

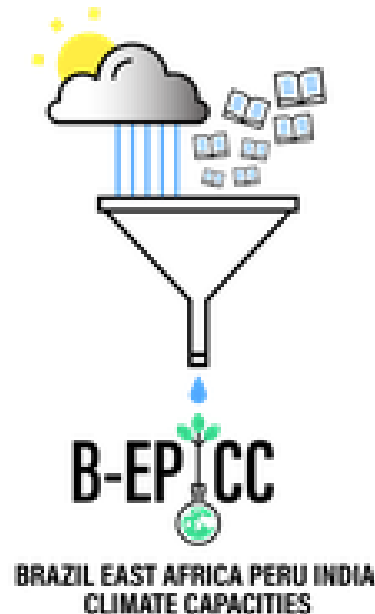
Distribución de los componentes del balance hídrico actual y futuro en el Perú considerando las proyecciones climáticas del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project)

Carlos Antonio Fernandez Palomino*^{1,2}, Fred F. Hattermann¹, Valentina Krysanova¹, Fiorella Vega-Jacome²

* Corresponding author: palomino@pik-potsdam.de, cafppl@gmail.com, ¹ Potsdam Institute for Climate Impact Research, ² University of Potsdam



POTSDAM INSTITUTE FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH



Lima 2022

Perú y la distribución de sus recursos hídricos



Población
33 Millones



Disponibilidad de recursos hídricos
1'768,172 hm³

Disponibilidad desigual de agua en las tres
vertientes hidrográficas

Evidencias de la extrema variabilidad climática y el cambio climático

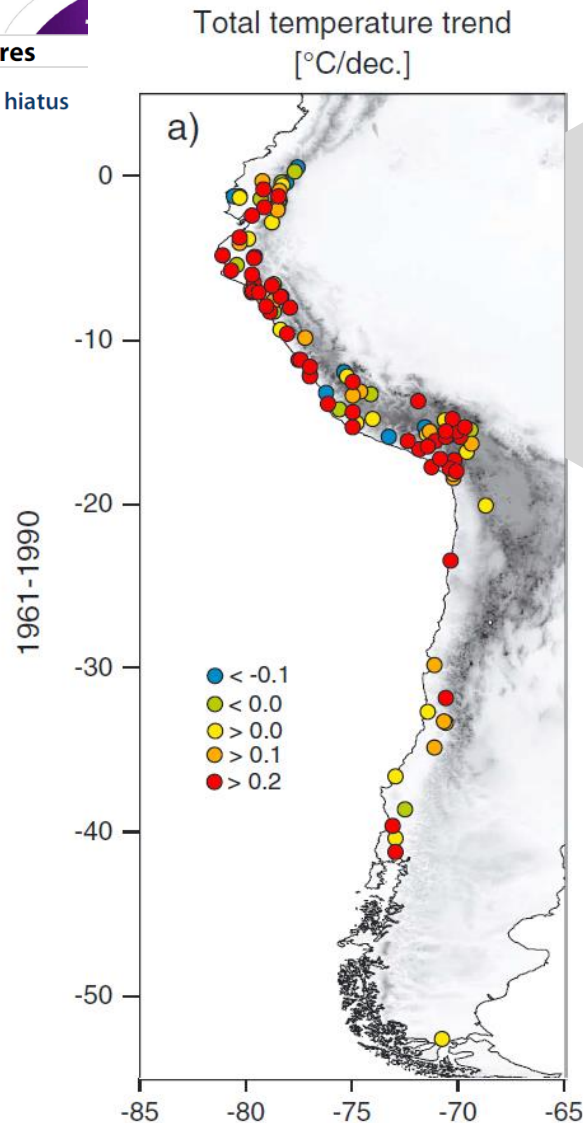
Cambios en la temperatura

AGU PUBLICATIONS

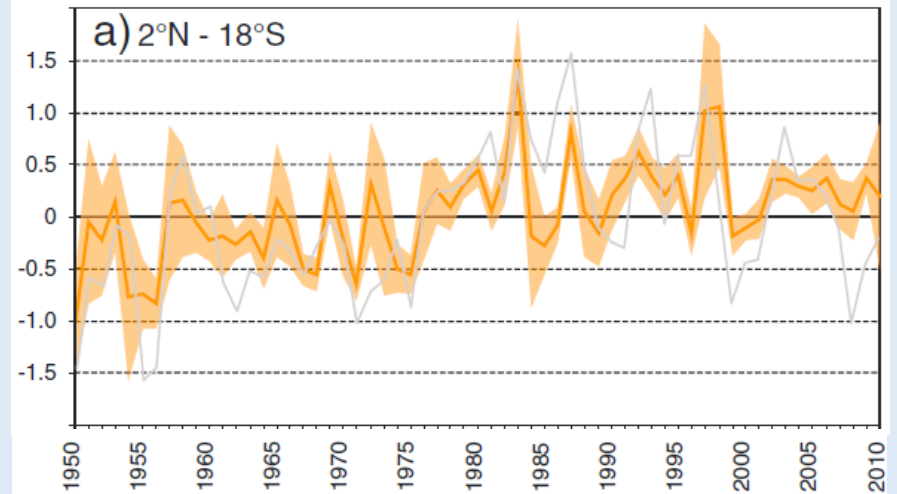
Journal of Geophysical Research: Atmospheres

RESEARCH ARTICLE
10.1002/2015JD023126

Impact of the global warming hiatus
on Andean temperature



Anomalía de la temperatura media anual en comparación con el promedio de 1961-1990



En los Andes tropicales (2°N–18°S), se ha observado una tendencia de calentamiento significativa de 0.13°C/década entre 1950 – 2010.

Evidencias de la extrema variabilidad climática y el cambio climático

Cambios en la superficie glaciar



Contents lists available at ScienceDirect

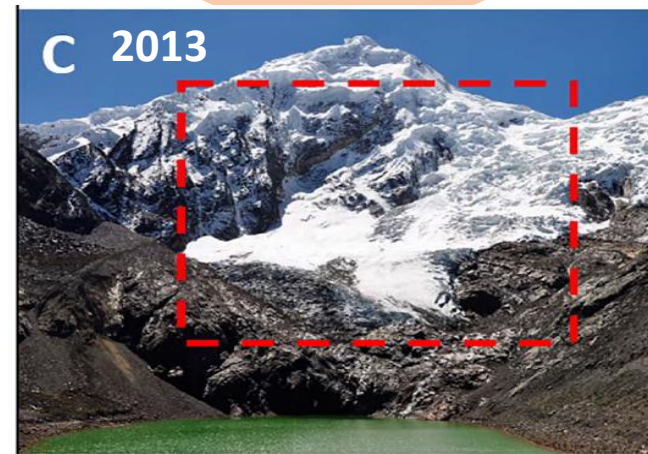
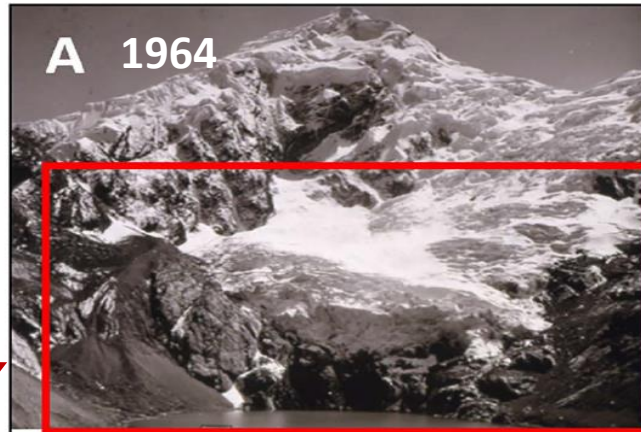
Global and Planetary Change

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gloplacha

Glacier loss and hydro-social risks in the Peruvian Andes



Glaciar Cuchillacocha



La superficie de los glaciares peruanos ha disminuido en más del 40% desde la década de 1970
(Autoridad Nacional del Agua, 2014)

Evidencias de la extrema variabilidad climática y el cambio climático

Inundaciones



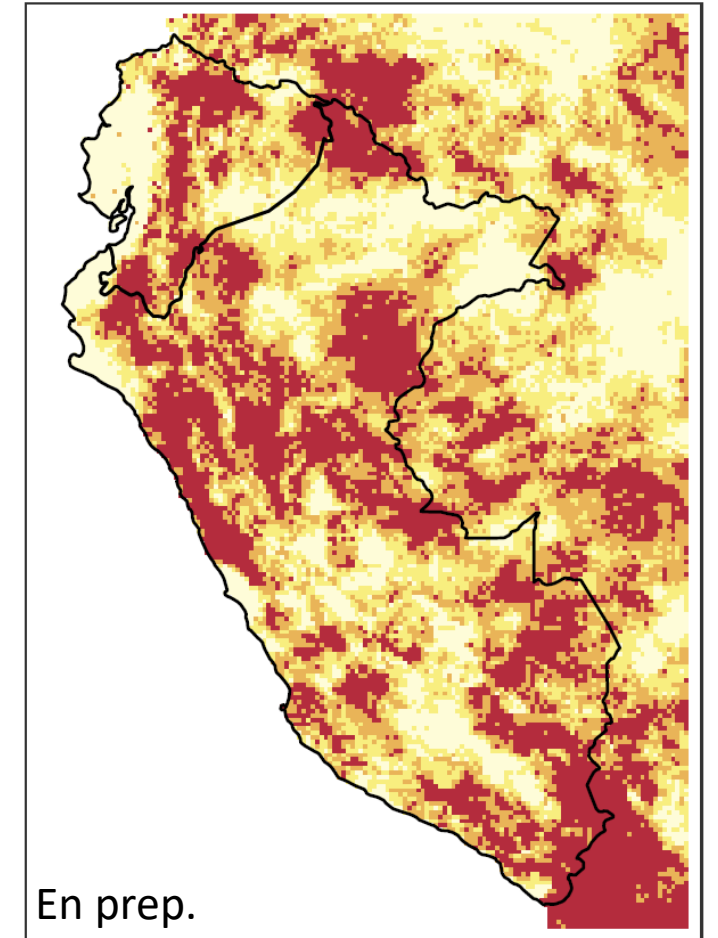
Inundaciones en Iquitos durante la histórica crecida del río Amazonas, 2012



Inundaciones en Lima durante „El Niño Costero“, 2017



Sequías



Drought Events q1 q2 q3 q4





Las evidencias del cambio climático antes mencionadas deberían ser una “llamada de atención” para:

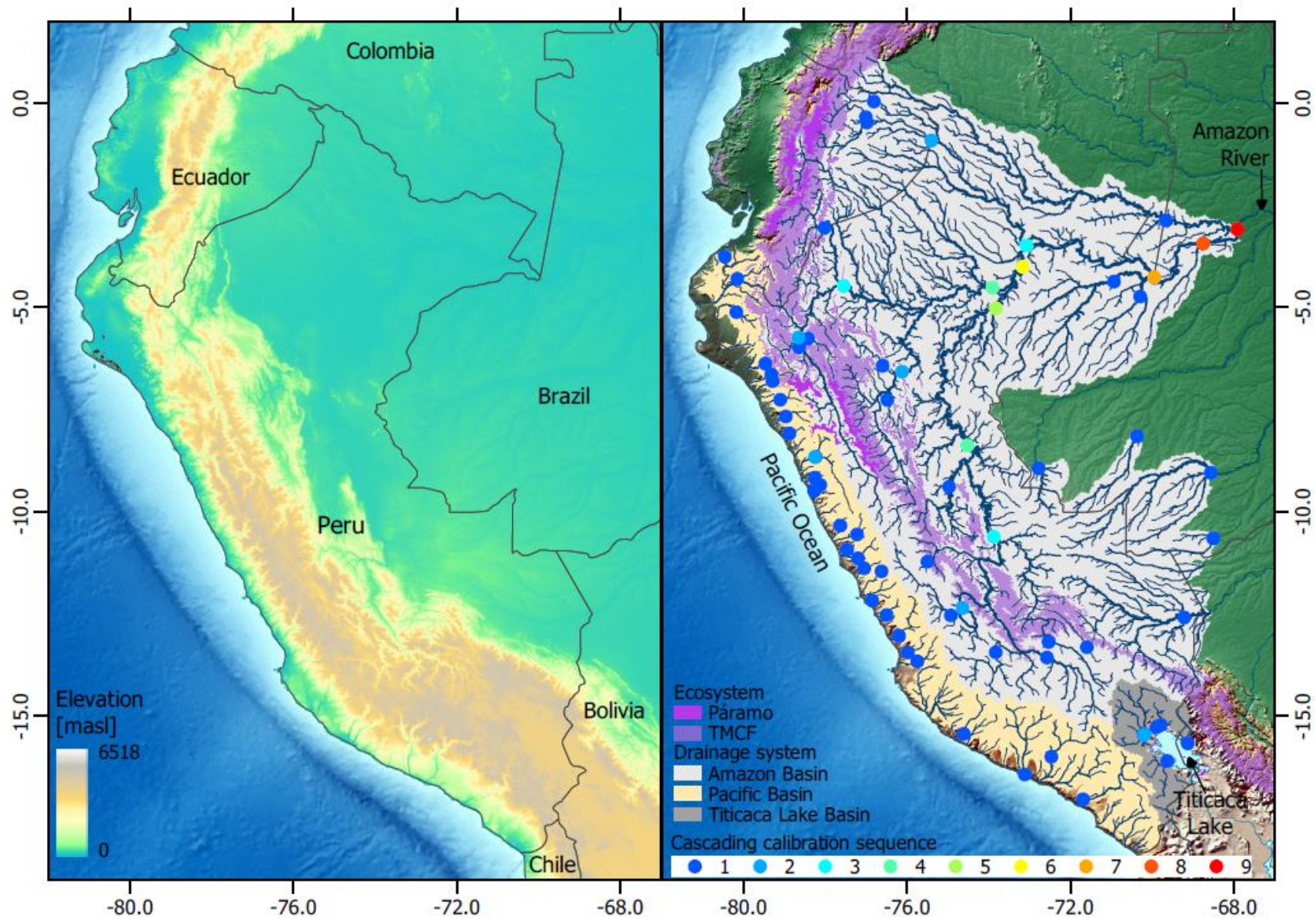
- Científicos, para investigar las condiciones hidroclimáticas actuales y futuras
- Gobiernos, líderes locales y personas para mejorar su preparación para eventos climáticos extremos

Para apoyar estas “llamadas de atención”, nuestro presente estudio analiza el impacto del cambio climático en los recursos hídricos de PERÚ.

Objetivos

- Configurar, calibrar y validar el modelo SWAT
- Analizar la distribución de los componentes del balance hídrico
- Analizar los cambios en los componentes del balance hídrico bajo escenarios de cambio climático

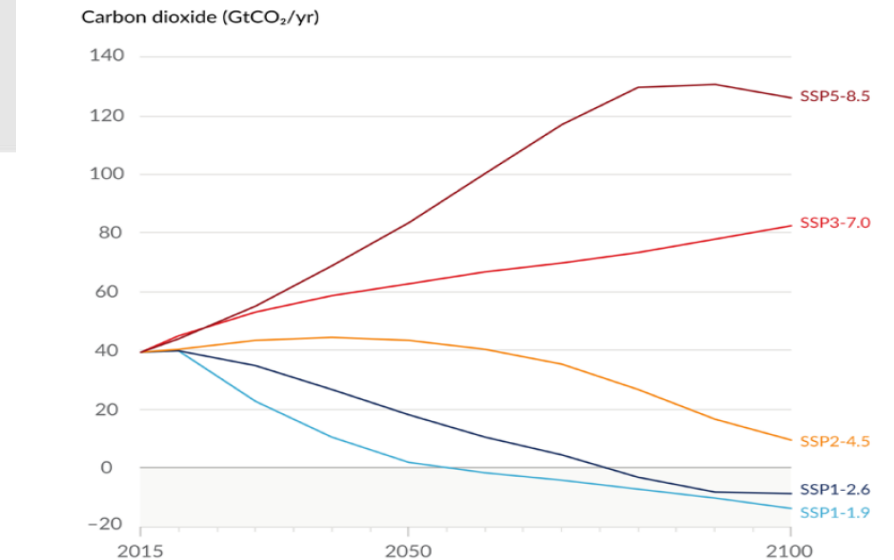
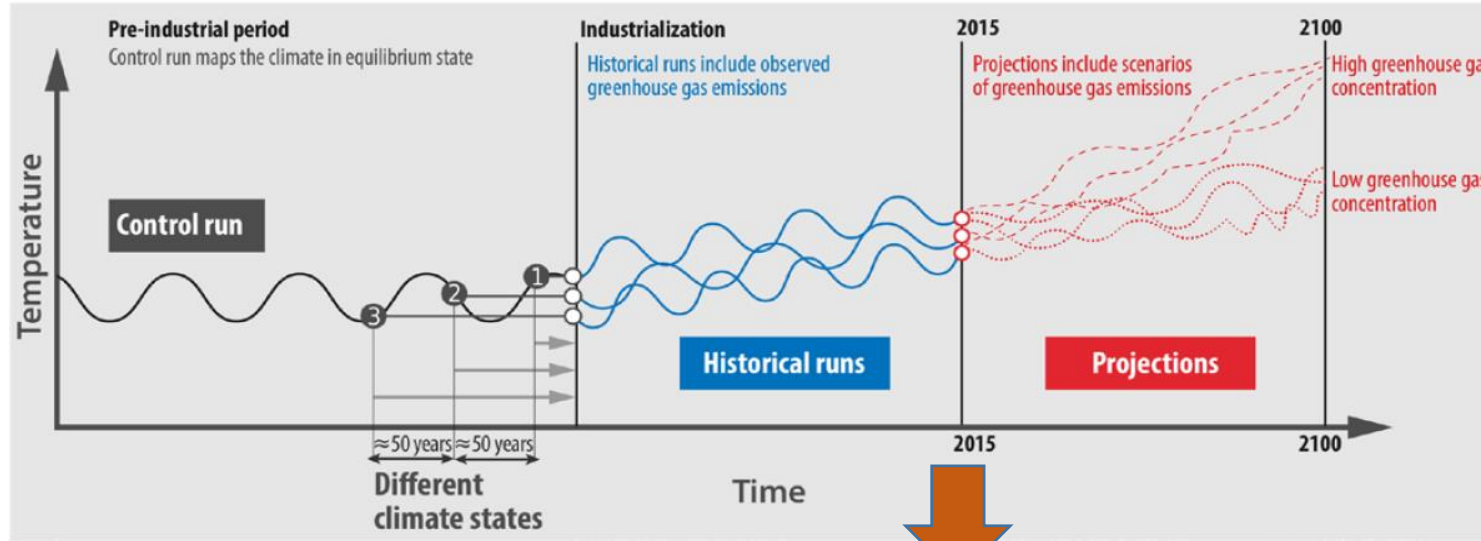
Área de estudio



Datos

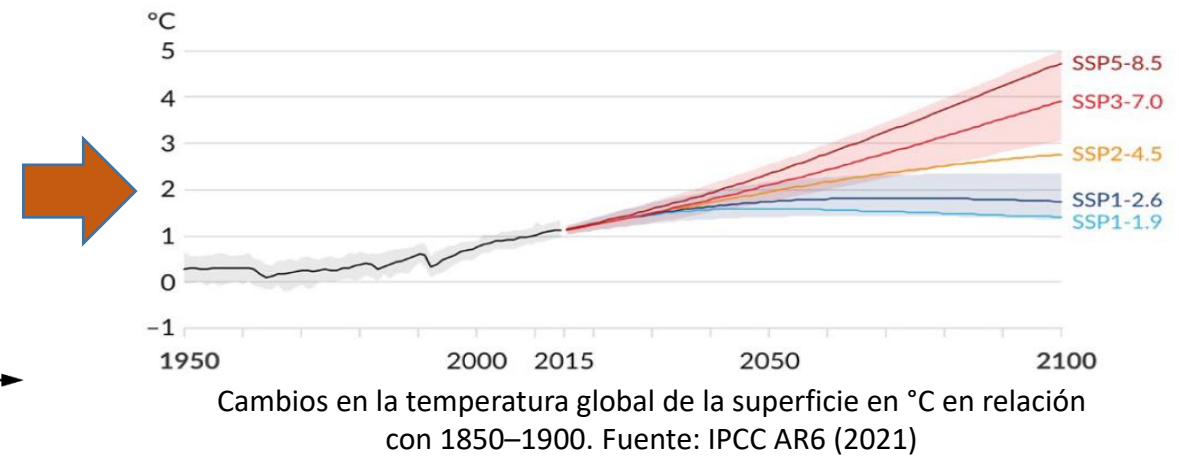
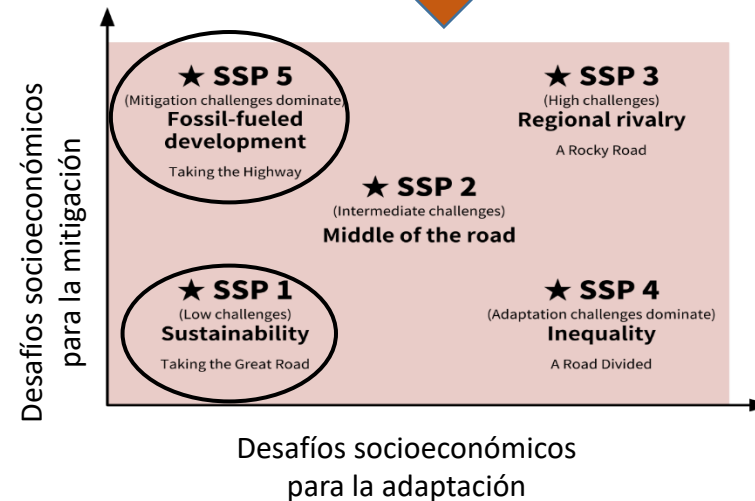
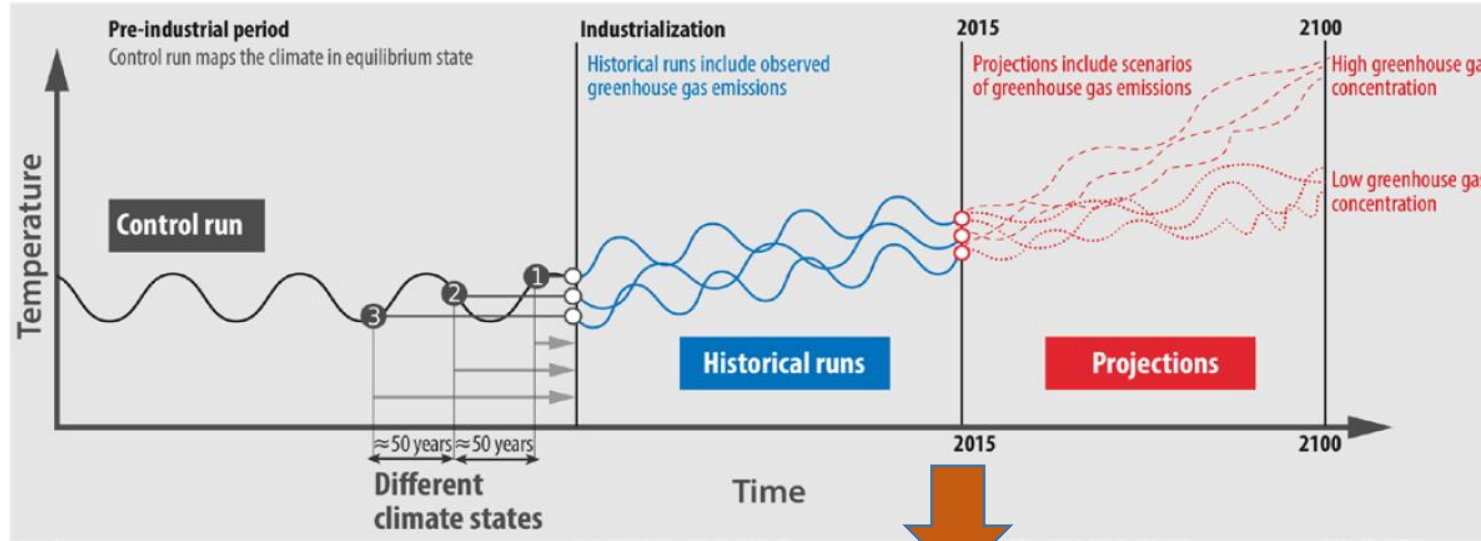
Data type	Resolution	Description/source
Spatial data		
Elevation	90 m	Surface elevation (m a.s.l.) from Multi-Error-Removed Improved Terrain (MERIT; Yamazaki et al. 2017)
Land use	100 m	Land use classification representative for the year 2015 obtained from Copernicus Global Land Service (Buchhorn et al. 2019)
Soil	1000 m	Soil parameters for SWAT based on the Harmonized World Soil Database version 1.21 soil data (Abbaspour and Ashraf Vaghefi 2019)
Soil thickness	1000 m	Soil thickness data (Pelletier et al. 2016) were used to implement variable soil thicknesses at hydrological response units (HRUs)
Groundwater table depth	1000 m	Groundwater table depth data (Fan et al. 2013) were used to constrain soil thickness in shallow water tables across the rainforest region
Hydro-meteorological data		
Precipitation	Daily/0.1° (1981 – 2015)	Rain for Peru and Ecuador (RAIN4PE; Fernandez-Palomino et al. 2021a,b)
Temperature	Daily/0.1° (1981-2016)	Gridded temperature (maximum and minimum) dataset for Peru (Huerta et al. 2018) as provided by SENAMHI (ftp://publi_dgh2:123456@ftp.senamhi.gob.pe/)
Solar radiation	3-hourly/0.1° (1983-2018)	Long-term monthly averages of solar radiation based on the global surface solar radiation data (Tang et al. 2019; Tang 2019) were used
Streamflow	Daily/0.1° (1981 – 2015)	Streamflow data were obtained from Peruvian ANA, SENAMHI, and HYBAM project
Projected climate data		
Precipitation and temperature	Daily/0.7-2.8° Historic (2015 – 2100) Projected (2015 – 2100)	Precipitation and temperature (mean, maximum and minimum) from 10 CMIP6-GCMs for two scenarios (SSP1-2.6 and SSP5-8.5) were obtained from https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/ .

Proyección del clima en base a los caminos socioeconómicos compartidos (Shared Socioeconomic Pathways SSPs)



Futuras emisiones anuales de CO₂ en relación con 1850–1900.
Fuente: IPCC AR6 (2021)

Proyección del clima en base a los caminos socioeconómicos compartidos (Shared Socioeconomic Pathways SSPs)



Simulaciones de los modelos de clima con sesgo corregido y reducido en escala estadísticamente

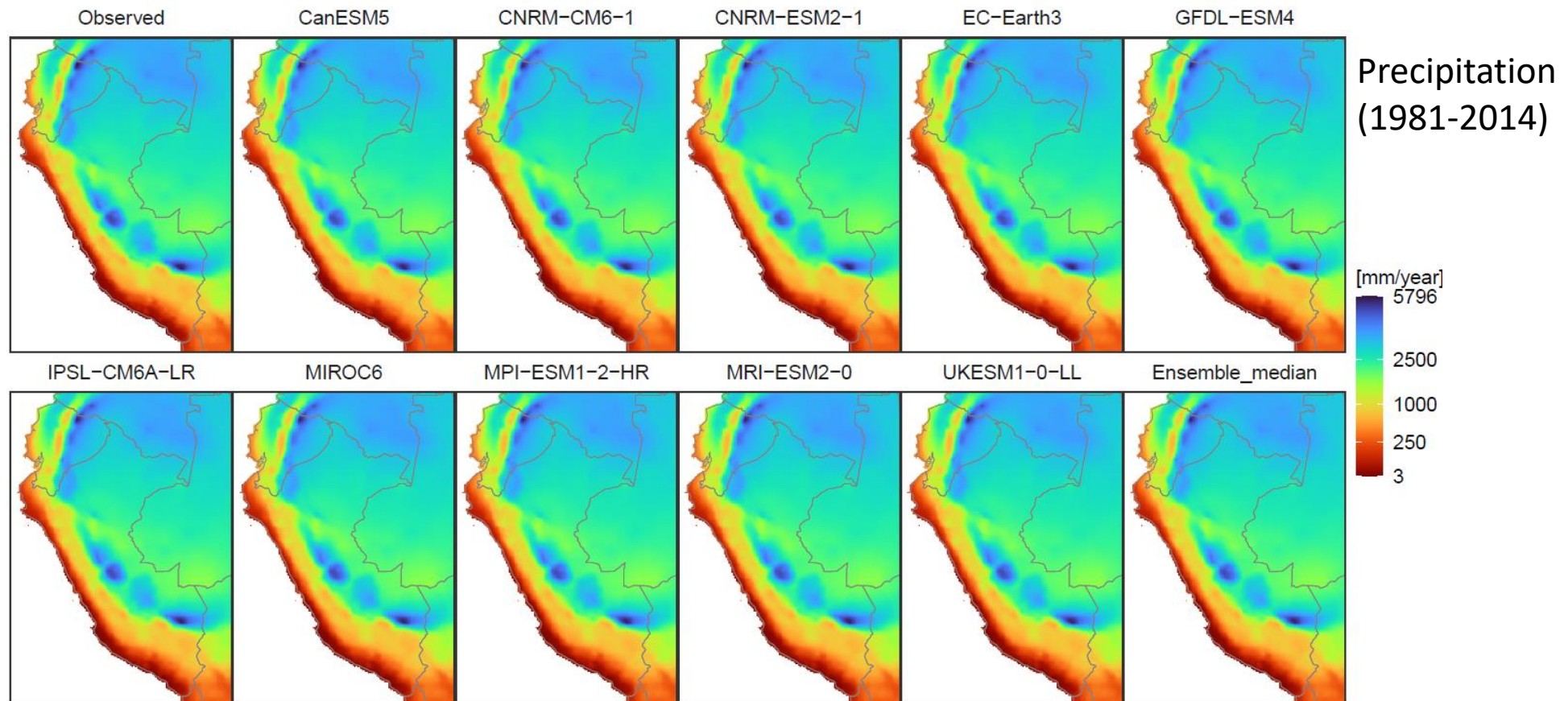
The bias adjustment and statistical downscaling methods are detailed in Lange (2019)

Geosci. Model Dev., 12, 3055–3070, 2019
<https://doi.org/10.5194/gmd-12-3055-2019>
© Author(s) 2019. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0)

Stefan Lange

Geoscientific
Model Development



All bias-adjusted and downscaled climate models match well with observed precipitation. Similar results were obtained in the bias correction of temperatures.

Modelo SWAT para cuencas andinas y amazónicas

- **SWAT para ecosistemas tropicales**



Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 4449–4467, 2017
<https://doi.org/10.5194/hess-21-4449-2017>
© Author(s) 2017. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.

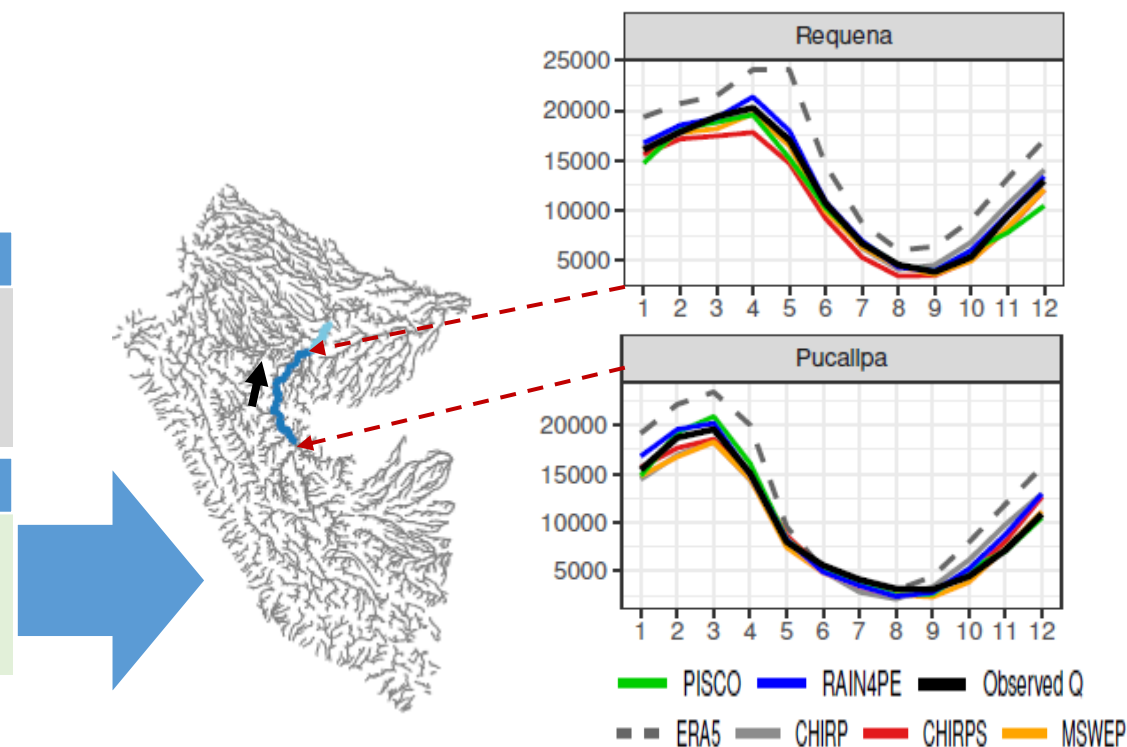
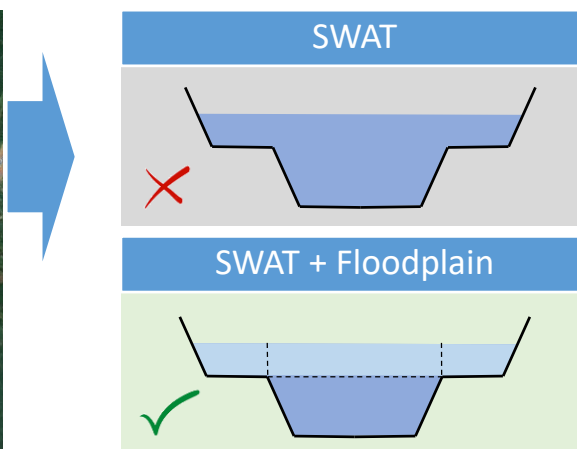


Hydrology and
Earth System
Sciences
Open Access
EGU

An improved SWAT vegetation growth module and its evaluation for four tropical ecosystems

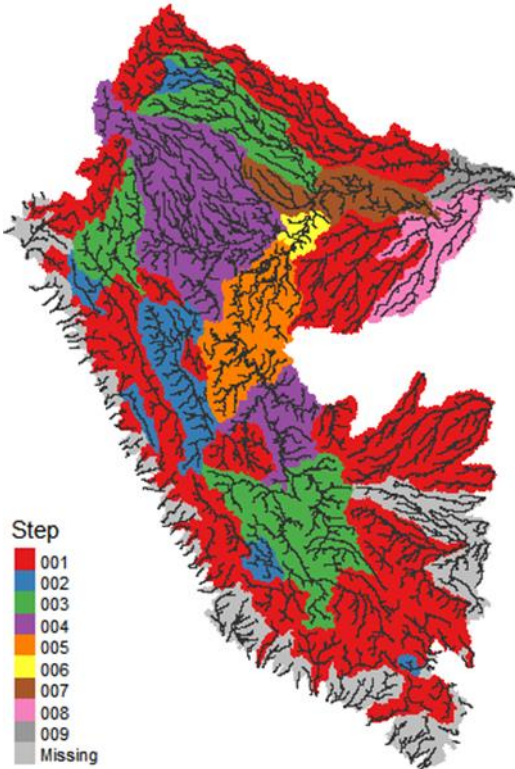
Tadesse Alemayehu^{1,2}, Ann van Griensven^{1,2}, Befekadu Tadesse Woldegiorgis¹, and Willy Bauwens¹

- **Inclusión de la dinámica río-planicie de inundación, donde la llanura de inundación asociada a cada tramo del río se trató como un modelo de almacenamiento simple**



Calibración del modelo SWAT

- Enfoque de calibración en cascada (72 est. hidrol.)



Configuración del modelo

- Area: 1 638 793 km²
- 2675 subcuencas
- 6843 HRUs
- Tiempo de comp.: 1 min. año⁻¹

Tiempo total de calibración

~500 días
(10año*1000sim*72est.)

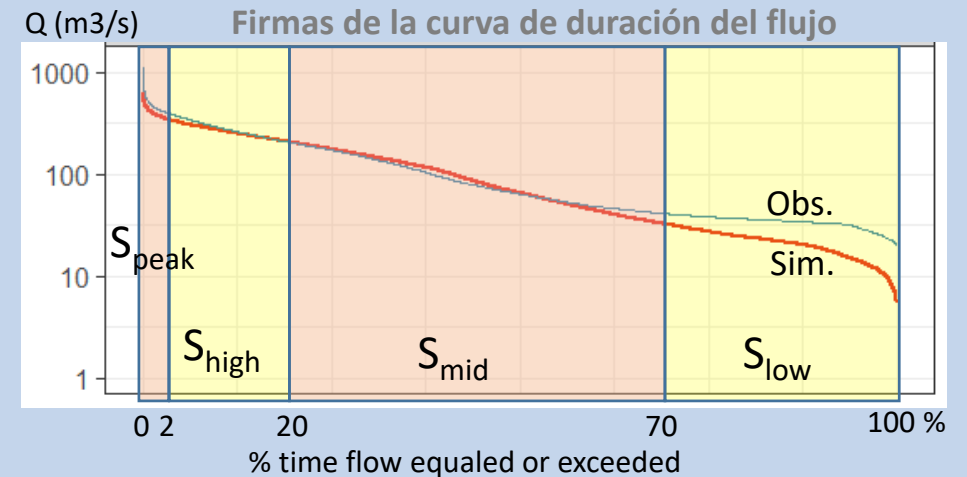


~5 días

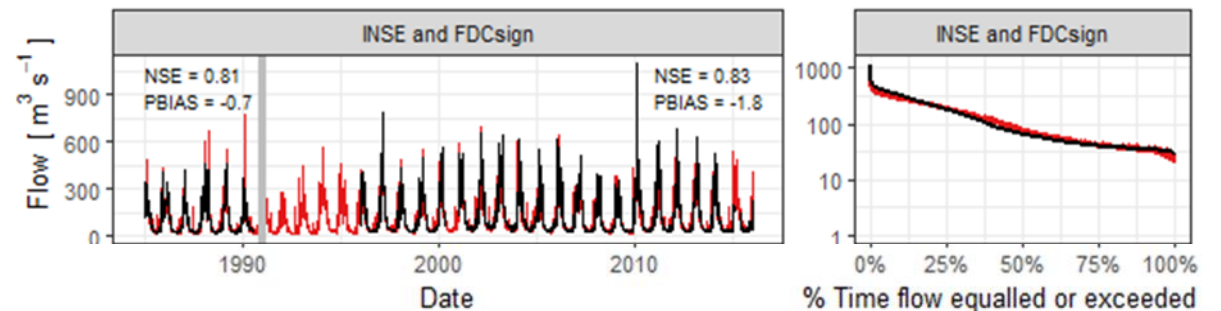


- Calibración multiobjetivo (algoritmo BORG)
- Funciones objetivos:

$$\text{Max}(\log_NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (1 n(S_i) - 1 n(O_i))^2}{\sum_{i=1}^n (1 n(O_i) - 1 n(O_p))^2})$$

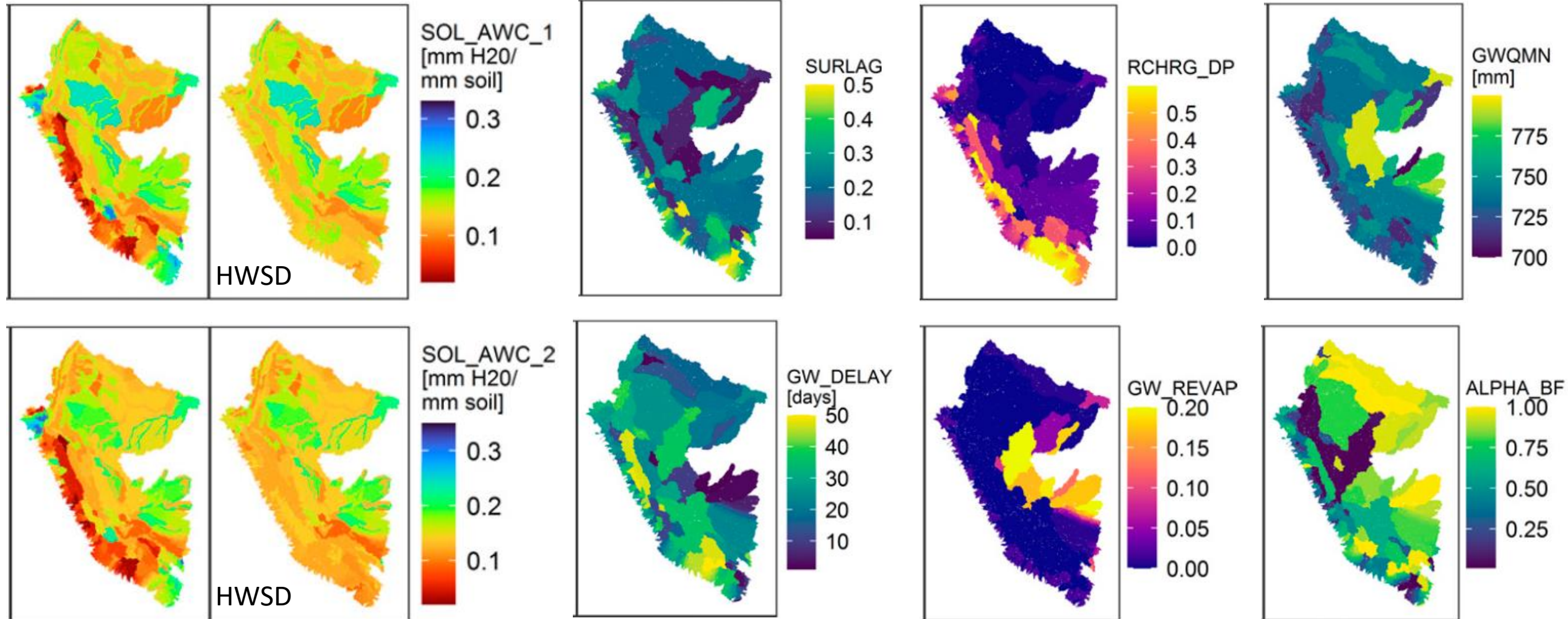


$$\text{Min}(FDC_{sign} = \frac{1}{4} (|S_{peak}| + |S_{high}| + |S_{mid}| + |S_{low}|))$$

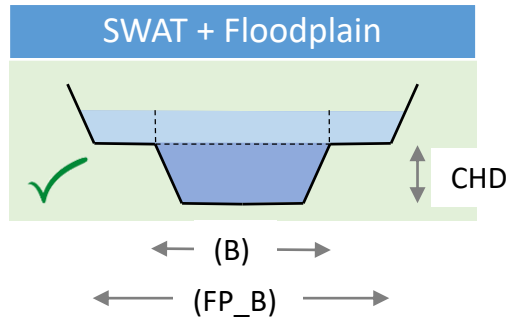


Parámetros calibrados de SWAT

- Solo se calibraron 7 parámetros

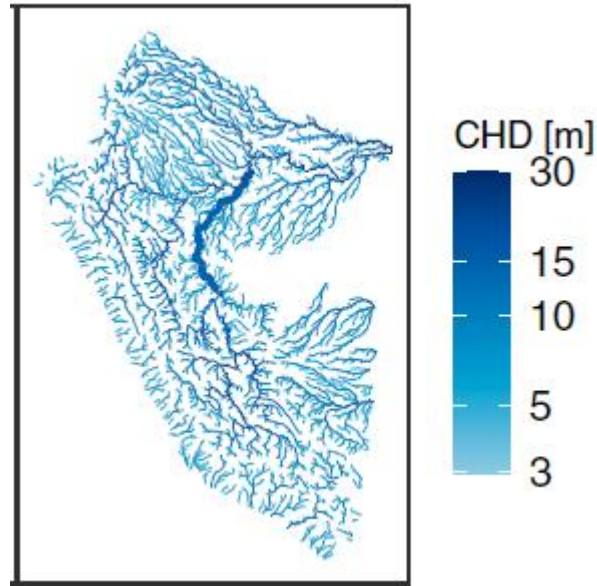


Parámetros calibrados de las llanuras de inundación en SWAT

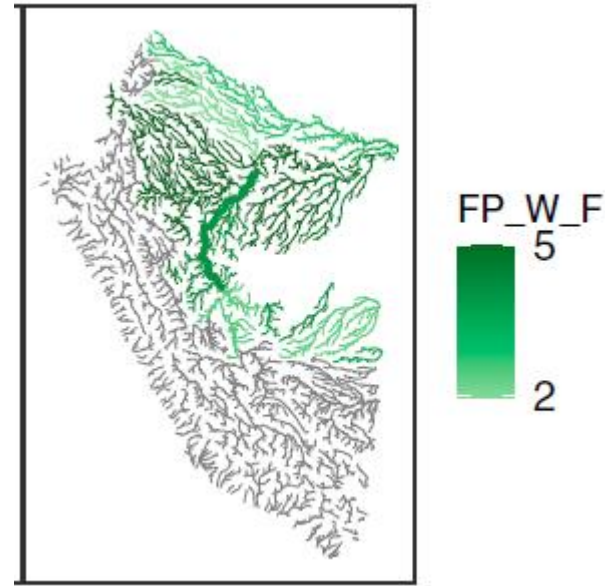


Note: B y CHD se estimaron utilizando ecuaciones geomorfológicas basadas en áreas de drenaje aguas arriba, derivadas para ríos amazónicos (Paiva et al. 2011).

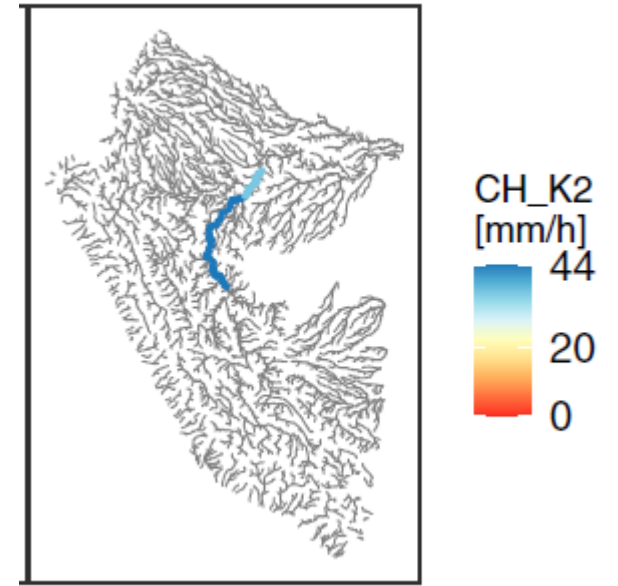
Profundidad del canal (CHD)



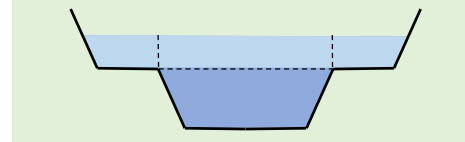
Relación entre el ancho de la llanura de inundación y el canal ($FP_W_F = FP_B/B$)



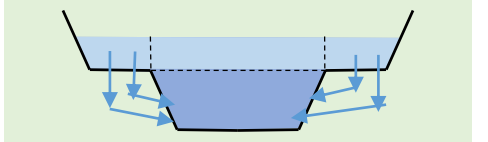
Conductividad hidráulica de la llanura aluvial (CH_K2)



- Flujo sobre llanuras de inund.

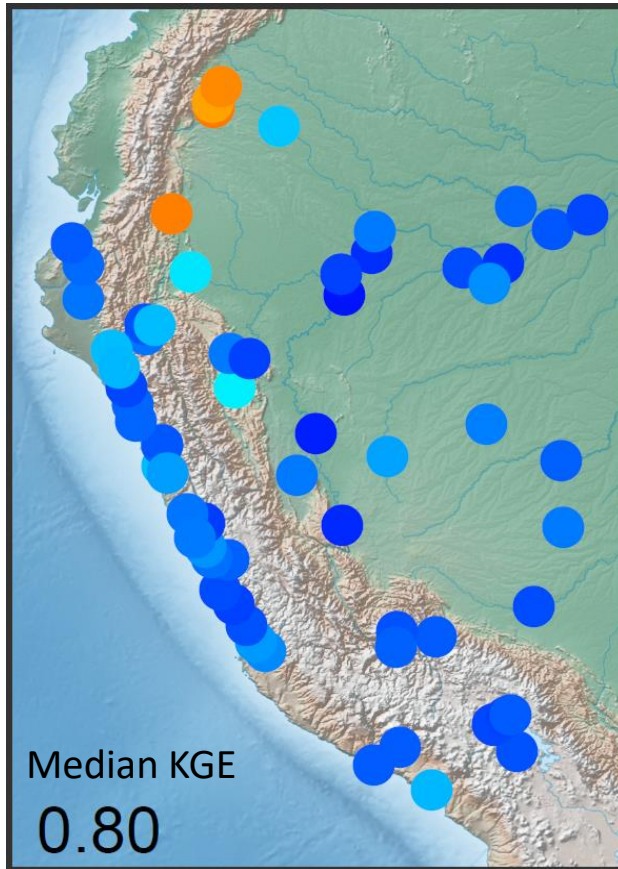


- Flujo sobre llanuras de inund.
- Infiltración de agua hacia la llanura aluvial
- Flujo de retorno hacia el canal principal

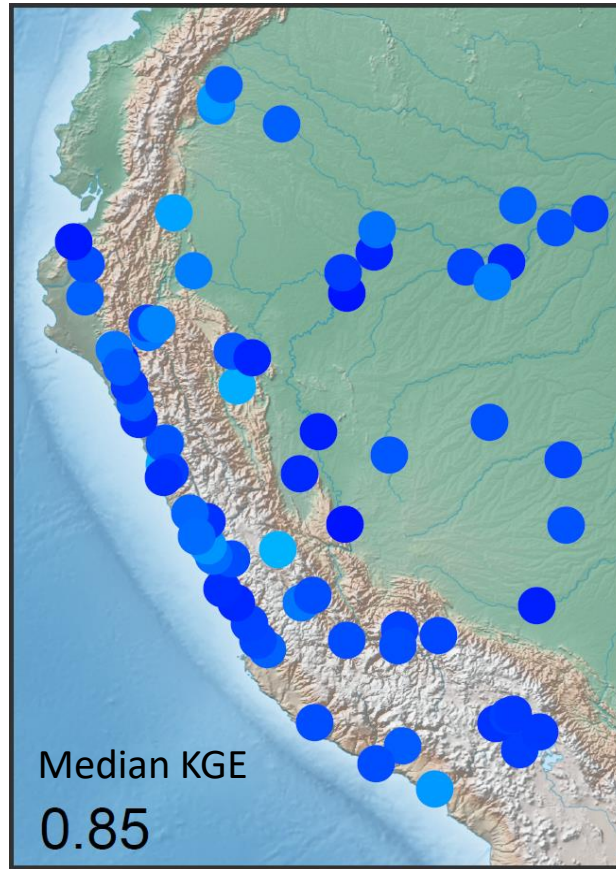


Desempeño del modelo SWAT en la simulación de caudales

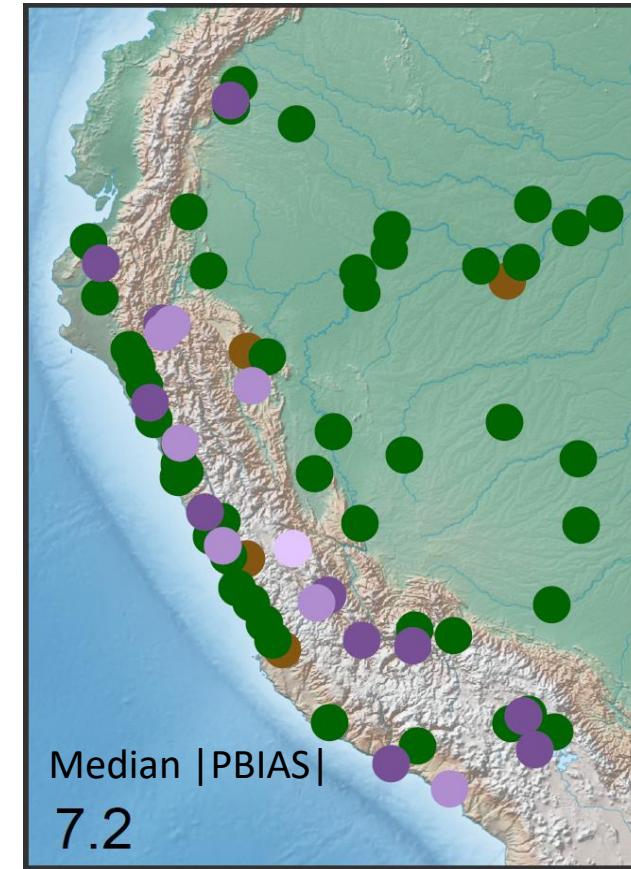
KGE (Diario)



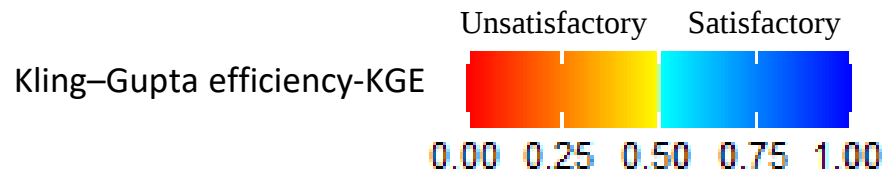
KGE (mensual)



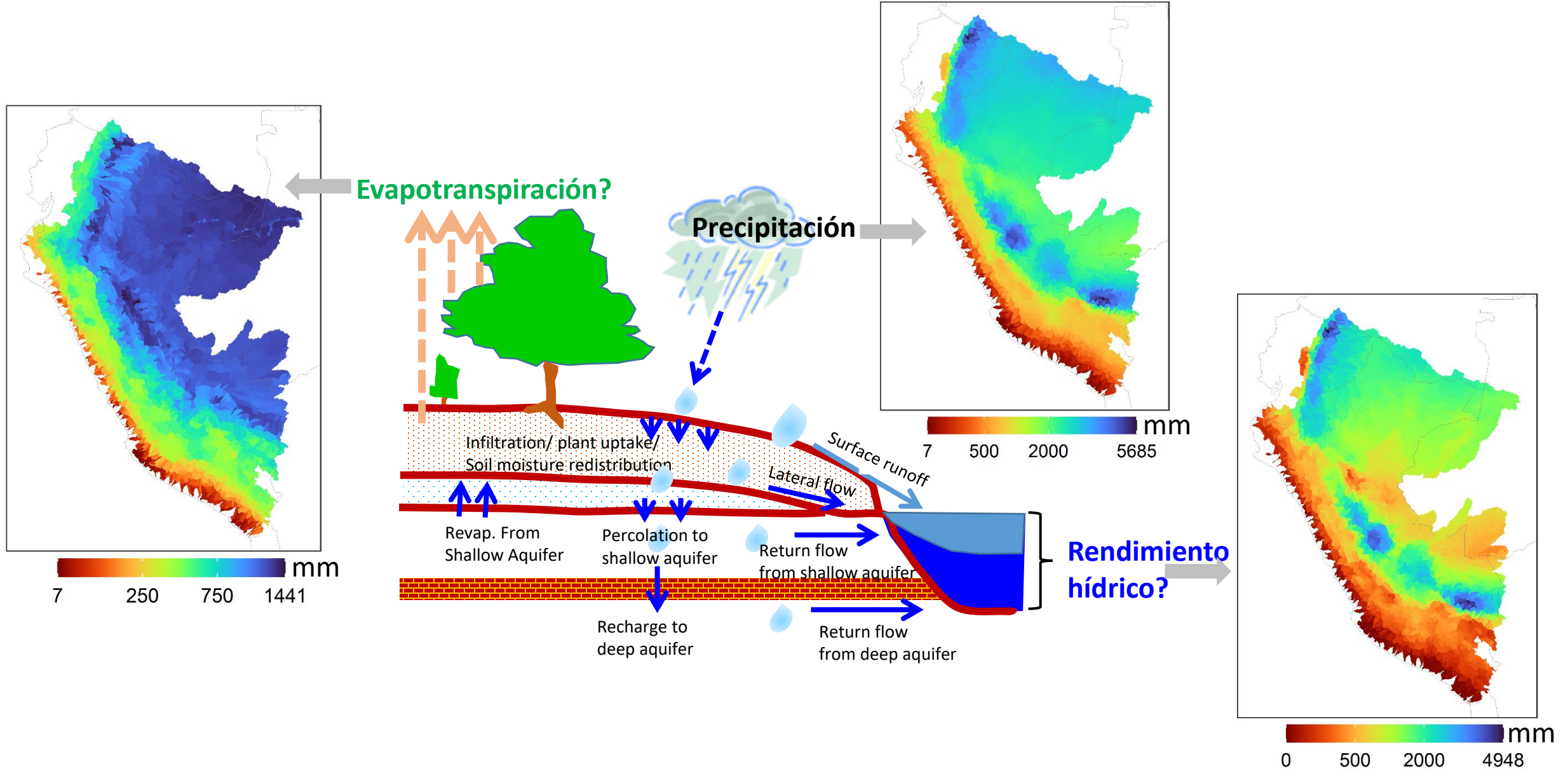
Porcentaje de bias (%)



Los valores de PBIAS entre -10 y 10 que se muestran en puntos verdes indican un buen desempeño del modelo para lograr el cierre del balance hídrico

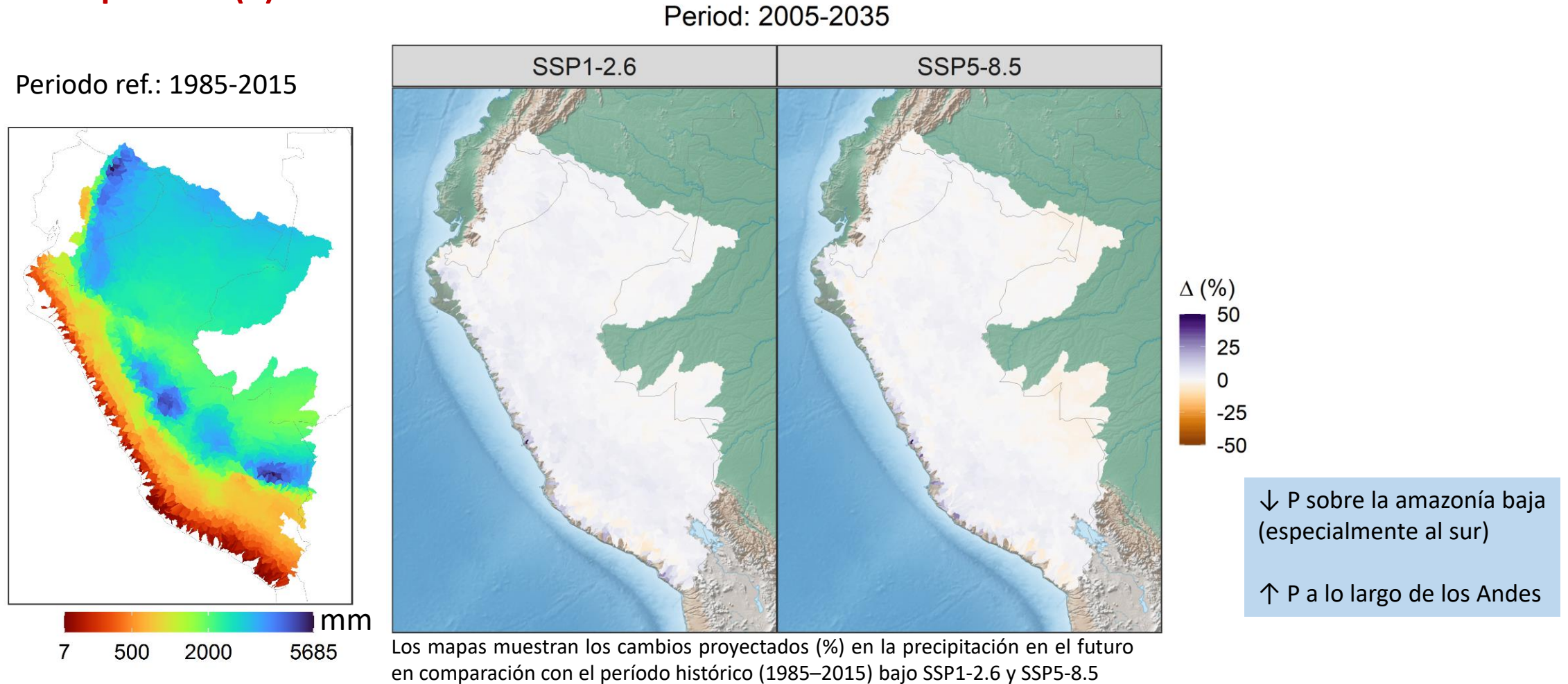


Variabilidad espacial de los componentes del balance hídrico (1985-2015)



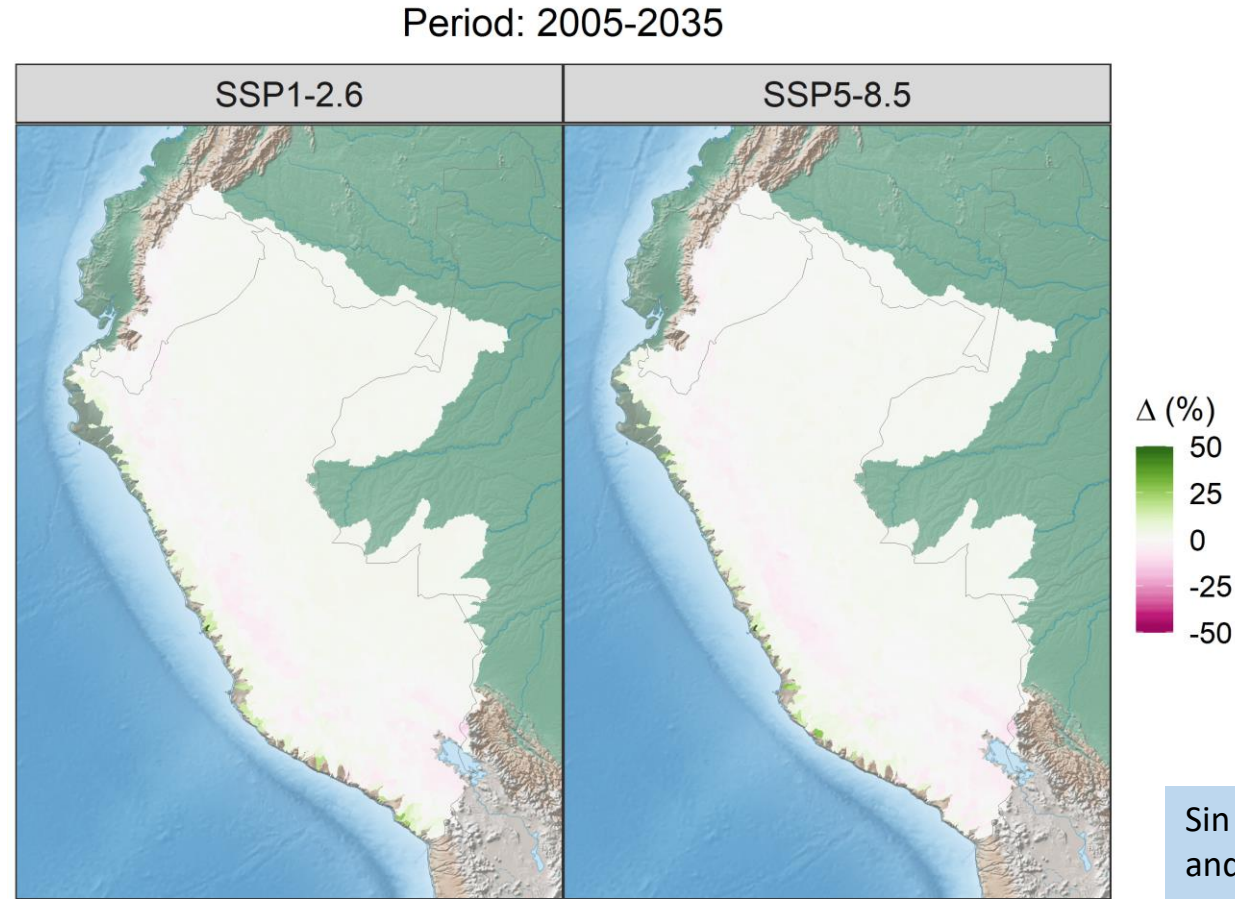
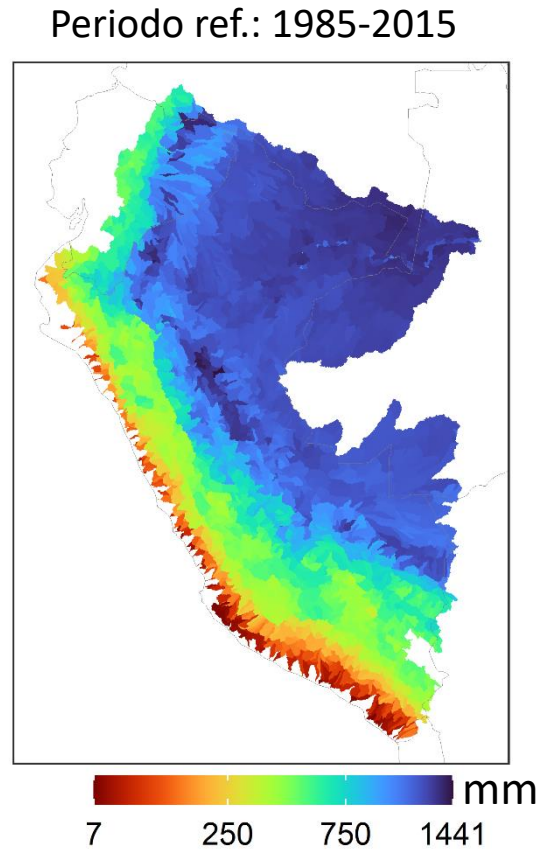
Cambios proyectados en los componentes del balance hídrico bajo los escenarios del cambio climático

Precipitación (P)



Cambios proyectados en los componentes del balance hídrico bajo los escenarios del cambio climático

Evapotranspiración (ET)



Los mapas muestran los cambios proyectados (%) en la evapotranspiración en el futuro en comparación con el período histórico (1985–2015) bajo SSP1-2.6 y SSP5-8.5

Sin cambios en la ET sobre cuencas andinas

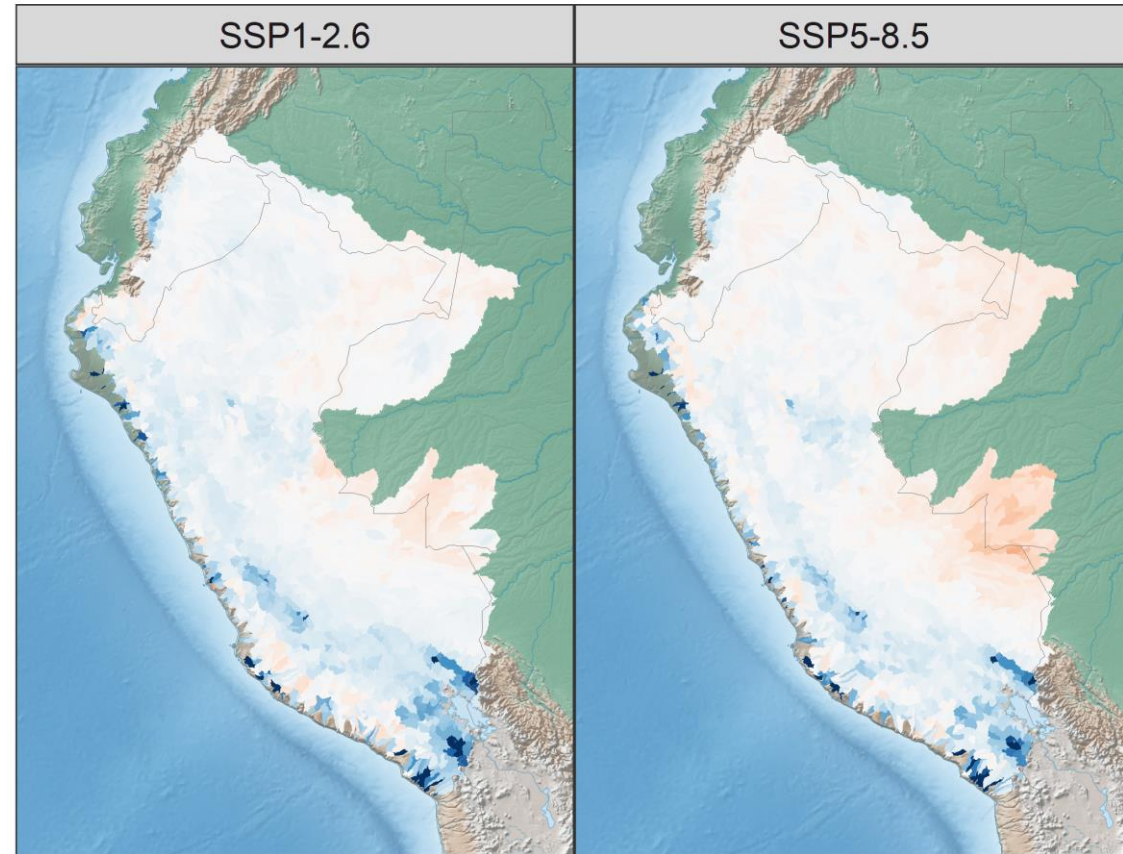
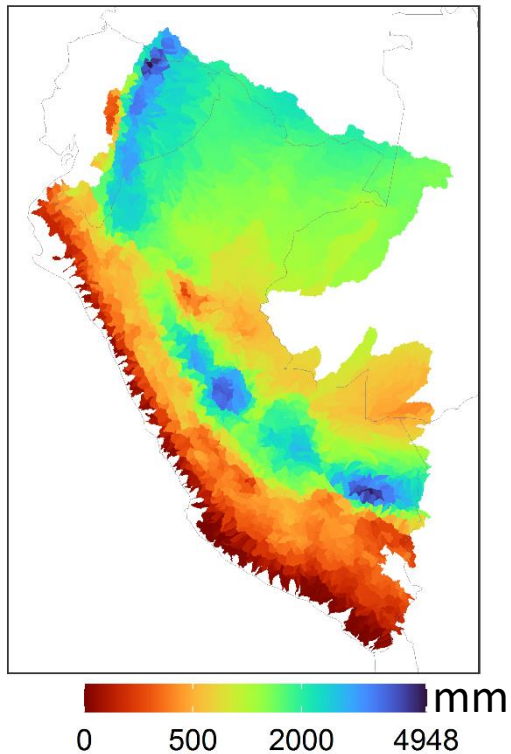
↑ ET sobre la amazonía baja y las zonas costeras áridas

Cambios proyectados en los componentes del balance hídrico bajo los escenarios del cambio climático

Rendimiento hídrico (RH)

Period: 2005-2035

Periodo ref.: 1985-2015



Los mapas muestran los cambios proyectados (%) en el rendimiento hídrico en el futuro en comparación con el período histórico (1985–2015) bajo SSP1-2.6 y SSP5-8.5

↓ RH sobre la amazonía baja (especialmente al sur)

↑ RH a lo largo de las cuencas andinas

Conclusiones

- Por primera vez, realizamos un análisis de los componentes del balance hídrico a nivel nacional en Perú
- Las proyecciones muestran una menor disponibilidad de agua en las cuencas amazónicas bajas y una mayor disponibilidad de agua a lo largo de las cuencas andinas en el futuro
- Los resultados de nuestra investigación hidro-climática pueden ser de utilidad en la planificación de una gestión adecuada de los recursos hídricos.

Medición de caudal de la cuenca del río Amazonas en la estación Tamshiyacu

2019-06-06



GRACIAS