. Esta configuración geográfica produce una gran variedad temporal y espacial de temperaturas y precipitaciones, que favorece la generación de eventos extremos que se acrecientan por la presencia ocasional de una perturbación del sistema océano-atmósfera en el Pacífico Ecuatorial conocida como El Niño-Oscilación Sur (ENOS), que se presenta en dos fases: una cálida o positiva (El Niño) y otra fría o negativa (La Niña). Las variaciones del clima en el Perú, de un año a otro, están en gran medida determinadas por la presencia del ENOS y los eventos extremos asociados a éste, que causan grandes pérdidas económicas por sus impactos.

La gestión del riesgo producido por estos eventos extremos, que persigue como objetivo la protección de las personas, de los bienes económicos y del medio ambiente, es uno de los aspectos fundamentales que debe abordar un país moderno en los procesos de planificación de sus actividades.

2.11.2 Tendencias climáticas en el Perú

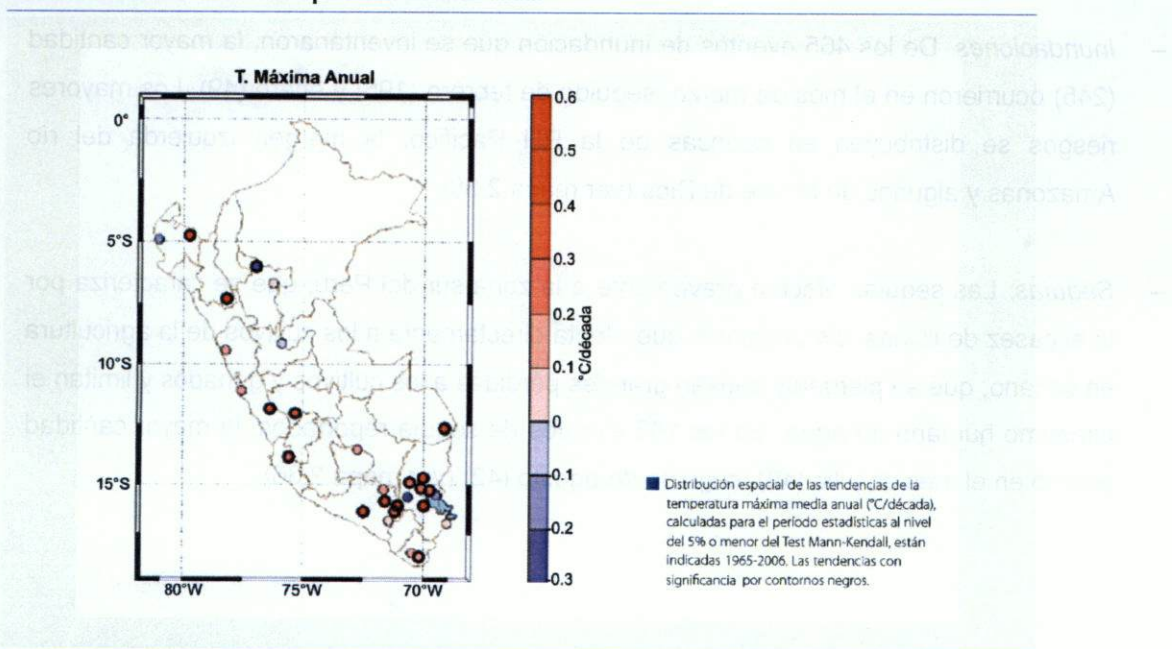
La publicación *Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030*, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), proporciona un análisis muy exhaustivo de la evolución climática del Perú, utilizando datos de observaciones diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas de una serie de estaciones pluviométricas y climatológicas que se extiende por todo el país, y dispone de series largas de medición que permiten un periodo de estudios de 42 años (1965-2006). Durante esa etapa se ha observado, sobre la costa norte del Perú, un incremento de la precipitación total anual, característica que se extiende hacia la costa central y la sierra sur. También se aprecian disminuciones de la precipitación en la selva norte. Las figuras siguientes, tomadas de la citada publicación, recogen este hecho.

FIGURA 2.5. Tendencia de precipitación total anual



Fuente: "Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030" SENAMHI

FIGURA 2.6. Tendencia de temperatura máxima anual



Fuente: "Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030" SENAMHI

La distribución espacial de las temperaturas máximas medias anuales muestra predominio de valor positivo en casi todo el Perú. Los eventos fríos (cálidos) del fenómeno "El Niño"/Oscilación Sur (ENOS) determinados a partir de las anomalías negativas menores

(mayores) que 1 °C de la temperatura del mar muestran que los eventos de sequías sobre el territorio peruano, en promedio, no están causados directamente por todos los eventos cálidos o fríos del ENOS. No obstante, se ha comprobado que algunos eventos cálidos muy intensos del ENOS, como los de 1965-1966, 1982-1983 y 1991-1992 causaron sequías intensas. En concreto, en el evento ENOS de 1982-1983 las sequías se intensificaron en los meses de otoño, con lo que se tornaron sequías extremas sobre los departamentos de Tacna y Puno. Durante el evento ENOS de 1991-1992 se produjeron sequías extremas sobre la selva norte (Loreto). En el verano de 1991-1992 se inició la sequía y afectó a todo el Perú, con valores máximos en la región sur (Puno) y sierra central.

2.11.3 Caracterización de los eventos extremos

La Autoridad Nacional del Agua realizó, en octubre del 2010, el estudio “Plan de prevención ante la presencia de fenómenos naturales por inundaciones, deslizamientos, huaycos y sequías”. El trabajo incluye un diagnóstico de la secuencia de fenómenos naturales por las causas indicadas, así como el plan de prevención. La información recopilada se divide en zonas dentro de las diferentes vertientes, e incluye el número total de eventos de inundaciones, y el número de familias y áreas afectadas.

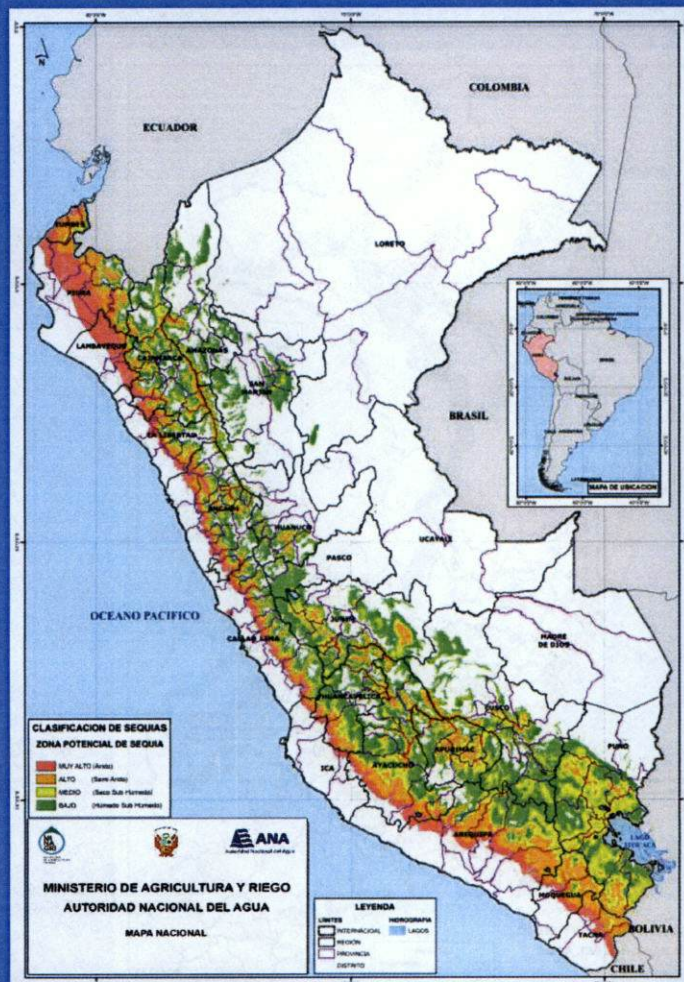
- *Inundaciones.* De los 465 eventos de inundación que se inventariaron, la mayor cantidad (245) ocurrieron en el mes de marzo, seguido de febrero (195) y enero (49). Los mayores riesgos se distribuyen en cuencas de la RH Pacífico, la margen izquierda del río Amazonas y algunas de Madre de Dios (ver mapa 2.35).
- *Sequías.* Las sequías afectan gravemente a la zona sur del Perú, que se caracteriza por la escasez de lluvias, circunstancia que afecta directamente a los cultivos de la agricultura en secano, que se pierden y causan grandes pérdidas a los cultivos y ganados y limitan el consumo humano de agua. En los 163 eventos de sequía reportados, la mayor cantidad ocurrió en el mes de julio (49), seguido de agosto (42) (ver mapa 2.36).

MAPA 2.35
Zonas potenciales
de peligro de
inundaciones
Fuente: Plan
GRACC-A
(2012-2021).



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
Ing. JUAN CARLOS
SEVILLA
GILDEMESTER
JEFE
JEFATURA

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
Ing. JUAN CARLOS
SEVILLA
GILDEMESTER
JEFE
JEFATURA



MAPA 2.36
 Zonas potenciales
 de peligro de
 sequías
 Fuente: PLAN
 GRACC-A
 (2012-2021).

- *Deslizamientos*. En la RH Pacífico, la gran mayoría de los distritos donde se producen deslizamientos se caracterizan por sus laderas empinadas en las partes altas de las cuencas. En la del Amazonas la situación es similar. De los eventos de deslizamiento que se reportaron, la mayor parte (112) ocurrió en el mes de febrero (29), seguido de marzo (21); es decir, se produce en la fase de máxima intensidad y al final del periodo de lluvias.
- *Huaicos*. Se han documentado huaicos en las RH Pacífico y Amazonas. Las ALA Tambo, Alto Tambo en el Pacífico y la del Alto Marañón son las que más episodios han identificado. De los eventos de huaicos documentados, la mayor cantidad (66) ocurrió en el mes de febrero.

De los posibles eventos extremos por inundación, conviene citar los que pueden producir los glaciares y lagunas andinas, que han dado lugar a numerosos estudios, inventarios, monitoreos y actuaciones preventivas realizadas por la ANA, para prevenir y mitigar riesgos y desastres naturales por efecto de avalanchas y rebose de lagunas. En el *Mapa de vulnerabilidad física del Perú*, editado por el Ministerio del Ambiente con la colaboración de diversas instituciones, se realizó un análisis multivariable para determinar unas categorías de susceptibilidad física del territorio a procesos naturales e inducidos. Como resultado del análisis de las condiciones naturales, peligros múltiples y elementos expuestos se obtuvo el *Mapa de vulnerabilidad física del Perú* (mapa 2.37). El mapa recupera los elementos de carácter estructural del territorio, junto con los fenómenos naturales que afectan a las zonas más vulnerables del país, y es una herramienta preventiva para la adecuada gestión de riesgos y la ejecución de medidas de adaptación destinadas a reducir la vulnerabilidad.

Los resultados del estudio indican que los fenómenos naturales se manifiestan con mayor incidencia mediante: desplazamientos, flujos de detritos, huaicos, inundaciones, heladas y terremotos, que el 46% del territorio nacional se encuentra en condiciones de vulnerabilidad alta a muy alta, y que el 36,2% de la población ocupa y usa este espacio territorial.

2.12 Cambio climático

2.12.1 Introducción

Los impactos del cambio climático constituyen una de las amenazas ambientales más importantes del siglo XXI en el ámbito mundial. El Perú no es ajeno a este problema, pues en la última década se están observando eventos extremos más intensos, como cambios

significativos en los registros de precipitación y temperaturas extremas, que hacen percibir la modificación de la variabilidad climática y son indicadores de posibles cambios en los patrones climáticos, como es el caso de la disminución de precipitaciones en la cuenca del Mantaro o los incrementos de lluvia en la del Urubamba, que se relacionan directa o indirectamente con el calentamiento global. También existen otros procesos estrechamente relacionados con el incremento de la temperatura global, como el retroceso glaciar en el Perú, que posee alrededor del 70% de los glaciares tropicales del mundo y es testigo de su acelerado retroceso. La desaparición de los glaciares tendría grandes repercusiones porque, además de ser éstos parte de los ecosistemas de alta montaña, son fuente de recursos de agua para un conjunto de demandas socioeconómicas en todas sus cuencas asociadas.

Sin embargo, los impactos regionales del cambio climático global no son del todo conocidos, porque las incertidumbres asociadas al conocimiento del clima en el Perú son amplias por su carácter andino, que genera una diversidad de climas, circunstancia que se complementa con que no se cuenta, en buena parte del territorio, con observaciones de variables meteorológicas de periodos largos. Sin embargo, en los últimos tiempos los avances en los modelos físico-matemáticos del clima permiten conocer mejor su presencia y estimar con más confianza su futuro. Esos modelos simulan la dinámica del sistema climático, considerando diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Las observaciones y estudios han permitido estimar que, en los últimos 100 años, la temperatura global se ha incrementado en 0,74 °C, y el ritmo de calentamiento se está acelerando. Esto contribuye al aumento de la temperatura del mar y al derretimiento de la cobertura de hielo en el Polo Norte y en los glaciares de la montaña, así como a la cobertura de nieve en el mundo, lo que ocasiona un incremento en el nivel del mar. Como consecuencia, los eventos climáticos extremos se han incrementado y los patrones climáticos están cambiando.



145

2.12.2 Evolución del clima en el Perú y escenarios climáticos para 2030

La publicación *Escenarios climáticos del Perú para el año 2030*, del SENAMHI, realiza un estudio de las tendencias climáticas en el Perú y las proyecciones futuras a 2030. Para ello, utiliza datos de observaciones diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas del Banco de Datos del SENAMHI sobre todo el territorio nacional (ver mapa 2.38).

Para los estudios de detección del cambio climático e índices de extremos climáticos se seleccionaron 64 estaciones de precipitación total mensual y 29 estaciones con datos de temperatura máxima y mínima promedio mensual. El periodo estudiado es de 42 años (1965-2006). Algunas de las conclusiones sobre las *tendencias del clima actual* son las siguientes:



- Una de las limitaciones para obtener información sobre el cambio climático en el Perú es la baja intensidad espacial de estaciones sobre la mayor parte de las regiones.
- La precipitación total anual muestra incrementos marcados sobre la costa norte del país y disminuciones en la selva norte desde 1960 hasta finales del siglo pasado. En la variabilidad interanual, los eventos ENOS influyen, pero solo en los más intensos. La sierra central y sur muestran variabilidad interanual similar, pero con tendencias opuestas. Los eventos ENOS influyen en estas regiones.
- Las tendencias lineales de la temperatura máxima media anual y estacional indican un predominio de valores positivos de $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C/década}$. También las temperaturas máximas son afectadas por los eventos intensos de ENOS.
- Las tendencias anuales y estacionales de las temperaturas mínimas promedio son en su mayoría positivas, con valores de $0,1-0,2\text{ }^{\circ}\text{C/década}$.



MAPA 2.38
Red de estaciones
meteorológicas
Fuente: SENAMHI.

- Las sequías más intensas ocurridas en el periodo de estudio (1965-2006) se presentaron en la fase positiva del fenómeno ENOS, pero existen sequías que no están relacionadas con estos eventos. Durante el periodo de estudio no se han observado tendencias de incremento o disminución de eventos de sequías, sino fluctuaciones en sus valores medios con poca persistencia.

- En la selva se registra la mayor frecuencia de sequías moderadas, severas y extremas en la escala meteorológica y agrometeorológica, de corta duración, que afectan al clima. En la sierra sur, la mayor frecuencia de sequías son las moderadas, seguidas de las severas. Las sequías en la escala anual hidrológica que afecta a los recursos en las tres intensidades (moderada, severa y extrema) no presentan patrones regionales, sino características muy locales.
- Un resumen de la actuación del ENOS en la distribución espacio-temporal de la precipitación se iniciaría en la estación lluviosa, y las anomalías positivas de “El Niño” producen precipitaciones superiores a las normales sobre la mayor parte del Perú, con excepción de la sierra central. Luego se invierte en las otras dos estaciones astronómicas, y se produce déficit de precipitación en la sierra sur, que se extiende hasta la sierra central, mientras que en la costa y la sierra norte ocurren precipitaciones mayores que las normales.

Los escenarios climáticos para la década del 2020 y 2030 se han construido añadiendo, al modelo climático global, información regional de pequeña escala, de precipitación y temperatura extremas, con lo que se mejora la simulación de los detalles espaciales climáticos. Según los modelos globales de cambio climático, se espera en el Perú un aumento promedio de temperatura máxima de 1 °C hacia 2030 y hasta 2 °C al término del año 2050. En cuanto a la temperatura mínima, el incremento promedio previsto es similar a la temperatura máxima.

En relación con las *precipitaciones*, las lluvias en la actualidad muestran un comportamiento complejo, asociado principalmente a la orografía, y los escenarios futuros también dependen de la morfología y otros factores. Los escenarios proyectados al 2030 presentan valores entre +10% y -10% sobre la sierra y selva del país. En la costa, las variaciones porcentuales de las precipitaciones para el año 2030 presentarían deficiencias del orden del 10 al 30% entre La Libertad y Tacna, e incrementos de hasta un 20% en los departamentos de Tumbes y Piura. Para las precipitaciones, los cambios proyectados al 2030 aparecen en los cuadros 2.28, 2.29 y 2.30.



CUADRO 2.28. Precipitación acumulada anual proyectada a 2030 y variación porcentual al año 2030 en relación con el clima presente en la región costa

Región	Escenario climático para el año 2030	Variación porcentual de la precipitación acumulada anual proyectada al año 2030	Región
Costa norte	5-200	Entre +10 y +20% -10%	Gran parte de la zona Norte de Piura y La Libertad
Costa central	5-50	Hasta el -30%	Toda la región
Costa sur	5-50	Hasta -20%	Ica y Arequipa

Fuente: Escenarios climáticos del Perú para el año 2030 (SENAMHI 2009).



CUADRO 2.29. Precipitación acumulada anual proyectada al 2030 y variación porcentual al 2030 en relación con el clima presente en la región sierra

Región sierra		Precipitación acumulada anual proyectada al 2030 (mm)	Variación porcentual al 2030 (%)	Localidades principales
Sierra norte	Occidental	200-1 000	Entre +10 y 10%	Toda la región
	Oriental	500-1 000	Hasta +10 y –10%	Sobre la zona este Sobre la zona oeste
Sierra central	Occidental	100-1 000	Hasta un –20%	Parte norte: Áncash, Lima y Pasco Parte sur: Junín, Lima y Huancavelica
	Oriental	500-1 000	Hasta un –20%	Huánuco, Pasco Junín y Huancavelica
Sierra sur	Occidental	100-1 000	–20% +20%	Parte norte: Ayacucho, Arequipa Parte sur: sobre Moquegua y Tacna
	Oriental	500-1 000	–20%	Apurímac y parte del Cusco
Altiplano		500-1 000	Hasta –10% –10%	Sobre el sur occidental del Titicaca Sobre el norte del Titicaca

Fuente: Escenarios climáticos del Perú para el año 2030 (SENAMHI 2009).



CUADRO 2.30. Precipitación acumulada anual proyectada al 2030 y variación porcentual al 2030 en relación con el clima presente en la región selva

Selva norte				
	1 000-4 000	-10% +10%	Parte oeste Parte este	
Selva central			Región Ucayali	
Baja	2 000-3 000	+10%		
Alta	2 000-3 000	-10% +10%	Parte norte: Huánuco y provincias de Padre Abad y Coronel Portillo de Ucayali, Pasco y Junín	
Selva sur			Gran parte de la selva sur Madre de Dios y Cusco	
	1 500-5 500	-10% +10% y +20%		

Fuente: Escenarios climáticos del Perú para el año 2030 (SENAMHI 2009).

La correspondencia de estos escenarios regionales con las AAA se observa en el cuadro 2.31.

CUADRO 2.31 Hipótesis de evolución de las precipitaciones por AAA

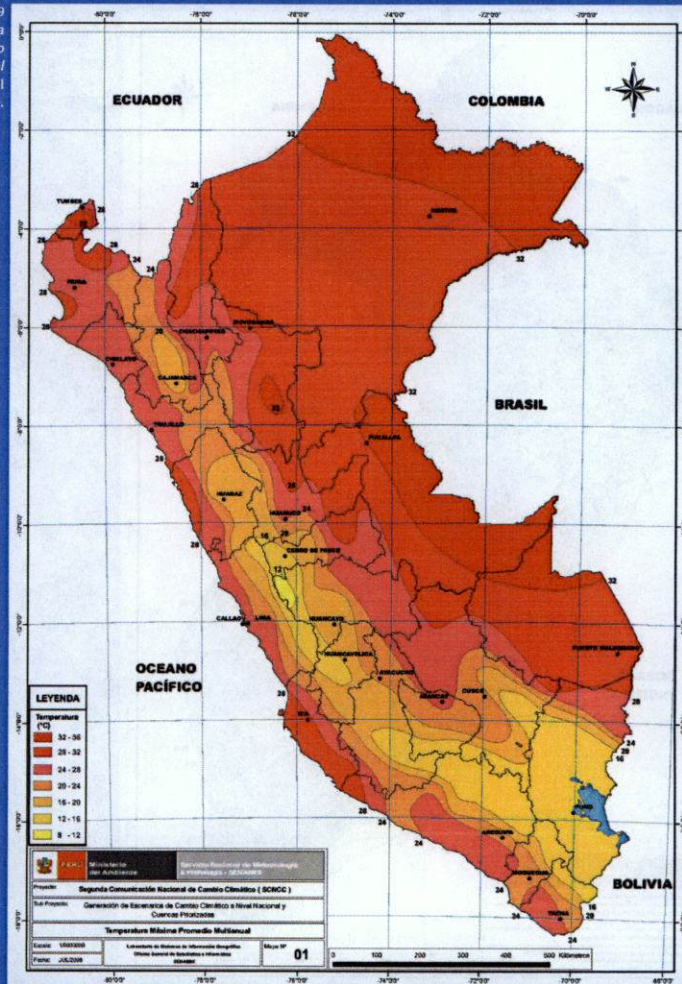
AAA	Región	Proyección
I. Caplina-Ocoña	Sierra sur y central oeste	+20 a -20
II. Cháparra-Chincha	Sierra sur y central oeste	+20 a -20
III. Cañete-Fortaleza	Sierra sur y central oeste	+20 a -20
IV. Huarmey-Chicama	Sierra norte oeste	+10 a -10
V. Jequetepeque-Zarumilla	Sierra norte oeste	+10 a -10
VI. Marañón	Sierra norte y central este	+10 a -20
VII. Amazonas	Selva norte y central	+10 a -10
VIII. Huallaga	Sierra norte y central este	+10 a -20
IX. Ucayali	Sierra central este y selva central baja	+20 a -20
X. Mantaro	Sierra central y sur este	+20 a -20
XI. Pampas-Apurímac	Sierra central y sur este	+20 a -20
XII. Urubamba-Vilcanota	Sierra central y sur este	+20 a -20
XIII. Madre de Dios	Selva sur y central alta	+5 a +20
XIV. Titicaca	Altiplano	+10 a -10

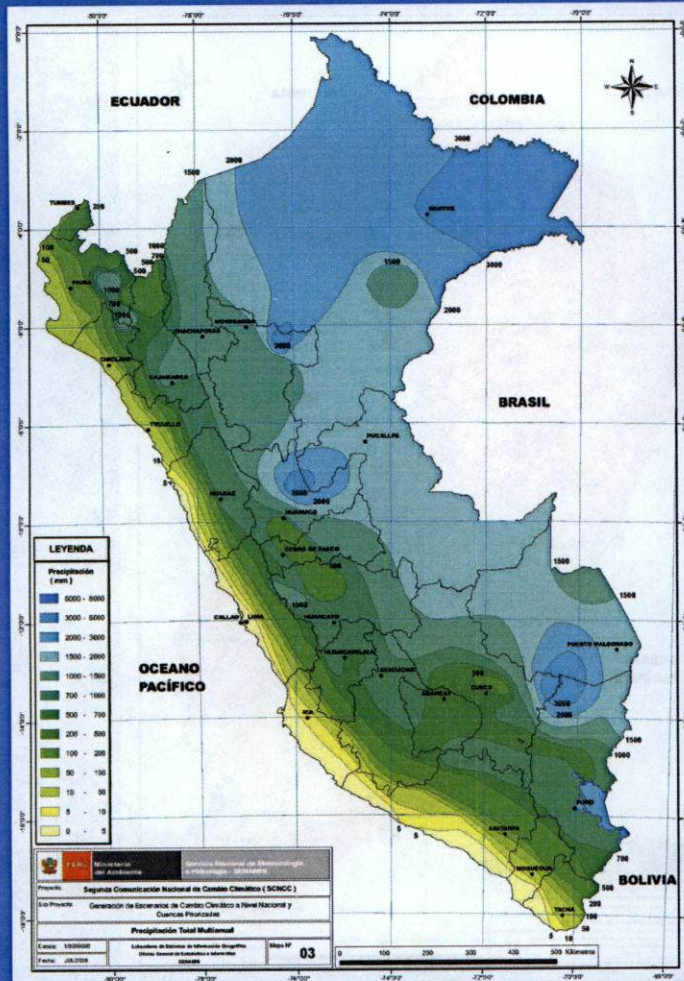
Fuente: Elaboración propia.

Algunas de las conclusiones sobre las proyecciones del clima a 2030 son las siguientes, y también se pueden visualizar en los mapas 2.39 a 2.44.

- La proyección anual al 2030 de la temperatura máxima es de 1,6 °C respecto a su climatología actual en casi todo el territorio.
- Al 2030, en la región de la selva, el área de temperaturas mínimas de 22-24 °C se ampliaría, y en la costa el área de 20-22 °C se reduciría. En el Altiplano andino, las temperaturas aumentarían hasta 1,2 °C al 2020.

MAPA 2.39
Temperatura
máxima promedio
multianual
Fuente: SENAMHI
(2009).

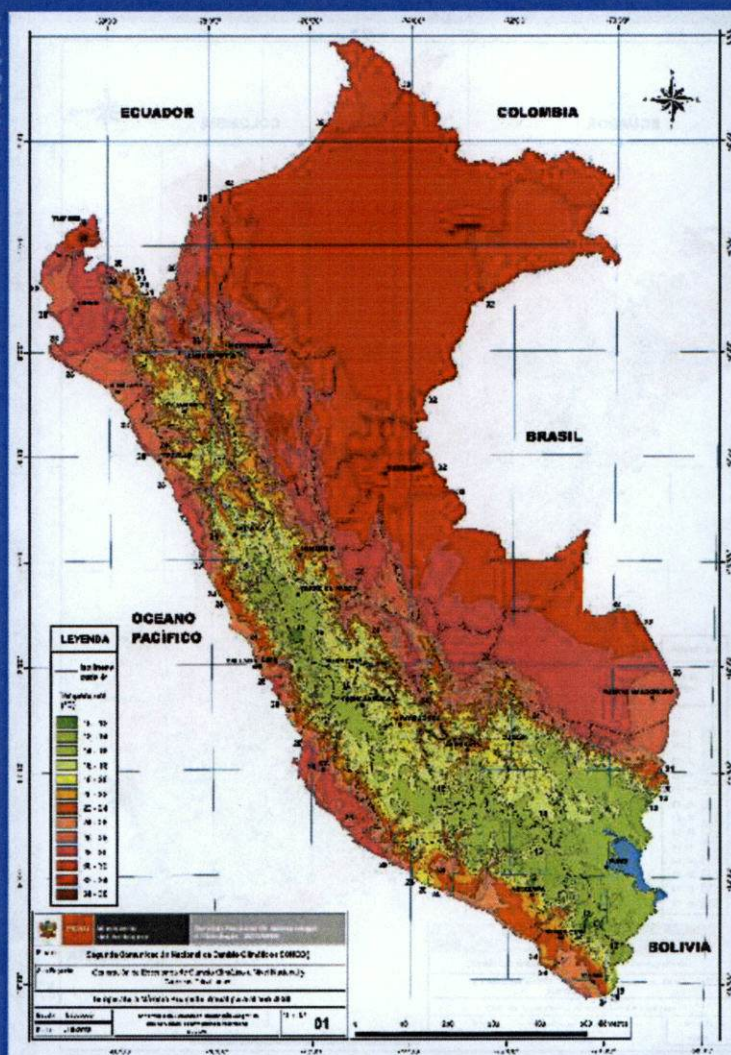


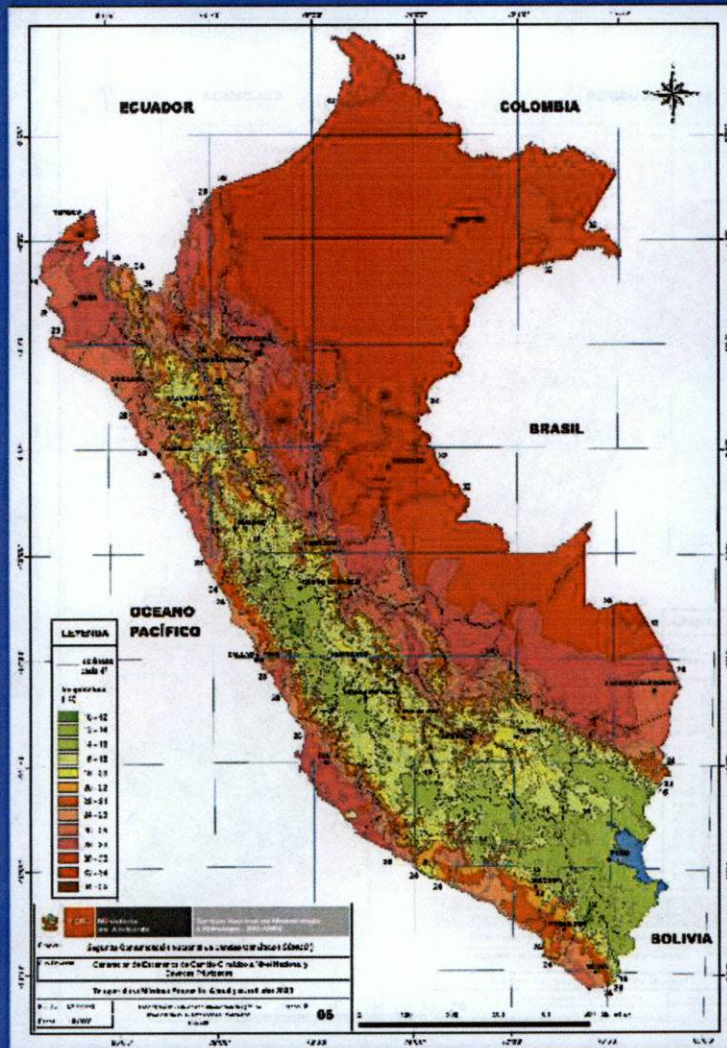


MAPA 2.40
Precipitación total
multianual
Fuente: SENAMHI
(2009).



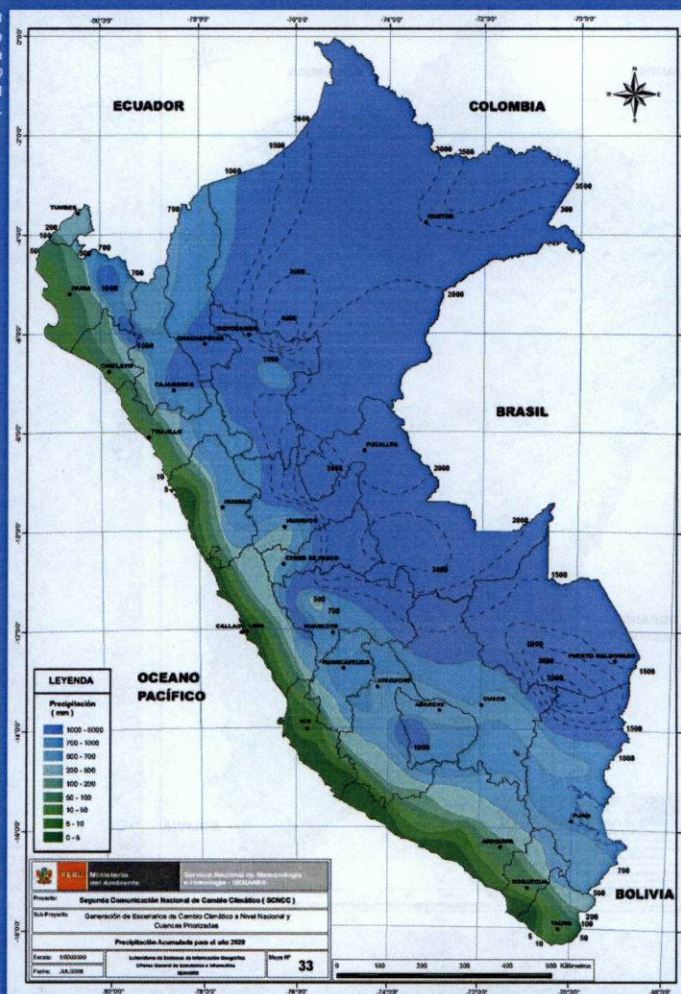
MAPA 2.41
Temperatura
máxima promedio
anual para 2020
Fuente: SENAMHI
(2009).

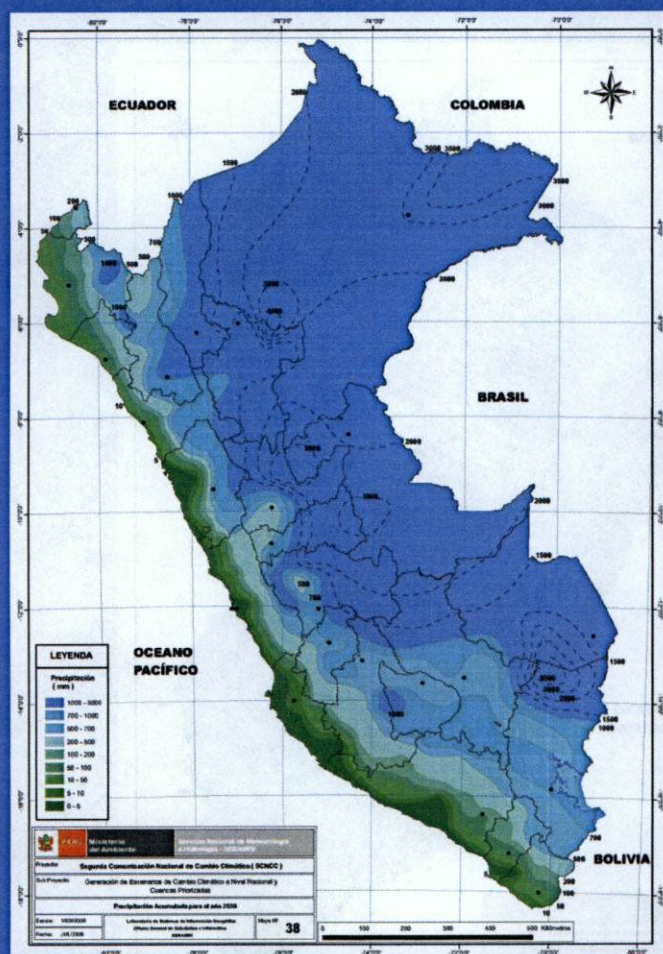




AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
Ing. JUAN CARLOS SEVILLA
GLDMEISTER
JEFE DE SECTOR

MAPA 2.43
Precipitación
acumulada para
2020
Fuente: SENAMHI
(2009).





MAPA 2.44
Precipitación
acumulada para
2030
Fuente: SENAMHI
(2009).

- Para el 2020 y 2030 no se evidencian grandes cambios en la distribución espacial de las lluvias. Las precipitaciones anuales para el 2030 muestran deficiencias en la sierra entre -10 y -20%, y en la selva norte y central, de hasta -10%. Los incrementos más importantes se presentarían en la costa norte y selva sur, entre +10% y +20%.
- En el ámbito estacional se presentarían irregularidades en el comportamiento de las lluvias, con deficiencias significativas en gran parte del país en verano y con incremento de lluvias en el otoño. En invierno y primavera se alternan incrementos y deficiencias en la distribución espacial.