



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú



PERU

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI



Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú

Autor: SENAMHI

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
Dirección General de Meteorología

Año: 2014

La presente publicación se enmarca dentro del Proyecto “Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria familiar con enfoque de adaptación de los medios de subsistencia - AMICAF”, con financiamiento del Gobierno Japonés y dentro de la Carta de Acuerdo Institucional con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Jr. Cahuide 721 - 785, Jesús María

Teléfonos: (51 - 1) 6141414 (central) y 2658798 (DGM)

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

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Calle Manuel Almenara 328, Miraflores

Teléfono (51-1) 4472641

<http://www.fao.org/peru>

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

Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Presidente Ejecutiva del SENAMHI

Amelia Díaz Pabló

Director Científico

Esequiel Villegas Paredes

Director General de Meteorología

Luis Alfaro Lozano

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO

Coordinador Nacional del Proyecto AMICAF

Julio Postigo

Equipo Técnico de SENAMHI

Clara Oria

Gustavo de la Cruz

Equipo de Predictia Intelligent Data Solutions y Universidad de Cantabria

José Manuel Gutiérrez

Rodrigo Manzanos

Daniel San Martín

Diseño Gráfico

Rosa E. Bermúdez Talavera

1ª Edición

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú

Nº 2014 - 19596

Impreso en:

Rapimagen S.A.

Jr. Ica 342 Lima 01

Contenido

Agradecimientos	4
Siglas	4
Introducción	5
Datos	6
Método de Regionalización	8
Regionalización en Perfect Prog	9
Regionalización desde los modelos de Sistema de la Tierra en modo histórico	14
Regionalización desde los modelos de Sistema de la Tierra en modo escenario Proyecciones del Clima futuro	17
Conclusiones	21
Referencias	22

Agradecimientos

Se expresa agradecimiento a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y al Gobierno de Japón, por el financiamiento de este estudio en el marco del proyecto “Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria familiar con enfoque de adaptación de los medios de subsistencia (AMICAF, por sus siglas en inglés)”.

Al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), por la disponibilidad de las salidas numéricas de los Modelos de Circulación Global, que son parte del proyecto CMIP5.

A Predictia Intelligent Solutions y al Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria por su permanente apoyo técnico.

Siglas

AMICAF - Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria familiar con enfoque de adaptación de los medios de subsistencia

CMIP5 - Proyecto de InterComparación de Modelos Acoplados – Fase 5

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GEI - Gases de Efecto Invernadero

IPCC - Panel Intergubernamental de Cambio Climático

MCG - Modelo de Circulación General

RCP - Rutas de Concentración Representativas

SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

OMM - Organización Meteorológica Mundial

1 | Introducción

El proyecto “Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria familiar con enfoques de adaptación de los medios de subsistencia (AMICAF, siglas en inglés)”, que se implementa a través de la FAO gracias a un fondo especial del Gobierno del Japón, tiene por objetivo apoyar a los países en desarrollo a abordar la evaluación y adaptación al Cambio Climático y, de esta manera, contribuir a mejorar la seguridad alimentaria. Su marco conceptual concilia la evaluación de los impactos del Cambio Climático, el análisis de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria y los enfoques de adaptación de los medios de subsistencia. El Perú se ha convertido en el primer país de América Latina en implementar y llevar a cabo este proyecto, en el cual se desarrollarán dos (2) componentes: I) Evaluación de los impactos del cambio climático y II) Análisis de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria.

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

Existe incertidumbre con respecto a las magnitudes de estos cambios a escalas regionales, pero esta incertidumbre es cada vez menor. En los últimos años, los investigadores especializados en la simulación del clima futuro han conseguido poner a punto metodologías que permiten realizar simulaciones de dicho clima futuro a escala local. Estas simulaciones, denominadas escenarios climáticos locales, mantienen una considerable incertidumbre (existen varias fuentes de incertidumbre: la evolución futura de la sociedad, población, distribución de riqueza, y de las emisiones de GEI, las modelizaciones utilizadas, las técnicas de regionalización, etc.), pero son lo suficientemente robustas como para ser utilizadas en planificación y definición de políticas relativas a cualquier actividad humana que se proyecte hacia el futuro más de una década (gestión forestal, planificación hidrológica, urbanística, agrícola, turística, etc.) (Brunet et al., 2008).

Considerando la experiencia desarrollada en la elaboración de regionalización de escenarios de cambio climático, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI (www.senamhi.gob.pe) fue designado para llevar a cabo esta actividad, la cual considera obtener las proyecciones climáticas locales a nivel nacional de las variables precipitación, temperaturas máximas y mínimas hacia el periodo 2050. Para este estudio, se hizo uso del Portal de Regionalización Estadística (www.meteo.unican.es/downscaling/intro.html) herramienta desarrollada y soportada por Predictia Intelligent Solutions (www.predictia.es/en/home) y el Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria (www.meteo.unican.es/en/main). Una vez obtenidas las proyecciones, éstas serán usadas por los grupos de modelamiento de cultivo e hidrológico, a través del portal integrador de todas las componentes, diseñado para el presente proyecto, denominado MOSAICC (Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change).

2 | Datos

2.1 Data observada

SENAMHI proporciona datos diarios de precipitación/máxima/mínima temperaturas para un conjunto inicial de 366/171/171 estaciones sobre Perú (puntos negros Figura 1). Sin embargo, solo 265/105/102 de este conjunto de estaciones (puntos rojos) fueron los que presentaron menos del 20% de data faltante para los periodos 1981-2010 y 1971-2000, estos periodos fueron considerados para la calibración de las diferentes técnicas estadísticas (Sec. 4) y la evaluación del desempeño de los diferentes Modelos de Sistema de la Tierra considerados-ESM's (Sec. 5), respectivamente. A fin de obtener resultados robustos, solo el último conjunto de estaciones serán consideradas en lo sucesivo, las figuras 2 y 3, muestran la climatología media (1981-2010) y la desviación estándar estacional (en columnas).

Fig. 1

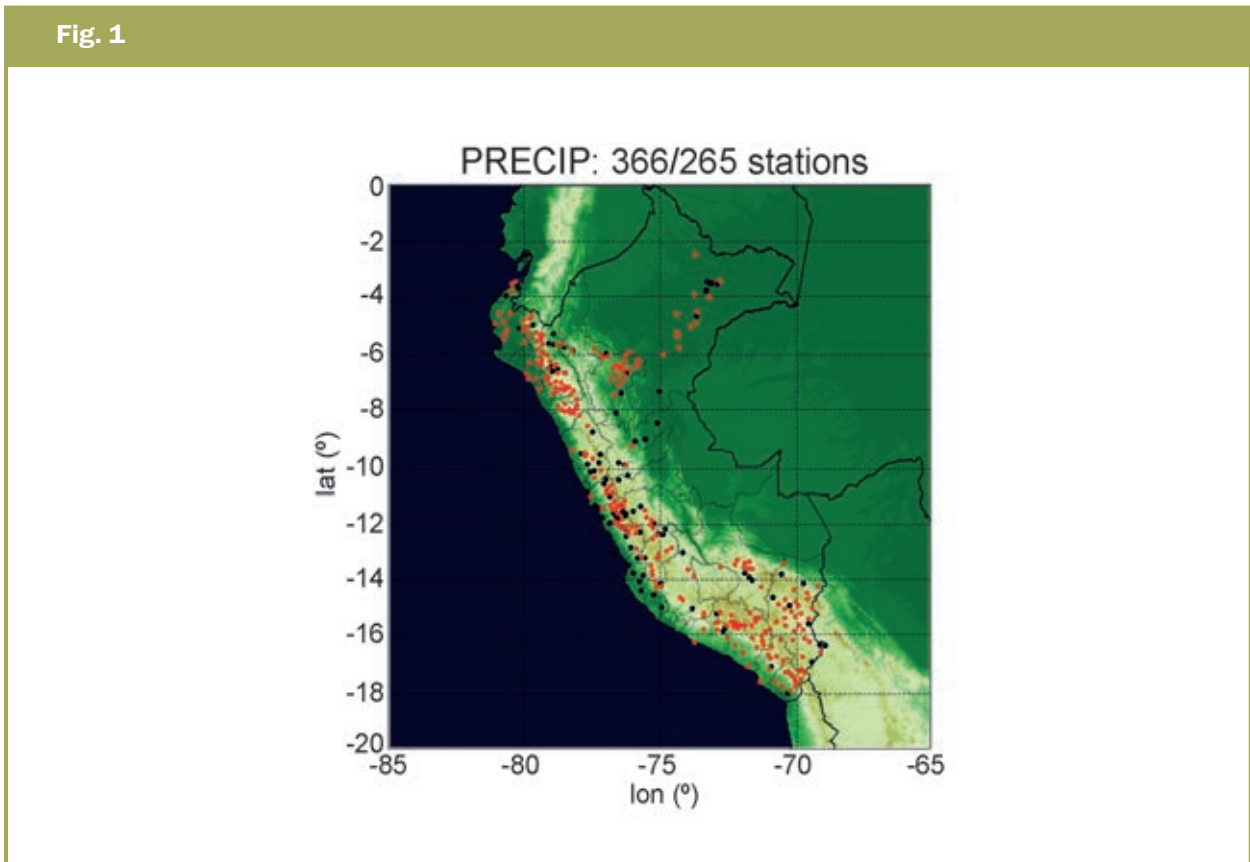


Fig. 1

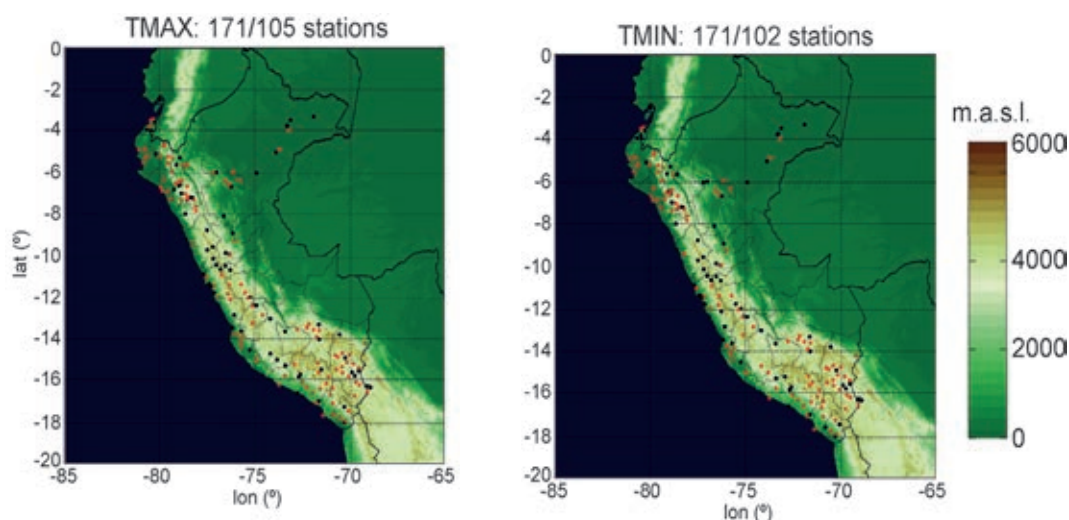


Figura 1. Puntos negros (rojos) indican la ubicación de las estaciones 366/171/171 (265/105/102) de precipitación/máxima/mínima temperatura inicialmente proporcionadas por SENAMHI (finalmente consideradas en el proyecto)

2.2 Datos del predictor

Por una parte, el reanálisis ERA-Interim (Dee et al, 2011) – que proporciona campos atmosféricos en una resolución $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ desde 1979 hasta la actualidad – fue considerado para la calibración de las diferentes técnicas estadísticas en condiciones de Perfect Prog perfecto (Sec. 4). Por otro lado, para la generación de las proyecciones climáticas (Secs. 5 y 6), se ha considerado la nueva generación de Modelos de Circulación General (MCG) que se encuentra disponible en el Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5, en comparación con los anteriores Modelos de Circulación General, estos Modelos de Sistemas de la Tierra (MST) incorporan componentes adicionales que describen la interacción de la atmósfera con el uso del suelo y la vegetación, así como toman en cuenta explícitamente la química atmosférica, los aerosoles y el ciclo del carbono (Taylor et al, 2011). Esta nueva generación de modelos es direccionada por la recientemente definida forzante de la composición atmosférica, el ‘forzamiento histórico’ para las condiciones climáticas actuales y las Vías de Concentración Representativas (RCPs) (Moss et al, 2010) para los escenarios futuros. En particular, hay cuatro diferentes RCPs: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 (de menor a mayor forzamiento radiativo al 2100). Como el conjunto de datos resultante de estas simulaciones globales será el pilar de futuros estudios sobre el cambio climático y es la línea de base del Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR5), seis ESM diferentes (ver Tabla 1) y dos RCPs (RCP4.5 y RCP8.5; además de la histórica) se incluyeron en el estudio del downscaling estadístico para este proyecto. El RCP4.5 (Thomson et al, 2011) es un escenario de estabilización donde forzamiento radiativo total se estabiliza antes de 2100 por el empleo de una serie de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El RCP8.5 (Riahi et al, 2011) -que se basa en el escenario A2r (Riahi et al, 2007), se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del tiempo.

Debido a la resolución horizontal original diferente entre el ERA-Interim y los diferentes ESM, todos ellos fueron re-grillados a una grilla común de $2^\circ \times 2^\circ$.

3 | Método de Regionalización

Diferentes Métodos de Regionalización Estadística (SDMs) comúnmente usados en la literatura para regionalizar escenarios de cambio climático de precipitación y temperaturas (Tablas 3 y 4, respectivamente) fueron considerados para este proyecto. En particular, la mayoría de estos métodos se han utilizado en Gutiérrez et al (2012) y Manzanos et al (en preparación) para regionalizar precipitación y temperaturas en España.

La primera familia de métodos (AN) es común tanto para la precipitación y las temperaturas, e incluye tres versiones diferentes de la técnica de análogos (Lorenz, 1963, 1969), las cuales se basan en la suposición que se esperan similares sucesos locales para configuraciones atmosféricas similares, la similaridad es medida aquí en términos de la distancia euclidiana (Matulla et al, 2008). El método con an1 sólo considera el vecino más cercano, mientras que an5mean y an15rnd tienen en cuenta los 5 y 15 vecinos más cercanos, respectivamente. El método con an5mean utiliza la media de los correspondientes valores observados como la predicción y an15rnd aleatoriamente selecciona uno de ellos. Métodos basados en análogos han sido ampliamente utilizados en la literatura para reducir la escala de los escenarios climáticos tanto de la precipitación y temperaturas (Wetterhall et al, 2005; Brands et al, 2011; Cubasch et al, 1996; Timbal et al, 2003; Moron et al, 2008; Timbal y Jones, 2008; Teutschbein et al, 2011; Brandsma y Buishand, 1998; Beersma y Buishand, 2003).

Sin embargo, la familia de GLM (REG) es específico para la precipitación (temperaturas) e incluye tres versiones diferentes de modelos lineales generalizados (regresión lineal múltiple), que sólo se diferencian en el carácter espacial de los predictores considerados. En particular, 15pc glm (15pc reg) utiliza los quince principales componentes principales (PC) (Preisendorfer, 1988), mientras que glm 4NN (4NN reg) considera, para cada calibración, las anomalías estandarizadas en los cuatro puntos de la cuadrícula más cercanas. Por último, 4NN 15pc glm (reg 15pc 4NN) combina las quince principales PCs con las anomalías estandarizadas en los cuatro puntos de la cuadrícula más cercana, con el fin de dar cuenta de tanto efectos sinópticos y locales. GLM (véase, por ejemplo, Nelder y Wedderburn, 1972, para una introducción) y REG son métodos que han sido utilizados en muchos estudios previos para regionalizar escenarios de cambio climático de precipitación y temperaturas (Brandsma y Buishand, 1997; Fealy y Sweeney, 2007; Hertig et al, 2013; Benestad, 2002, 2005; Huth, 2002, 2004).

Fig. 2

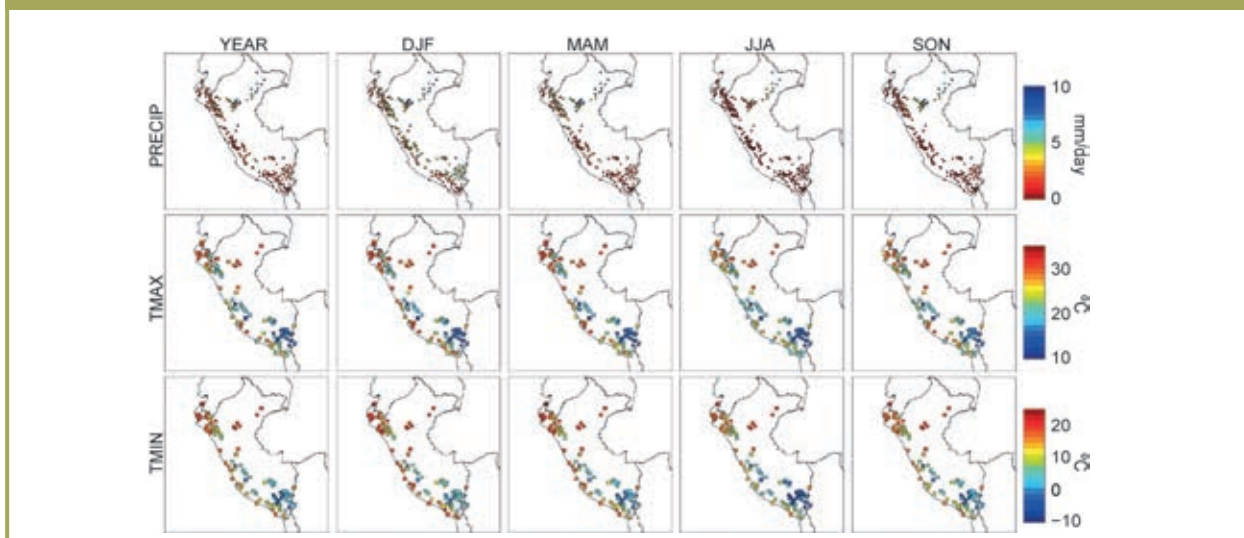


Figura. 2. Climatología media de 265/105/102 estaciones consideradas para precipitación/temperatura máxima/mínima en el periodo 1981-2010

Finalmente, la familia (WT-REG) WT-GLM consiste de los mismos métodos utilizados para la precipitación (temperaturas) en la familia (REG) GLM, con la única particularidad de que se aplican a un número (10 aquí) de tipos de tiempo predefinidos (WTs) en lugar de ser aplicado a todo el espacio del predictor. WTs son obtenidos por medio de la agrupación de k-medias.

Las diferentes configuraciones (número de análogos, PCs, los vecinos más cercanos, WTs) considerados para los métodos anteriores fueron elegidos de acuerdo con un análisis de sensibilidad realizado en Gutierrez et al (2012) y más o menos reflejando los diferentes enfoques metodológicos que garanticen resultados robustos.

4 | Regionalización en Perfect Prog

La Regionalización Estadística (SD) se basa en el uso de las relaciones empíricas que relacionan predictandos (observaciones locales de una variable objetivo, tal como la precipitación) a un conjunto de predictores adecuados (variables a gran escala que determinan el estado de la atmósfera, tales como la altura geopotencial o la velocidad del viento). Bajo el enfoque de la aproximación de Perfect Prog, estas relaciones (modelos) se obtienen al considerar predictores cuasi-observados desde el reanálisis. Posteriormente, son aplicados los modelos fijados/ calibrados (coeficientes) a los predictores del Modelo del Sistema de la Tierra a fin de trasladar sus simulaciones globales gruesas a la escala local requeridas para las aplicaciones en el impacto y adaptaciones del cambio climático. Los predictores típicos de circulación utilizados en SD son: presión a nivel del mar (SLP), altura geopotencial (Z), componentes zonales/meridionales del viento (U/V) y termodinámicos son: temperatura (T), humedad específica (Q), en diferentes niveles de presión, superficie o cerca de la superficie (por ejemplo, 1000 hPa) en la troposfera media y superior (500/250 hPa). Las primeras variables son predictores robustos para estudios sobre el cambio climático, mientras que las siguientes llevan la señal de cambio climático y, por lo tanto, deben ser considerados para estudios sobre el cambio climático. La tabla 2 muestra las variables que se consideraron como posibles predictores de este proyecto. Todos ellos estaban disponibles tanto para el reanálisis ERA-Interim y para los seis ESM incluidos en el Portal de Regionalización Estadística (SDP) (Tabla 1).

Fig. 3

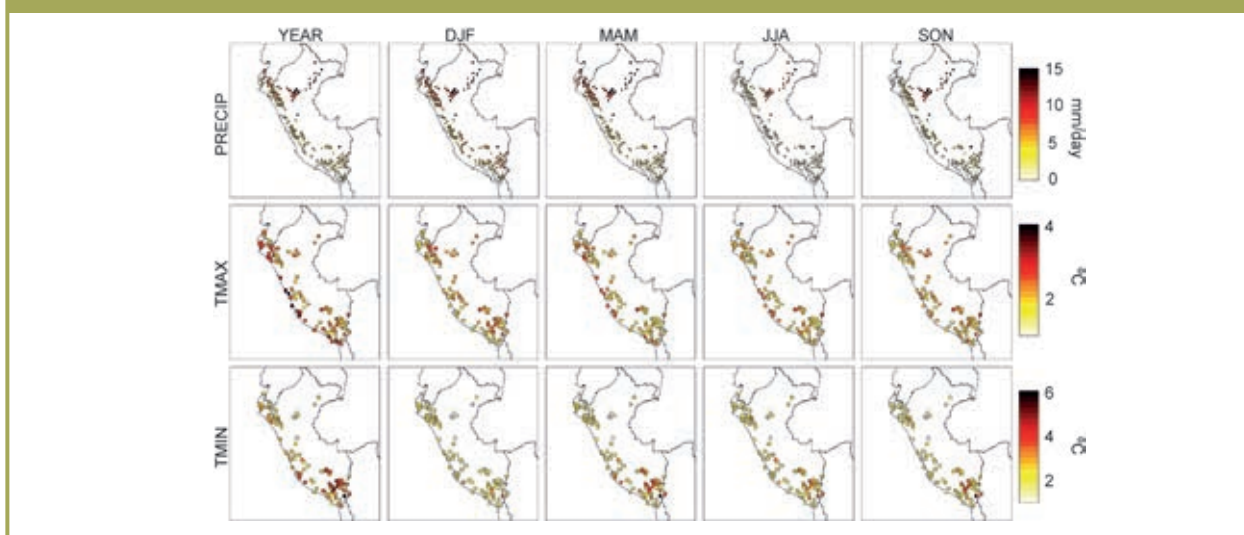


Fig. 3. Desviación estándar de 265/105/102 estaciones consideradas para precipitación/máxima/mínima temperatura en el periodo 1981-2010.

Tabla 1. Seis ESMs del CMIP5 incluidos en el SDP.

Nombre del ESM	Siglas del Instituto	Resolución Referencia	
CanESM2	CCCMA	2.8° × 2.8°	Chylek et al (2011)
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	1.4° × 1.4°	Voltaire et al (2011)
GFDL-ESM2M	NOAA GFDL	2.5° × 2°	Dunne et al (2012)
IPSL-CM5A-MR	IPSL	1.5° × 1.27°	Dufresne et al (submitted)
MIROC-ESM	MIROC	2.8° × 2.8°	Watanabe et al (2011)
MPI-ESM-MR	MPI	1.8° × 1.8°	Raddatz et al (2007); Jungclaus et al (2010)

Tabla 2. Predictores potenciales (valores medios diarios) disponible para el ERA-Interim y los seis ESMs del CMIP5 incluidos en el SDP. 2T sinónimo para temperatura a 2 mts.

Predictor variable Level	
2T, SLP	Surface
Z, T, Q, U, V	1000, 850, 700, 500, 250 (hPa)

Con el fin de encontrar la configuración óptima de Regionalización Estadística para cada uno de tres variables objetivo (precipitación, temperaturas máximas/mínimas), un número de predictores adecuados y dominios geográficos (regiones en las que se definen predictores) fueron identificados durante el ‘Programa de Entrenamiento sobre Proyección Regional de Escenarios de Cambio Climático para el proyecto AMICAF en Perú’, que se celebró en Lima (17 al 22 febrero, 2014). Sin embargo, se llevó a cabo un análisis más detallado con el fin de completar esta evaluación inicial. En particular, se tomó muy en cuenta la elección de un nuevo reanálisis para la calibración. En principio, series de tiempo similares (cuasi-observado) se deben obtener de diferentes reanálisis. Sin embargo, aparecen discrepancias significativas para determinadas variables en los trópicos (Marcas et al, 2012; Manzanas y otros, en revisión). La Fig. 4 muestra la correlación entre dos típicos reanálisis (ERA-Interim y ARJ-25) para todas las variables en la Tabla 2. Las bajas correlaciones obtenidas para la temperatura y la humedad en los niveles inferiores ilustra los posibles problemas que puede poner en peligro el uso de SD en esta región, en términos estrictos, aplicar el SD no es posible en regiones donde la incertidumbre del reanálisis es grande, ya que la calibración de los diferentes SDMs requieren el uso de predictores que reflejan los procesos atmosféricos “reales” (Maraun et al, 2010). A fin de hacer frente a este problema, los dos reanálisis mencionados se consideraron para la calibración, encontrándose que el que provee mejores resultados es el ERA-Interim en la mayoría de los casos. En consecuencia, este fue el único reanálisis considerado para este proyecto. Además, nos centramos inicialmente en predictores de circulación (menos afectados por la incertidumbre del reanálisis). Luego, las variables termodinámicas fueron sumadas hasta que se obtuvieron mejoras adicionales.

Tabla 3. Métodos de Regionalización considerados para precipitación (c).

Código	Familia	Descripción
an1	AN	Vecinos más cercanos
an5mean	AN	Media de los cinco vecinos más cercanos
an15rnd	AN	Uno de cada 15 vecinos (selección)
glm 15pc	GLM	GLM con 15 PCs
glm 4nn	GLM	GLM con anomalías
glm 15pc 4nn	GLM	GLM con 15 PCs + anomalías estandarizadas para las 4 grillas más
10wt glm 15pc	WT-GLM	glm 15pc condicionados sobre 10 tipos de tiempo
10wt glm 4nn	WT-GLM	glm 4nn condicionados sobre 10 tipos de tiempo (k medias algoritmo)
10wt glm 15pc 4nn	WT-GLM	glm 15pc 4nn condicionados sobre 10 tipos de tiempo (k medias)

Tabla 4. Métodos de Regionalización considerados para temperatura máxima y mínima (ver detalles en el texto).

Código	Familia	Descripción
an1	AN	Vecinos más cercanos
an5mean	AN	Media de los cinco vecinos más cercanos
an15rnd	AN	Uno de cada 15 vecinos (selección aleatoria)
reg 15pc	REG	REG con 15 PCs
reg 4nn	REG	REG con anomalías estandarizadas para las 4 grillas más cercanas
reg 15pc 4nn	REG	REG con 15 PCs + con anomalías estandarizadas para las 4 grillas más
10wt reg 15pc	WT-REG	reg 15pc condicionados sobre 10 tipos de tiempo (k medias)
10wt reg 4nn	WT-REG	reg 4nn condicionados sobre 10 tipos de tiempo (k medias)
10wt reg 15pc 4nn	WT-REG	reg 15pc 4nn condicionados sobre 10 tipos de tiempo (k medias)

Además, se ha probado la idoneidad de los predictores en forma diaria e instantáneo (en diferentes momentos), obteniendo resultados muy similares en todos los casos. Por lo tanto, consideramos predictores medios diarios para el bien de la compatibilidad con los ESM del CMIP5 incluidos en el SDP. Después de una detección exhaustiva, probando el desempeño de múltiples combinaciones de predictores (variables de la Tabla 2), encontramos los mejores resultados para los dos conjuntos de predicción que se muestran en la Tabla 5, los cuales serán los únicos considerados para este proyecto. Tener en cuenta que ambos incluyen la temperatura a dos metros (2T) y la humedad a fin de captar la señal de cambio climático cuando se apliquen a las salidas de los escenarios de los ESMs.

En cuanto al dominio geográfico, se ha considerado un enfoque nacional y regional. En el primer caso, se probó un dominio único que cubría todo el país. Posteriormente, se consideraron tres dominios diferentes, definidos según las principales áreas de influencia de los fenómenos sinópticos que afectan el clima del Perú. Se encontraron resultados similares en ambos casos. Por lo tanto, por simplicidad, sólo el dominio nacional fue usado para el proyecto.

Para evaluar y comparar el rendimiento de los diferentes métodos de la Sec. 3, se consideró realizar una aproximación de validación cruzada, para evitar que el modelo se sobreajuste. La aproximación más popular y sencilla es la separación de datos, que considera datos independientes para el entrenamiento y la validación. En particular, en el SDP, utiliza el 75% de los datos disponibles para el entrenamiento y el restante 25% para la validación. Se consideró en los resultados la precisión y similitud de distribución.

Fig. 4

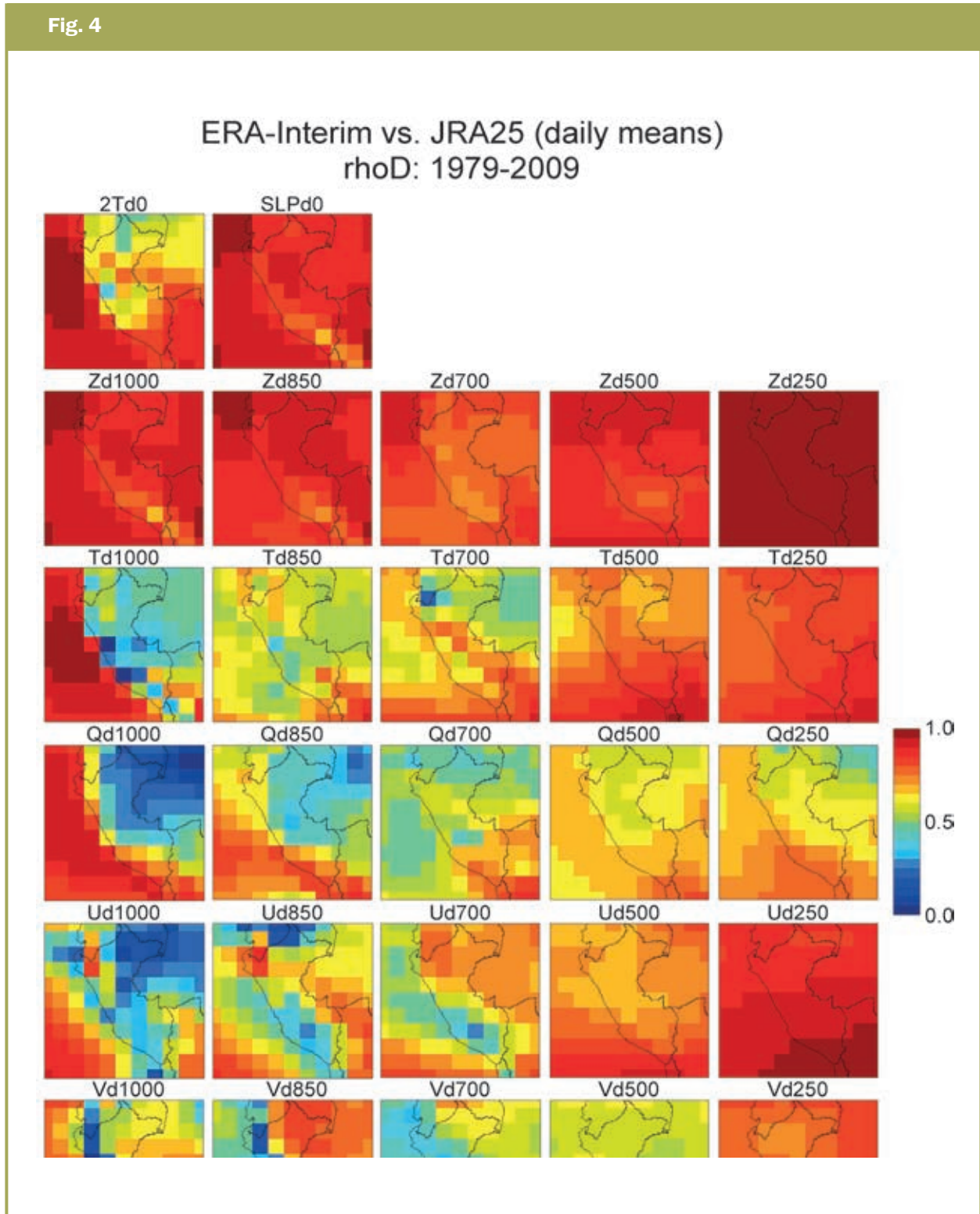


Fig. 4. Correlación diaria entre variables predictoras de ERA-Interim y JRA-25 (ver Tabla 2) para el periodo 1981-2010.

Tabla 5. Conjunto óptimo de predictores encontrados en condiciones de Perfect Prog

Predictando	Variables predictoras
Precipitación	2T, Z250, Q500, U250
Temperatura máxima/mínima	2T, T700, T500, Q700, Q500

Por una parte, la precisión mide la correspondencia temporal de la serie de tiempo observada y regionalizada, que es la base del SD en Perfect Prog. Se utilizó el rango de coeficiente de correlación de Spearman (Pearson) para la precipitación (temperaturas). Por otro lado, la similitud de distribución evalúa la capacidad de reproducir la distribución de la variable objetivo, cualquier SDM debe reproducir correctamente las distribuciones observadas con el fin de evitar la corrección posterior de la serie de tiempo regionalizada, lo que requeriría el supuesto adicional de que el error está siendo constante bajo condiciones de cambio climático. El método más popular que se utilizan para este fin es el sesgo (diferencia de medias). Sin embargo, aquí hemos considerado el PDF-score (Perkins et al, 2007; Máximo et al, 2008), que mide el área superpuesta entre las distribuciones observadas y regionalizadas (0 = no hay superposición en absoluto, 1 = perfecta superposición), por lo tanto representan tanto diferencias en la media (sesgo), como en los momentos de orden superior. Panel izquierda/centra/derecha de la Fig. 5 muestra los resultados obtenidos para la precipitación/temperatura máxima/mínima al aplicar las configuraciones óptimas de regionalización (conjuntos de predictores, Tabla 5 sobre el dominio nacional) en términos de correlaciones y PDF-score (columna izquierda y derecha, respectivamente). Cada diagrama de caja corresponden a cada una de los nueve SDM considerados para cada variable objetivo (véase Tablas 3 y 4). Para la precipitación, las correlaciones similares se obtuvieron a partir de los métodos basados en análogos y GLM, mientras que, para temperaturas las regresiones, REGs, condujeron a las correlaciones más altas en comparación con los análogos. Por otra parte, para la precipitación, WT condicionado por GLM rinde peor similitud de distribución que su correspondiente versión no condicionada, mientras que para las temperaturas, método de WT condicionado con REGs no proporciona un valor añadido significativo (ni para correlaciones o consistencia distributiva). Por lo tanto, los métodos de familias WT-GLM y WT-REG no fueron considerados en adelante.

A fin de evaluar la distribución espacial de estos resultados, se muestran los mapas en las Figs. 6/7/8 de las correlaciones y del PDF-score (fila superior e inferior, respectivamente) para las 265/105/102 estaciones de precipitación/temperatura máxima/mínima cuando se aplica el conjunto de predictores óptimos (ver Tabla 5) para una SDM ilustrativo, el an1 (ver Fig. 5).

Finalmente, la Fig. 9 muestra las series de tiempo interanual observada y regionalizada (líneas negras y rojas, respectivamente) en una estación seleccionada para la precipitación/temperatura máxima/mínima (superior/centro/inferior), cuando se aplica al conjunto de predictor óptimo (ver Tabla 5) el método de glm 15pc/reg 15pc/reg y 15p, estos campos ofrecen mejores correlaciones que an1.

5

Regionalización de Modelos de Sistemas de la Tierra en Modo Histórico

Una vez que el conjunto de predictores óptimos fue encontrado con Perfect Prog (Sec. 4), estos fueron aplicados a los datos predictores del ESM en modo histórico (fue considerada la primera corrida r1i1p1). Se detectó que algunos de los ESM incluidos en el SDP presentaban problemas para algunas de las variables en la Tabla 5. En particular, GFDL-ESM2M y IPSL-CM5A-MR (MIROC-ESM) contenían valores perdidos en la orografía para todos las variables de predictores en niveles de 850 y 700 hPa (700 hPa) en la región de estudio (ver Fig. 10), y, en consecuencia, no son adecuadas para la regionalización de temperaturas (precipitación).

Fig. 5

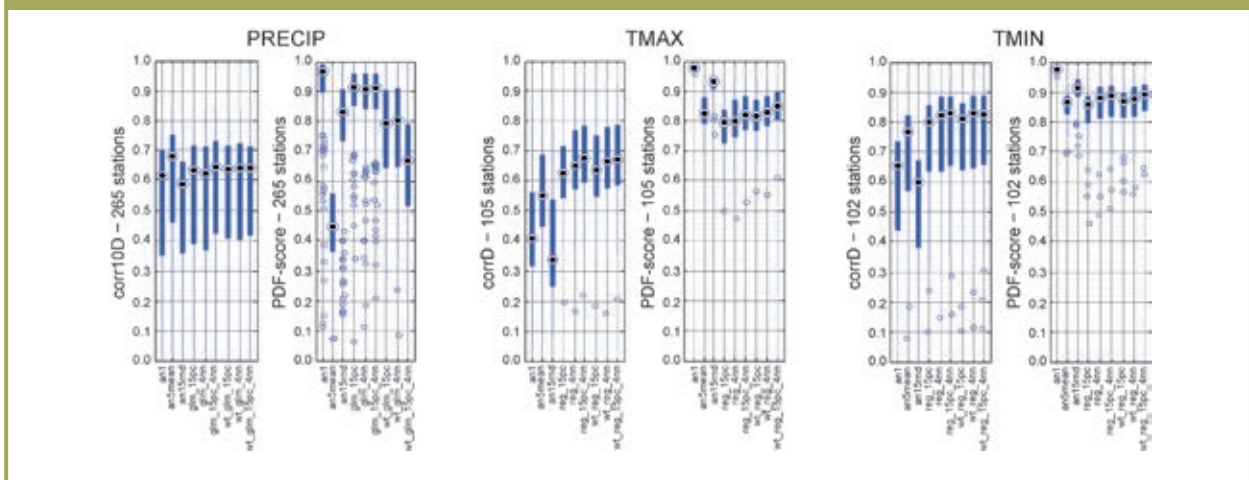


Fig. 5. Desempeño de los nueve SDMs considerados (ver Tablas 3 y 4) para las 265/105/102 estaciones de precipitación/máxima/mínima temperatura, en términos de correlaciones y PDF-score (columna izquierda y derecha) para el periodo 1981-2010

Fig. 6

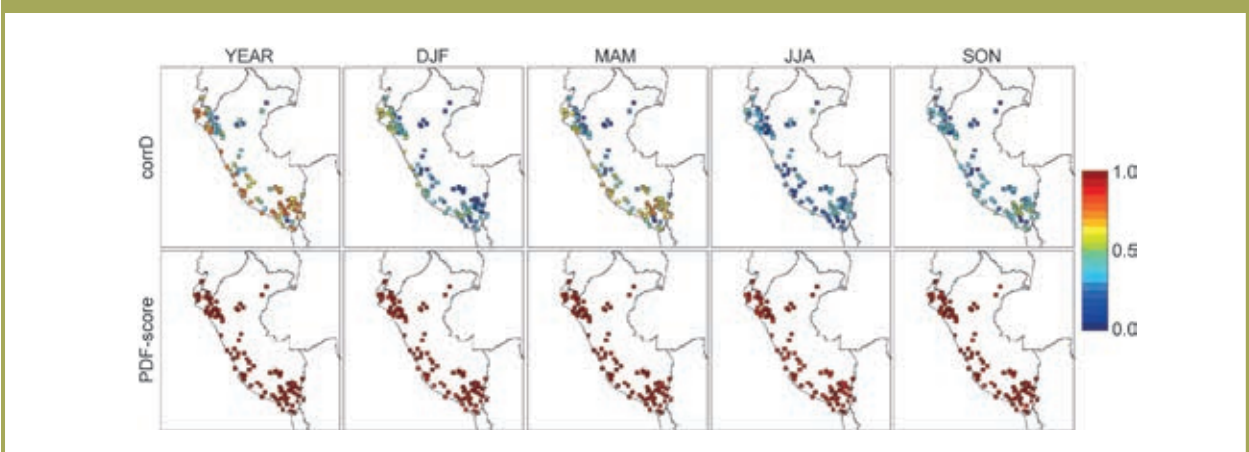


Fig. 6. Correlación decadiaria y PDF-score (fila superior e inferior, respectivamente) para las 265 estaciones de precipitación cuando se aplica el conjunto de predictor óptimo (ver Tabla 5) para el método de an1 en el periodo 1981-2010

Por lo tanto, sólo están siendo considerados los modelos CanESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR para las tres variables objetivo. Los métodos de las familias AN y GLM (AN y REG) (recuérdese que los métodos condicionados a los WT fueron descartados en la Sec. 4) se aplicaron a los últimos modelos con el fin de hacer una selección de las mejores combinaciones de escenarios ESM/SDM, que serán posteriormente considerados para las proyecciones de precipitación (temperaturas). Para evaluar la idoneidad de las diferentes combinaciones ESM/SDM calculamos el PDF-score, para el período de referencia de treinta años 1971-2000, nótese que las correlaciones más bajas son esperadas para la regionalización desde los ESMs y el rendimiento debe medirse en términos de su capacidad de reproducir las distribuciones observadas (panel izquierda/centro/derecha en la Fig. 11) muestra los resultados obtenidos para la precipitación/temperatura máxima/mínima. Los diferentes colores corresponden a los diferentes ESM (véase la leyenda). Para un ESM en particular, corresponde cada diagrama de caja a un SDM diferente (ver las etiquetas en la parte inferior de cada panel).

Como puede observarse, an1 es el método más adecuado entre los basados en análogos, dando la mejor similitud distributiva (especialmente para la precipitación), considerando que no existen diferencias significativas entre las tres versiones del GLM (ReGS). Por lo tanto, ya que el uso de PCs es preferible al uso de anomalías en los puntos de la cuadrícula más cercanas para estudios de cambio climático (los primeros son menos afectados por la incertidumbre del reanálisis), an1 y 15pc glm (an1 y 15pc reg) se consideraron para la proyección de la precipitación (temperaturas). Tenga en cuenta la conveniencia de considerar, al menos, un método basado en análogo y otro GLM- (REG) para la precipitación (temperaturas), las técnicas basados en análogos no pueden predecir los valores fuera del rango observado histórico, mientras que los GLM (Regs) tienen capacidades de extrapolación, y, en principio, podrían comportarse de forma diferente en condiciones de escenarios de cambio climático.

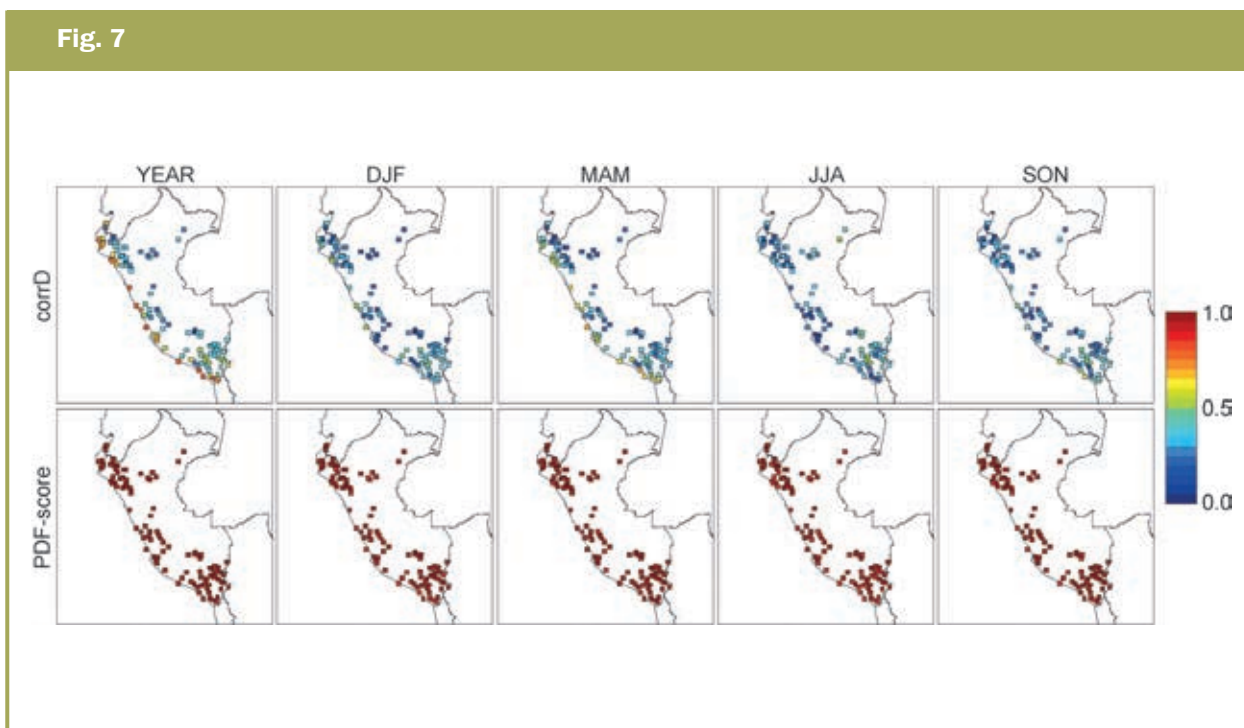


Fig. 7. Correlación diaria y PDF-score (fila superior e inferior, respectivamente) para las 105 estaciones de temperatura máxima cuando se aplica el conjunto de predictor óptimo (ver Tabla 5) para el método de an1 en el periodo 1981-2010.

Fig. 8

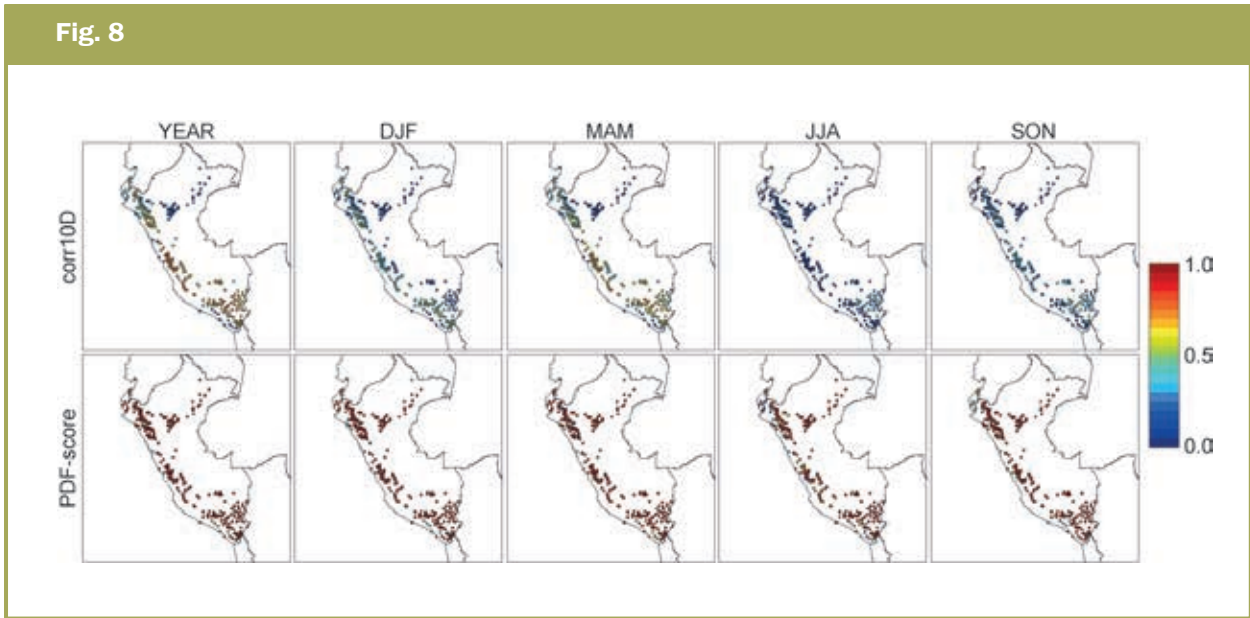


Fig. 8. Correlación diaria y PDF-score (fila superior e inferior, respectivamente) para las 102 estaciones de temperatura mínima cuando se aplica el conjunto de predictor óptimo (ver Tabla 5) para el método de an1 en el periodo 1981-2010.

6 Regionalización de Modelos de Sistema de la Tierra en Modo Escenario: Proyecciones del Clima Futuro

Finalmente, los modelos estadísticos calibrados con ERA-Interim (Sec. 4) se aplicaron para los datos predictores desde los ESM en el modo de escenario (se consideró la primera ejecución r1i1p1 de los escenarios RCP4.5 y RCP8.5) a fin de obtener las proyecciones (hasta el 2065) de precipitación/temperatura máxima/mínima para las 265/105/102 estaciones Fig. 1. De acuerdo con las Secs 4 y 5, tres ESMs (CanESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y dos SDMs fueron considerados para cada variable objetivo. Sin embargo, la precipitación (temperaturas) proyectada por el método glm 15pc (an1) resultaron ser no “realistas” desde que ellos claramente sobreestiman (subestiman) los patrones de cambio climático previstos por los modelos globales dentro del CMIP5 sobre la región de estudio (ver http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_AISM4.5_FINAL.pdf y http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_AISM8.5_FINAL.pdf). Para la precipitación, los problemas encontrados para el método glm 15pc podría ser probablemente relacionado con la incertidumbre del reanálisis o a la propagación de inestabilidades numéricas debido a la colinealidad en los datos de predictores de los ESM. En el caso de las temperaturas, los estudios anteriores han demostrado que los métodos basados en análogos son particularmente sensibles a los no-estacionalidades que surgen en el cambio climático, inclinándose a subestimar la fuerte señal de calentamiento (Benestad, 2010; Gutiérrez et al, 2012).

Fig. 9

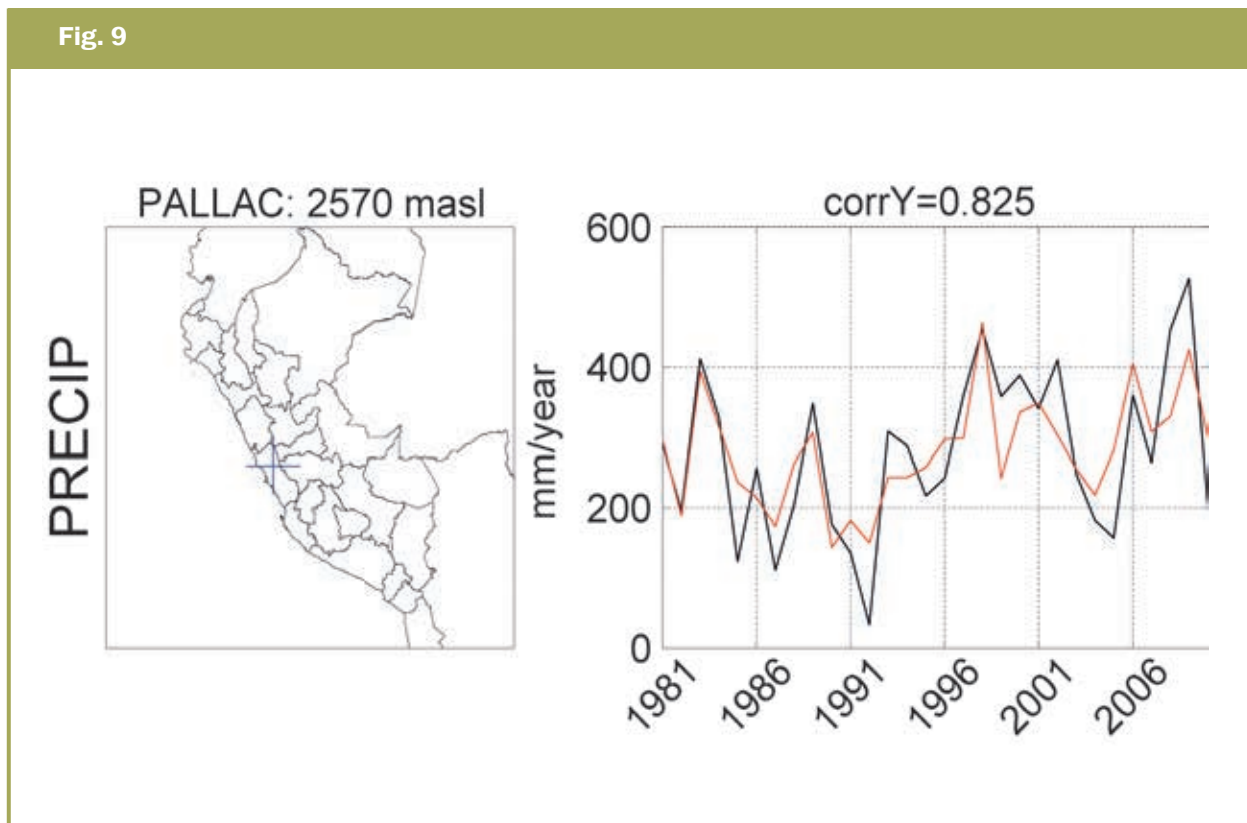


Fig. 9

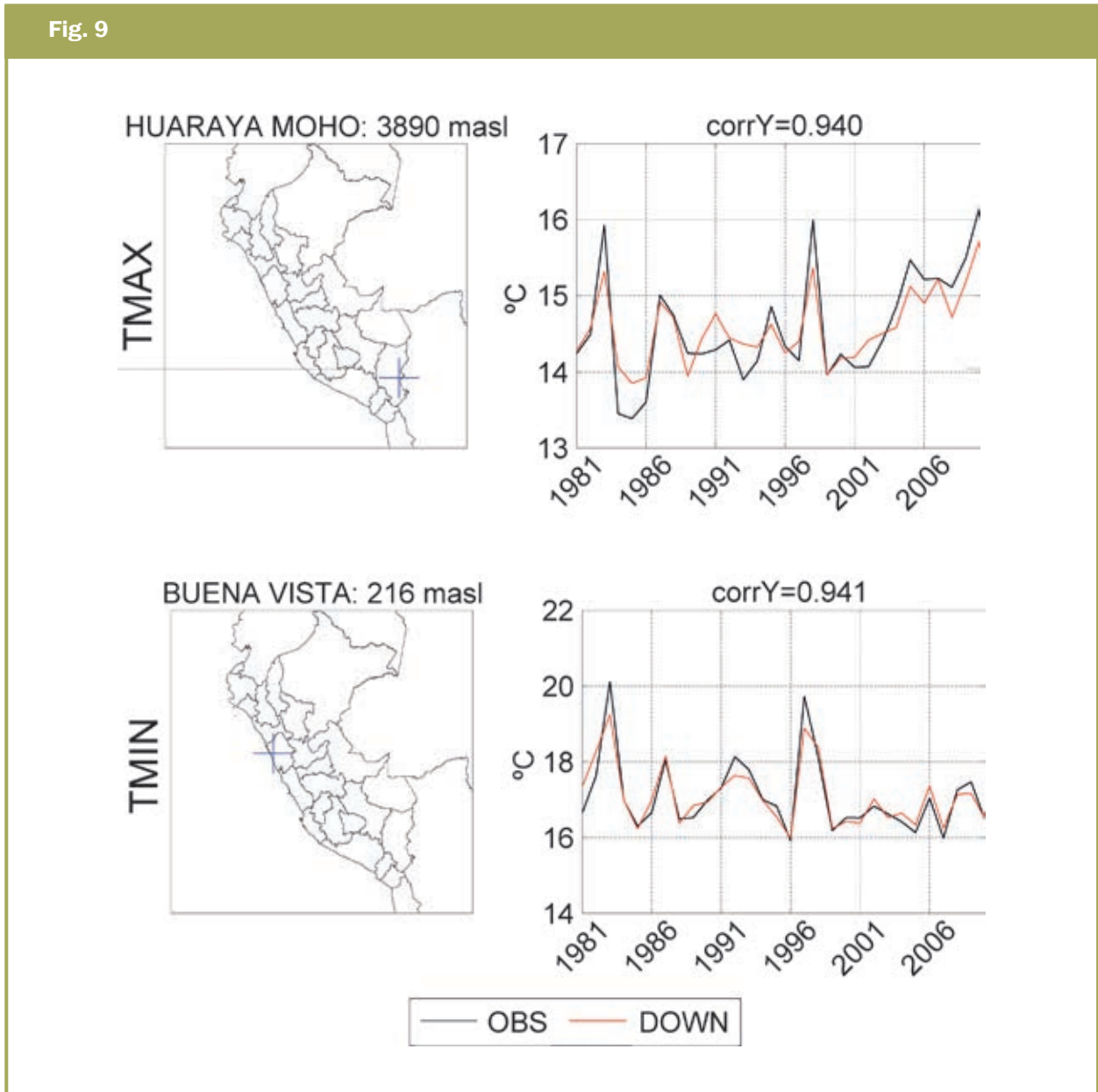


Fig. 9. Series de tiempo inter-anual observadas y regionalizadas (líneas negras y rojas, respectivamente) para una estación seleccionada de precipitación/máxima/mínima temperatura (superior/centro/inferior), obtenidas aplicando el conjunto óptimo de predictores (ver Tabla 5) para los métodos glm 15pc/reg 15pc/reg 15pc, que dan mejores correlaciones que an1.

Sin embargo, se encontró que el an1 (15pc reg) reproducía apropiadamente las señales de cambio climático, con resultados esperados en buen acuerdo con los modelos globales del CMIP5, por lo tanto, serán los únicos métodos considerados para las proyecciones de precipitación (temperaturas). Por lo tanto, un conjunto final de seis proyecciones “posibles” (3MSTs x 2RCPs) se han obtenido para cada variable objetivo, lo que permite la caracterización adecuada del manejo de las incertidumbres. Por otro lado, se debe tener presente que las incertidumbres (proviene muchas veces desde la selección del MSTs hasta la selección de RCPs) son parte inherente de estos estudios de cambio climático y estas proyecciones no deben ser considerados como “pronósticos” por los tomadores de decisión.

Fig. 10



Fig. 10. Porcentaje de data faltante para todas las variables predictoras y niveles de presión, listadas en la Tabla 2, para los modelos GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR y MIROC-ESM sobre un periodo de referencia de treinta años 1971-2000 (fue considerado la primera corrida histórica r1i1p1)

Fig. 11

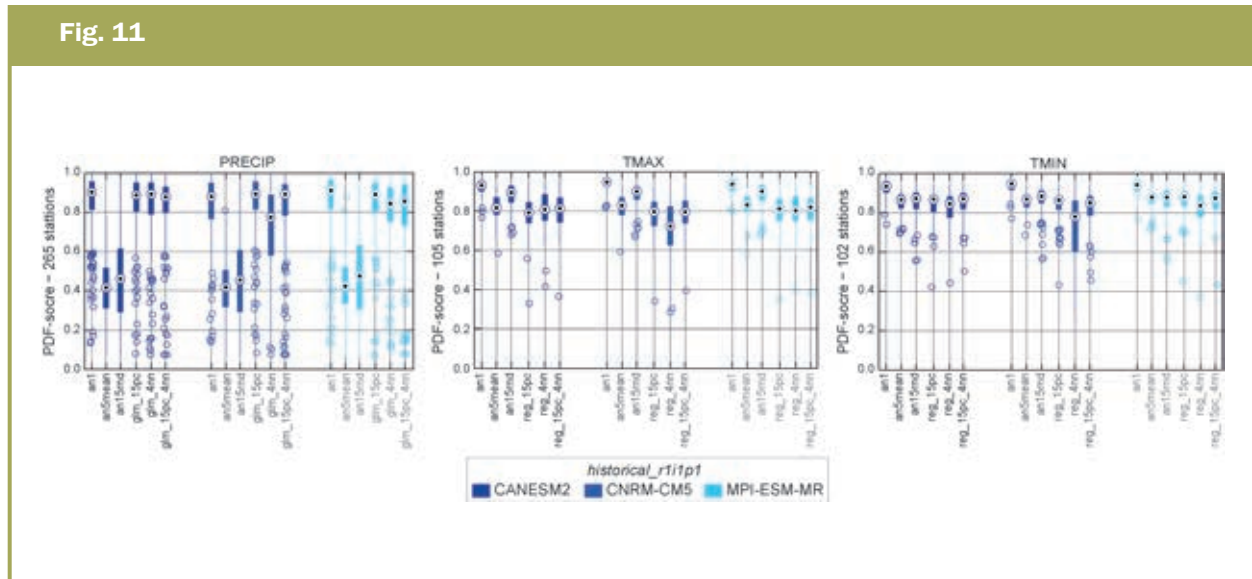


Fig. 11. Desempeño de las diferentes combinaciones de ESM/SDM para el periodo de referencia 1971-2000 (fue considerado la primera corrida histórica r1i1p1), en términos de similitud de distribución (PDF-score). Colores diferentes corresponden a distintos ESMs (ver leyenda). Para cada ESM, corresponde un diagrama de caja a diferentes de SDMs (ver las etiquetas en la parte inferior de cada panel).

En la Fig. 12 se muestran las proyecciones promedio obtenidas para la precipitación/temperatura máxima/mínima, en las 265/105/102 estaciones de la Fig. 1. Diferentes colores corresponden a distintos ESM (ver leyenda). Para cada ESM, la línea continua (discontinua) corresponde al escenario de emisión RCP4.5 (RCP8.5) – una media móvil de 11 años se aplicó para suavizar las series. Para la precipitación (temperaturas) absoluta y relativa, con respecto al periodo histórico 1971-2000- se presentan las series de tiempo. Como se puede ver todas las ESM/RCP proyectados se incrementan en precipitación y temperaturas. Para la precipitación, CanESM2 y MPI-ESM-MR proporcionan resultados similares, con incrementos promedio para el periodo 2036-2065 entre el 10% y el 20% (dependiendo de la ESM y RCP), - mientras que CNRM-CM5 ofrece cambios menores. Por otra parte, los dos RCPs llevan a proyecciones similares hasta el 2040 (momento en el cual las diferencias comienzan a incrementarse hacia adelante). Para las temperaturas, la CNRM-CM5 (CanESM2) proyecta sistemáticamente incrementos más débiles (más fuertes), mientras que el MPI ESM-MR proporciona resultados moderados. Los incrementos promedio para el periodo 2036-2065 están entre 2° C y 3° (4° C y 6° C) para temperatura máxima (mínima), dependiendo de los ESM y RCP.–

Con el fin de evaluar la distribución espacial de estos resultados, mapas de “deltas” (Raisanen, 2007) se muestran en la Fig. 13. Los deltas, se calculan restando la media del periodo de referencia histórico (1971-2000) respecto a la media del período de escenario objetivo (2036-2065), como a modo de ejemplo, se muestra el modelo MPI-ESM-MR. Para la precipitación (temperaturas), absoluto y relativo cambios (absolutos) se muestran para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (columnas izquierda y derecha). Para la precipitación, los patrones de delta obtenidos muestran una alta variabilidad espacial, con cambios de aumento/disminución en estaciones cercanas, excepto en la parte noroeste del país, donde la señal de humedecimiento es clara. Por otro lado, para las temperaturas se obtienen deltas positivos a través de todo el país, encontrándose los más altos incrementos en la región del Altiplano. Asimismo, se tiene que la señal de calentamiento proyectado es mayor para la temperatura mínima que para la temperatura máxima. Por último, los dos RCPs considerados llevan a patrones de delta similares (aunque se intensifican más en el RCP8.5) para los tres variables objetivo.

Fig. 12

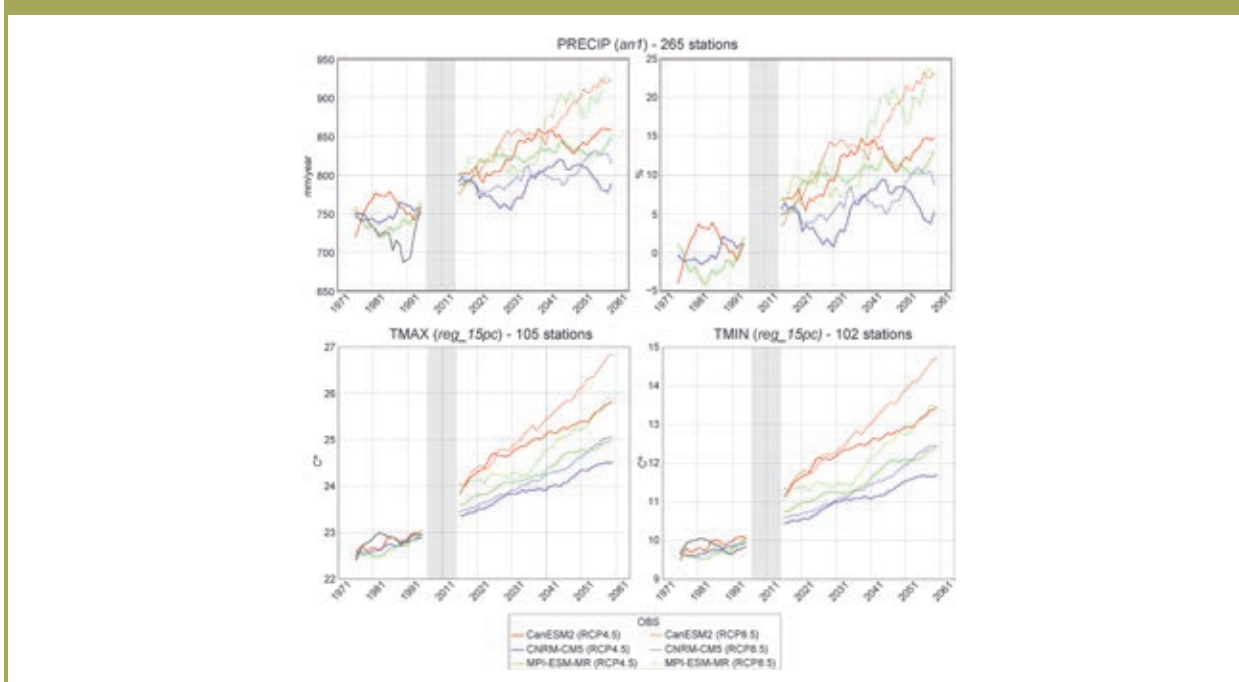


Fig. 12. Proyecciones absolutas y relativas, con respecto a la corrida histórica del periodo 1971-2000, para precipitación (máxima/mínima temperatura), promedio para 265 (105/102) estacione de la Fig.1. Para cada ESM (en colores), la línea continua (discontinua) corresponde al escenario de emisión RCP4.5 (RCP8.5). Una media móvil de 11-años fue aplicada para suavizar las series. Sombra en gris, señala el periodo entre el fin de la simulación histórica y el inicio de las proyecciones.

Fig. 13

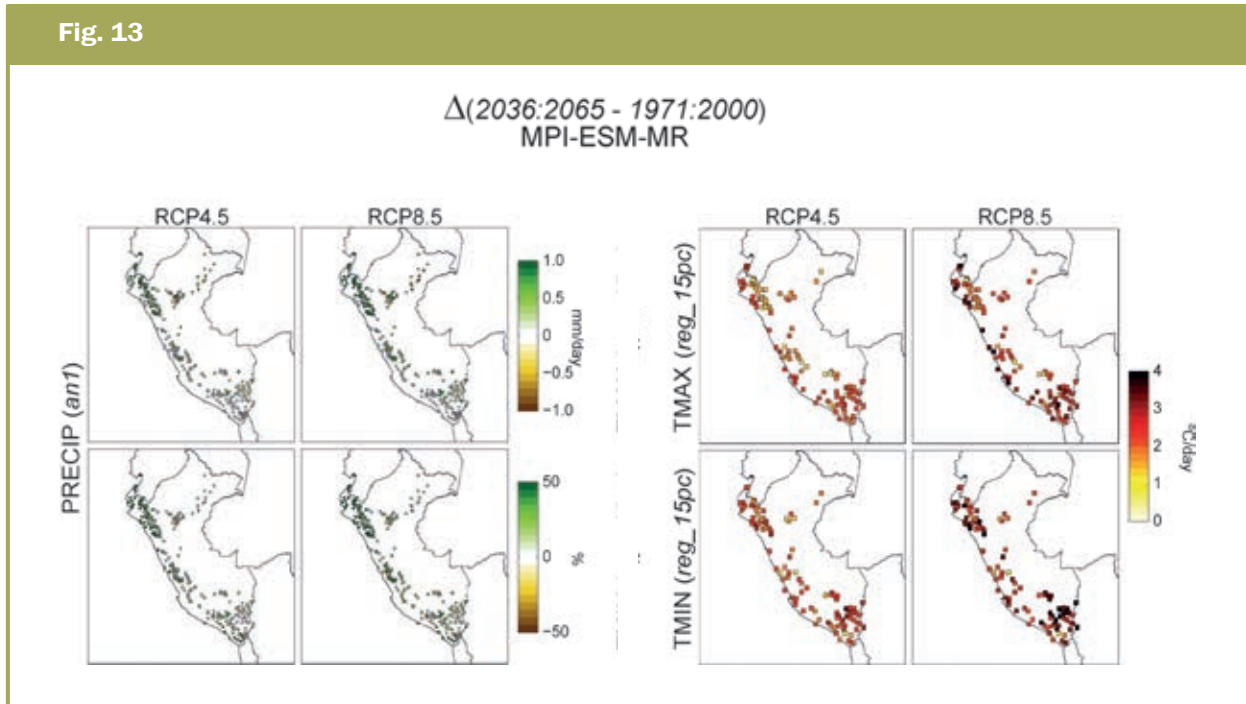


Fig. 13. Cambios Delta para el periodo 2036-2065 (con respecto a 1971-2000), proyectado por el modelo MPI-ESM-MR. Para precipitación (temperaturas), valores absolutos y relativos (absolutos) se muestran para los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5 (columna izquierda y derecha, respectivamente).

7 Conclusiones

El Componente I del proyecto AMICAF en Perú ofrece proyecciones de precipitación/temperatura máxima/mínima de 265/105/102 estaciones en Perú hasta el año 2050 (un promedio centrado del período 2036-2065), por medio de la metodología de regionalización estadística. Un conjunto de seis proyecciones “posibles” (3×2 ESM RCP) se consideran para cada variable objetivo, lo que permite una evaluación adecuada de las incertidumbres involucradas en este tipo de estudios. Para el período de 2036-2065, los resultados muestran un incremento medio (con respecto a 1971-2000) para todo el país entre 2 °C y 3 °C (4 °C y 6 °C) para la temperatura máxima (mínima) . Para la precipitación, se encuentra entre el 10% al 20% a nivel nacional.

En relación con la distribución espacial, se muestran mapas de “deltas, donde la precipitación, muestra una alta variabilidad espacial -con cambios de aumento/disminución en estaciones muy cercanas- excepto en la parte noroeste del país, donde la señal de humedecimiento es clara. Por otro lado, para las temperaturas se obtienen deltas positivos a través de todo el país, encontrándose los más altos incrementos en la región del Altiplano. Asimismo, se tiene que la señal de calentamiento proyectado es mayor para la temperatura mínima que para la temperatura máxima. Por último, los dos RCPs considerados llevan a patrones de delta similares (aunque se intensifican más en el RCP8.5) para los tres variables objetivo.

8 | Referencias

- Beersma J, Buishand T (2003) Multi-site simulation of daily precipitation and temperature conditional on the atmospheric circulation. *Climate Research* 25(2):121–133
- Benestad RE (2002) Empirically downscaled temperature scenarios for northern Europe based on a multi-model ensemble. *Climate Research* 21(2):105–125
- Benestad RE (2005) Climate changes scenarios for northern Europe from multi-model IPCC AR4 climate simulations. *Geophysical Research Letters* 32(17), DOI 10.1029/2005GL023401
- Benestad RE (2010) Downscaling precipitation extremes. *Theoretical and Applied Climatology* 100(1-2):1–21, DOI 10.1007/s00704-009-0158-1
- Brands S, Herrera S, San Martín D, Gutiérrez JM (2011) Validation of the ENSEMBLES global climate models over southwestern Europe using probability density functions, from a downscaling perspective. *Climate Research* 48(2-3):145–161, DOI 10.3354/cr00995
- Brands S, Gutiérrez JM, Herrera S, Cofiño AS (2012) On the use of reanalysis data for downscaling. *Journal of Climate* 25(7):2517–2526, DOI 10.1175/JCLI-D-11-00251.1
- Brandsma T, Buishand TA (1997) Statistical linkage of daily precipitation in Switzerland to atmospheric circulation and temperature. *Journal of Hydrology* 198(1-4):98–123
- Brandsma T, Buishand TA (1998) Simulation of extreme precipitation in the Rhine basin by nearest neighbour resampling. *Hydrology and Earth System Sciences* 2(2-3):195–209
- Chylek P, Li J, Dubey M, Wang M, Lesins G (2011) Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian Earth System Model CanESM. *Atmospheric Chemistry Physics Discussions* 11:22,893–2290, DOI 10.5194/acpd-11-22893-2011
- Cubasch U, von Storch H, Waszkewitz J, Zorita E (1996) Estimates of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output. *Climate Research* 7(2):129–149
- Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G, Bauer P, Bechtold P, Beljaars ACM, van de Berg L, Bidlot J, Bormann N, Delsol C, Dragani R, Fuentes M, Geer AJ, Haimberger L, Healy SB, Hersbach H, Hlm EV, Isaksen L, Killberg P, Kllner M, Matricardi M, McNally AP, Monge-Sanz BM, Morcrette JJ, Park BK, Peubey C, de Rosnay P, Tavolato C, Thpaut JN, Vitart F (2011) The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137(656):553–597, DOI 10.1002/qj.828
- Dufresne JL, Foujols MA, Denvil S, Caubel A, Marti O (submitted) Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*
- Dunne JP, Jasmin GJ, Alistair JA, Stephen MG, Robert WH, Shevliakova E, Ronald JS, Cooke W, Krista AD, Matthew JH, John PK, Sergey LM, Milly PCD, Peter JP, Lori TS, Bonita LS, Michael W, Adrew TW, Niki Z (2012) GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth System Models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of Climate* 25():6646–6665, DOI 10.1175/JCLI-D-11-00560.1
- Fealy R, Sweeney J (2007) Statistical downscaling of precipitation for a selection of sites in Ireland employing a generalised linear modelling approach. *International Journal of Climatology* 27(15):2083–2094, DOI 10.1002/joc.1506
- Gutiérrez JM, San Martín D, Brands S, Manzananas R, Herrera S (2012) Reassessing statistical downscaling

techniques for their robust application under climate change conditions. *Journal of Climate* 26(1):171–188, DOI 10.1175/JCLI-D-11-00687.1

- Hertig E, Seubert S, Paxian A, Vogt G, Paeth H, Jacobeit J (2013) Changes of total versus extreme precipitation and dry periods until the end of the twenty first century: Statistical assessments for the Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology* 111(1-2):1–20, DOI 10.1007/s00704-012-0639-5
- Huth R (2002) Statistical downscaling of daily temperature in Central Europe. *Journal of Climate* 15(13):1731–1742
- Huth R (2004) Sensitivity of local daily temperature change estimates to the selection of downscaling models and predictors. *Journal of Climate* 17(3):640–652
- Jungclaus JH, Lorenz SJ, Timmreck C, Reick CH, Brovkin V, Six K, Segschneider J, Giorgetta MA, Crowley TJ, Pongratz J, Krivova NA, Vieira LE, Solanki SK, Klocke D, Botzet M, Esch M, Gayler V, Haak H, Raddatz TJ, Roeckner E, Schnur R, Widmann H, Claussen M, Stevens B, Marotzke J (2010) Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. *Climate of the Past* 6(5):723–737, DOI 10.5194/cp-6-723-2010
- Lorenz EN (1963) Deterministic non-periodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences* 20(2):130–141
- Lorenz EN (1969) Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogues. *Journal of the Atmospheric Sciences* 26(4):636
- Manzanas R, San Martín D, Herrera S, Brands S, Gutiérrez JM (Preparing submission) Regional projection of precipitation in Spain with an ensemble of statistical downscaling methods: Comparison with dynamical. *Journal of Climate*
- Manzanas R, Brands S, San Martín D, Lucero A, Limbo C, Gutiérrez JM (Under review) Statistical downscaling in the tropics can be sensitive to reanalysis choice: A case study for precipitation on the Philippines. *Journal of Climate*
- Maraun D, Wetterhall F, Ireson AM, Chandler RE, Kendon EJ, Widmann M, Brienen S, Rust HW, Sauter T, Themessl M, Venema VKC, Chun KP, Goodess CM, Jones RG, Onof C, Vrac M, Thiele- Eich I (2010) Precipitation downscaling under climate change: recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics* 48, DOI 10.1029/2009RG000314
- Matulla C, Zhang X, Wang XL, Wang J, Zorita E, Wagner S, von Storch H (2008) Influence of similarity measures on the performance of the analog method for downscaling daily precipitation. *Climate Dynamics* 30(2-3):133–144, DOI 10.1007/s00382-007-0277-2
- Maxino CC, McAvaney BJ, Pitman AJ, Perkins SE (2008) Ranking the AR4 climate models over the Murray-Darling Basin using simulated maximum temperature, minimum temperature and precipitation. *International Journal of Climatology* 28(8):1097–1112, DOI 10.1002/joc.1612
- Moron V, Robertson AW, Ward MN, Ndiaye O (2008) Weather types and rainfall over Senegal. part II: Downscaling of GCM simulations. *J Climate* 21(2):288–307, DOI {10.1175/2007JCLI1624.1}
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463(7282):747–756, DOI 10.1038/nature08823

- Nelder JA, Wedderburn RWM (1972) Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A-General* 135(3):370-&
- Perkins SE, Pitman AJ, Holbrook NJ, McAneney J (2007) Evaluation of the AR4 climate models simulated dailymaximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. *Journal of Climate* 20(17):4356-4376, DOI 10.1175/JCLI4253.1
- Preisendorfer R (1988) *Principal component analysis in meteorology and oceanography*, 1st edn. Amsterdam, Elsevier
- Raddatz TJ, Reick CH, Knorr W, Kattge J, Roeckner E, Schnur R, Schnitzler KG, Wetzel P, Jungclaus J (2007) Will the tropical land biosphere dominate the climate-carbon cycle feedback during the twenty-first century? *Climate Dynamics* 29(6):565-574, DOI 10.1007/s00382-007-0247-8
- Raisanen J (2007) how reliable are climate models? *Tellus Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography* 59(1):2-29, DOI 10.1111/j.1600-0870.2006.00211.x
- Riahi K, Grbler A, Nakicenovic N (2007) Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change* 74(7):887 - 935, DOI 10.1016/j.techfore.2006.05.026, greenhouse Gases - Integrated Assessment
- Riahi K, Rao S, Krey V, Cho C, Chirkov V, Fischer G, Kindermann G, Nakicenovic N, Rafaj P (2011) RCP 8.5 A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change* 109(1-2):33-57, DOI 10.1007/s10584-011-0149-y
- Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl GA (2011) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* DOI 10.1175/BAMS-D-11-00094.1
- Teutschbein C, Wetterhall F, Seibert J (2011) Evaluation of different downscaling techniques for hydrological Climate change impact studies at the catchment scale. *Climate Dynamics* 37(9-10):2087-2105, DOI 10.1007/s00382-010-0979-8
- Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, Kyle GP, Volke A, Patel P, Delgado-Arias S, Bond-Lamberty B, Wise MA, Clarke LE, Edmonds JA (2011) RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* 109(1-2):77-94, DOI 10.1007/s10584-011-0151-4
- Timbal B, Jones DA (2008) Future projections of winter rainfall in southeast Australia using a statistical downscaling technique. *Climatic Change* 86(1-2):165-187, DOI 10.1007/s10584-007-9279-7
- Timbale B, Dufour A, McAvaney B (2003) An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique. *Climate Dynamics* 20(7-8):807-823, DOI 10.1007/s00382-002-0298-9
- Voldoire A, Sanchez-Gomez E, Salas y Mélia D, Decharme B, Cassou C (2011) The CNRM- CM5.1 global climate model: Description and basic evaluation. *Climate Dynamics* DOI 10.1007/s00382-011-1259
- Watanabe S, Hajima T, Sudo K, Nagashima T, Takemura T, Okajima H, Nozawa T, Kawase H, Abe M, Yokohata T, Ise T, Sato H, Kato E, Takata K, Emori S, Kawamiya M (2011) MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development* 4(4):845-872, DOI 10.5194/gmd-4-845-2011
- Wetterhall F, Halldin S, Xu CY (2005) Statistical precipitation downscaling in central Sweden with the analogue method. *Journal of Hydrology* 306(1-4):174-190, DOI 10.1016/j.jhydrol.2004.09.008