

Clima y Escenarios de Cambio Climático en Perú

dacuna@senamhi.gob.pe

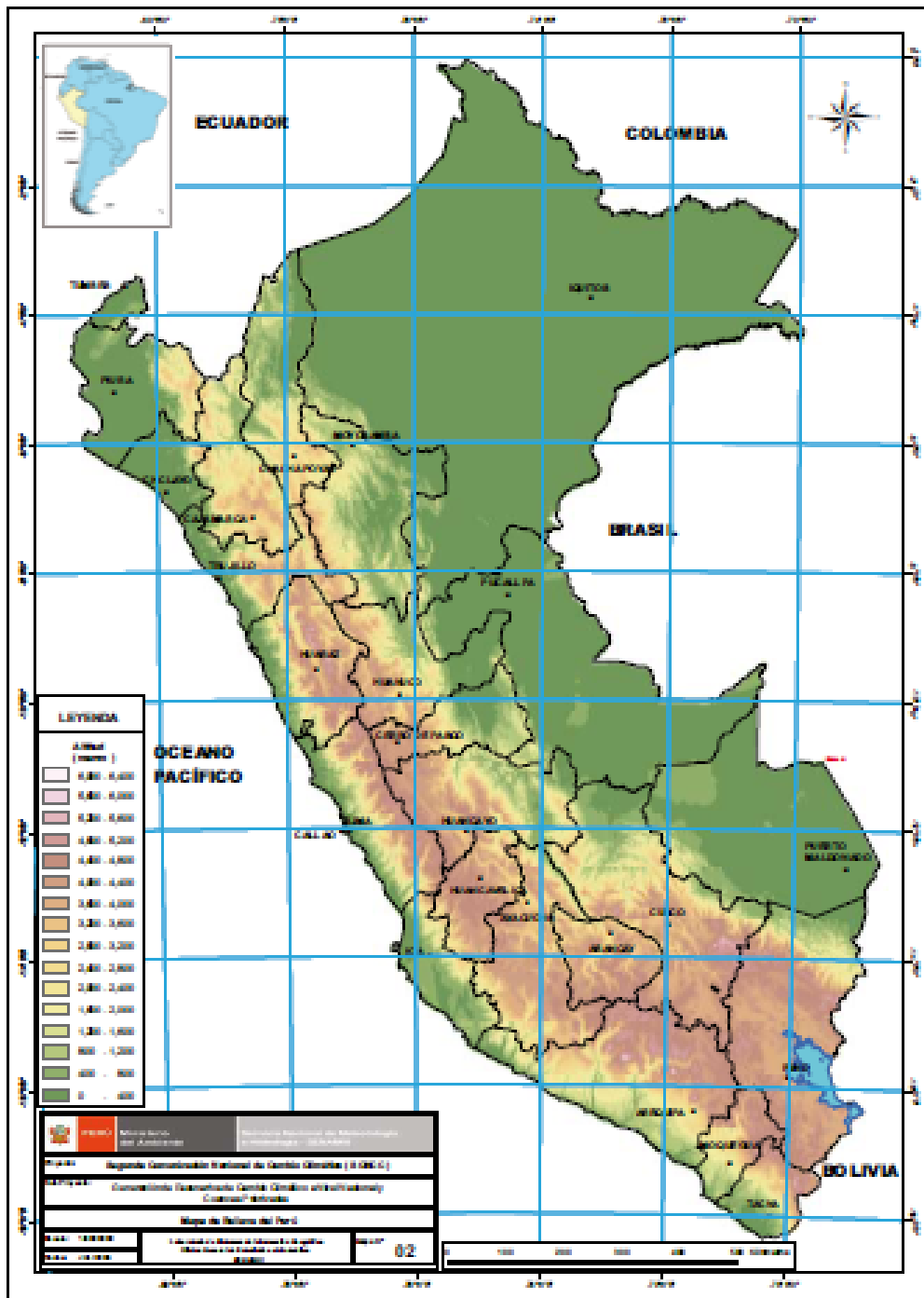
CONTENIDO

- Clima presente
- Escenarios de cambio climático en Perú
- Conclusiones
- Tareas importantes

INTRODUCCIÓN

- El cambio climático es un hecho calificado por el IPCC (2007a) como “inequívoco”, y sus impactos son ya relevantes.
- Según los resultados del Grupo de Trabajo II del Cuarto Reporte AR4 del IPCC para América Latina (IPCC, 2007b), el Perú es uno de los países que se verá más afectado por las consecuencias del cambio climático.

Clima actual Perú



Superficie: 1.285.216 km²

Habitantes al 2011: 29.399.817

Altitudes: nivel del mar – 6000 msnm

Datos

- Datos medidos en estaciones meteorológicas correspondientes a la red observacional que administra el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Período 1971-2000, 1971-2006. SCNCC:
- **Datos de empresas privadas y públicas.**

Información de Percepción del clima local

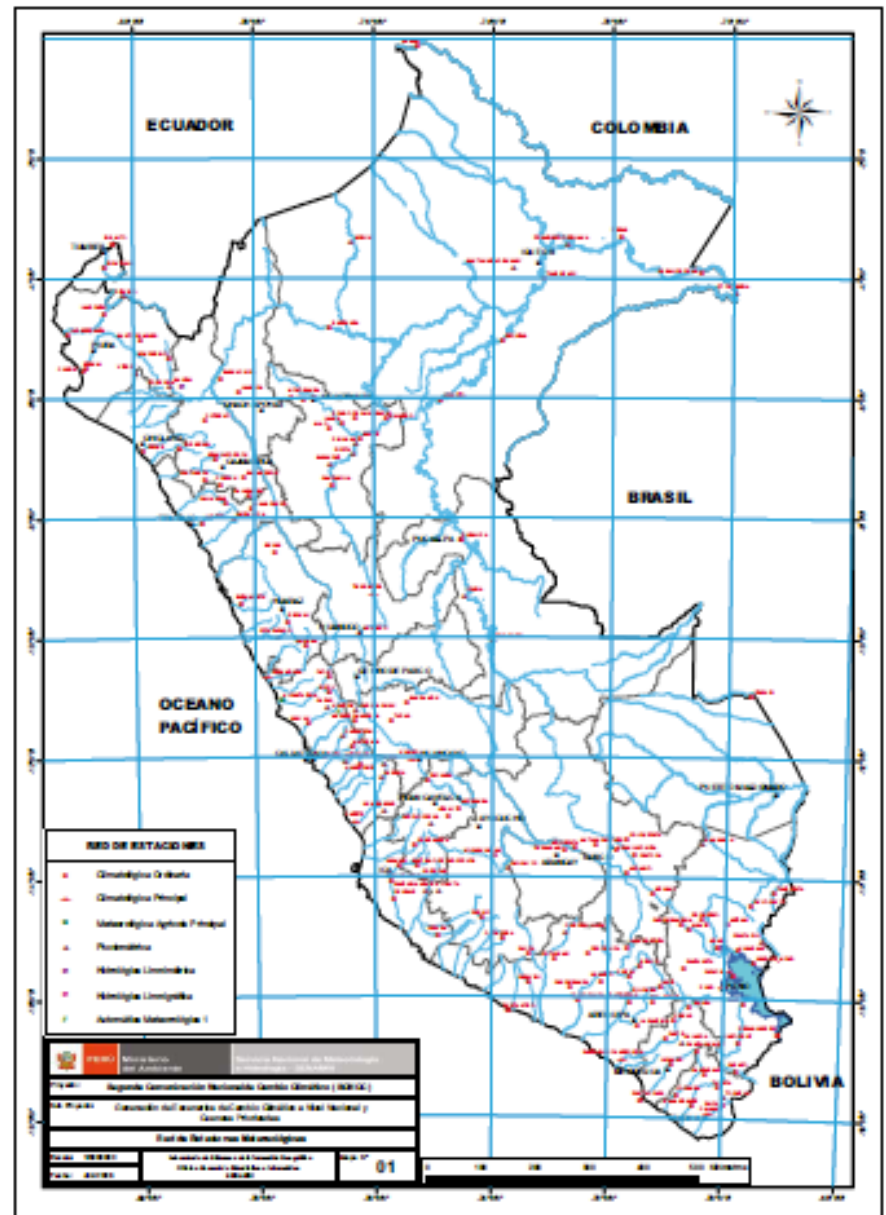
- Recopilación de información 2009-2010: Entrevistas en localidades de la región Apurímac y Cusco.
- Mediciones instrumentales en campo e Instalación de estaciones termométricas con propósitos del estudio.



CARHUANCA 11	-73.78	-13.73	3100	PAKITZA 68	-71.28	-11.94	319
CARHUANILLA12	-73.73	-15.13	3000	PAMPACHIRI 69	-73.51	-11.1	3364
CAY CAY 13	-71.7	-13.6	3150	PAMPAHUASI 70	-74.25	-14.48	3650
CCATCCA 14	-71.56	-13.61	3729	PAMPAHUTA 71	-70.68	-15.48	4320
CECCAÑA 15	-74	-14.6	4100	PAMPAMARCA 72	-74.2	-14.23	3400
CECHAPAMPA 16	-74	-14.83	3900	PAMPAS 73	-74.86	-12.39	3240
CHALHUANCA 17	-73.17	-14.33	2850	PARURO 74	-71.84	-13.77	3084
CHILCAYOC 18	-73.72	-13.87	3410	PAUCARTAMBO 75	-71.59	-13.32	3042
CHIMPARINA 19	-73.05	-12.47	960	PAUZA 76	-73.35	-15.28	2560
CHINCHAYLLAPA 20	-72.71	-14.94	4100	PECOPE 77	-73.45	-14.07	4050
CHINCHEROS 21	-73.72	-13.52	2772	PILCOPATA 78	-71.02	-13.08	900
CHITAPAMPA 22	-71.97	-13.41	3600	PISAC 79	-71.85	-13.42	2950
CHIVAY 23	-71.6	-15.64	3633	PORPERA 80	-71.32	-15.35	4195
CHOCO 24	-72.12	-15.57	2473	PROGRESO 81	-70.37	-14.69	3965
CHUNGUI 25	-73.62	-13.22	3468	PUCARÁ 82	-70.37	-15.04	3910
CHUQUIBAMBILLA PUNO 26	-70.73	-14.79	3950	PTO OCOPA 83	-74.25	-11.13	690
CIRIALO 27	-73.18	-12.72	900	PUICA 84	-72.67	-15.07	3362
COLOQEPATA 28	-71.67	-13.36	3729	PULLHUAY 85	-72.77	-15.15	3455
COMBAPATA 29	-71.43	-14.1	3464	PUCUIO 86	-74.13	-14.7	3219
CONDOROMA 30	-71.3	-15.4	4160	PUSA PUSA 87	-71.65	-15.22	4190
CORA CORA 31	-73.78	-15.02	3172	PUTACCASA 88	-74.2	-14.12	4100
COTAHUASI 32	-72.89	-15.37	2683	QUILLABAMBA 89	-72.69	-12.86	990
CRUCERO 33	-70.02	-14.36	4130	QUILLISANI 90	-70.75	-15.38	4600
CURAHUASI 34	-72.74	-13.55	2763	QUINCENIL 91	-70.75	-13.22	651
CUSCO 35	-71.94	-13.54	3399	ROCOTAL 92	-71.57	-13.11	2010
ECHARATE 36	-72.67	-12.78	667	SALVACIÓN 93	-71.5	-12.83	520
GRANJA KCAYRA 37	-71.88	-13.56	3219	SAN GABAN 94	-70.4	-13.44	640
HCDA. ATECATE 38	-70.97	-15.48	4350	SANCOS 95	-73.95	-15.07	2800
HCDA. MOROTE 39	-71.05	-15.62	4438	STA ROSA 96	-70.79	-14.62	3940
HUACHIBAMBA 40	-72.1	-13.05	2900	STO TOMÁS 97	-72.09	-14.4	3253
HUANCABAMBA 41	-73.04	-13.73	1666	SEPA 98	-73.28	-10.82	307
HUANCARAY 42	-73.53	-13.75	2902	SEPAHUA 99	-73.05	-11.15	500
HUYRO 43	-72.45	-13.07	1700	SICUANI 100	-71.24	-14.25	3574
INAPARI 44	-69.6	-10.95	273	TAMBOBAMBA 101	-72.17	-13.93	3275
JANACANCHA 45	-71.77	-15.18	4320	TERESITA 102	-73.8	-12.55	650
JARPAÑA 46	-70.78	-15.52	4300	TISCO 103	-71.45	-15.35	4175
KEPASHIATO 47	-73.22	-12.63	865	URAYHUMA 104	-73.57	-14.6	4170
LA ANGOSTURA 48	-71.65	-15.18	4150	URCOS 105	-71.63	-13.7	3149
LA PULPERA 49	-71.45	-15.62	4021	URIPA 106	-73.68	-13.53	3280
LA QUINUA 50	-74.14	-13.04	3240	URUBAMBABA 107	-72.12	-13.31	2863
LAMPA (AVACUCHO) 51	-73.35	-15.18	2880	VILCABAMBAMBA108	-73.02	-13.12	4000
LAMPA-PUNO 52	-70.37	-15.36	3900	VILCASHUAMAN 109	-73.93	-13.65	3650
LIVITACA 53	-71.68	-14.32	3741	VISCHONGO 110	-74	-13.58	3141
LLALLY 54	-70.89	-14.94	4190	VISUYO 111	-71.73	-15.4	4620
LURICOCHA 55	-74.23	-12.82	2625	YAN AOCA 112	-71.43	-14.22	3913
MACHENTE 56	-73.83	-12.53	1250	YAURI 113	-71.42	-14.82	3927

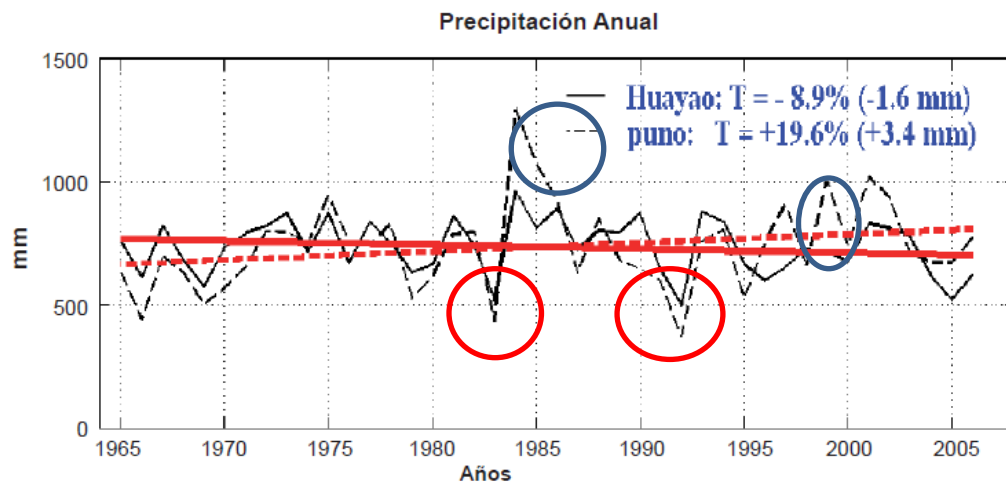
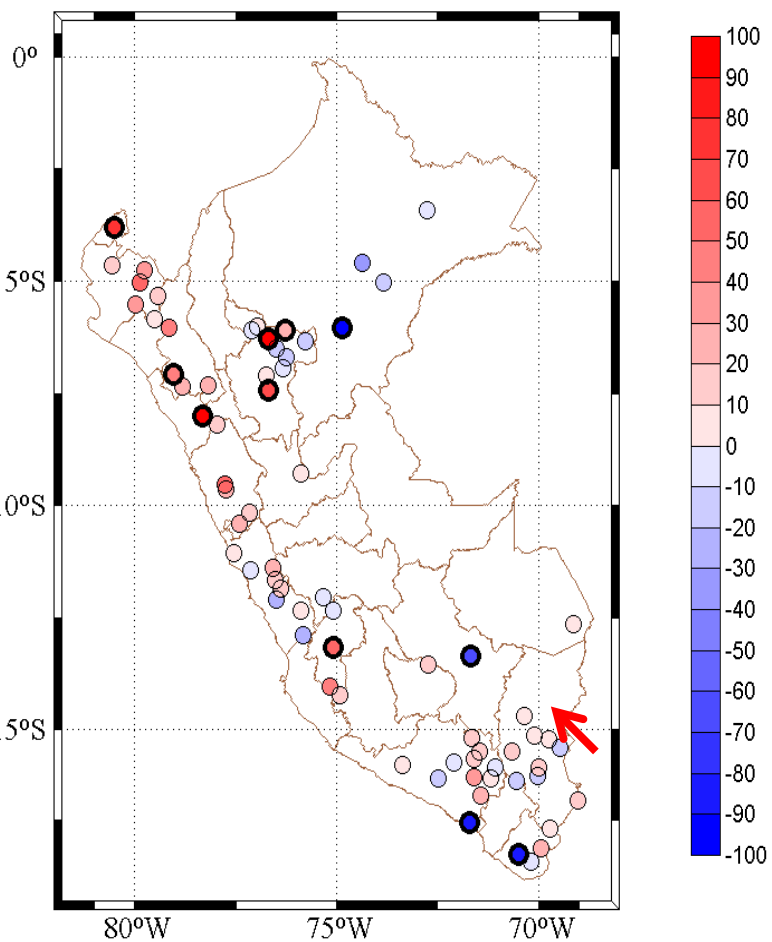
132 STN

24 Regiones (Departamentos)



Tendencia de la precipitación (1965-2006)

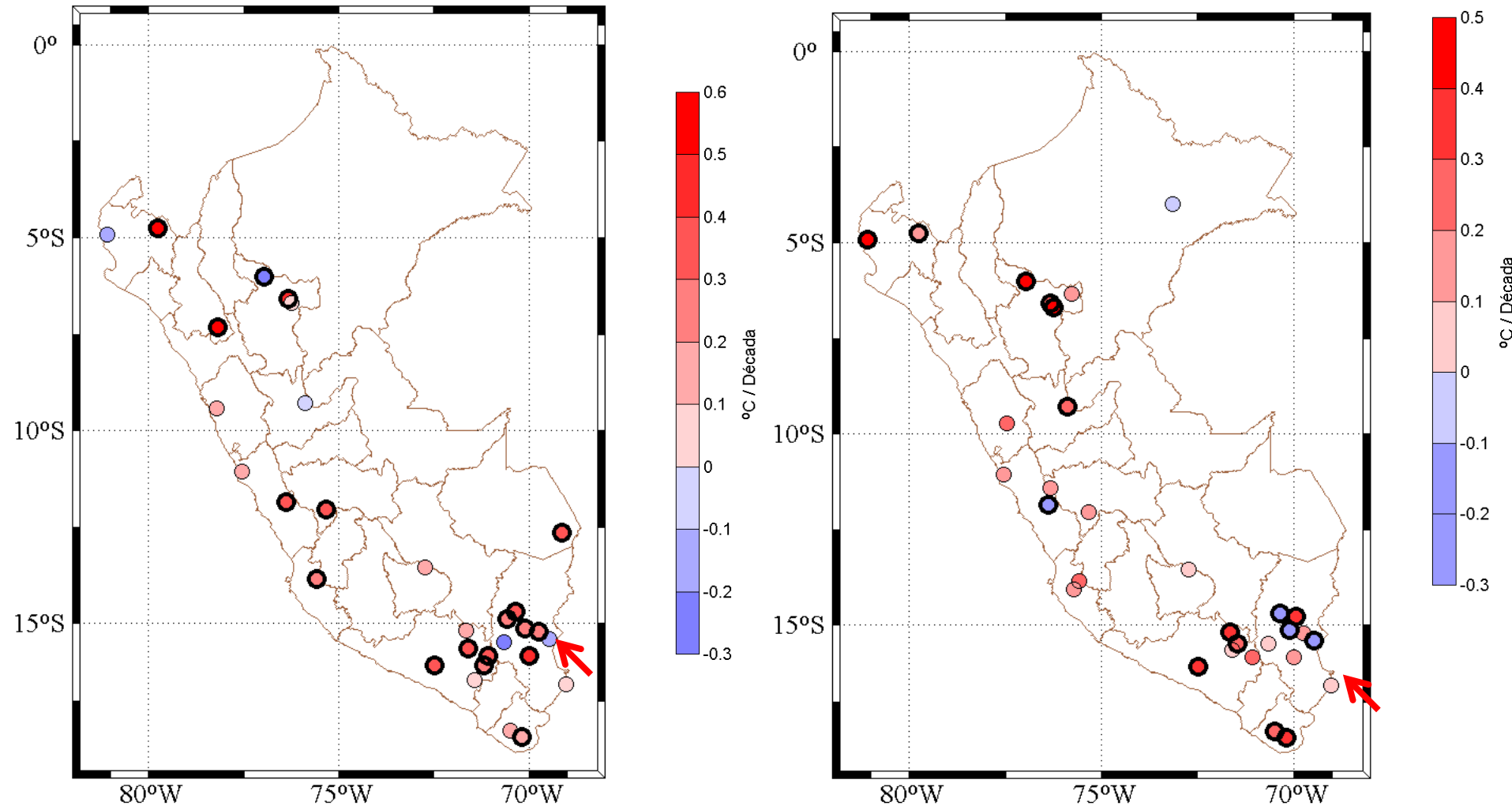
Precipitación: Anual



42 años

Tendencia de la temperatura

Método de Sen (1968) Hish et al. (1982)

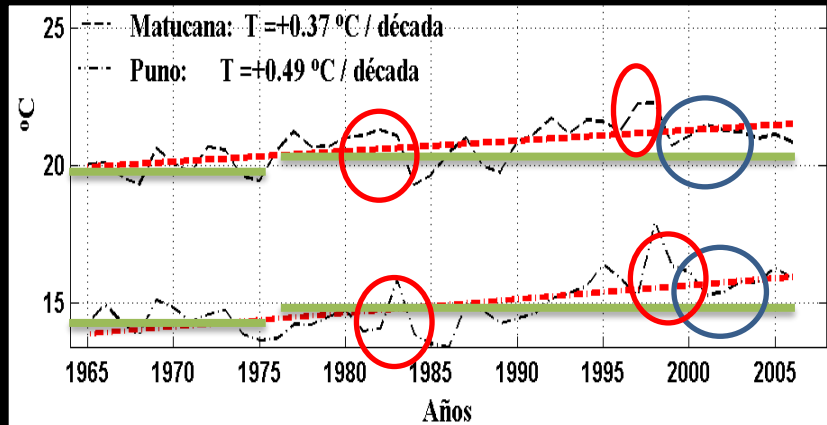


Factores regionales y locales: cercanía a la línea costera, altitud, presencia de cuerpos de agua lagos, lagunas, cambios en la circulación local.

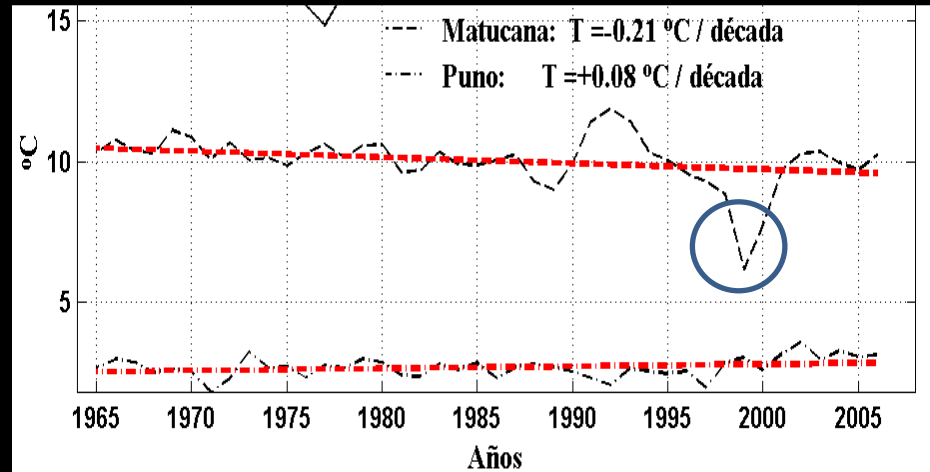
Tendencia de la temperatura

Método de Sen (1968) Hish et al. (1982)

Tendencia de la Temperatura máxima



Tendencia de la Temperatura mínima





Indicadores de extremos climáticos

Los extremos climáticos provocan grandes pérdidas económicas y de vidas humanas, por tanto los tomadores de decisión necesitan una mejor comprensión del uso potencial de la información climática (Karl and Easterling, 1999).

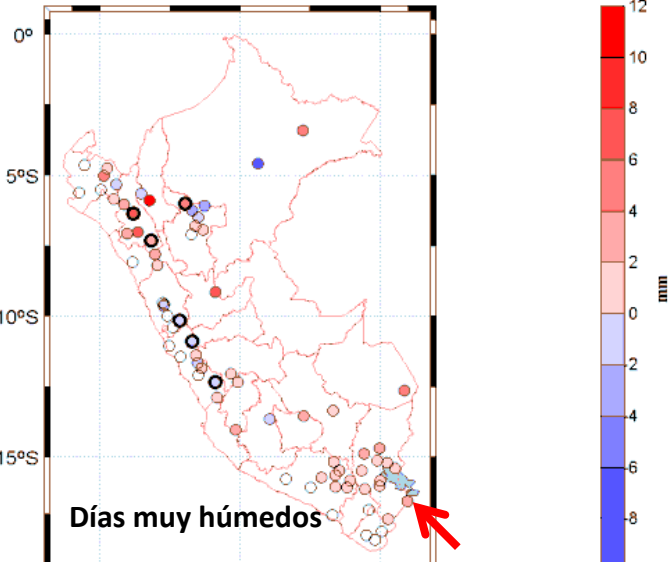
Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
PRCPTOT	Precipitación en días húmedos	Precipitación Total Anual en los días húmedos (RR >= 1mm)	mm
SDII	Índice de intensidad diaria de precipitación	Precipitación total anual dividida por el número de días húmedos en un año	mm día ⁻¹
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR < 1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR >= 1mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual en que RR > 95 percentil	mm
R99p	Días extremadamente húmedos	Precipitación total anual en que RR > 99 percentil	mm

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
FDO	Días de Heladas	Número de días en un año cuando Tn (mínimo diario) < 0°C	días
Txx	Temperatura Máxima Máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
Tnn	Temperatura Mínima Mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre Tx y Tn	°C
Tx10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando Tx < 10th percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx > 90th percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn < 10th percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn > 90th percentil	días

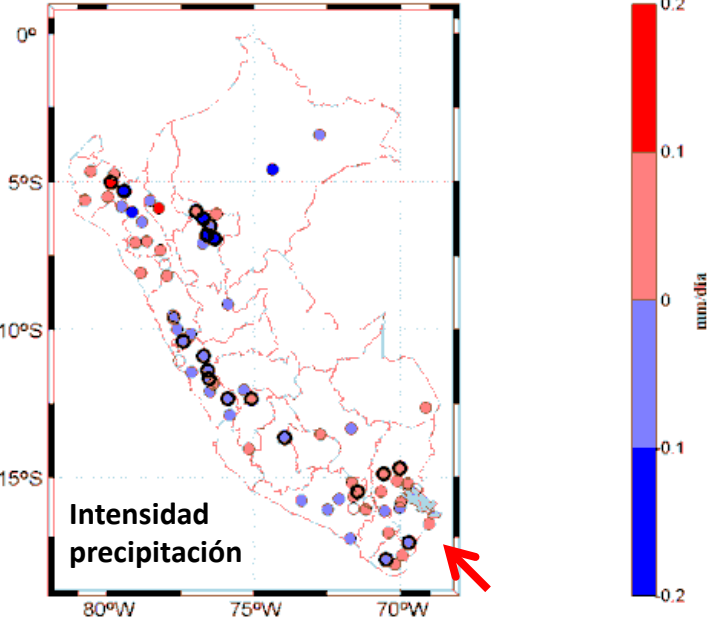
- Frisch et al. (2002), utilizados en AR4 IPCC.

Indicadores climáticos de extremos de precipitación

a) R95p

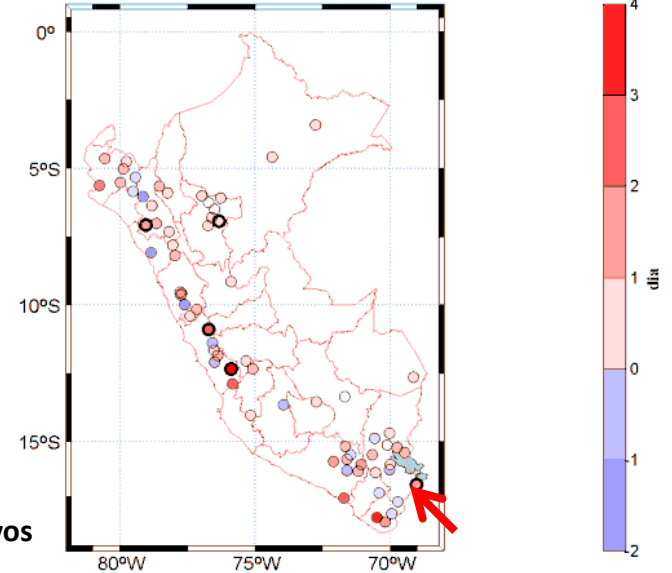


SDII



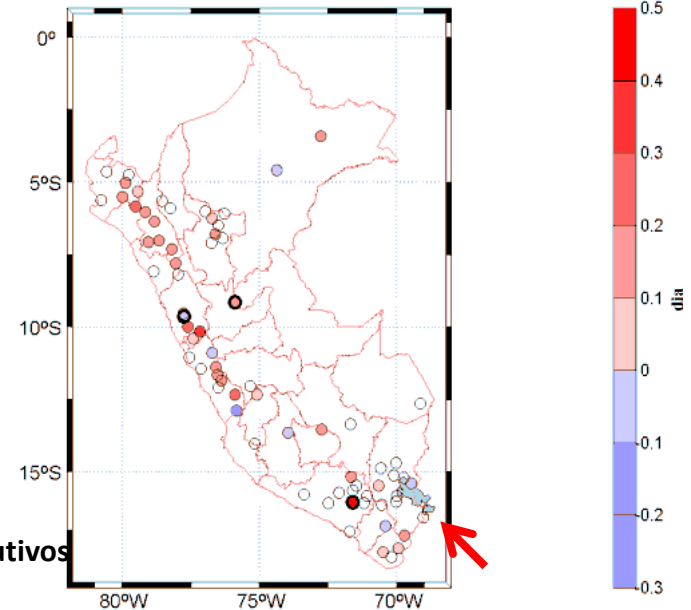
Intensidad

a) CDD



Días secos consecutivos

b) CWD



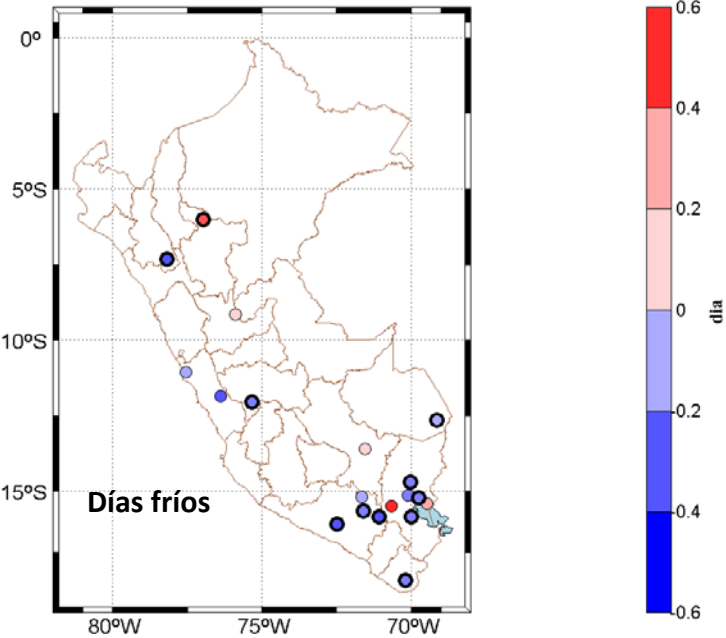
Días húmedos consecutivos

Método de Frisch et al. (2002)

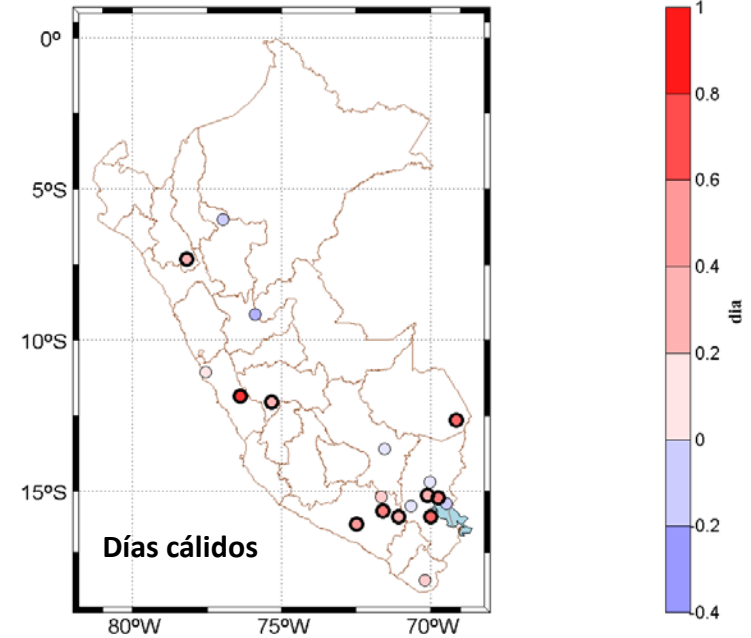
Frecuencia

Indicadores climáticos de extremos temperatura

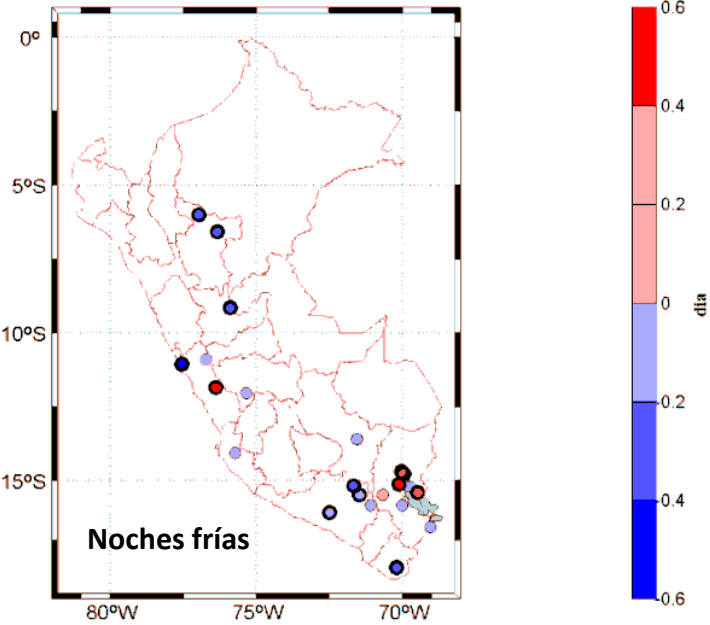
a) Tx10p



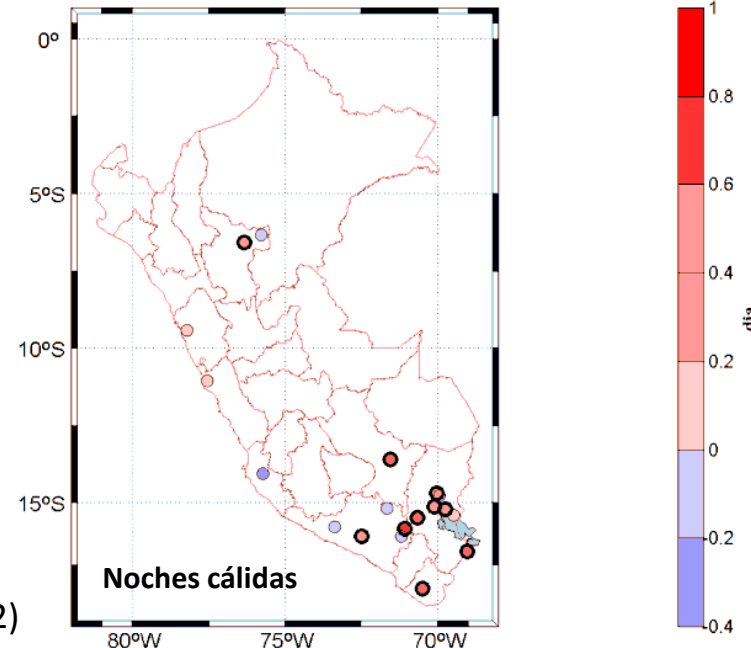
b) TX90p



a) TN10p

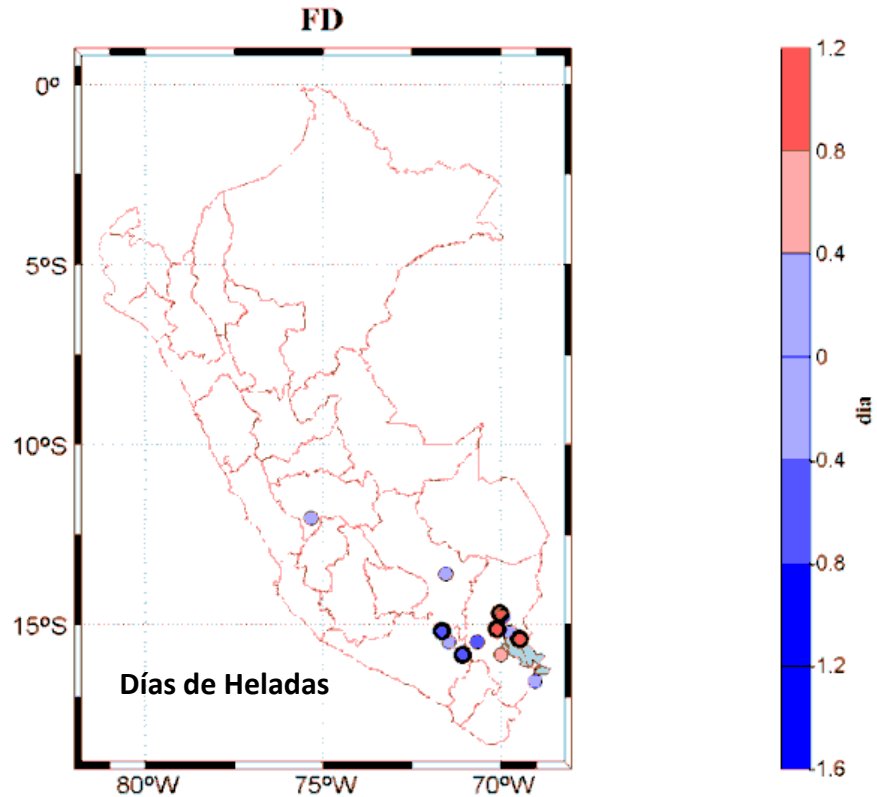


b) TN90p



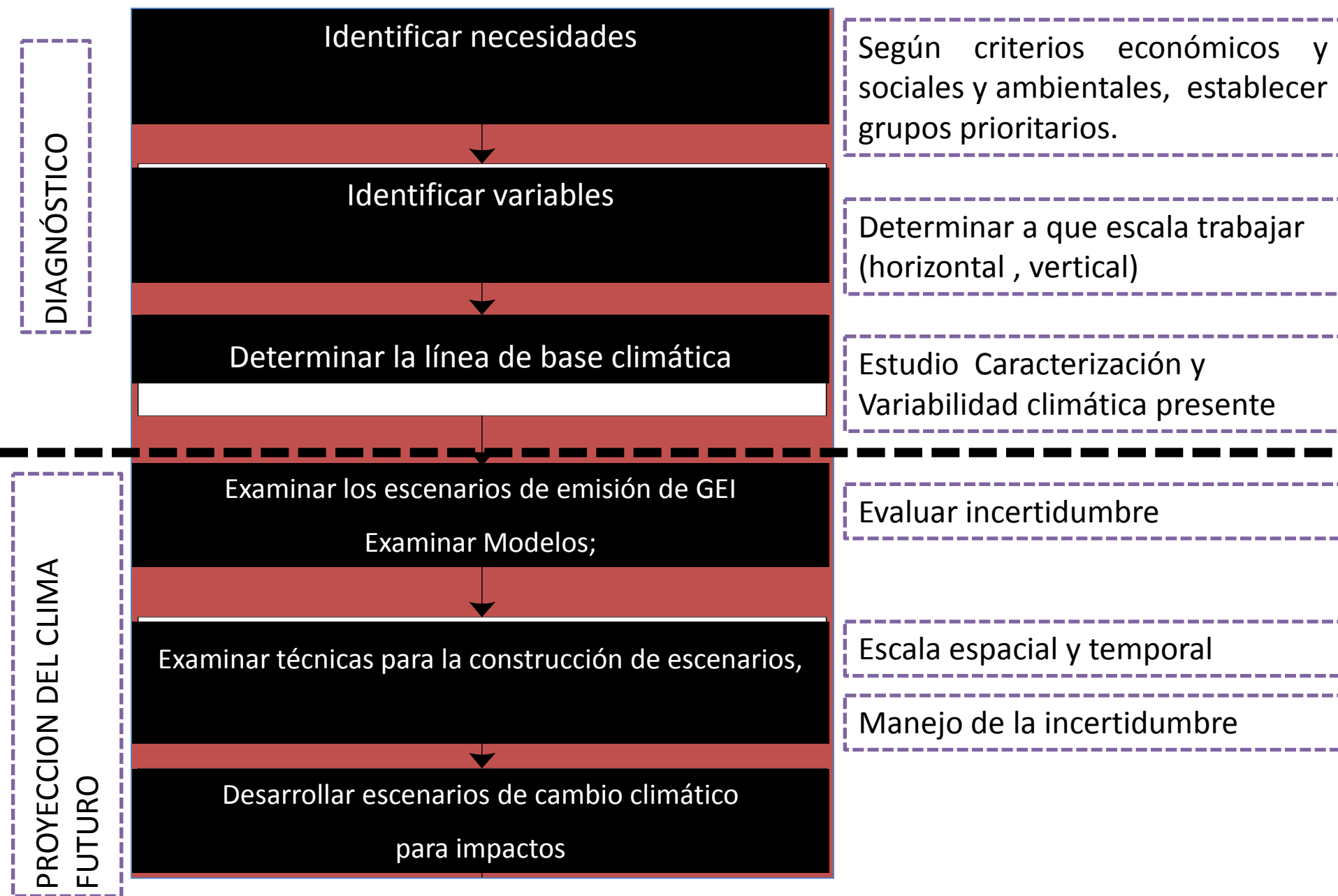
Método de Frisch et al. (2002)

Indicadores climáticos de extremos temperatura



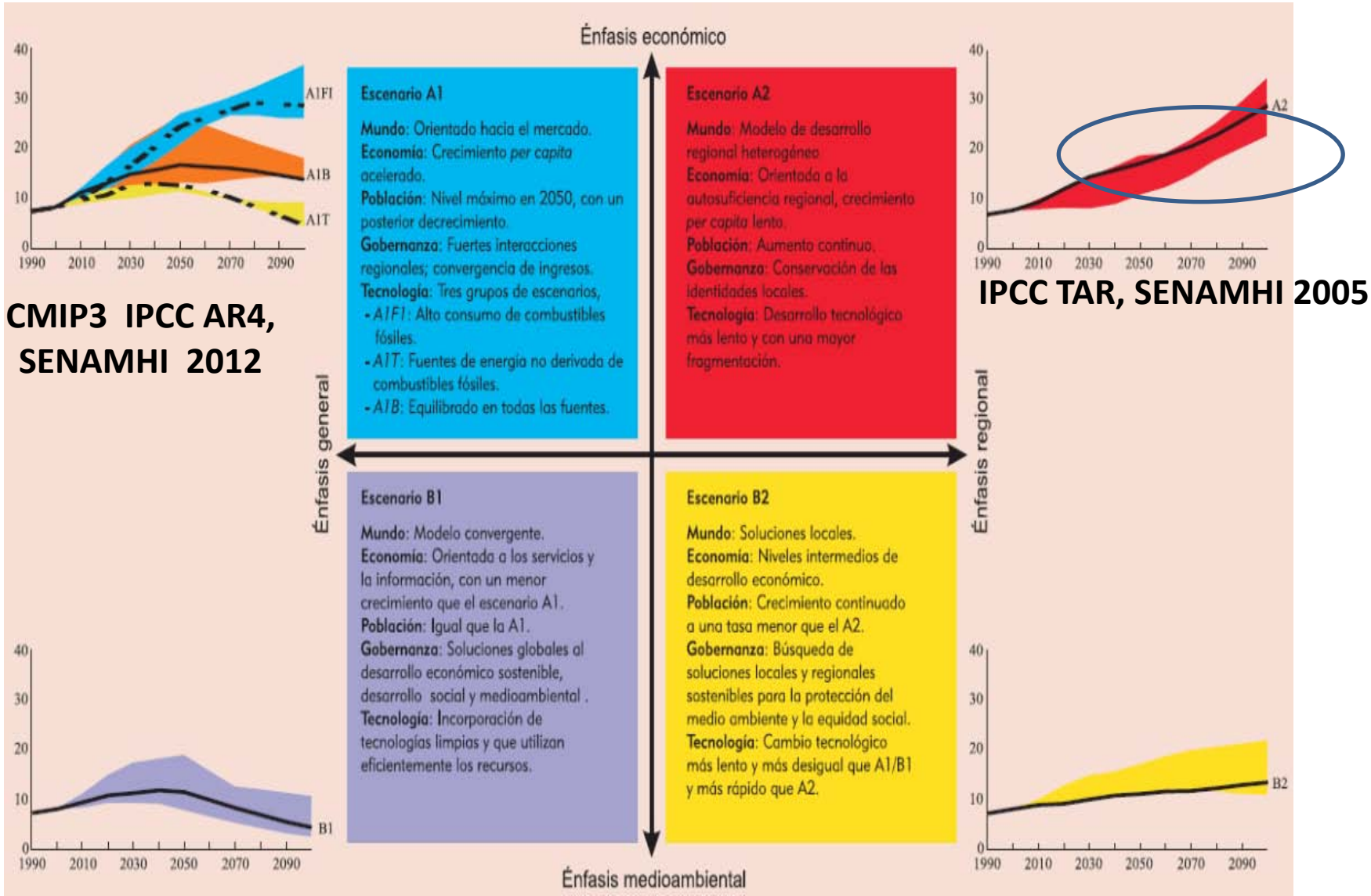
Escenarios de Cambio Climático

Pasos para el desarrollo de estudios de Variabilidad y Escenarios de cambio climático

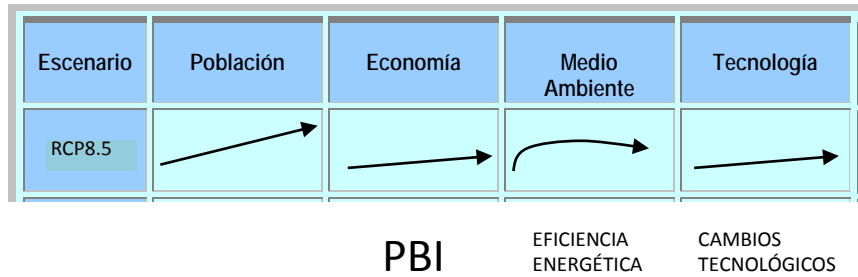




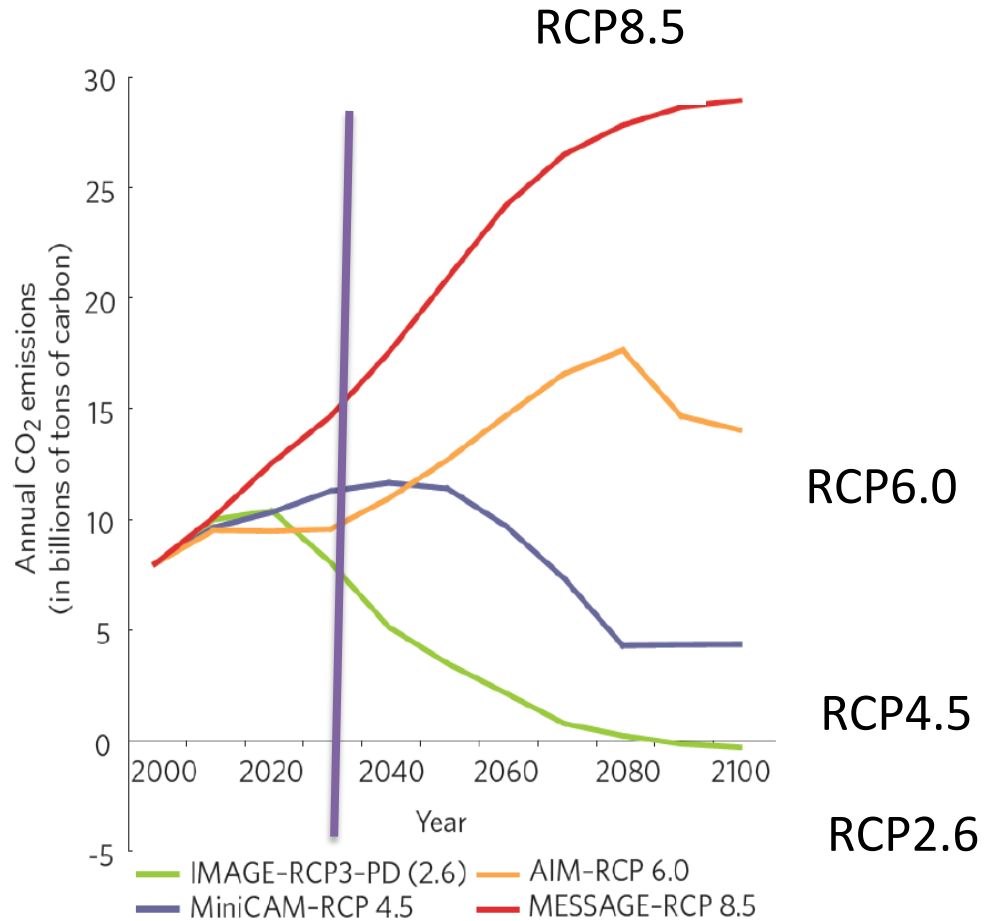
Evaluación de Escenarios de Emisión de GEI



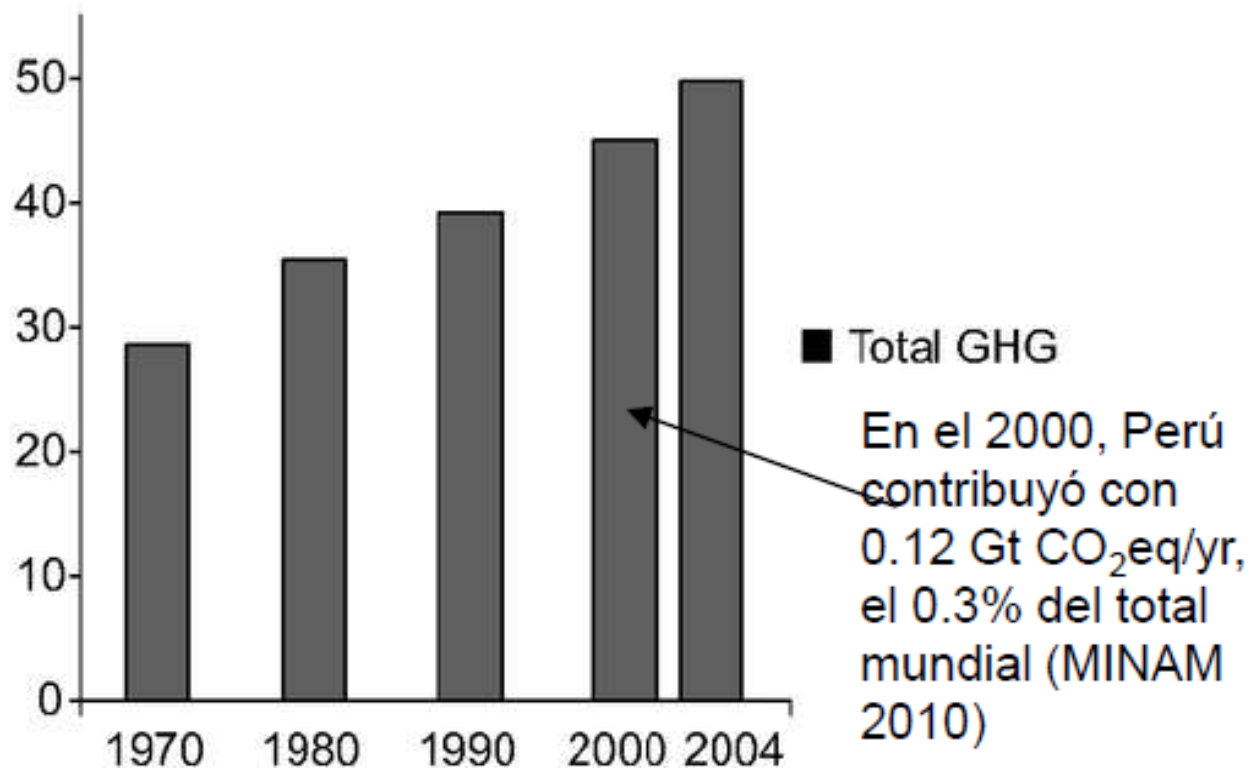
Nuevo Escenario de emisión RCP Fuente: IPCC



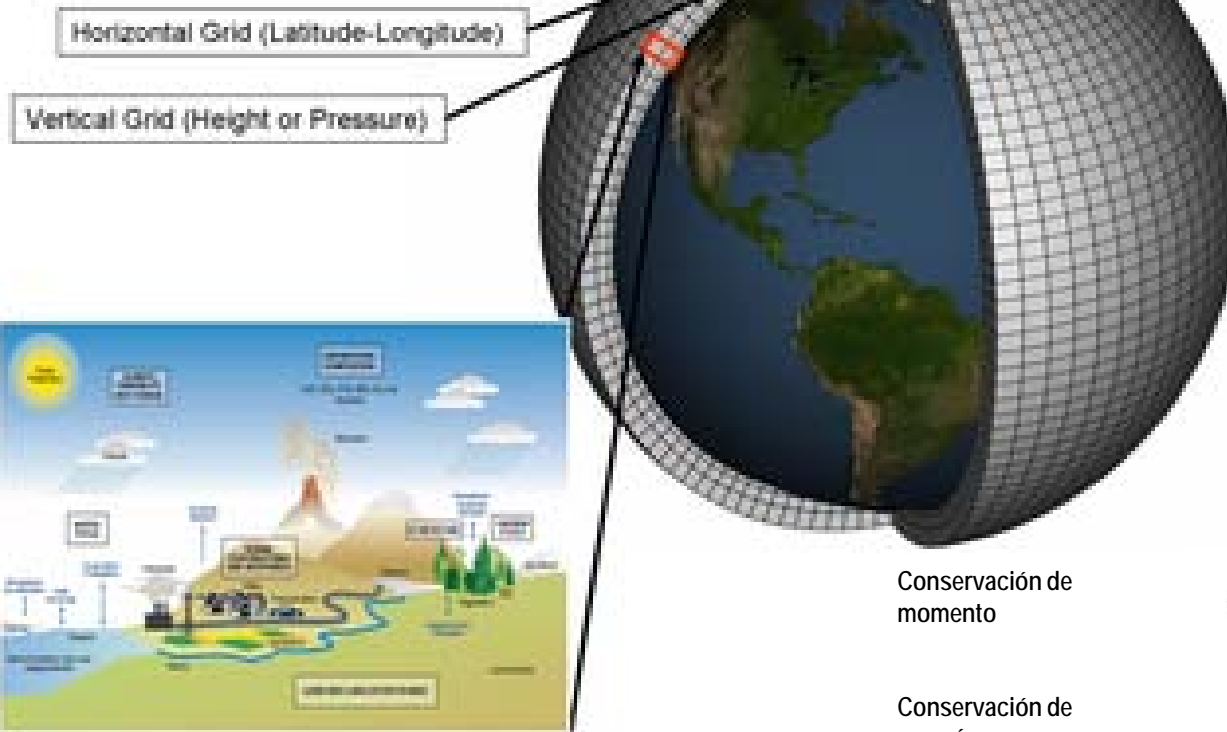
IPCC AR5, SENAMHI 2013



RCP8.5 supone la combinación de un alto crecimiento poblacional, un bajo crecimiento de PBI, modestas tasas de cambios tecnológicos y poca eficiencia energética, llevando a grandes demandas energéticas y el incremento de gases de efecto invernadero (Riahi et al, 2011)



Schematic for Global Atmospheric Model



Los modelos climáticos globales son sistemas de ecuaciones diferenciales basados en leyes físicas. Representan numéricamente al Sistema Climático y las diversas interacciones que existen entre sus componentes atmósfera, océano-biosfera.

Conservación de momento

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \bar{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} - 2\bar{\Omega} \times \bar{V} + \bar{g} + \bar{F}_V$$

Conservación de energía

$$C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla T \right) = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} + Q + F_T$$

Conservación de masa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \rho = -\rho \nabla \cdot \bar{V}$$

Conservación de agua

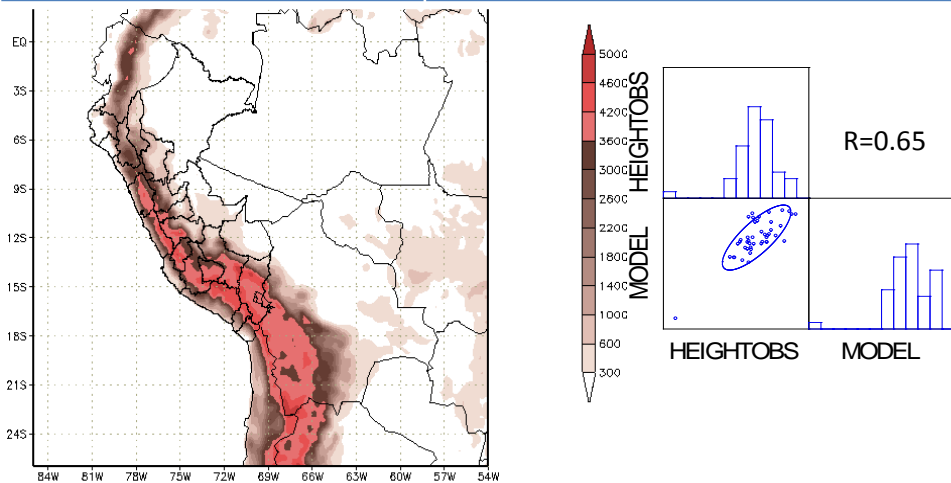
$$\frac{\partial q}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla q = \frac{S_q}{\rho} + F_q$$

Ecuación de estado

$$p = \rho R T$$

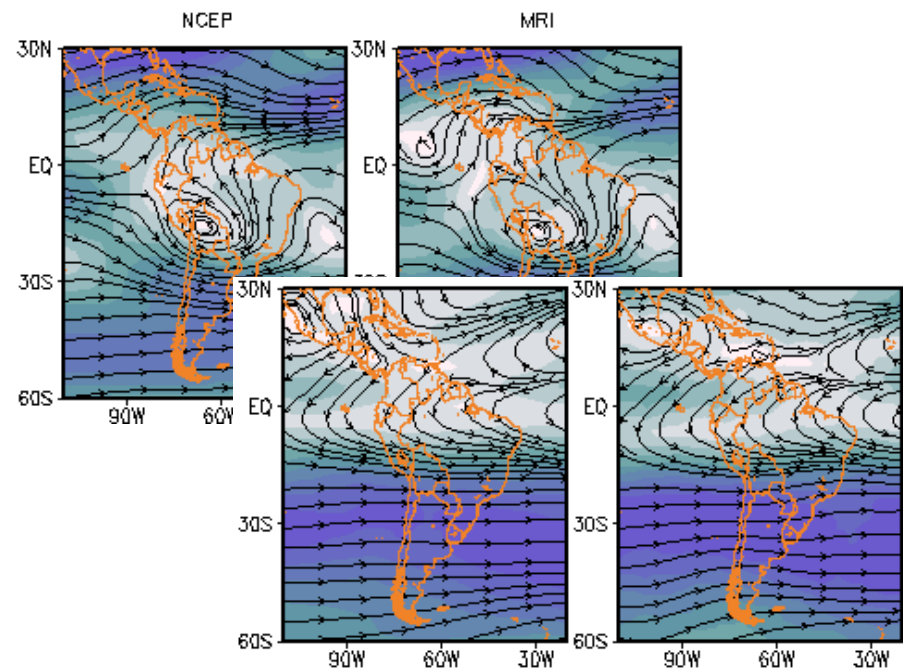
PROYECCIONES: son estimaciones del clima a largo plazo que incorporan incertidumbre (FN+FA)

VALIDACIÓN DE MODELOS TL959 – MODELO JAPONÉS



Topografía de la Cordillera de los Andes según el Modelo TL959L60 MRI-JMA

Fig. 1: Campo de viento medio en 200 hPa en ms^{-1} durante el verano del hemisferio sur, simulado por el modelo T42CGCM MRI.



hemisferio sur, simulado por el modelo japonés de alta resolución TL959L60 MRI-JMA.

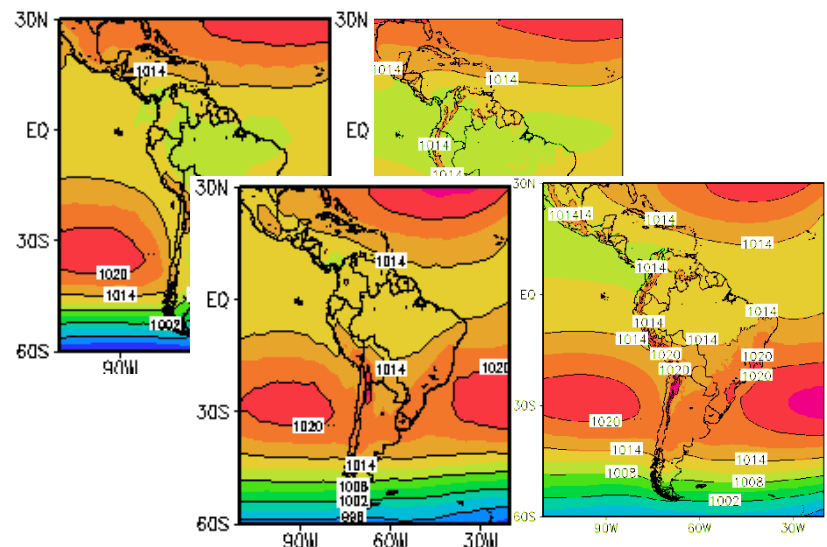
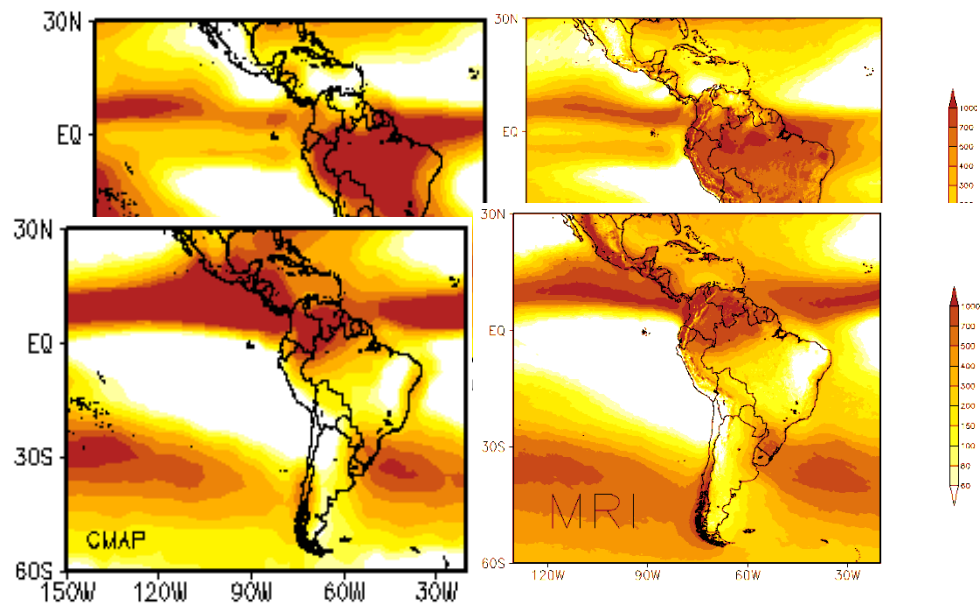


Fig. 2: Campo de precipitación promedio en mm mes^{-1} durante el verano del hemisferio sur, simulado por el modelo japonés de alta resolución TL959L60 MRI-JMA.

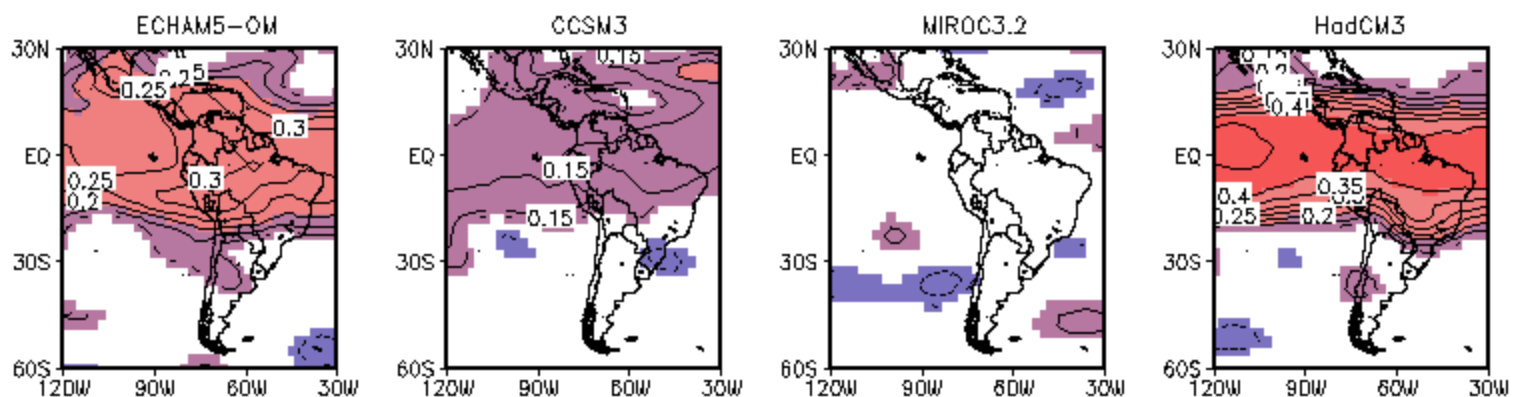
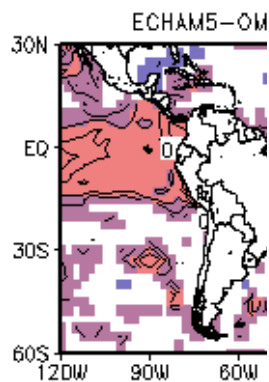
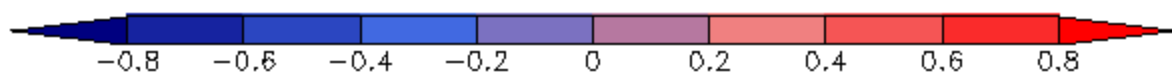
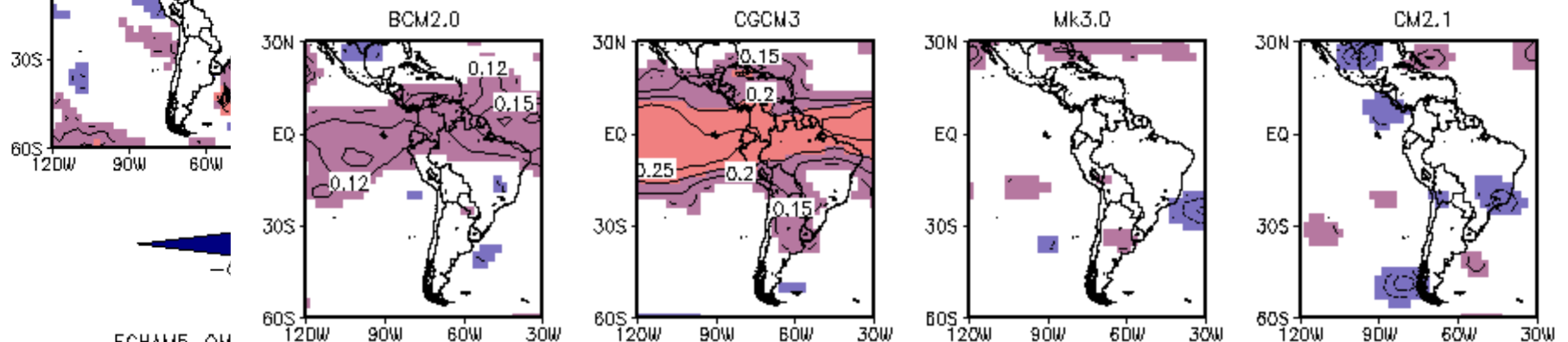


INTERCOOPERACIÓN DE MODELOS GLOBALES Y REGIONALES

Temperatura del mar (alfa = 0.05)

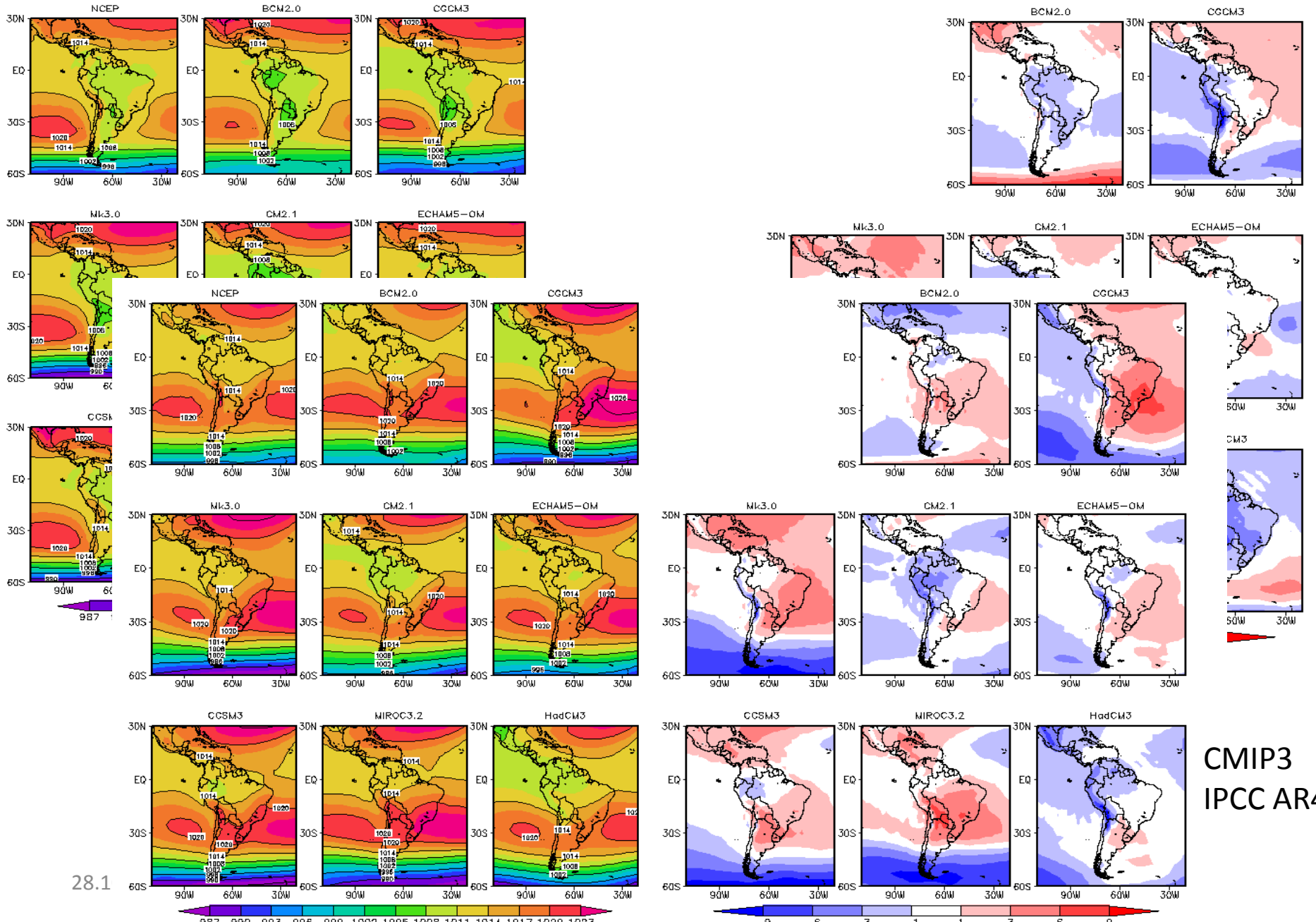


Altura geopotencial a 500 hPa (alfa = 0.05)



CMIP3
IPCC AR4

Intercomparación de modelos globales



CMIP3
IPCC AR4

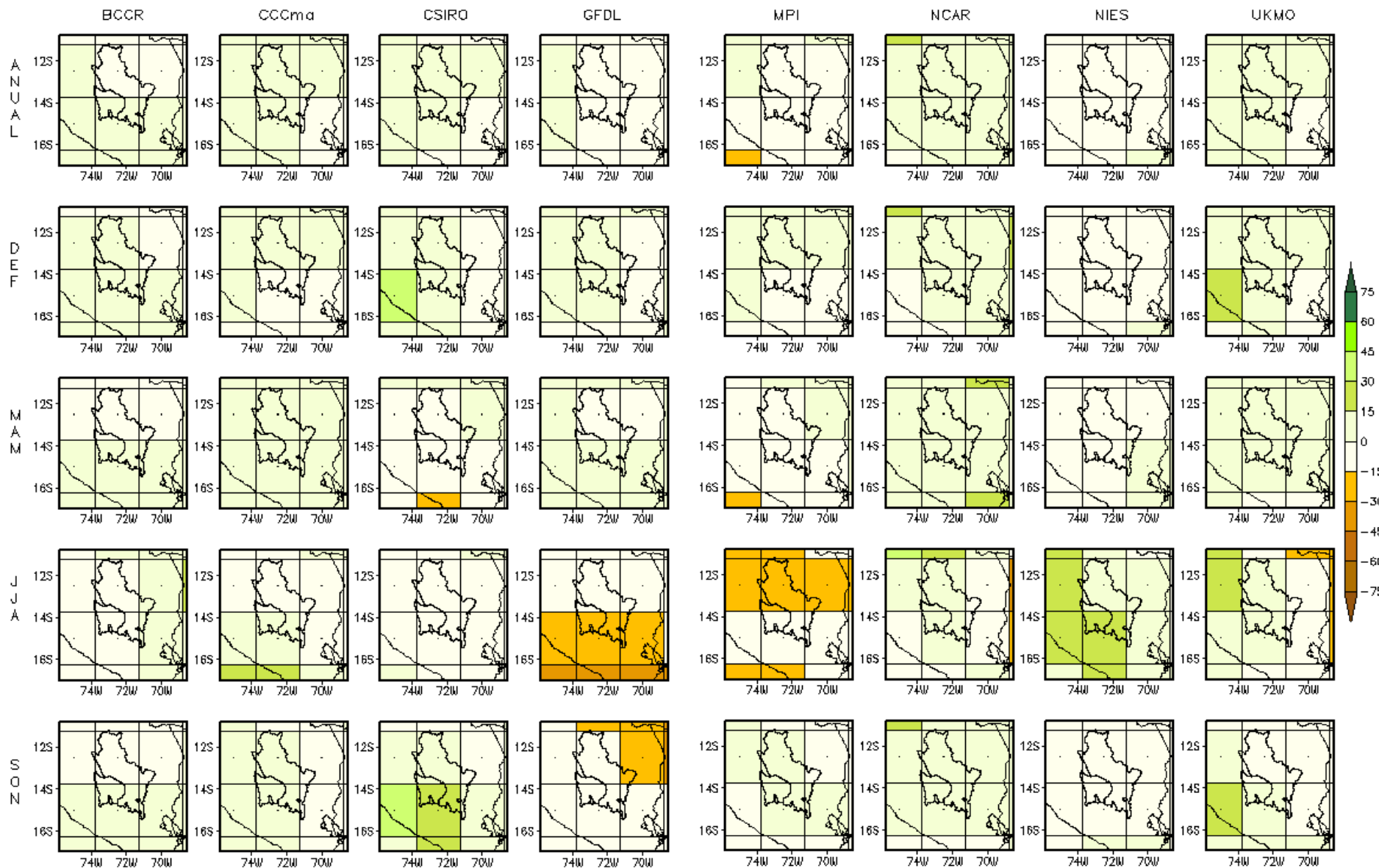


PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología - SENAMHI

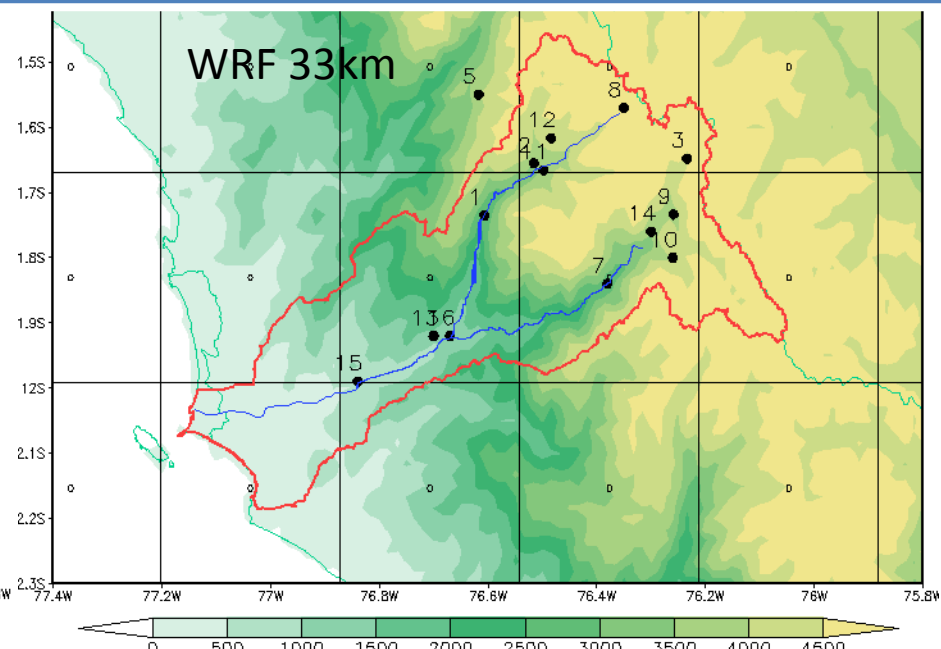
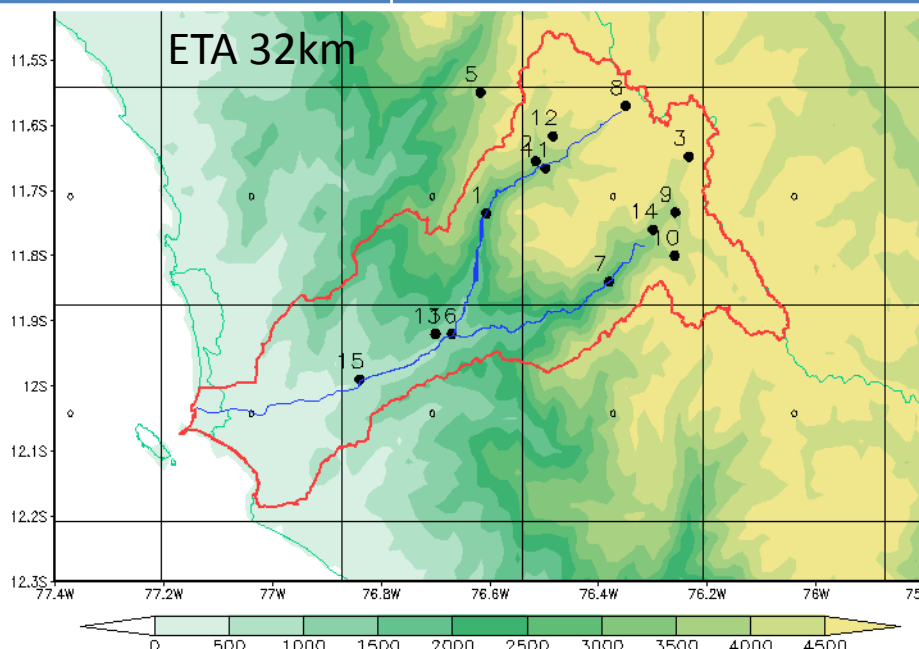
RESULTADOS Explorando las incertidumbres del Clima futuro en Cusco y Apurímac



Técnicas de Reducción de escala

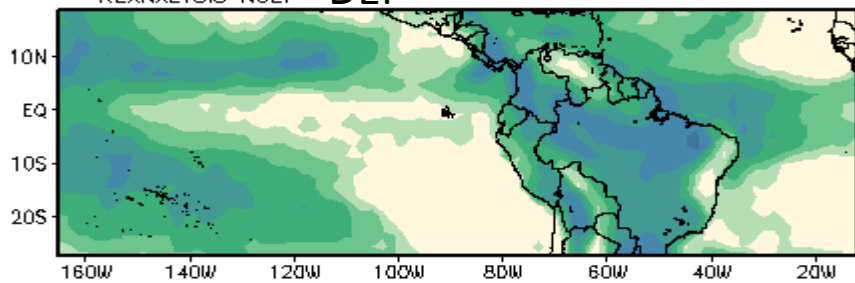
TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE ESCALA

ELECCIÓN DE MODELO REGIONAL, SIMULACIONES DE PRUEBA, CONFIGURACIÓN Y VALIDACIÓN

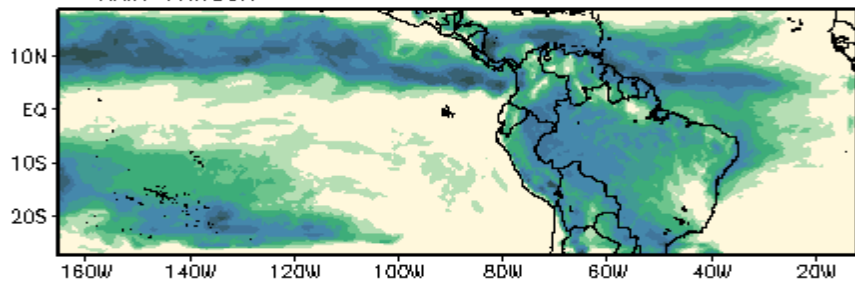


	RMSE ETA			CORREL. ETA			RMSE WRF			CORREL. WRF		
	24 hr	48 hr	72 hr	24 hr	48 hr	72 hr	24 hr	48 hr	72 hr	24 hr	48 hr	72 hr
HUARIOS	9.1	5.6	11.7	0.36	0.42	-0.07	7.7	5.0	3.5	-0.01	0.18	0.70
LACHAQUI	7.2	3.3	5.8	0.41	0.47	0.23	6.8	3.2	2.4	0.09	0.56	0.71
MARCAPOMACOCCHA	17.4	12.5	15.7	0.16	-0.13	-0.14	28.3	11.8	13.9	0.32	0.50	0.31
MILLOC	14.0	12.7	10.8	0.33	0.01	0.02	29.6	12.6	14.4	0.15	0.51	0.35
RIO BLANCO	14.0	13.2	10.2	0.49	-0.14	0.17	15.9	6.9	5.4	0.26	0.43	0.64
S. PARAC	13.6	12.1	9.8	0.52	-0.03	0.14	15.3	6.5	4.5	0.25	0.39	0.67
S. MATEO	14.4	12.6	10.6	0.46	-0.04	0.06	16.6	7.4	5.3	0.16	0.30	0.66
TINGO	12.6	11.0	11.7	0.43	0.31	-0.13	28.7	12.1	12.3	0.02	0.26	0.54

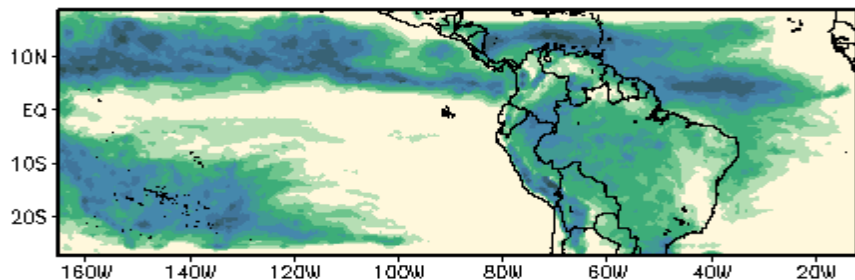
REANALYSIS NCEP DEF



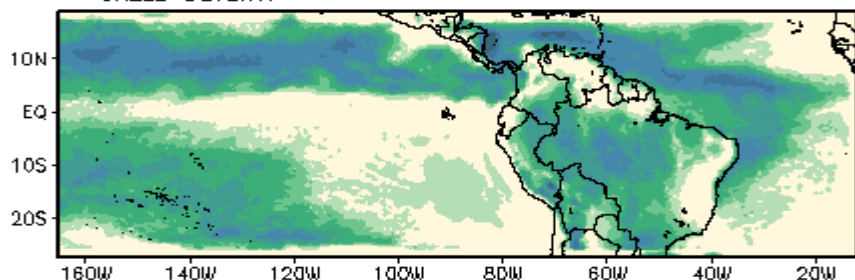
KAIN-FRITSCH



BETTS-MILLER

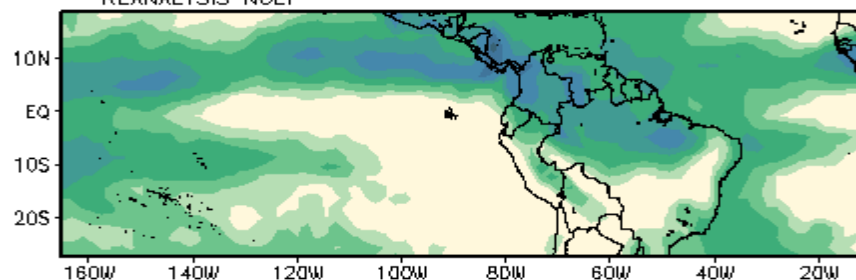


GRELL-DEVENYI

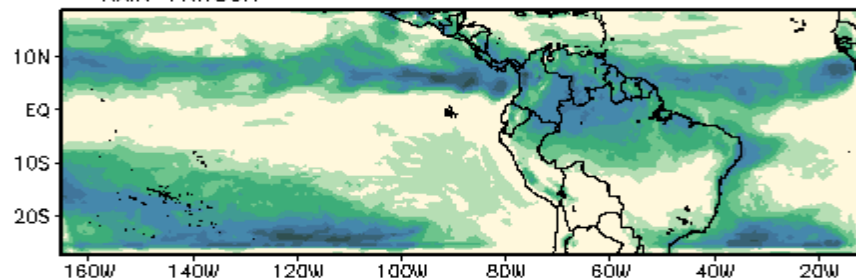


JJA

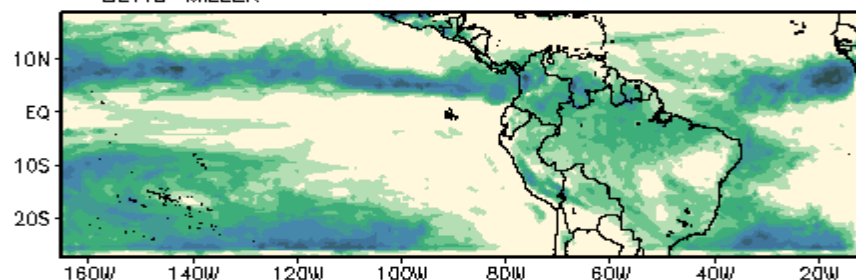
REANALYSIS NCEP



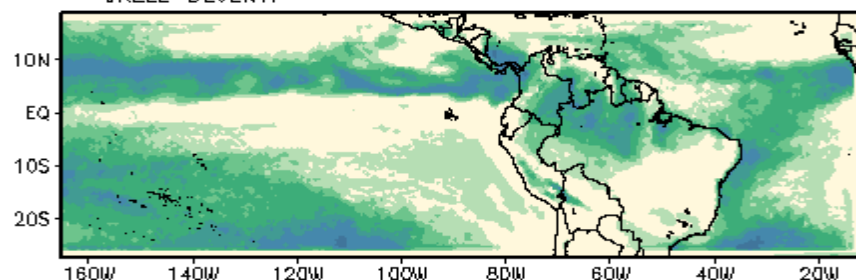
KAIN-FRITSCH



BETTS-MILLER

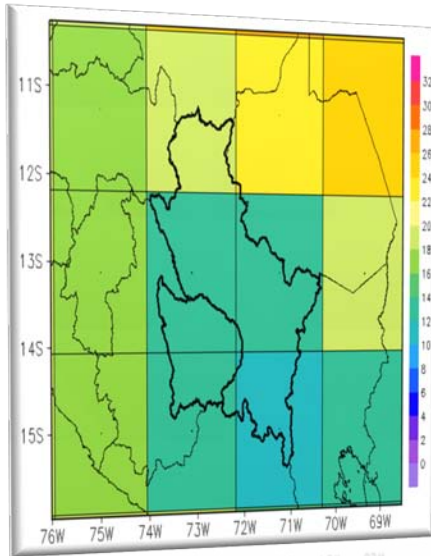


GRELL-DEVENYI

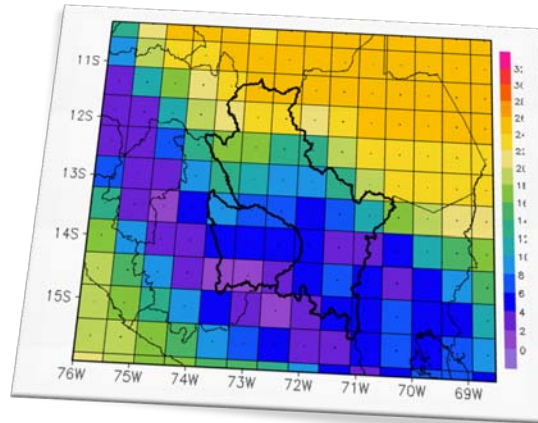


REGIONALIZACION DINAMICA O DOWSCALING DINAMICO

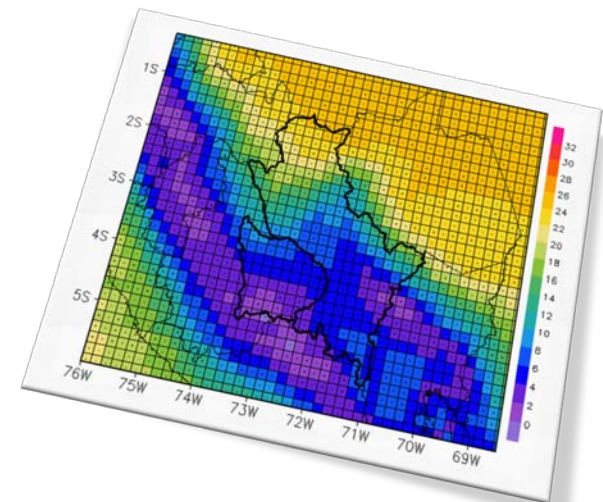
P. Cúmulos	Microfísica	Superficie del suelo	Capa limite planetaria	Capa de superficie	Radiación atmosférica	
					Onda larga	Onda corta
Kain-Fritsch	WSM 3-class scheme	Pleim-Xiu Land Surface Model (EPA)	Asymmetrical Convective Model, Version 2 (ACM2) PBL (Pleim and Chang)	Pleim-Xiu surface layer	RRTM	MM5 (Dudhia)
Betts-Miller						
Grell-Devenyi						



250 Km x 250 Km



60 Km x 60 Km



20 Km x 20 Km



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología - SENAMHI

Procesamiento WRF 3.2:

Servidor HP, 2 procesadores Intel Xeon de 4 Cores c/u, 8 GB memoria RAM, 500 GB de almacenamiento, Sistema operativo Centos 64 Bits

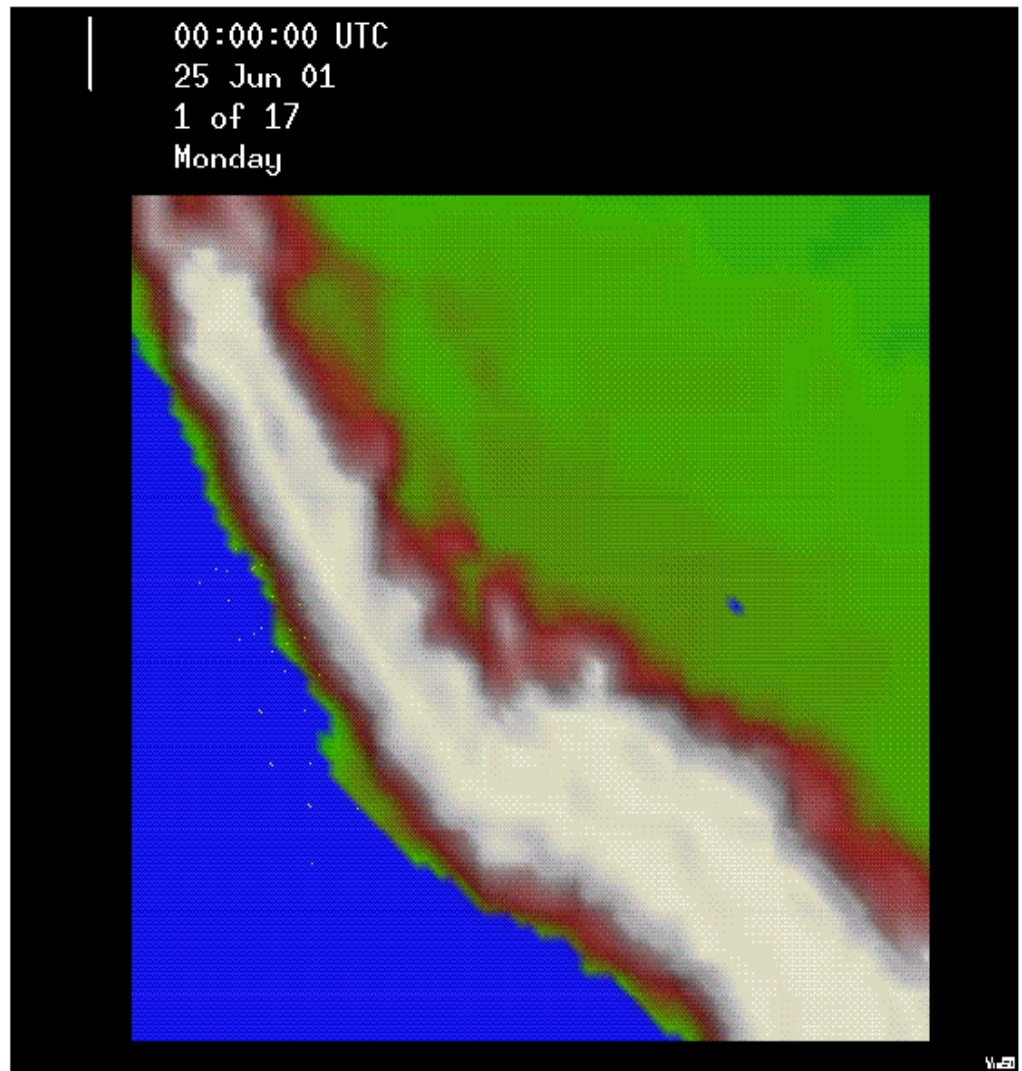


28.10.13

Tiempo procesamiento
computacional: setiembre
2010 – agosto 2011 (~1 año).
1 año en 5 días.



Simulación Climática

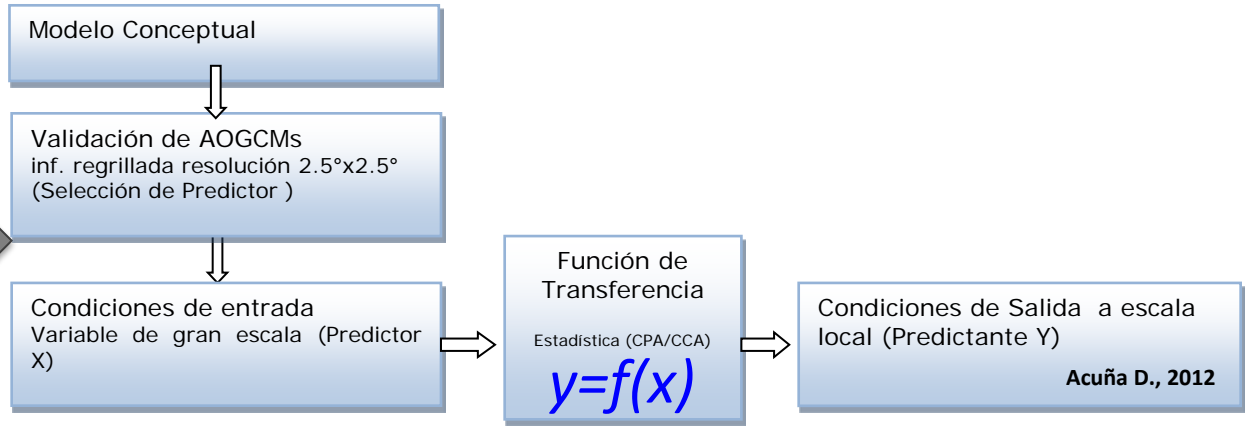
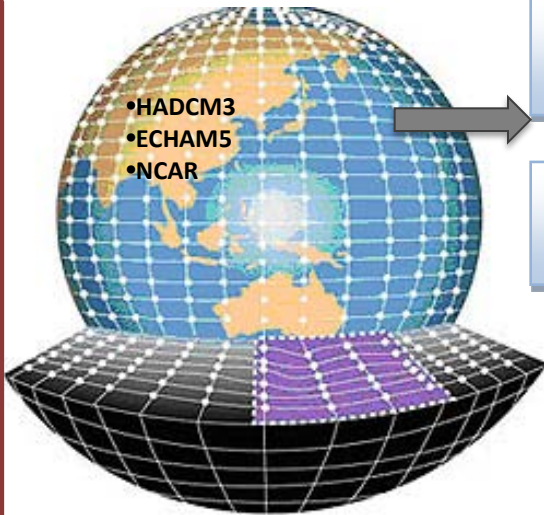


Escenarios Climáticos regionalizados para Cusco y Apurímac 2030 y 2050.

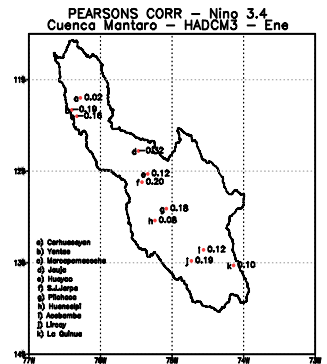
Downscaling o regionalización Estadística

- Modelos CMIP3 Regionalizados estadísticamente el 2012 en SENAMHI:
- CCSM3 (Estados Unidos), HadCM3 (Reyno Unido), ECHAM5-OM (Alemania)

DOWNSCALING ESTADÍSTICO

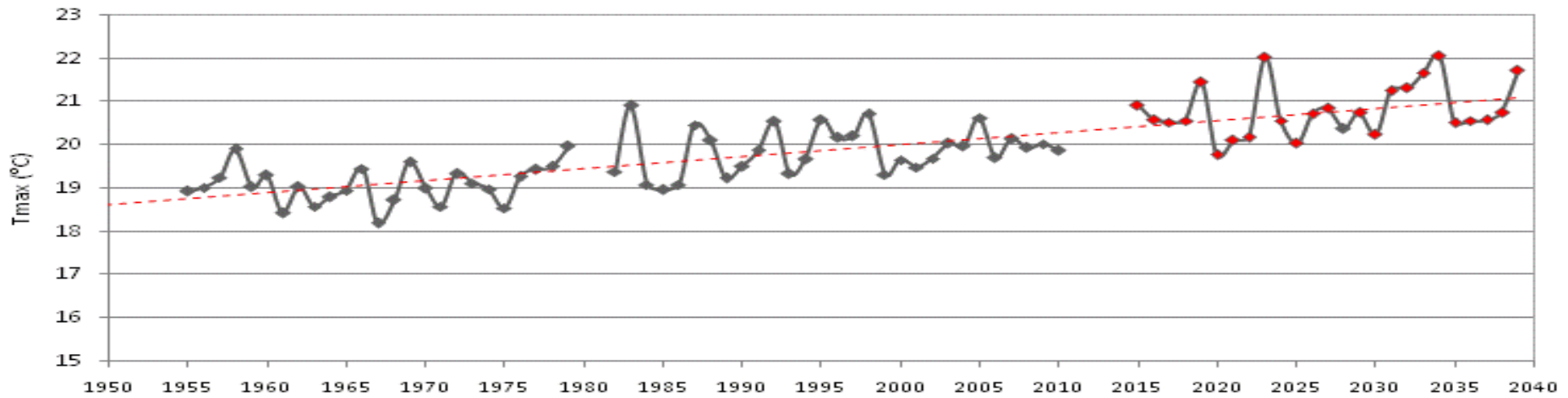


Escenarios a escala local

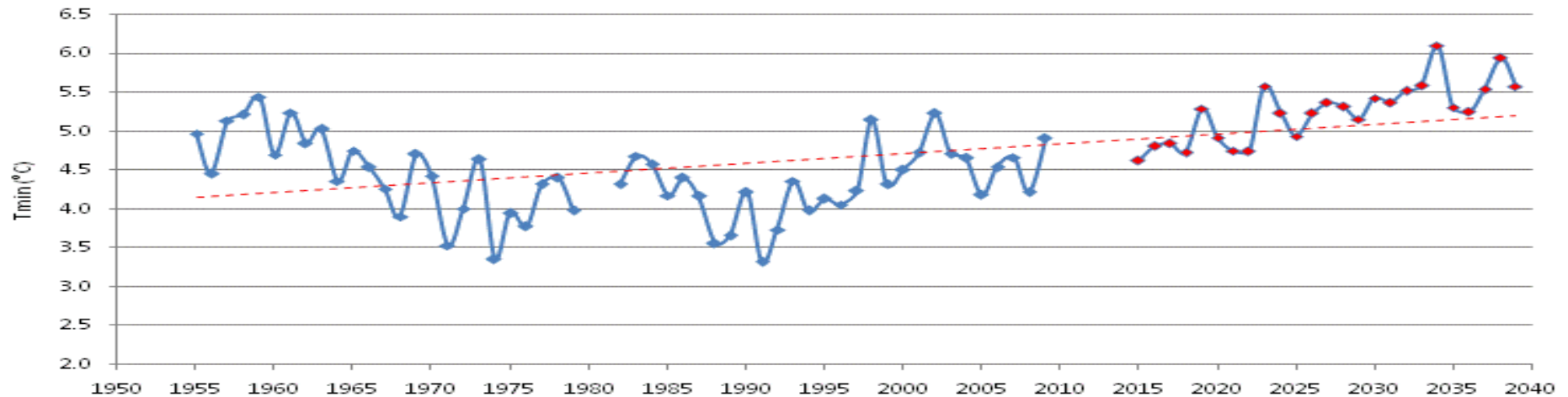


Proyecciones

Tmax anual - Huayao
1955-2039



TMIN - Huayao
1955-2010



Escenarios Climáticos regionalizados 2030

Construcción de Escenarios

- Modelo global Japonés TL969, 20 Km de Resolución
- Ajuste: Lenderink, 2007 y Hulme y Lu, 2000.

- Para precipitación: (Lenderink, 2007)

$$P_{esc} = P_{fut} \times (PP_{obs} / PP_{ctl})$$

$$P_{fajuste} = f(P_{fmod}, \overline{P_{obs}}, P_{ctl})$$

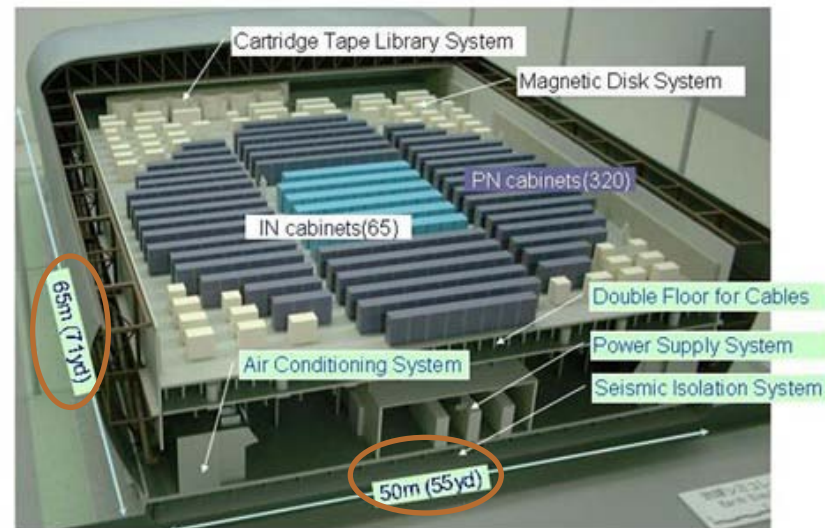
- Para Temperatura
- (Hulme y Lu, 2000)

$$T_{esc} = T_{fut} + (PT_{obs} - PT_{ctl})$$

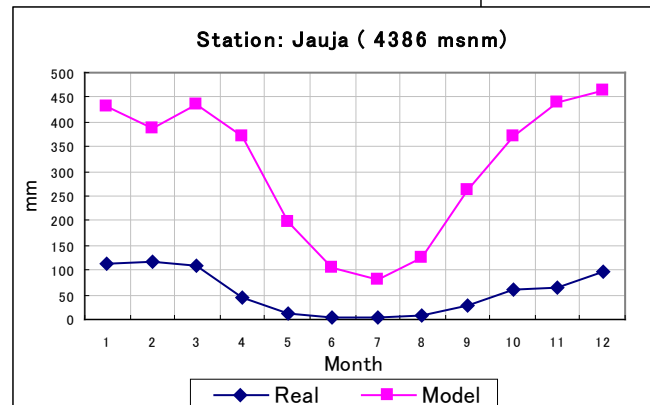
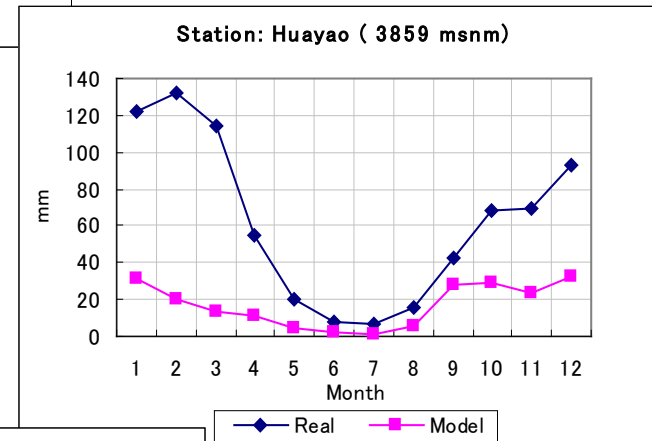
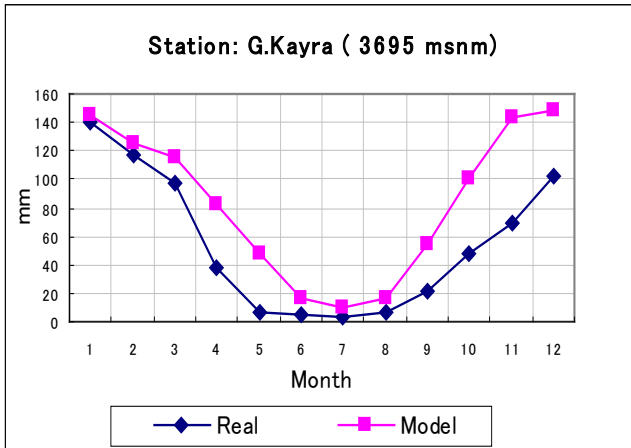
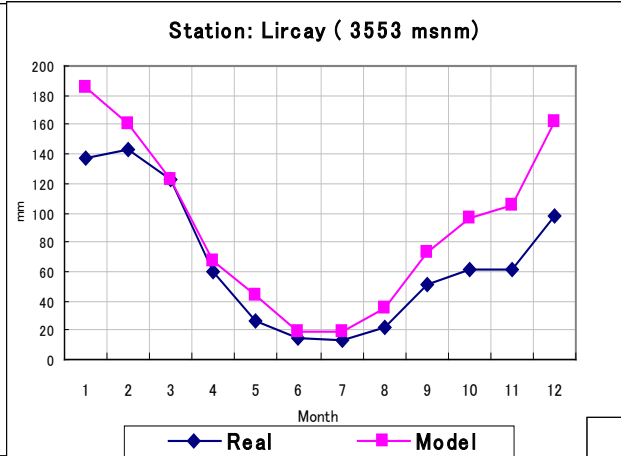
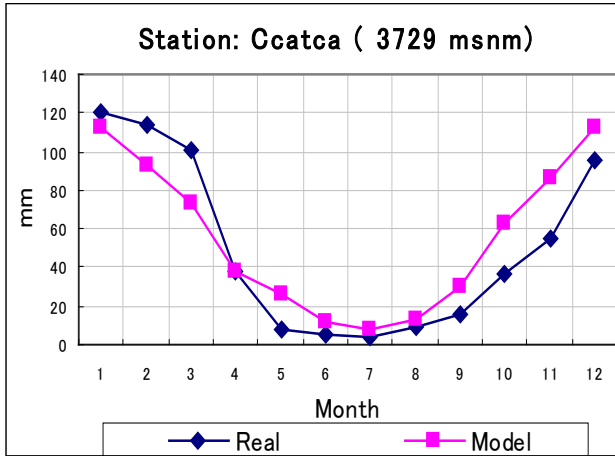
$$T_{fajuste} = f(\overline{T_{obs}}, Anom(modelo))$$



Supercomputador Earth Simulator" MRI/JMA



INTERCOMPARATION RAIN REAL vs MRI MODEL



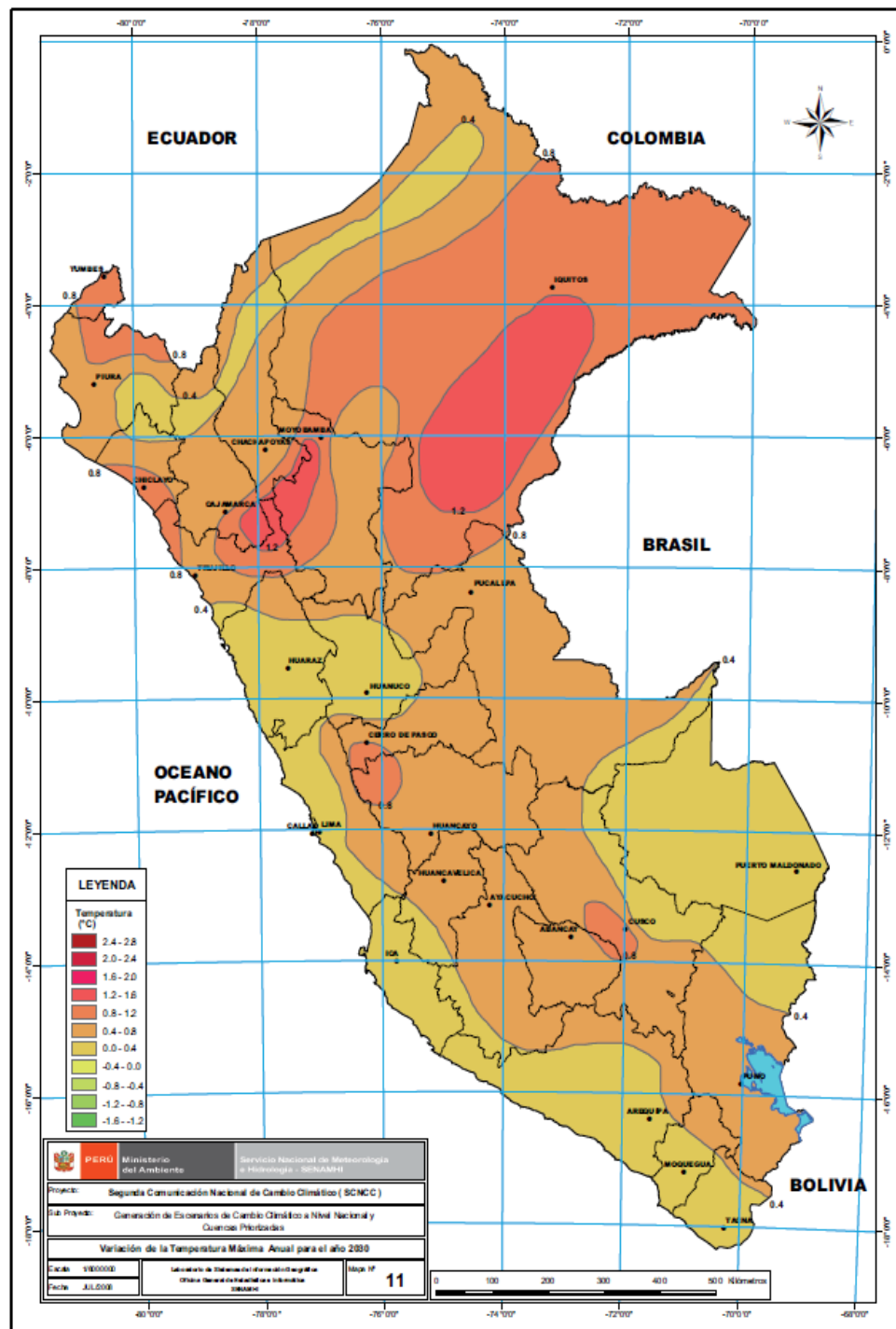
Variación del ciclo anual

Cambio Climático, proyecciones en Perú

Escenarios de alta emisión de GEI A2 (IPCC TAR)

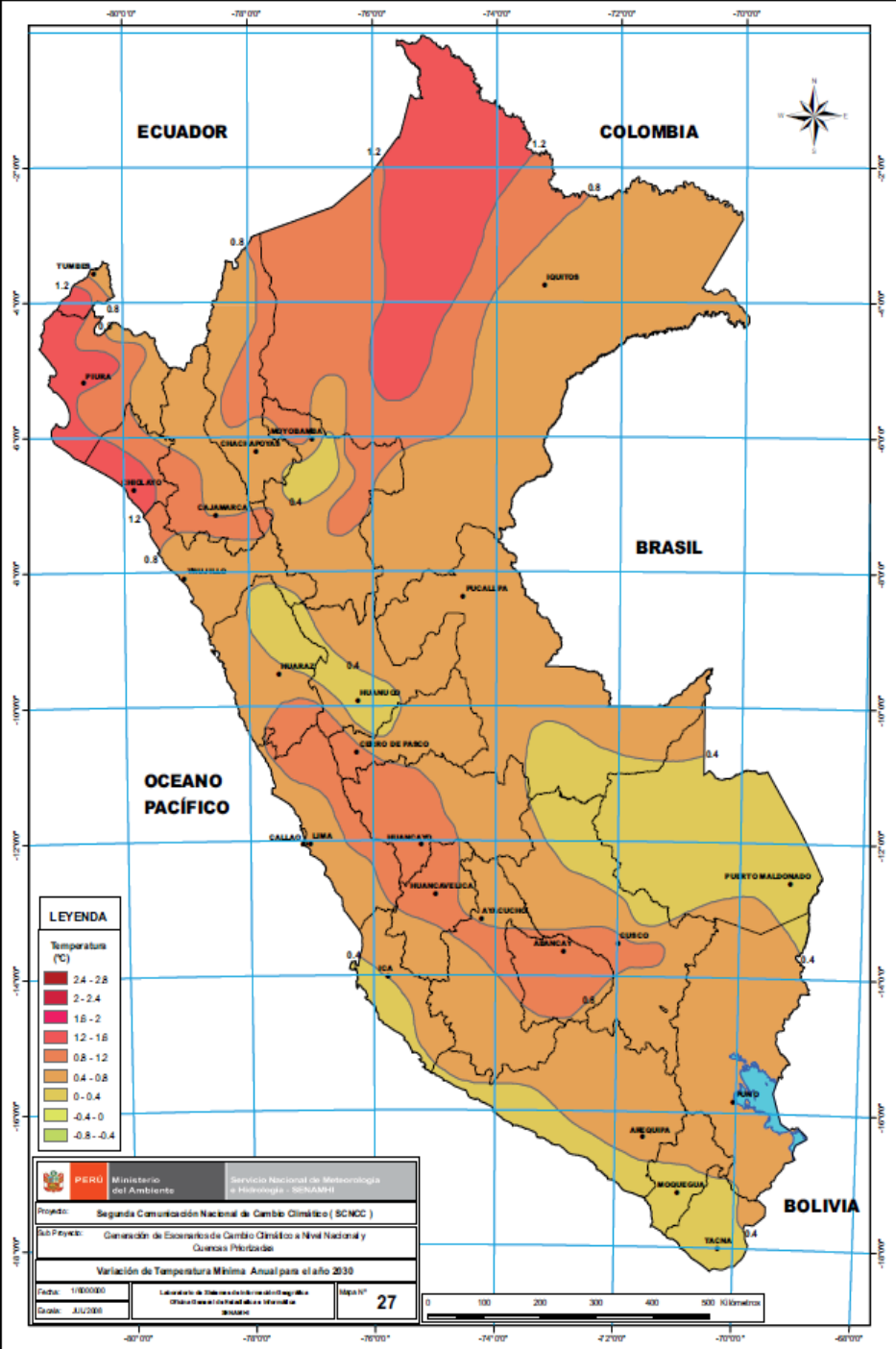
Escenarios de cambios en la Temperatura máxima 2030

0.4° – 1.6°C

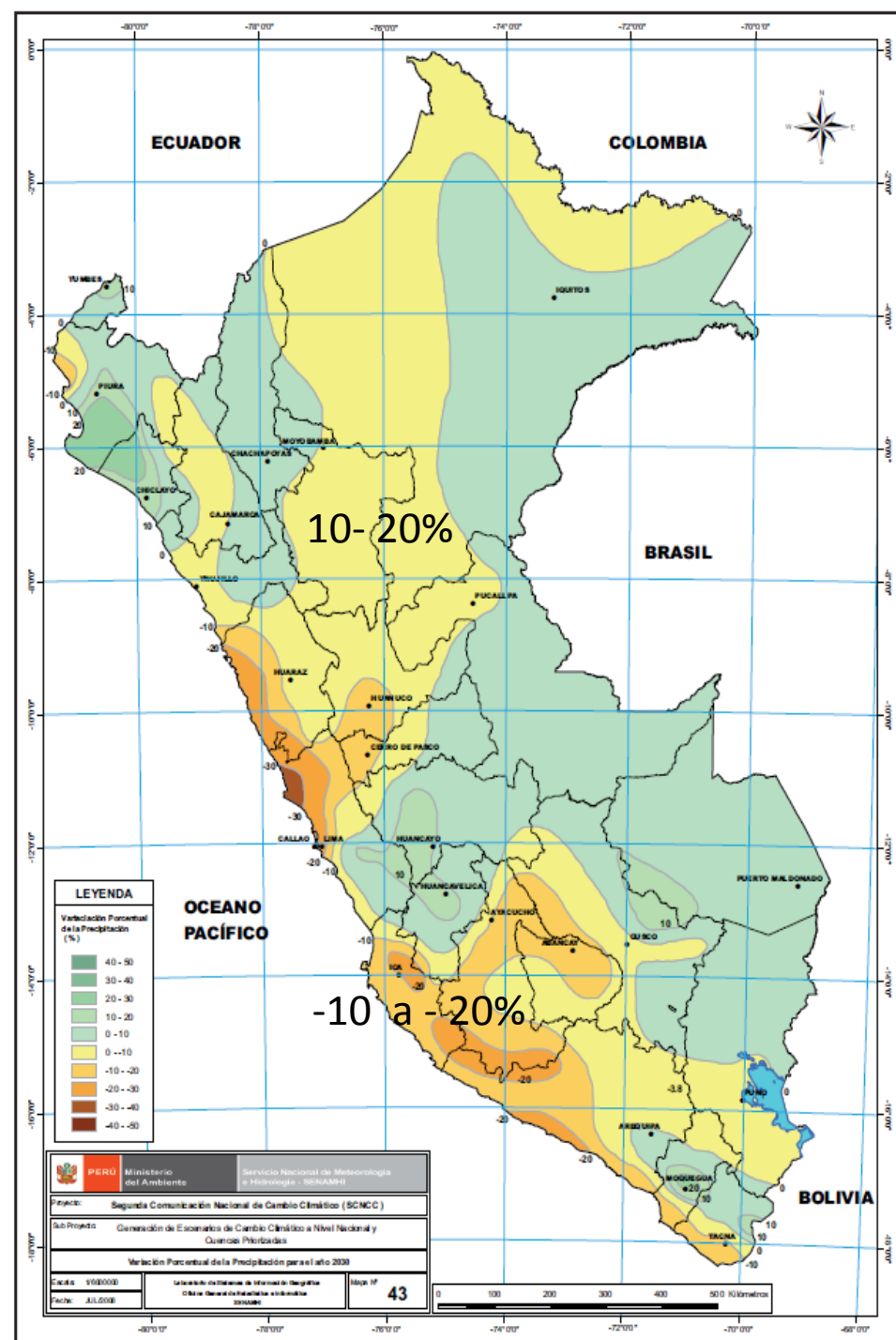


Escenarios de cambios en la Temperatura mínima 2030

0.4° – 1.6°C



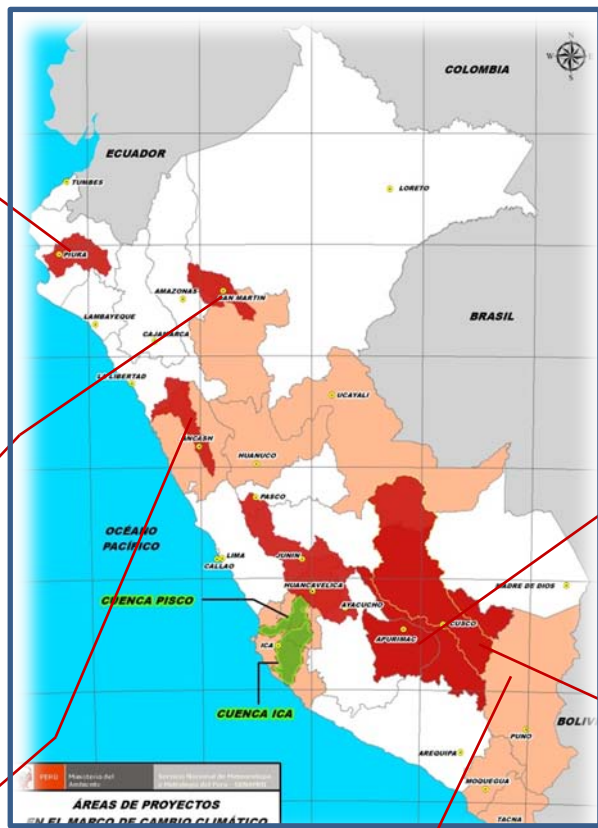
Escenarios de cambios en la Precipitación 2030



Estudios realizados

SENAMHI: Generación de Escenarios de Cambio Climático

Proyectos Ejecutados y en Ejecución



Escenarios Climáticos
9 Regiones - MINAM

Escenarios Climáticos
cuencas Ica y Pisco - GIZ

Escenarios climáticos para la Cuenca del río Piura
Proyección 2012-2035

Con énfasis en subcuencas Yapatera y San Francisco

Descripción:

- Al 2035, la temperatura máxima variaría entre -0.1 y 2.0°C.
- La temperatura mínima aumentaría, sobre todo en invierno y primavera. Los mayores incrementos se presentarían en invierno, en las zonas altas hasta el 10% y en zonas bajas hasta el 15%.

Área de la cuenca: 10,872.09 km²

Resolución: 20 km **A2 y B2**

Escenarios climáticos para la Cuenca del río Mayo
Proyección 2012-2035

Descripción:

- Las temperaturas máximas se incrementarían entre +0.9 a +1.2°C.
- La precipitación no presentaría variaciones significativas.

Área de la cuenca: 9,722.47 km²

Resolución: 20 km **A2**

Escenarios climáticos para la Cuenca del río Santa
Proyección 2012-2035

Descripción:

- La temperatura promedio anual se incrementaría entre 0.2 a 0.9°C.
- La precipitación promedio anual se incrementaría en 3% a 5% en la parte alta de la cuenca y disminuiría en -5% y -10%, en la parte baja.

Área de la cuenca: 11,596.52 km²

Resolución: 20 km **A2**

Escenarios de cambio climático para la Región Puno. 2016-2045 relativo 1971-2010

Descripción:
Incremento de la temperatura en el rango de +1,3 °C a +1,8 °C.
La precipitación se proyecta entre -15% a +9%. Siendo el rango de variabilidad actual de ±15%.

Resolución 50 Km **RCP8.5**

Escenarios climáticos en las Regiones Cusco-Apurímac
Proyección 2030 y 2050

Descripción:

- La precipitación anual tendrá un comportamiento dentro de la variabilidad normal actual de ± 15% al 2030.
- En el periodo de JJA se presentaría una deficiencias hasta 42% al 2030 y de hasta 50% al 2050.
- La temperatura anual se incrementaría 1.3°C al 2030 y 2,2°C al 2050 .

Resolución 20 km **A1B**

Actores Sociales
Estrategia regional
de CC

Escenarios climáticos para la Cuenca del río Urubamba
Proyección 2100

Descripción:

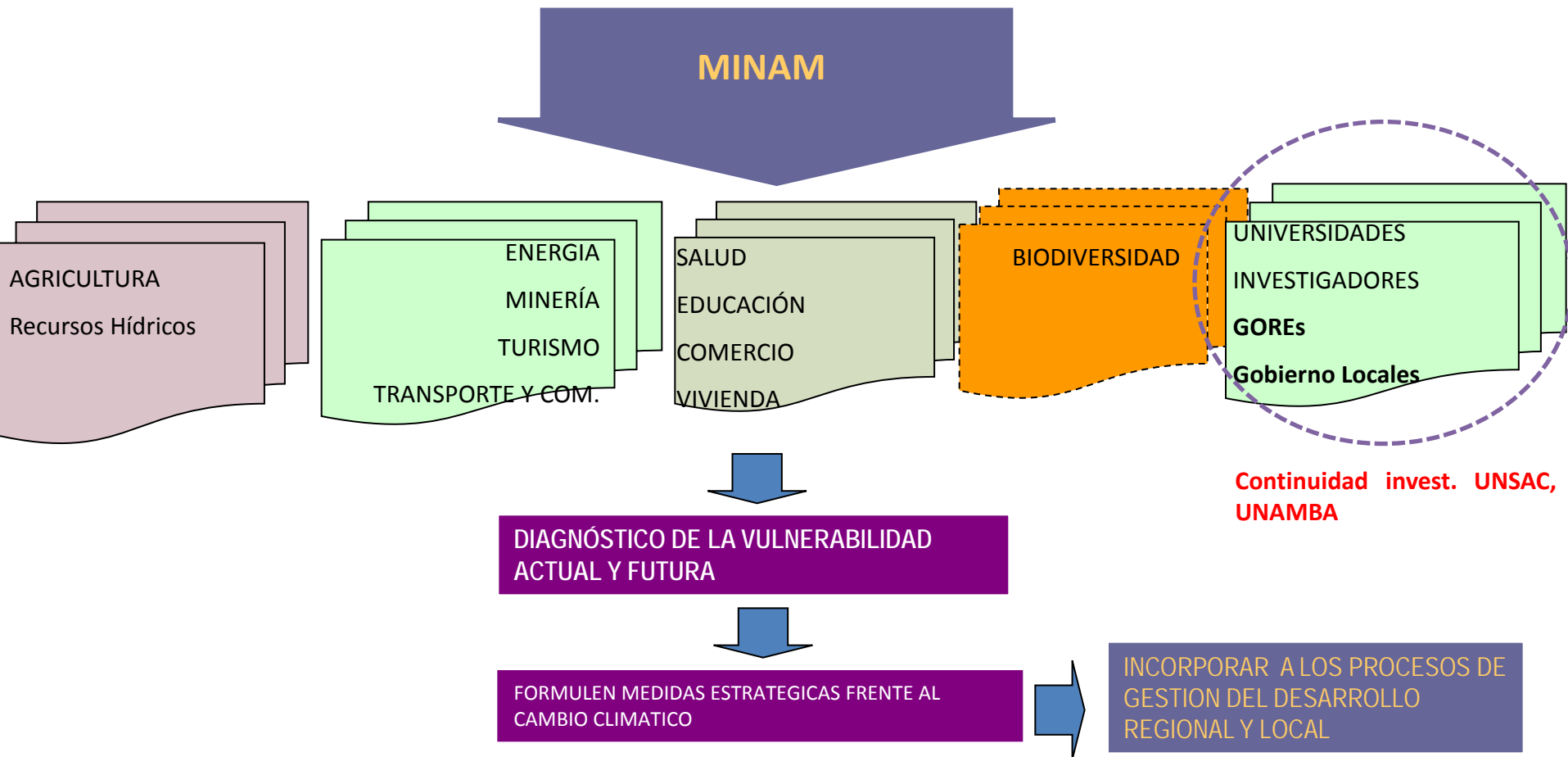
- Las temperaturas máximas aumentarían entre 1.9 a más de 3.0°C, especialmente en invierno y sobre los 2,800 msnm.
- Las temperaturas mínimas aumentarían entre 2.3 a más de 3.1°C, especialmente en primavera.
- La precipitación se incrementaría entre 10 a 24% en verano.
- En invierno, la precipitación se reduciría en un 50% sobre los 3,000 msnm.

Área de la cuenca: 58,734.92 km²

Resolución: 20 km **A1B**

GENERAR CONOCIMIENTO DEL CLIMA ACTUAL Y ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS IMPACTOS EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y APTITUD AGROCLIMÁTICA, RENDIMIENTO DE PRINCIPALES CULTIVOS A ESCALA NACIONAL, REGIONAL Y CUENCA

SENAMHI



Escenarios Climáticos: Herramienta técnica para toma de decisiones y gestión de las actividades económicas para la formulación de medidas estratégicas frente al cambio climático en Perú .

CONCLUSIONES

- La tendencia de la precipitación presenta alta variabilidad, reflejadas en un patrón no claro de incremento y de disminución.
- Las temperaturas máxima y mínima en Perú viene incrementado con variaciones de hasta en $0.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$.
- La intensidad y frecuencia de las precipitaciones extremas está incrementándose en la costa y sierra norte mientras que están disminuyendo en la sierra central. La sierra sur presenta alta variabilidad.
- El número de días fríos están tendiendo a disminuir y los días cálidos están incrementándose.
- Las noches cálidas vienen incrementándose, dando lugar a la disminución de las noches frías disminuyan,
- En zonas muy localizadas hay discrepancias con respecto al comportamiento regional, debido a efectos locales (cercanía a la línea de costa, lagos, montañas que afecta la circulación local).

CONCLUSIONES

CLIMA FUTURO ESCENARIO DE ALTA EMISIÓN A2

- La precipitación promedio anual en general presentaría diferente incidencia en diferentes áreas geográficas con incrementos y disminuciones de $\pm 20\%$.
- Se proyecta el incremento de la temperatura máxima hasta de $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio y la temperatura mínima de hasta $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Las proyecciones del clima futuro tienen dosis de incertidumbre. Sin embargo, es una herramienta que nos permite conocer los posibles desafíos a los que nos enfrentaremos en el futuro. Es importante conocer las incertidumbres y manejarlas. También hay una necesidad de planificar estrategias sólidas para prepararse para un futuro incierto.

Tarías importantes:

- **Fortalecimiento y monitoreo de estaciones de cambio climático** (series largas y continuas, de buena calidad y no afectadas por el entorno).
- Actualizar los escenarios de cambio climático para Perú (CMIP5).
- Fortalecimiento permanente de capacidades desde las bases hasta los tomadores de desición.
- **Trabajo conjuntos:** interinstitucional, multidisciplinario, MINAM, MINAG, MEF, Universidades, GOREs, Gobierno local, ONGs, y la cooperación internacional.

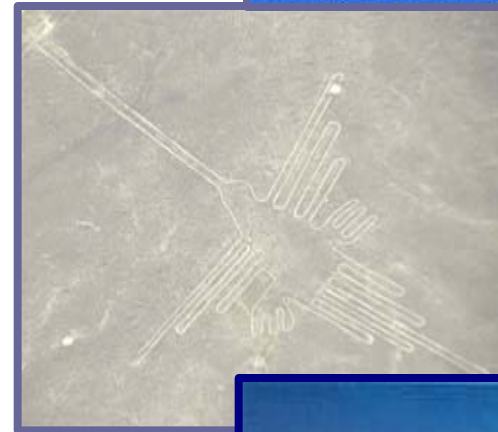
Participación ordenada-organizada-respeto de competencias.



Machu Picchu-CUSCO



Líneas de Nazca- ICA



Gracias!!