

“Cambios en la circulación atmosférica asociados a las precipitaciones en los Andes tropicales bajo escenarios de cambio climático y de usos de suelo ”

Jhoana Agudelo Rendón

Directores: Clementine Junquas, Paola A. Arias y Jhan Carlo Espinoza

Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

jhoana.agudelo@gmail.com



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

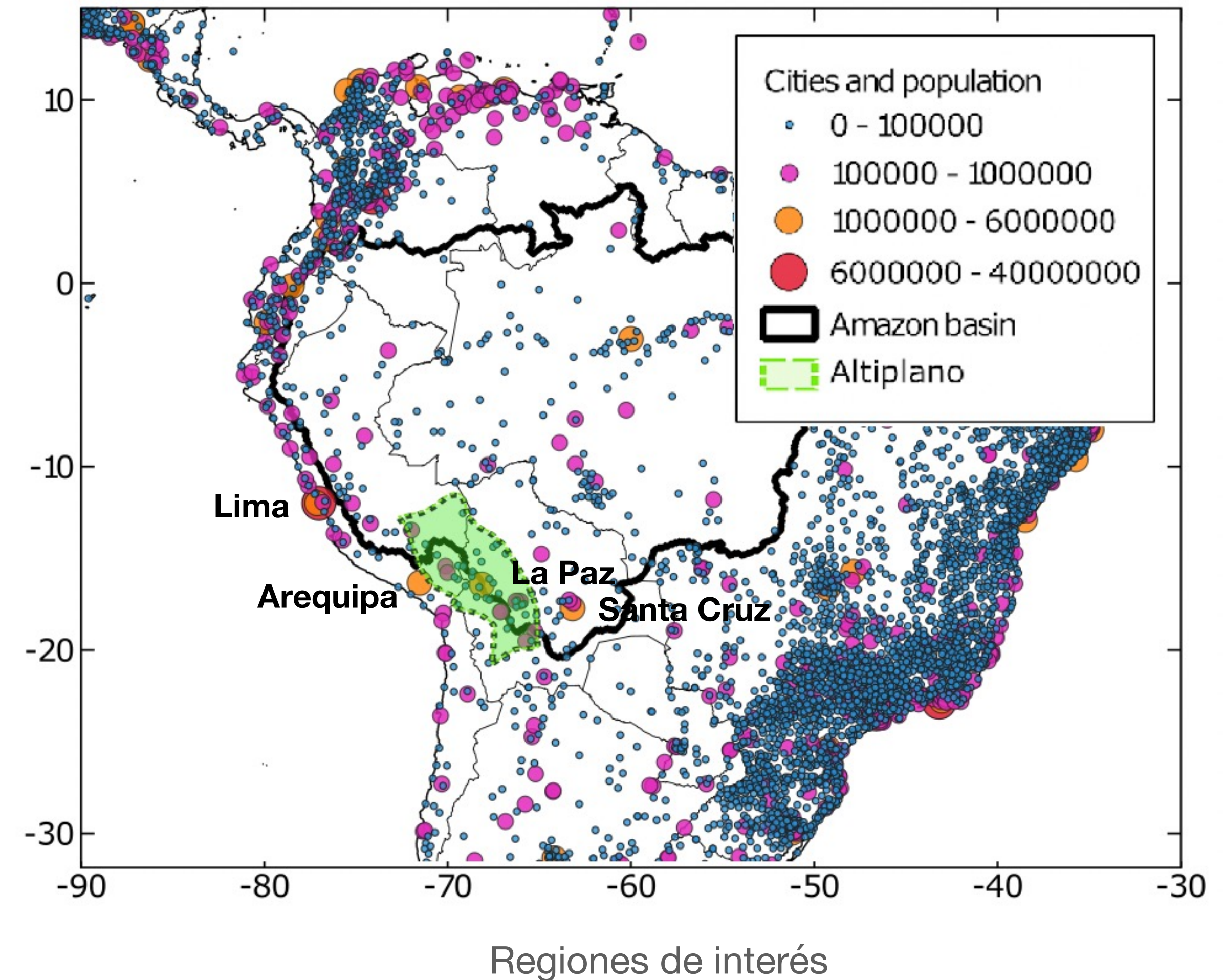


Introducción

Región de interés

- El Altiplano y la region de transición entre los Andes y la Amazonia fueron seleccionadas como regiones de interés.
- Presencia de poblaciones especialmente vulnerables.
- Altiplano: el acceso a los recursos hídricos depende fuertemente de la precipitación local.

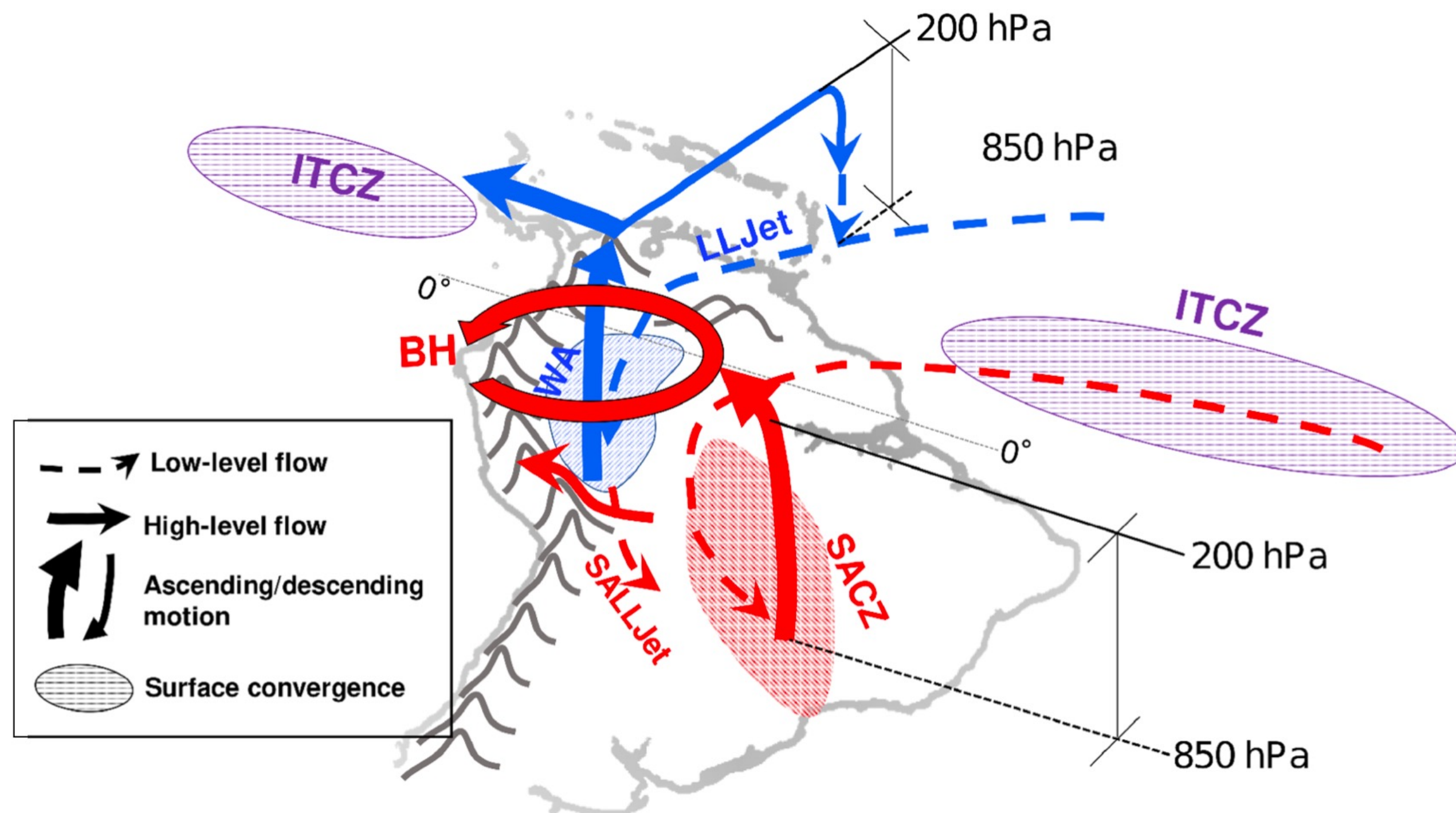
El cambio climatico incrementa la ocurrencia de eventos extremos, amenazando el acceso al agua y la seguridad alimentaria.



Introducción

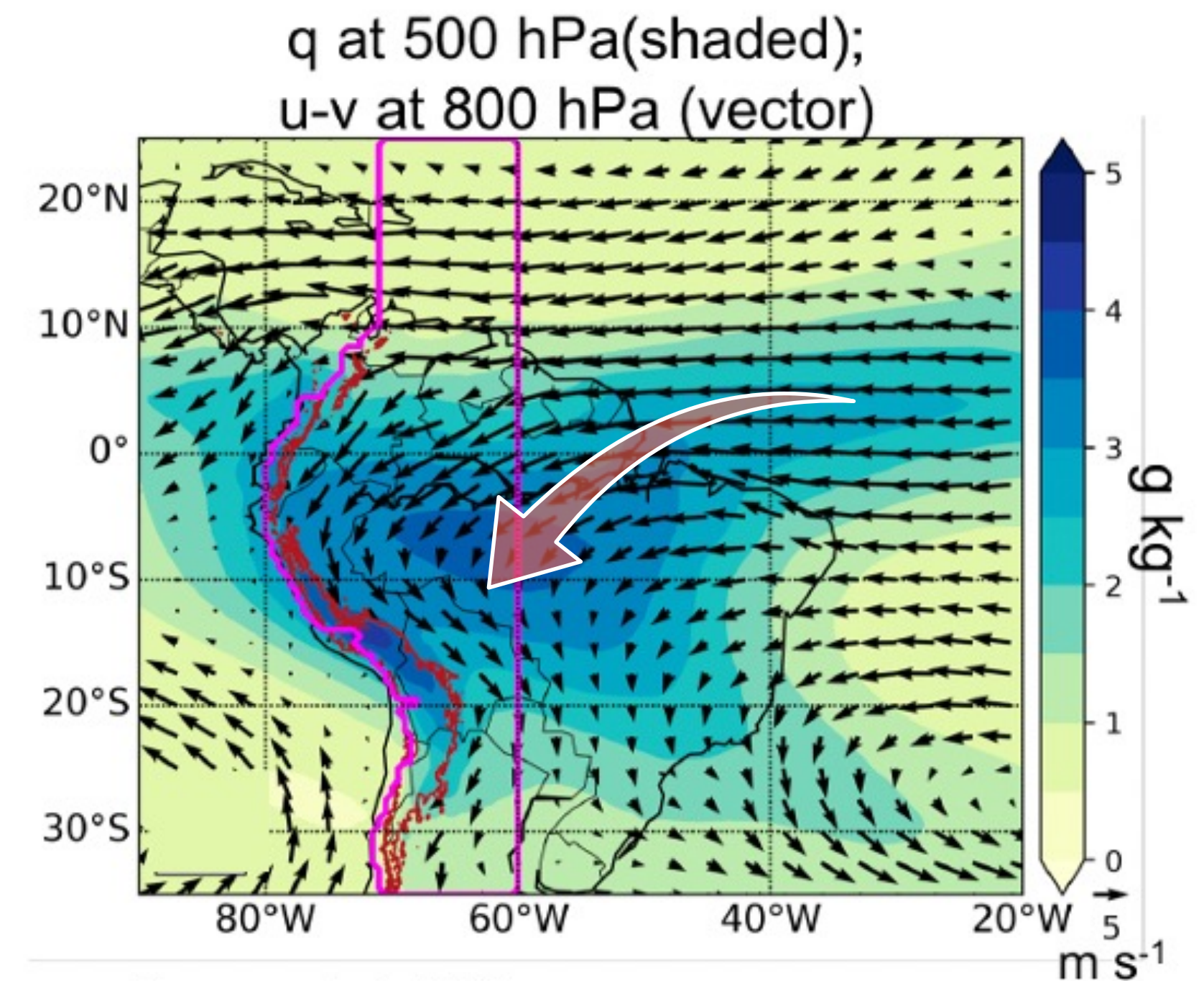
Procesos atmosféricos

Los procesos convectivos son importantes para la generación de lluvia en el sur de los Andes tropicales y la región del Altiplano



Schematic representation of the two atmospheric mechanisms controlling the December–February (DJF) precipitation over the southern tropical Andes

Segura et al. 2020



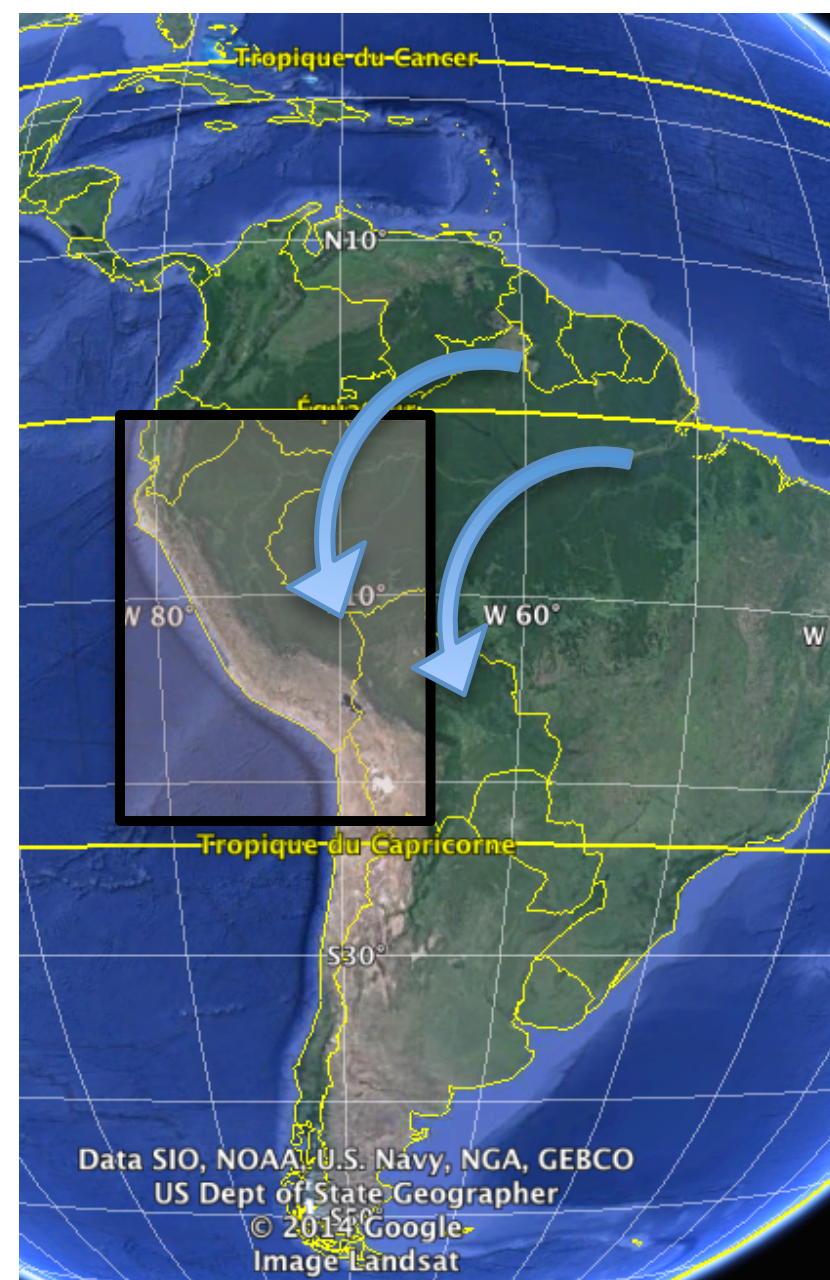
Climatology of specific humidity (q) at 500 hPa (shaded; g kg⁻¹) and horizontal winds at 800 hPa

Introducción

Andes tropicales

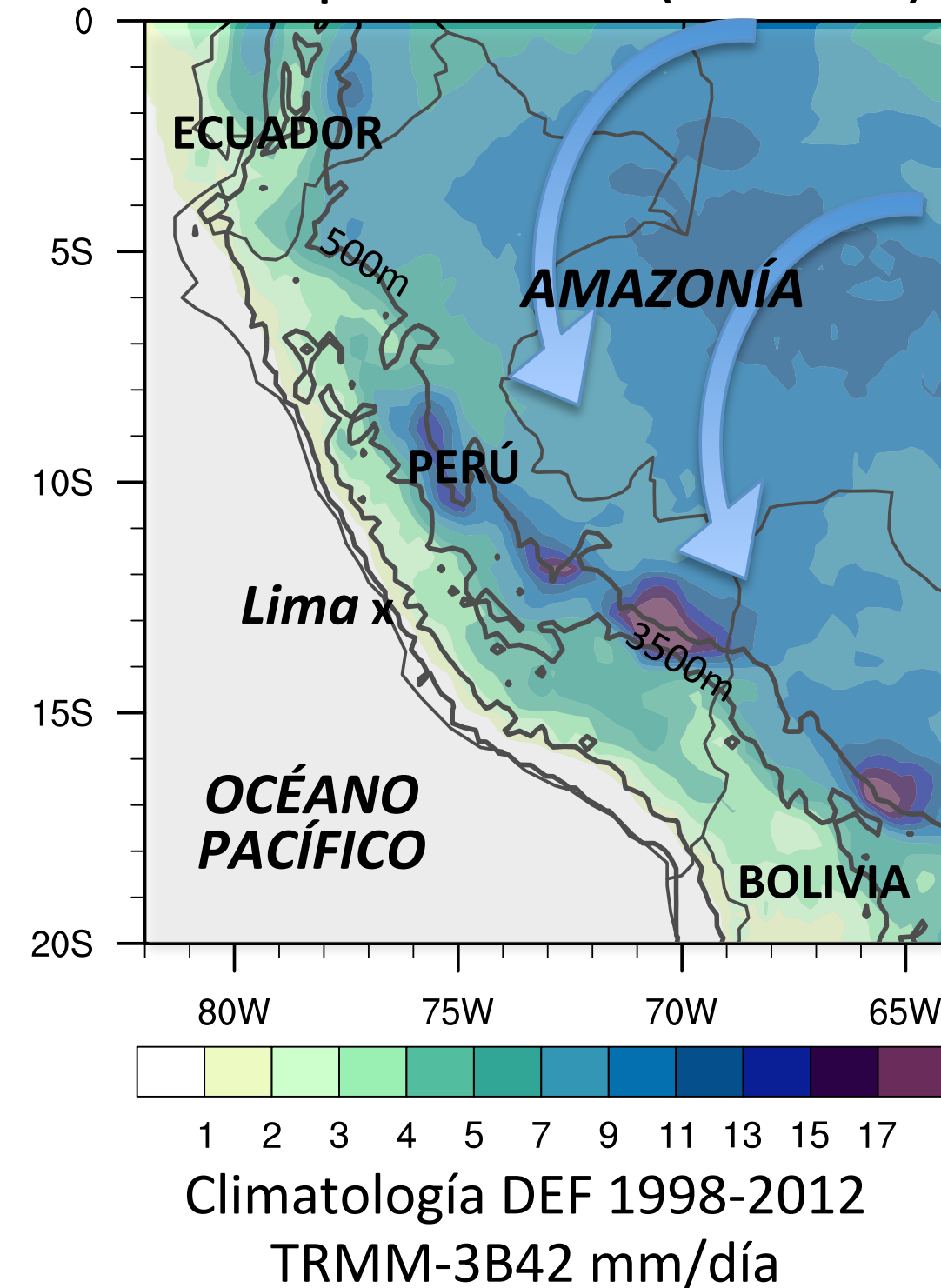
Cordillera de los Andes → Alta variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones

Transporte de humedad: → Atlántico tropical + reciclaje en la Amazonía



→ Transporte de humedad

Precipitaciones (satelite)



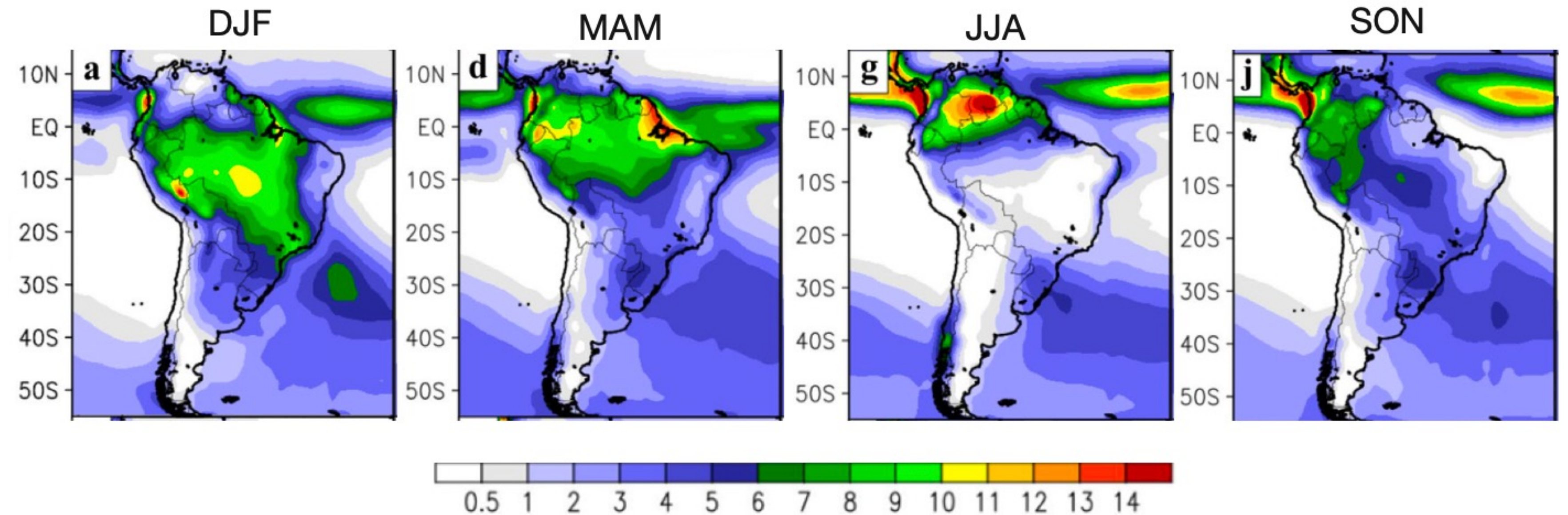
Fuerte gradiente climático entre el Altiplano y la Amazonía

Presencia del Hotspots de precipitación

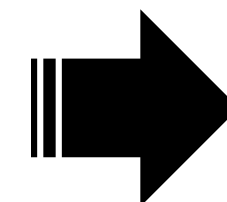
Introducción

Precipitación en la región

Precipitación promedio para cada temporada (mm/día).
Información proveniente de PERSIANN para el periodo 1985-2010.



- Recarga de acuíferos en el Altiplano durante los meses de Lluvia.
- Abastecimiento de agua para la población y ecosistemas durante los periodos mas secos.



Afectaciones en la precipitación durante estos meses, puede afectar procesos ecosistémicos y sociales que se desarrollan en estos lugares.

Introducción

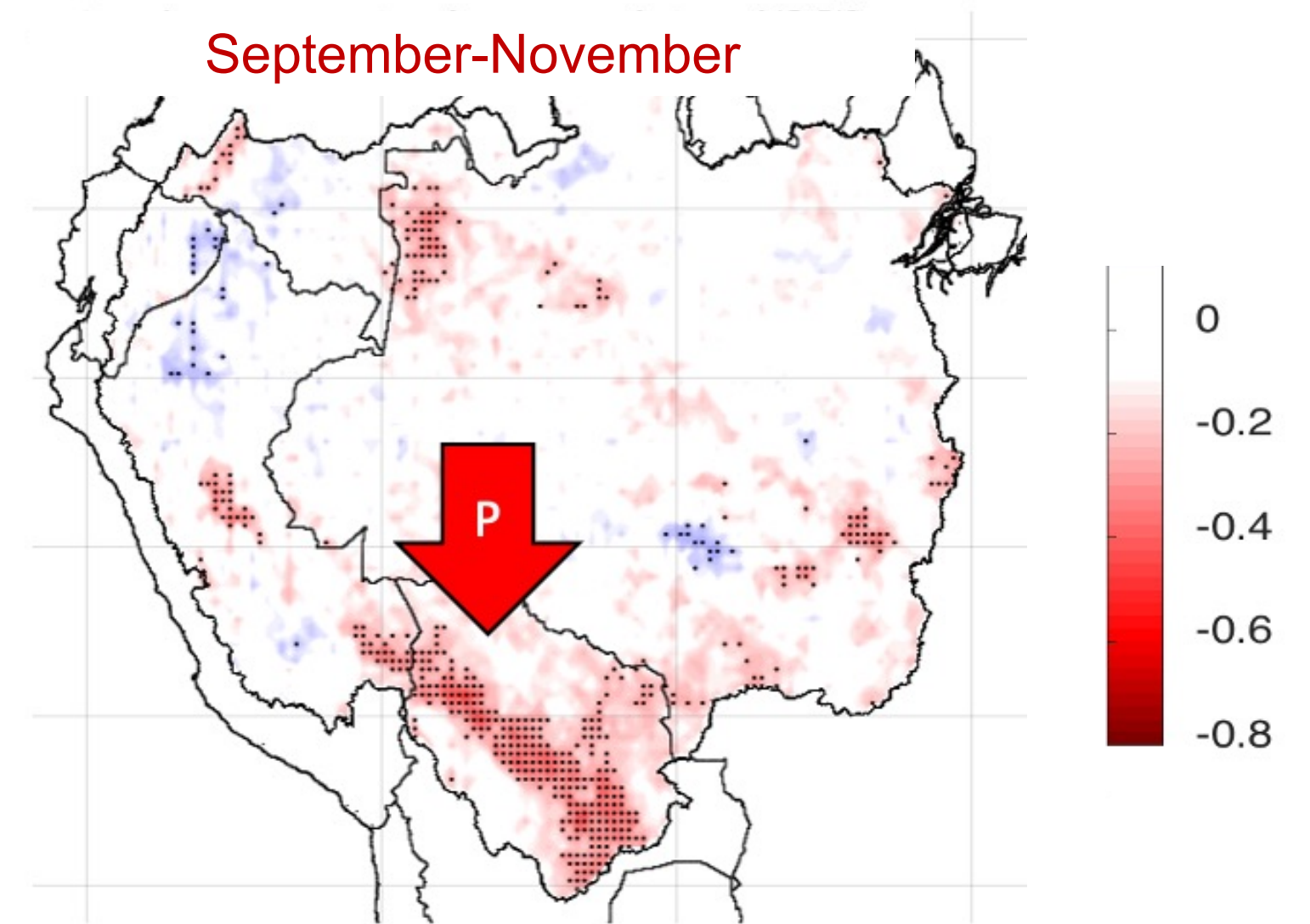
Tendencias de precipitación

- Espinoza et al. (2019) analiza la evolución de la intensidad de las precipitaciones estacionales en la cuenca amazónica
- Durante: 1981–2017

Las precipitaciones totales muestran una disminución significativa estimada en un 18% en el sur de la Amazonia

Rainfall trend

September-November

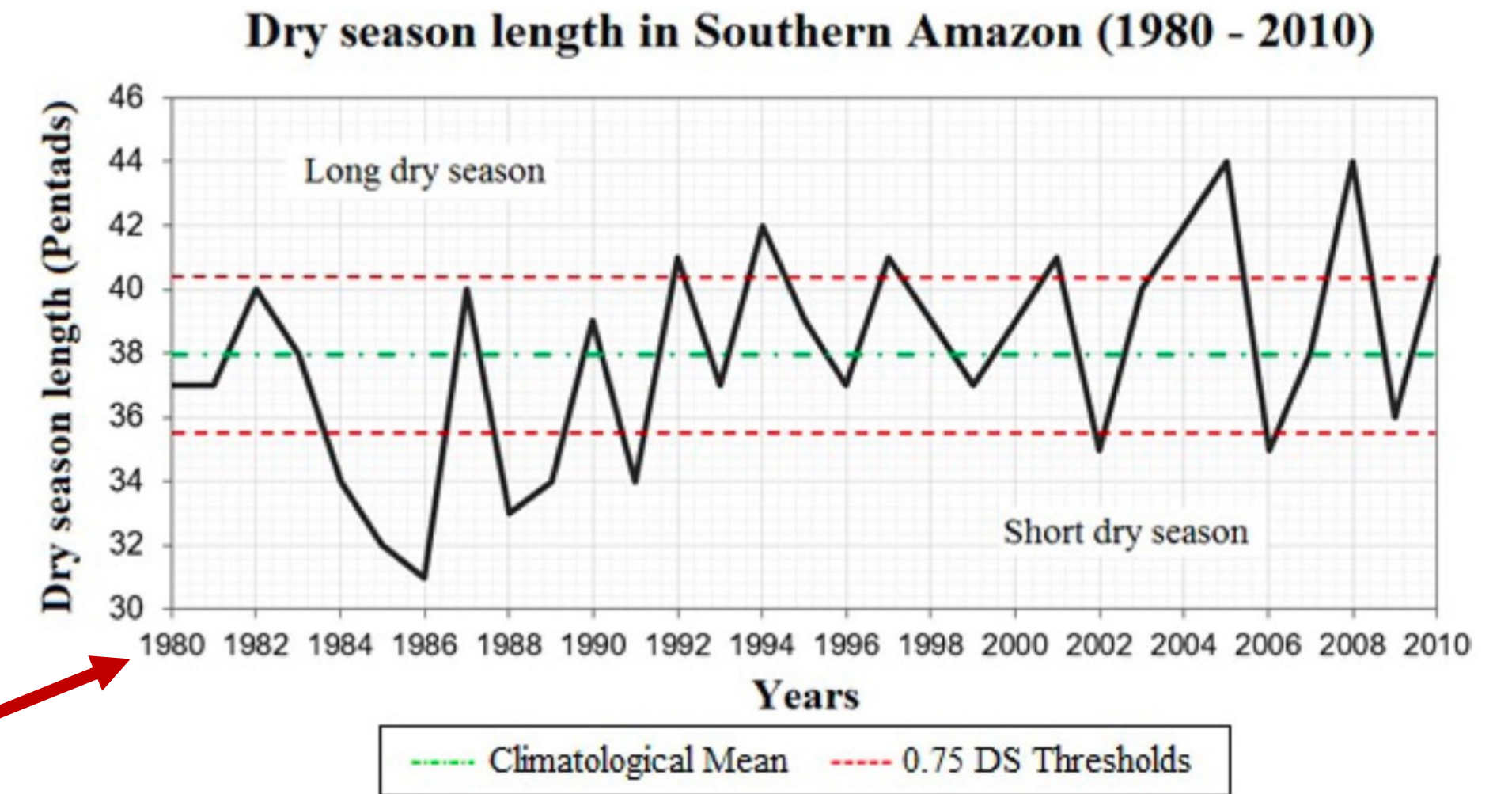
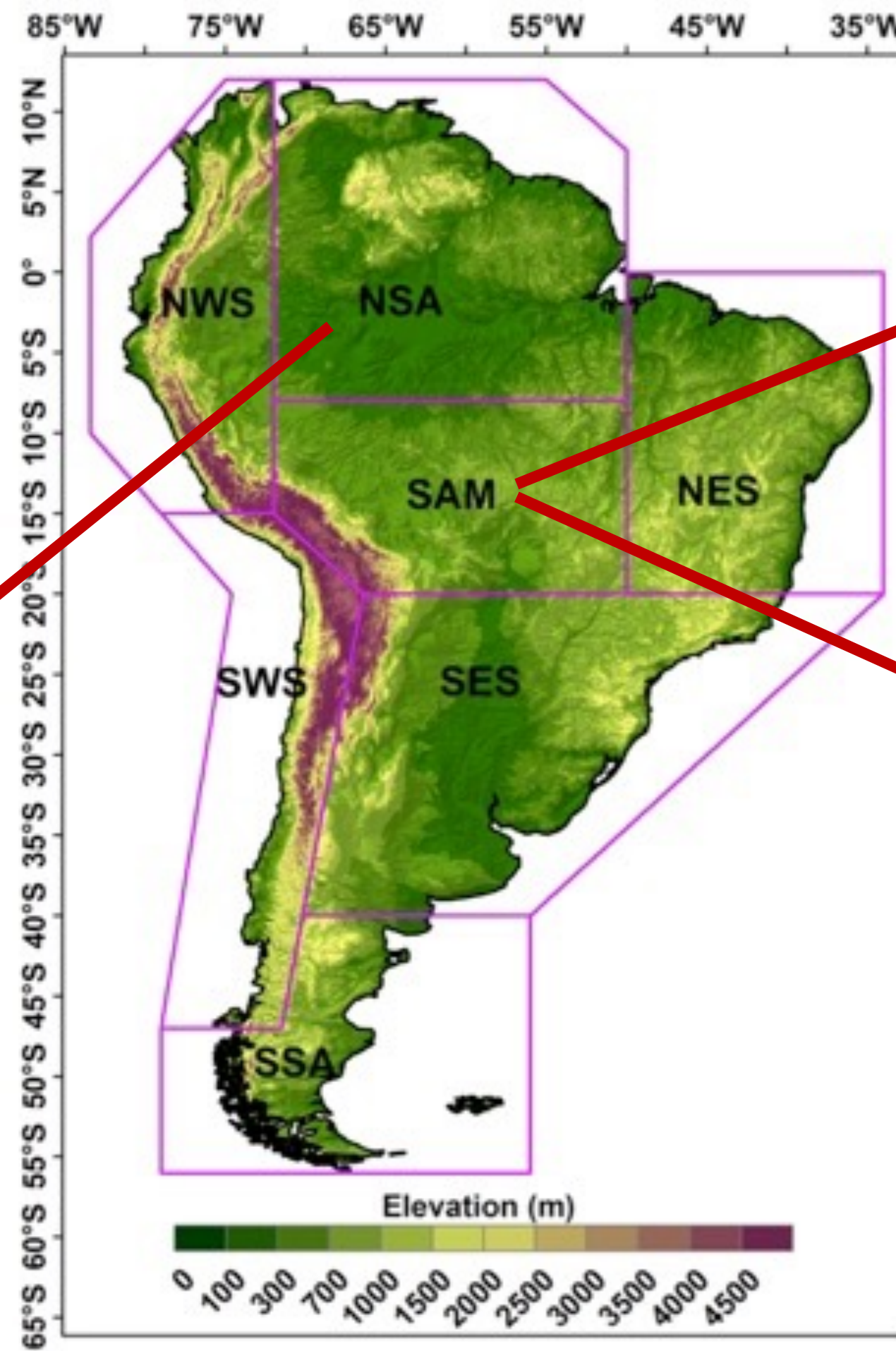


Spatial distribution of Kendall coefficient values ($p < 0.05$ are indicated with a dark dot) for the 1981-2017 (a) March–May rainfall trend. (b) September–November.

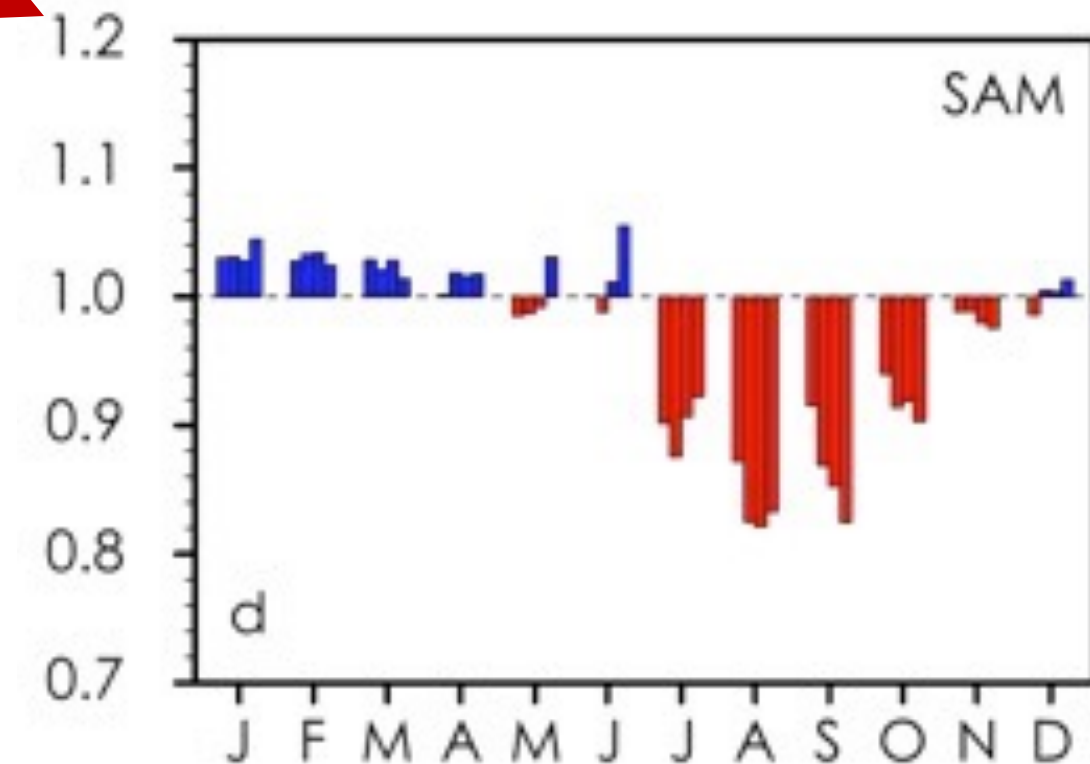
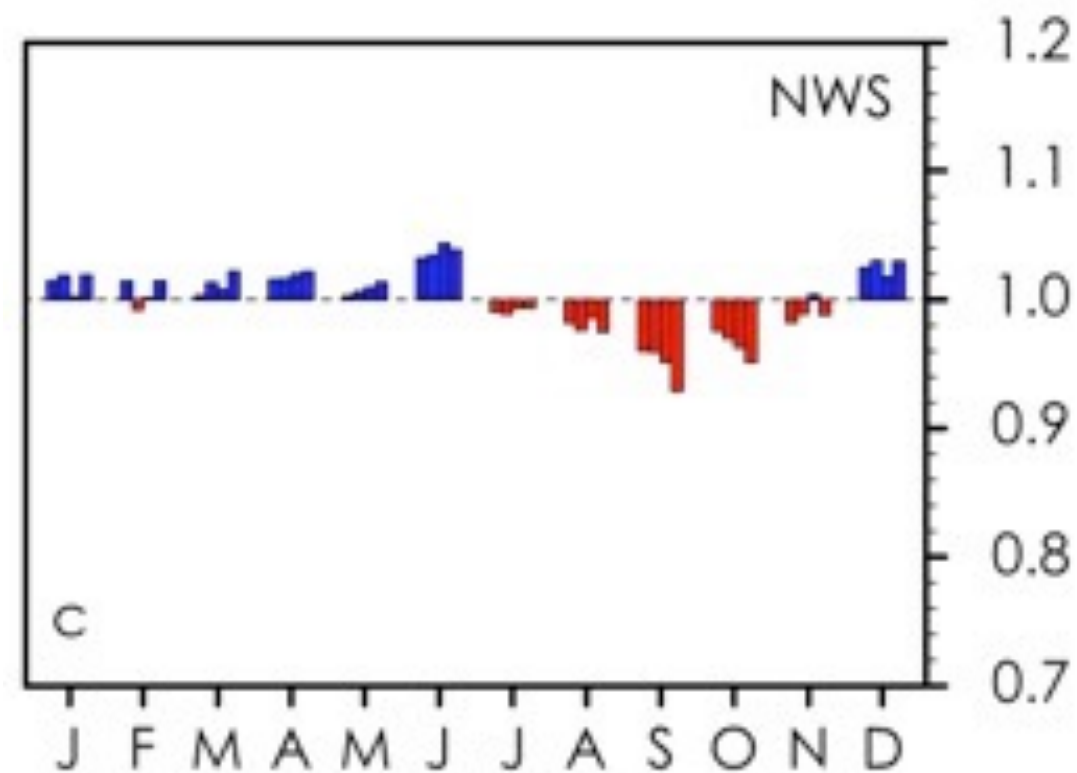
Alargamiento de la temporada seca

La temporada seca en el sur de la Amazonia:

- Ha aumentado su duración desde 1979.
- Está acompañada de la temporada de incendios.
- Limitaciones climáticas importantes para el mantenimiento de los bosques tropicales

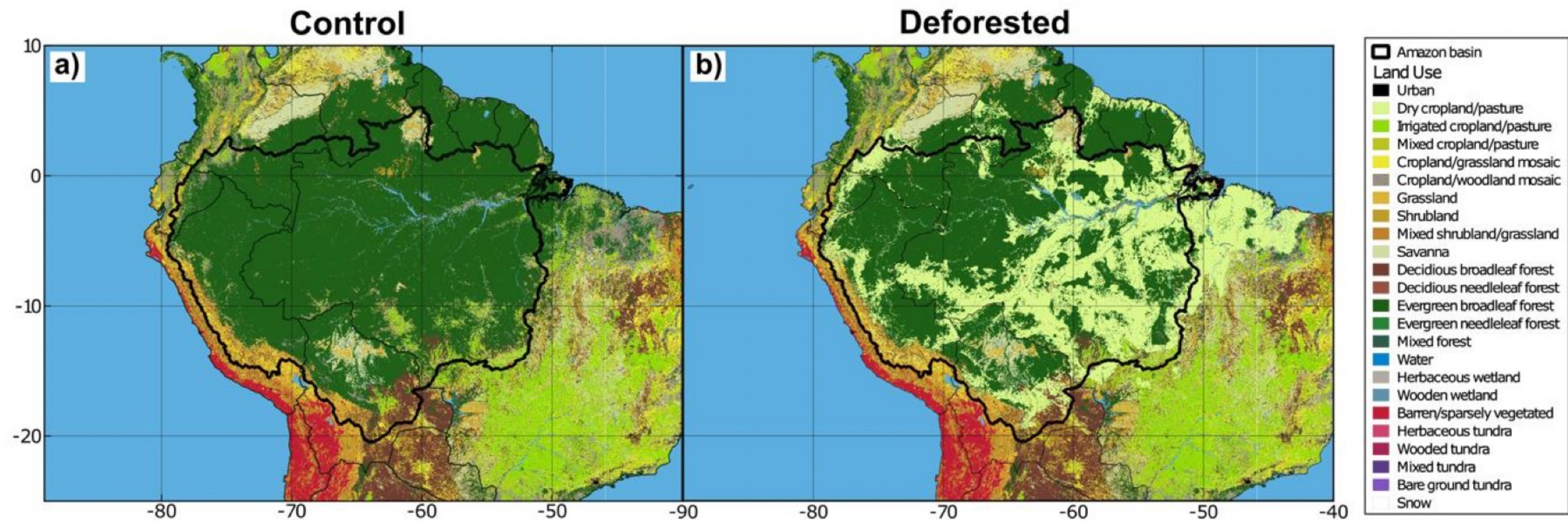


Length of the dry season in the southern Amazon during the period 1980–2010 obtained from CDC-SA24 data.

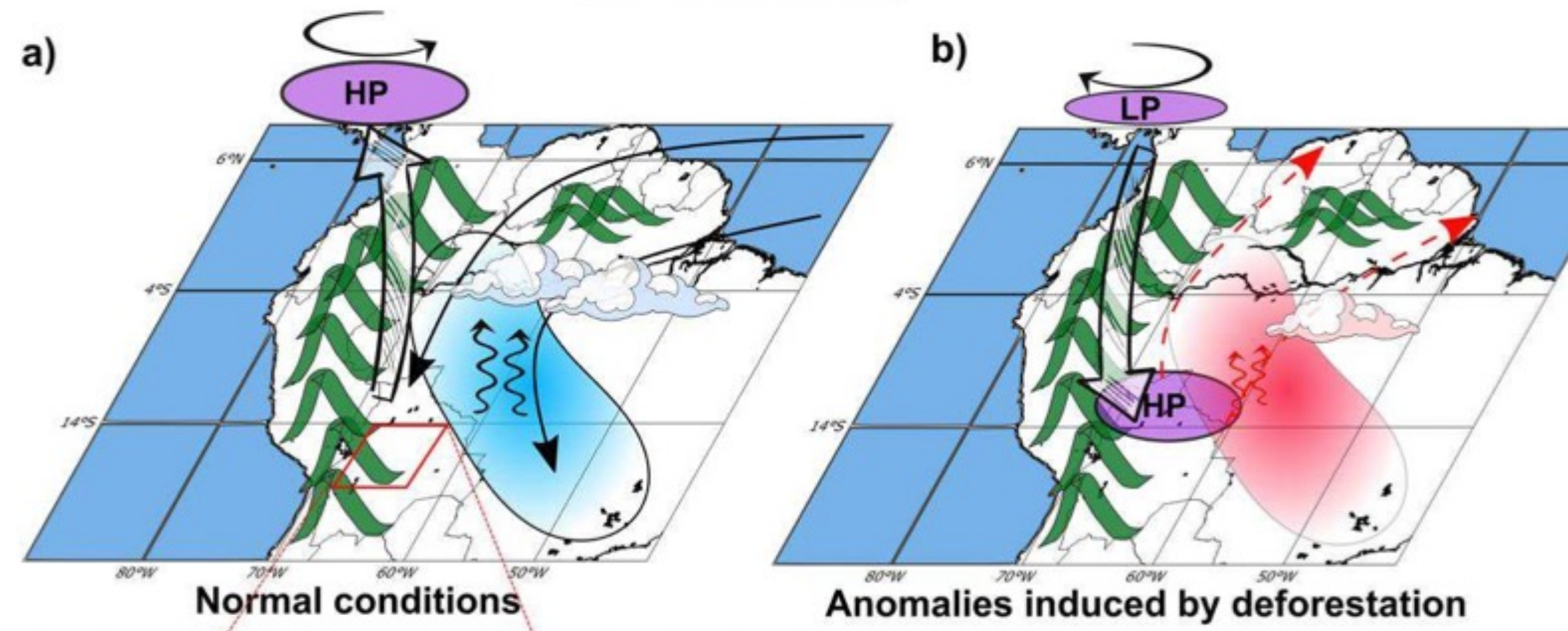


Changes in Monthly Precipitation Fraction w.r.t Annual Total (2040-2059)

Escenario de deforestación



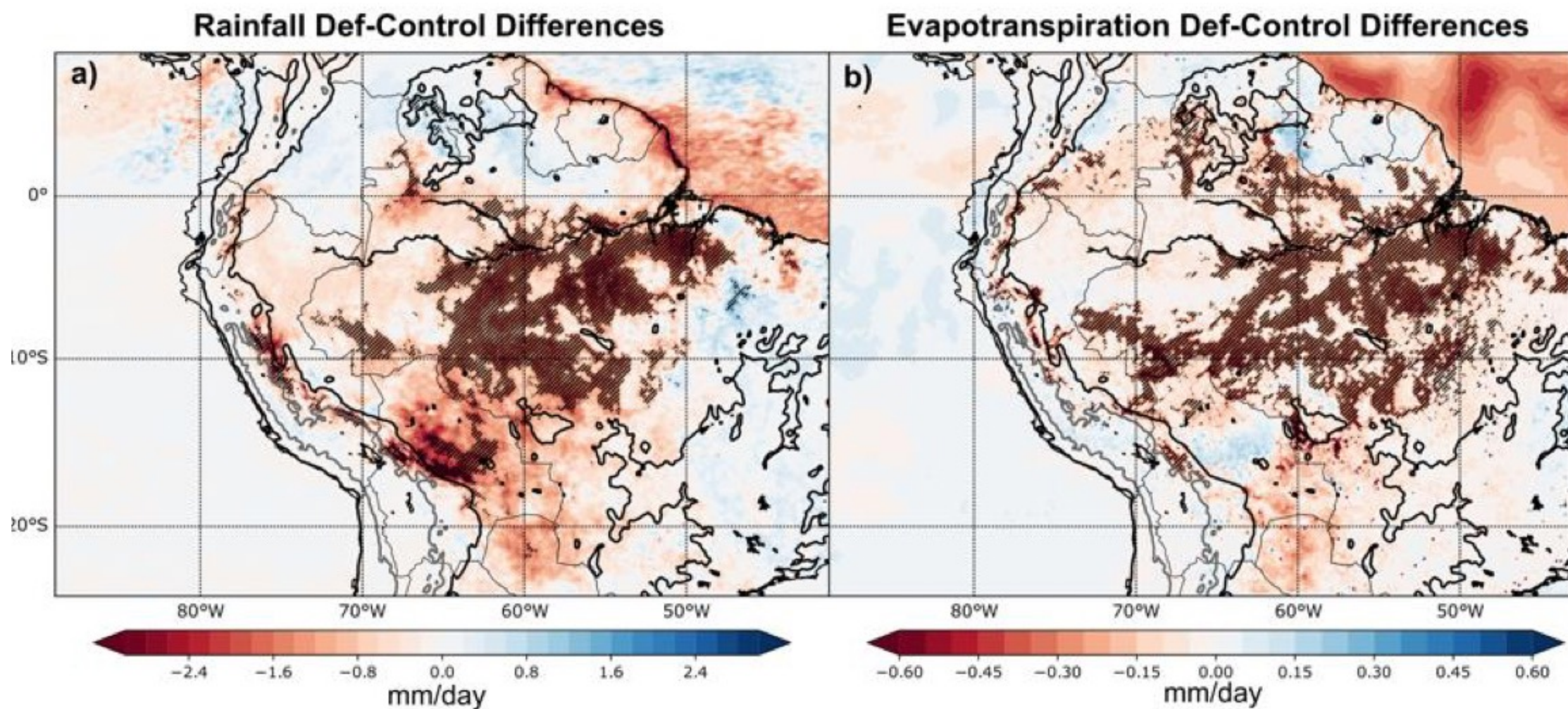
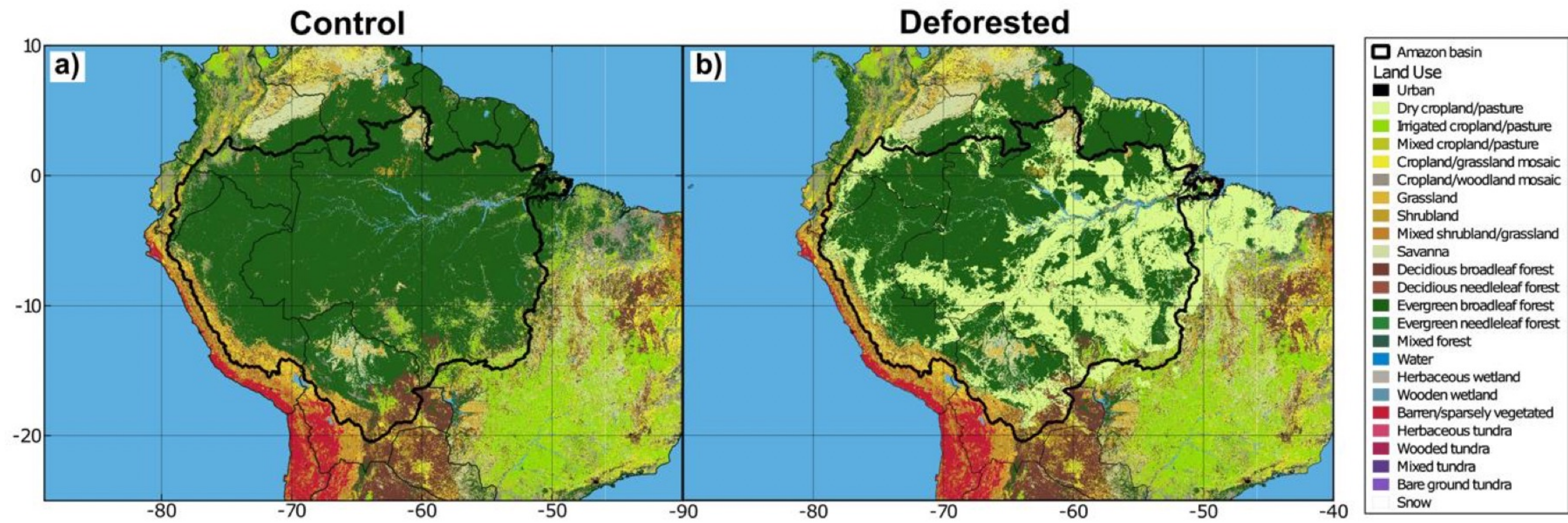
Regional Scale



- La deforestación debilita la Convergencia sobre el oeste de la Amazonía.
- SALLJ es más débil en condiciones de deforestación.

Sierra et al 2021

Escenario de deforestación



- Una reducción del 20% en las precipitaciones
- Grave afectación a la hidrología de la región.

Sierra et al 2021

Desafío

¿Cómo identificar futuras trayectorias hidroclimáticas en una región influenciada por procesos que se desarrollan simultáneamente en diferentes escalas?

- Escala global → Cambio climático
- Escala regional → Deforestación amazónica
- Escala local → Topografía compleja

Objetivo

Analizar el impacto del cambio climático en las proyecciones futuras de precipitaciones y circulaciones atmosféricas asociadas en el Altiplano, incluida la región de transición Andes-Amazonia.

Objetivos específicos

- Identificar los cambios proyectados de la circulación regional en SSAT bajo un escenario de cambio climático.
- Simulaciones de alta resolución → obtener una mejor comprensión de los cambios futuros proyectados en la precipitación y los mecanismos asociados en la región del Altiplano.
- Identificar futuras trayectorias hidroclimáticas en el Altiplano bajo un escenario de deforestación y cambio climático.

Objetivos específicos

- Identificar los cambios proyectados en el inicio de la temporada de lluvias.



Future projections of atmospheric circulation patterns over South Tropical South America: Impacts on precipitation and Amazon dry season length.

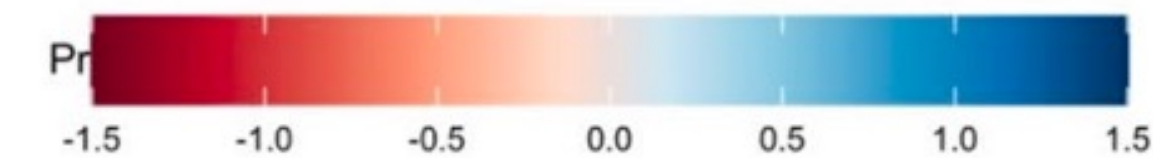
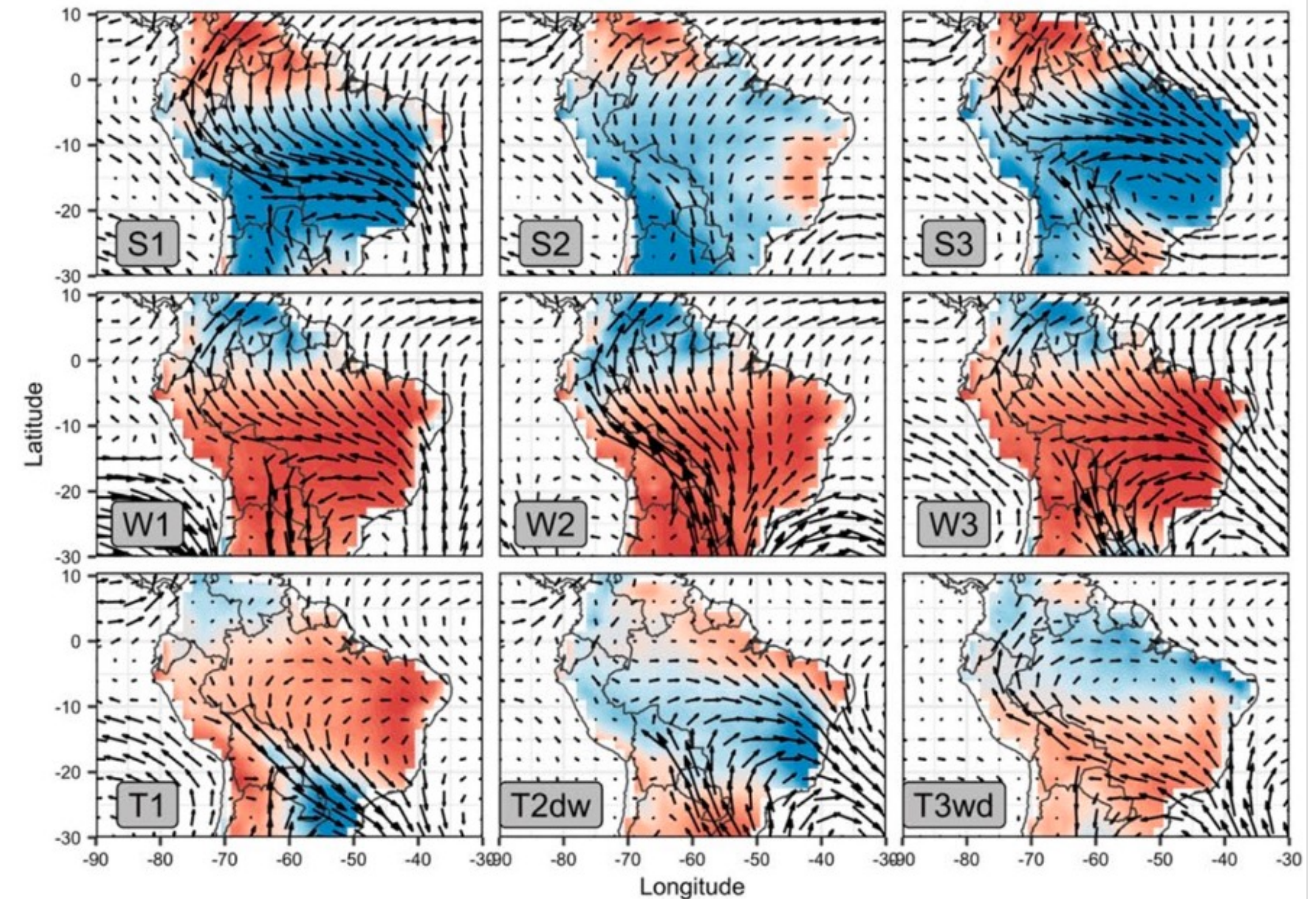
(Agudelo et al. submitted)

Metodología

Patrones de Circulación Atmosférica (Circulation Patterns)

- Anomalías estandarizadas de vientos a 850 hPa
- Técnica de EOF preservando al menos el 75% de la varianza total de los datos
- Análisis de cluster utilizando k-means (Wilks, 2019)

Espinoza et al. 2021

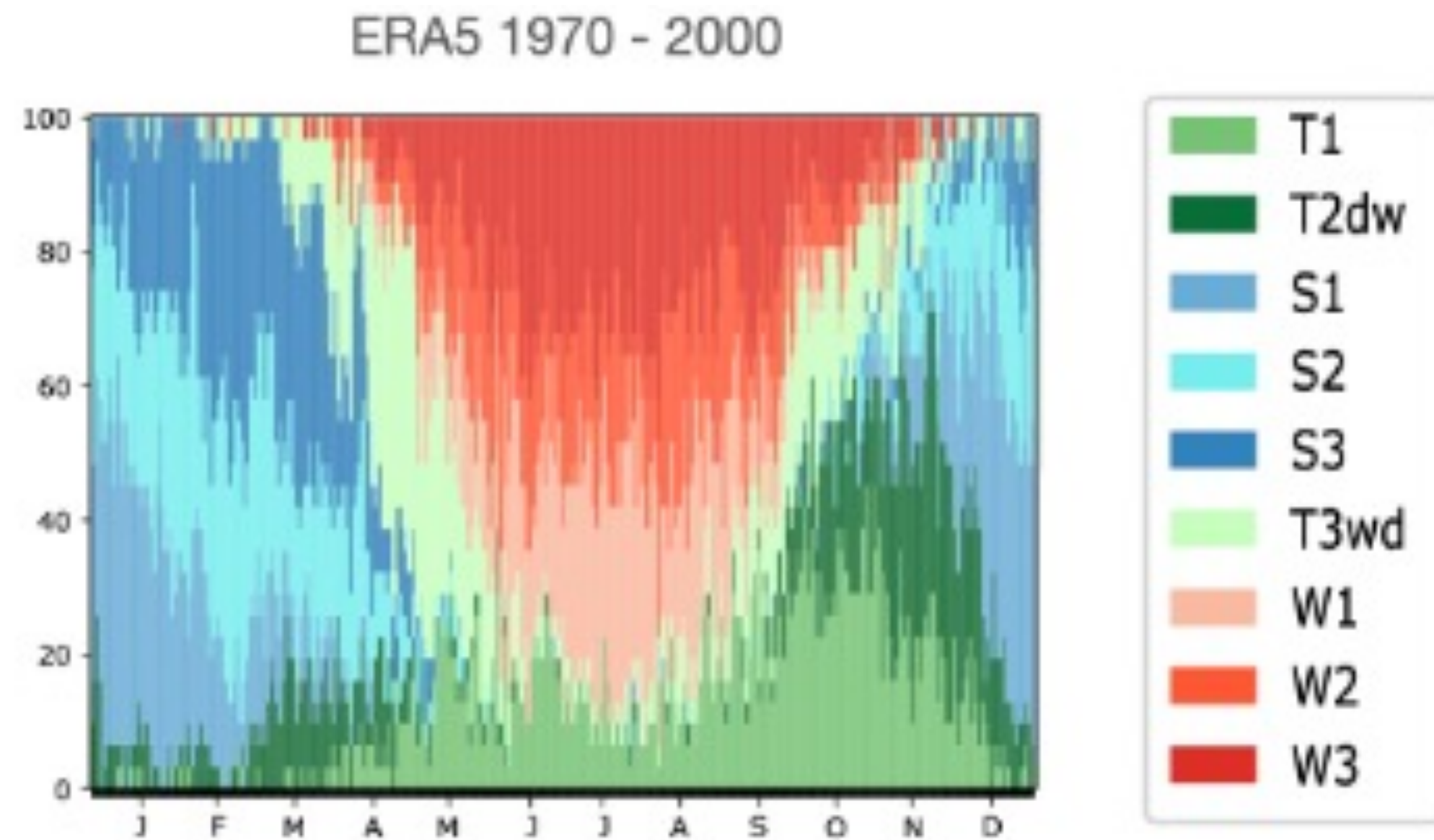


Spatial patterns of low-level wind and rainfall anomalies (in m/s and mm/day, respectively) for the nine circulation-patterns (CPs), as depicted by the ERA5. Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to (CHIRPS) rainfall anomalies.

Los CP pueden entenderse como estados preferidos del sistema climático regional.

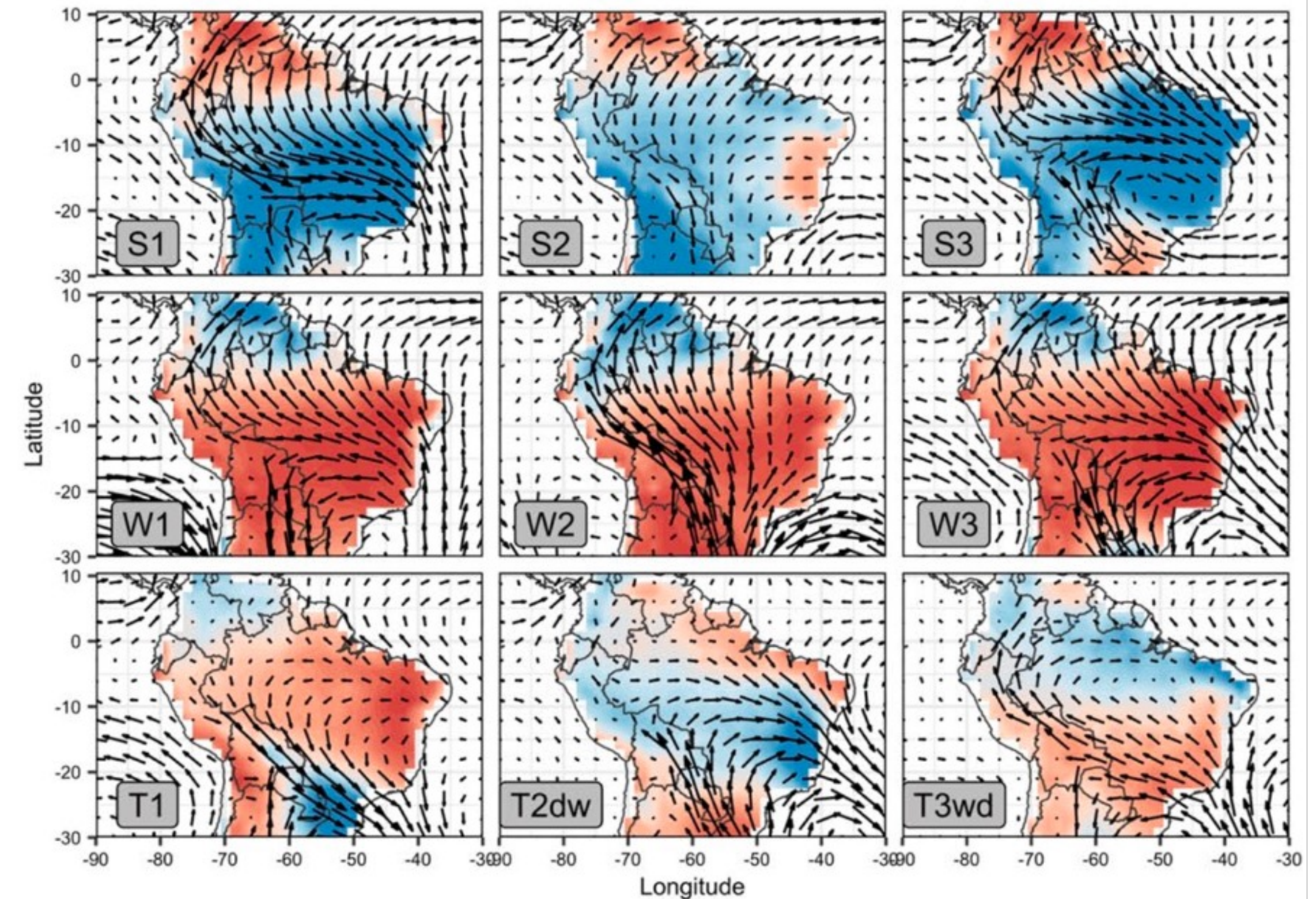
Metodología

Patrones de Cirulación Atmosférica (Circulation Patterns)



Ciclo estacional de los nueve CP según el reanálisis ERA5. El eje x muestra los 365 días del año, mientras que el eje y indica el promedio diario de la frecuencia relativa de cada CP.

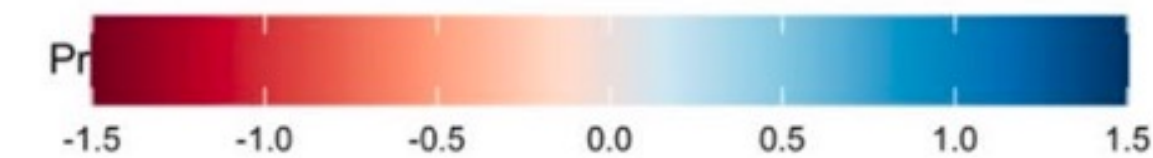
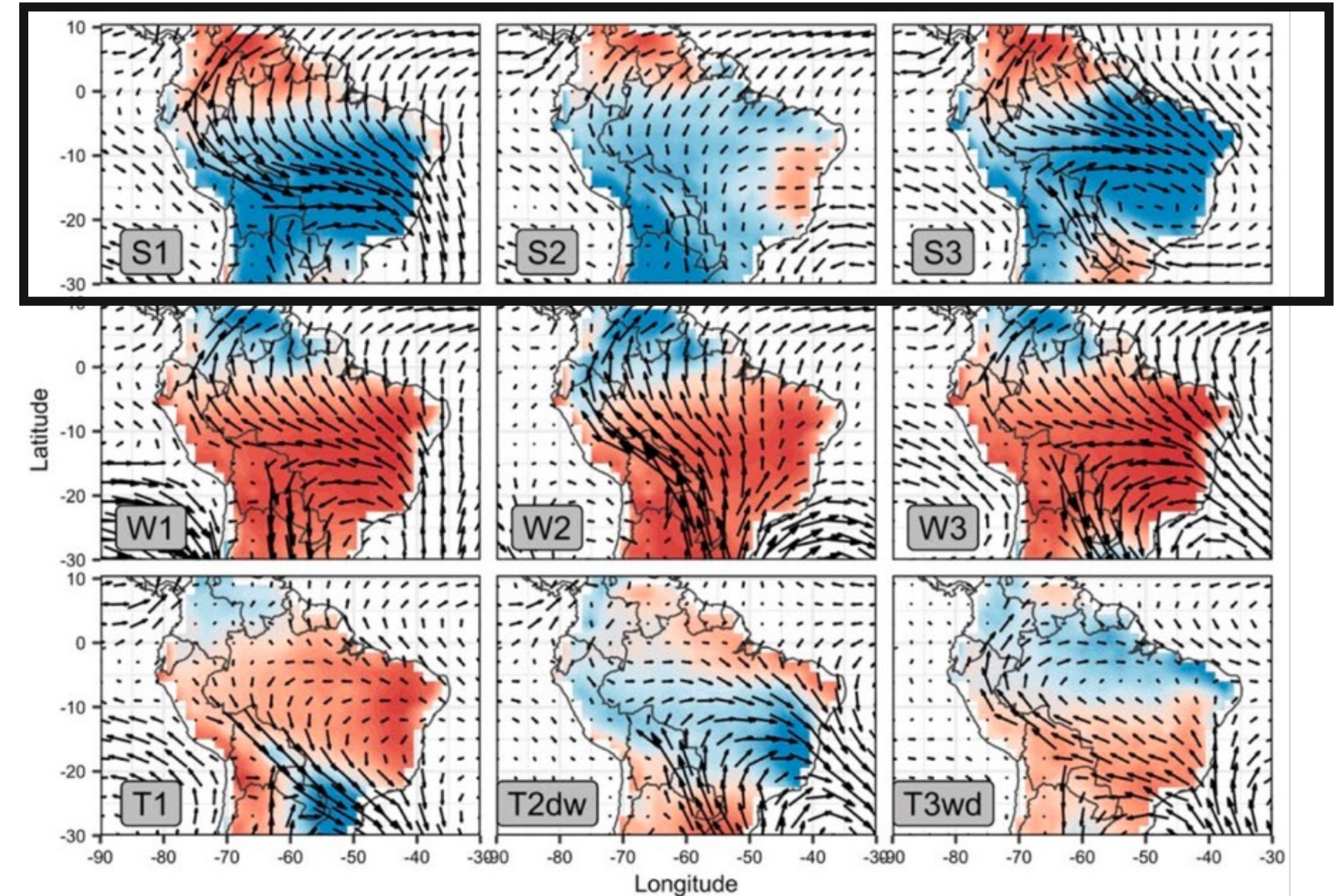
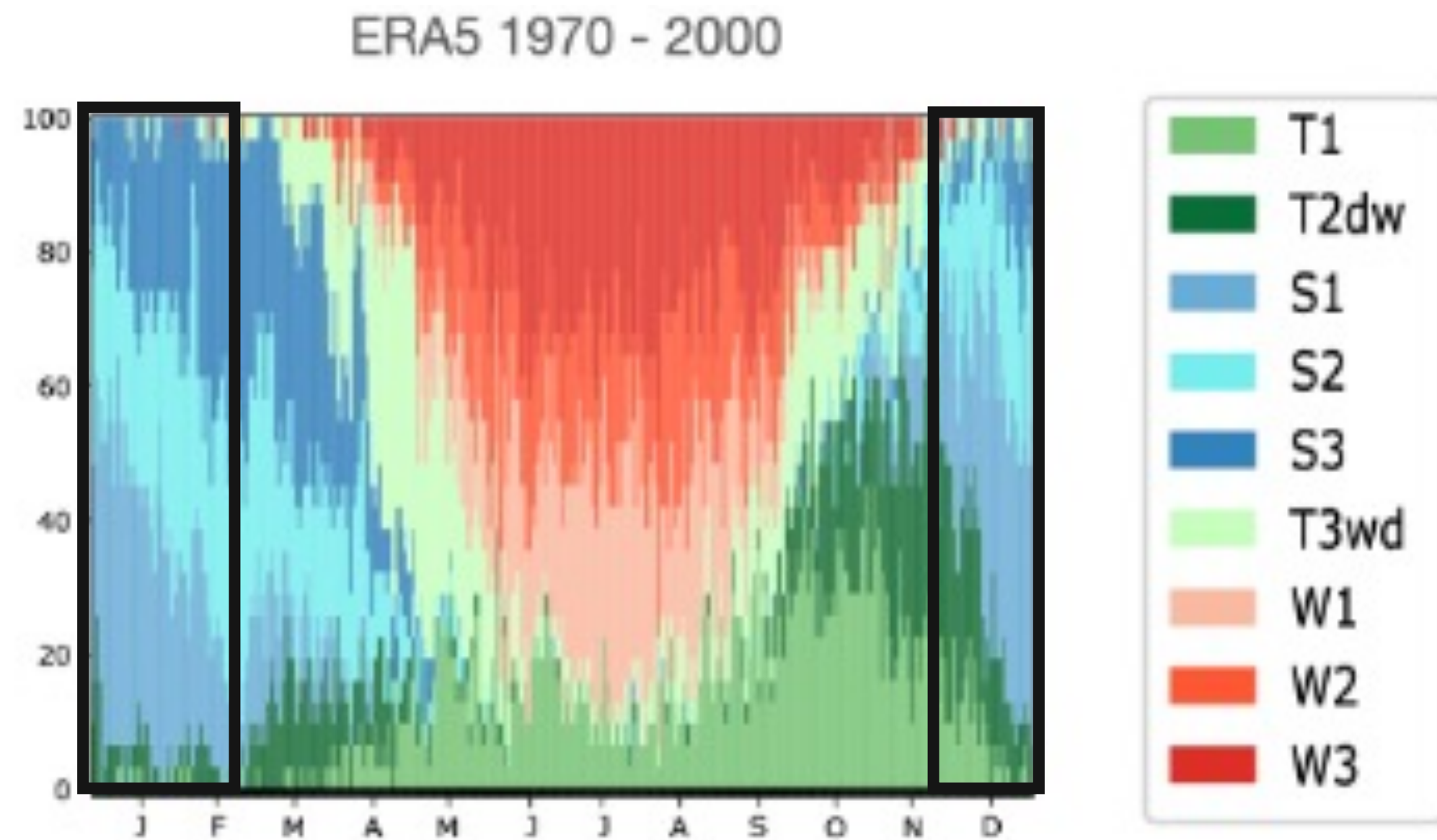
Los CP pueden entenderse como estados preferidos del sistema climático regional.



Spatial patterns of low-level wind and rainfall anomalies (in m/s and mm/day, respectively) for the nine circulation-patterns (CPs), as depicted by the ERA5. Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to (CHIRPS) rainfall anomalies.

Metodología

Patrones de Circulación Atmosférica (Circulation Patterns)

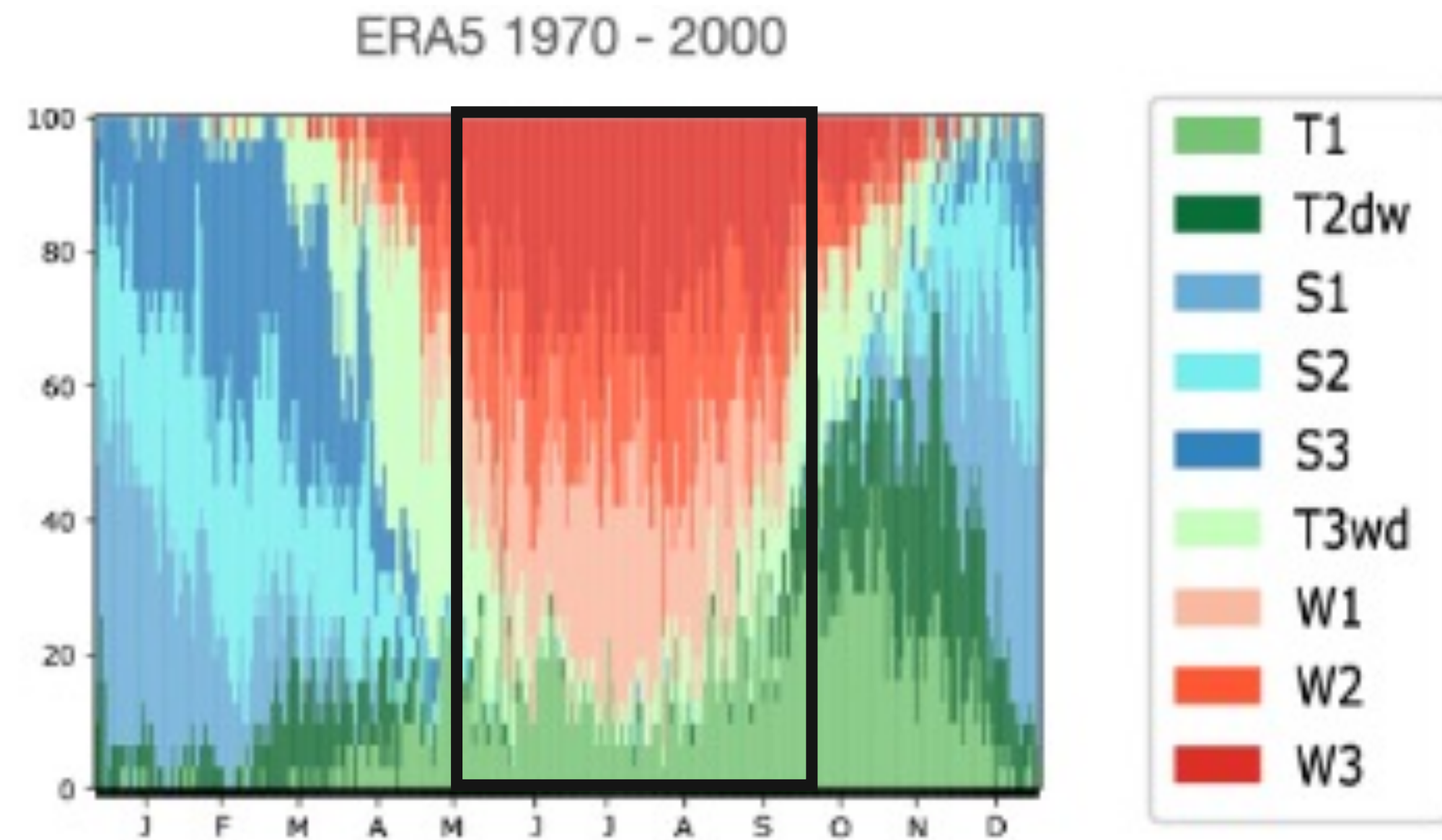


- Los principales CP de verano incluyen el dipolo de precipitación SESA-SACZ y la variabilidad de la propia SACZ.
- Régimen de vientos que atraviesan el ecuador en sentido norte-sur
- Fase madura del Monzón de Suramérica (SAMS)

Spatial patterns of low-level wind and rainfall anomalies (in m/s and mm/day, respectively) for the nine circulation-patterns (CPs), as depicted by the ERA5. Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to (CHIRPS) rainfall anomalies.

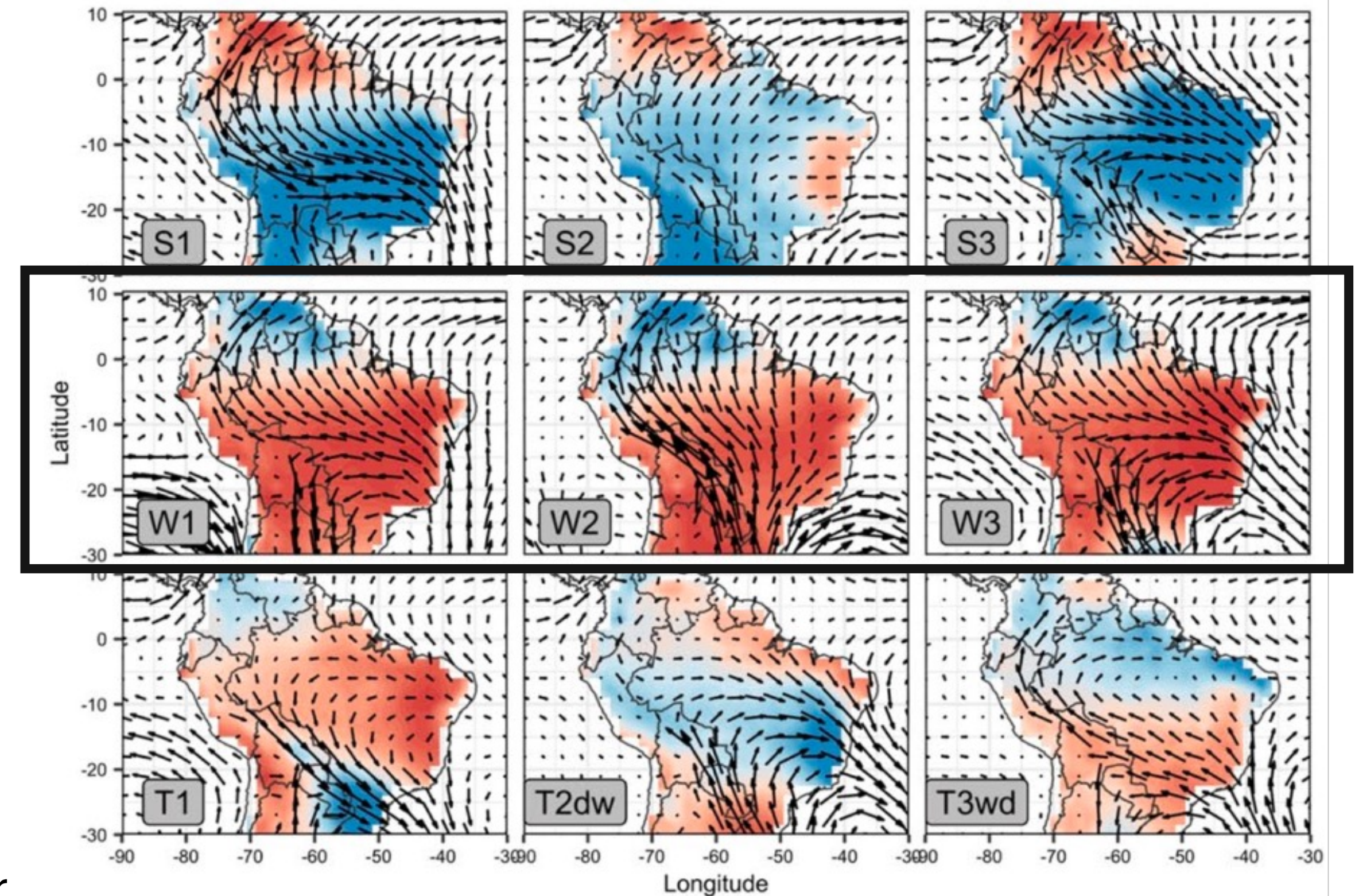
Metodología

Patrones de Circulación Atmosférica (Circulation Patterns)



Los CPs de invierno se caracterizan por:

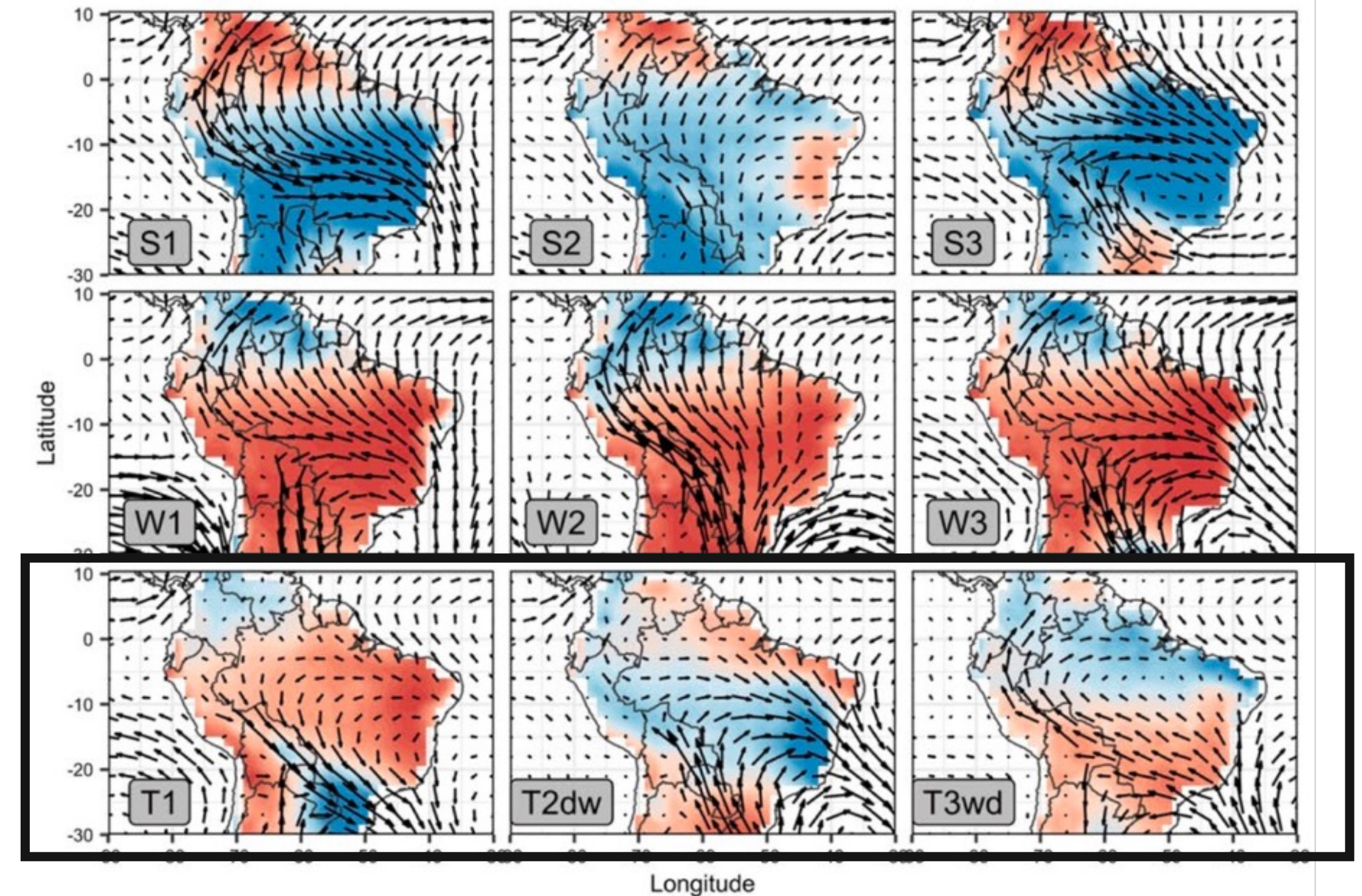
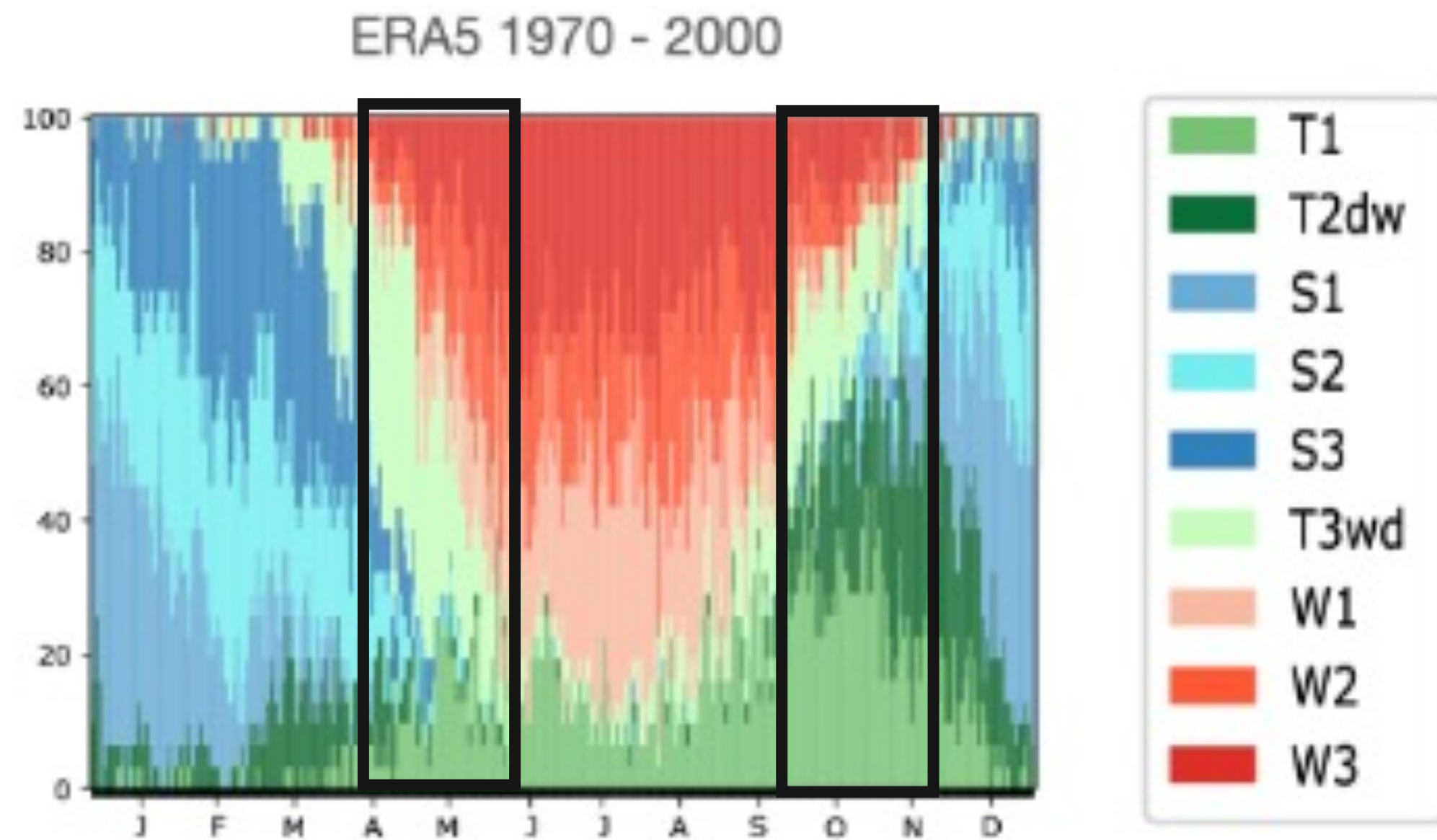
- Vientos de bajo nivel provenientes del sur que cruzan el ecuador
- Divergencia atmosférica sobre el sur de la Amazonia
- Anomalías negativas de precipitación sobre el centro y sur de la Amazonia y la región continental de la SACZ



Spatial patterns of low-level wind and rainfall anomalies (in m/s and mm/day, respectively) for the nine circulation-patterns (CPs), as depicted by the ERA5. Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to (CHIRPS) rainfall anomalies.

Metodología

Patrones de Circulación Atmosférica (Circulation Patterns)



- El periodo correspondiente al inicio del SAMS se caracteriza por una alta ocurrencia de T1 y T2dw
- T3 wd: Desaparición del SAMS

Spatial patterns of low-level wind and rainfall anomalies (in m/s and mm/day, respectively) for the nine circulation-patterns (CPs), as depicted by the ERA5. Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to (CHIRPS) rainfall anomalies.

Metodología

Modelación de procesos atmosféricos

- Olmo et al. (2022)
- 16 Modelos de Circulación General (GCM) del CMIP6 durante 1979-2014.
- Circulación atmosférica sobre SSAT mediante un enfoque de patrones de circulación (CP).
- Particularmente el inicio del SAMS

Fin de la temporada seca

Desencadena las precipitaciones en el Altiplano

Olmo et al. 2022

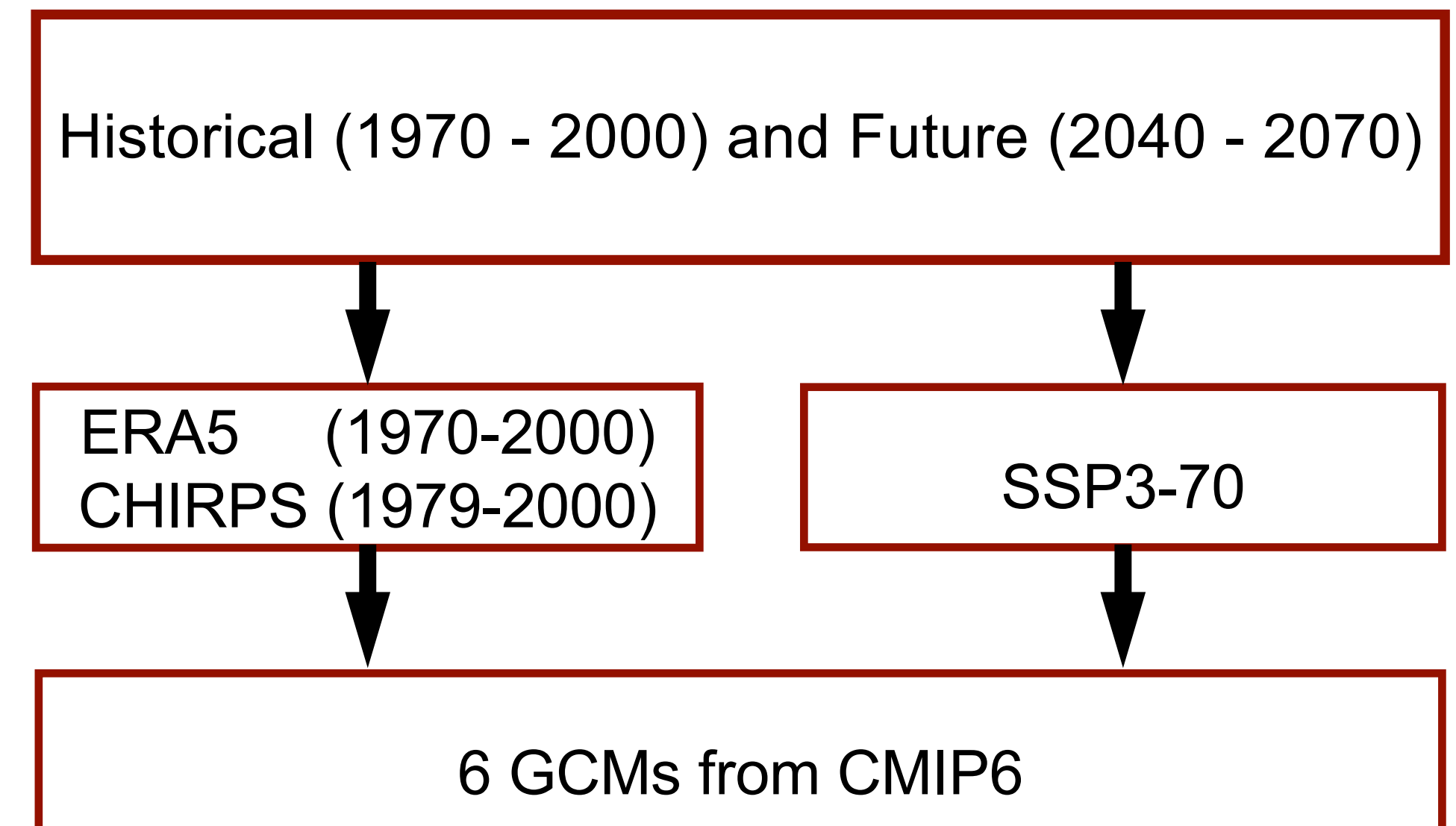


Este estudio pudo identificar un grupo de GCMs que simularon adecuadamente los CPs en SSAT.

Data

GCM	Horizontal Resolution	Institute
ACCESS-ESM1-5	1.9° x 1.2°	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia
CanESM5	2.8° x 2.8°	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada
CESM2	1.2° x 0.9°	National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA
IPSL-CM6A-LR	2.5° x 1.3°	Institut Pierre-Simon Laplace, France
MPI-ESM1-2-HR	0.9° x 0.9°	Max Planck Institute for Meteorology, Germany
NorESM2-MM	0.9° x 1.2°	Norwegian Climate Centre, Norway

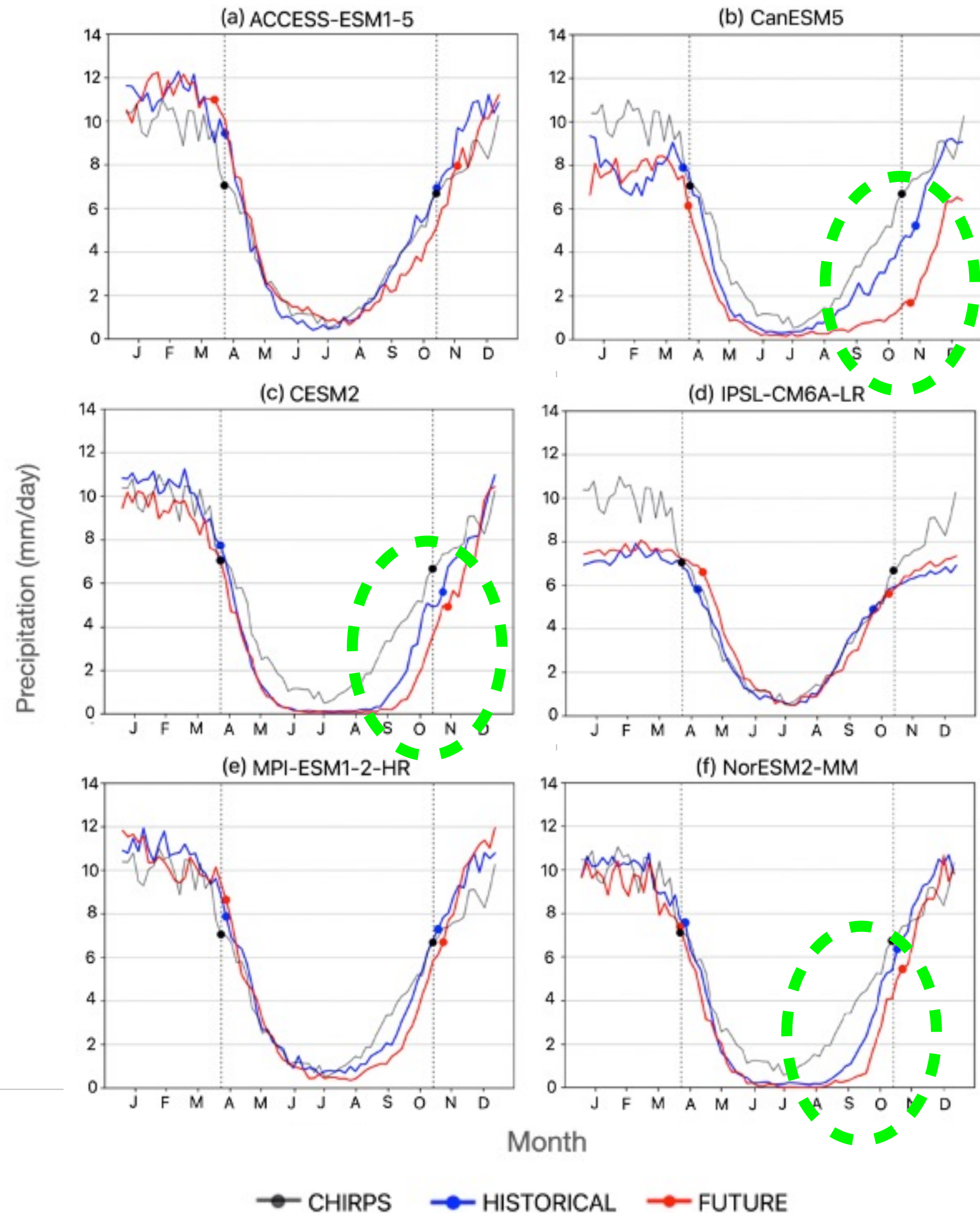
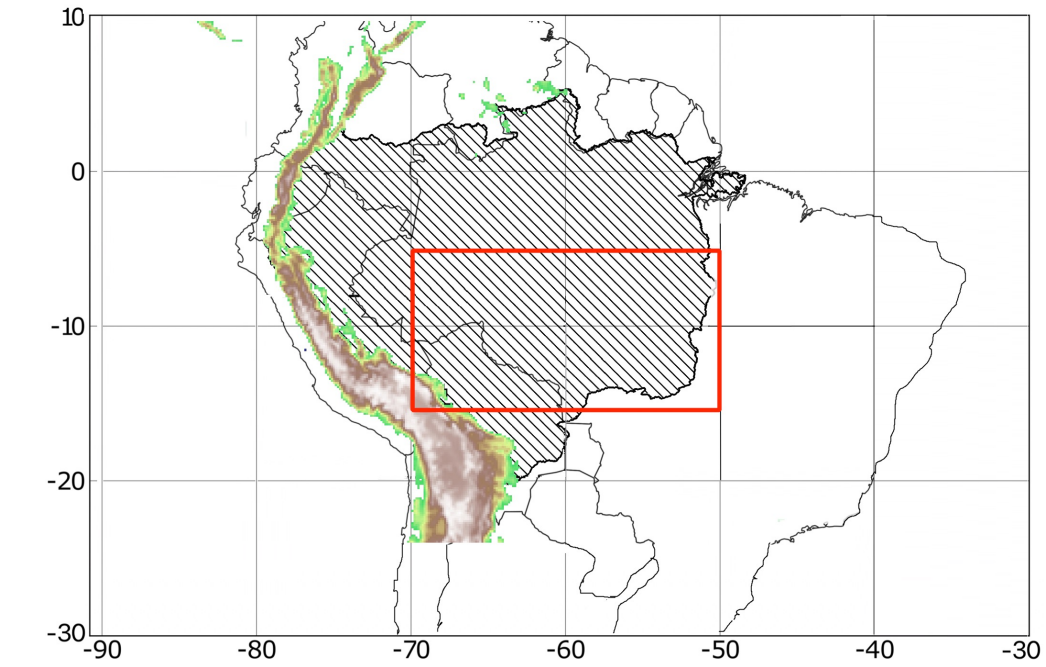
CMIP6 General circulation models (GCMs) used in this study for the historical (1970-2000) and SSP3-7.0 (2040-2070) simulations.



- P , u and v (850 hPa) over SSAT

Resultados

Ciclo Annual de Precipitación sobre SSAT

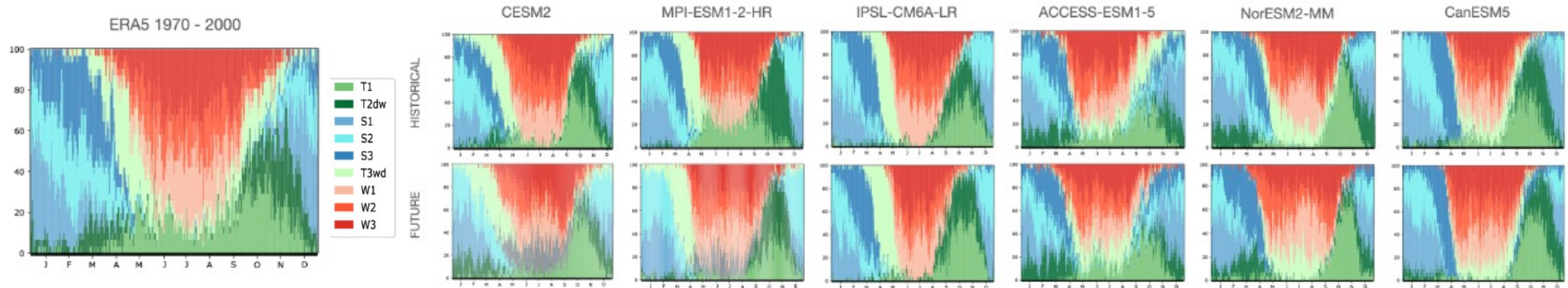


- Los GCM son capaces de simular el ciclo promedio anual de las precipitaciones.
- La Fig. muestra las fechas promedio en las que se produce el inicio de la estación seca (DSA) y el final de la estación seca (DSE)

	DSA		DSE		DSL	
	1970-2000	2040-2070	1970-2000	2040-2070	1970-2000	2040-2070
ACCESS-ESM1-5	20	-2	61	+2	41	+4
CanESM5	20	-1	62	+1	42	+2
CESM2	19	0	62	+1	43	+1
IPSL-CM6A-LR	22	+1	57	+3	35	+1
MPI-ESM1-2-HR	21	-1	62	+1	41	+2
NorESM2-MM	21	-1	62	+1	41	+2
CHIRPS (1981-2000)	19		60			

Changes in DSA, DSE and DSL between the future and historical periods (number of pentads).

Identificación de Patrones de Circulación

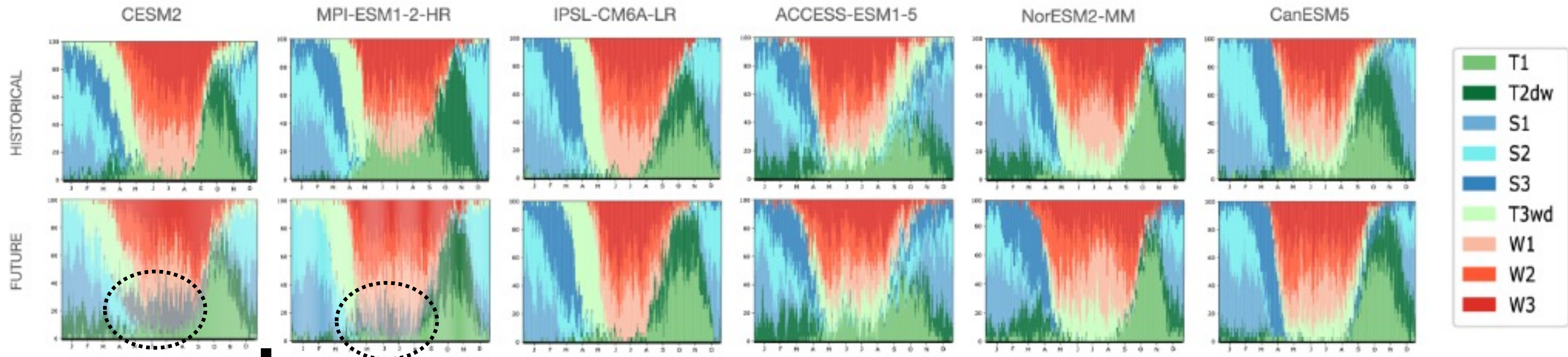


Relative mean daily frequency of the nine CPs in STSA. The x-axis displays the 365 days of the year, while the y-axis indicates the relative mean daily frequency of each CP

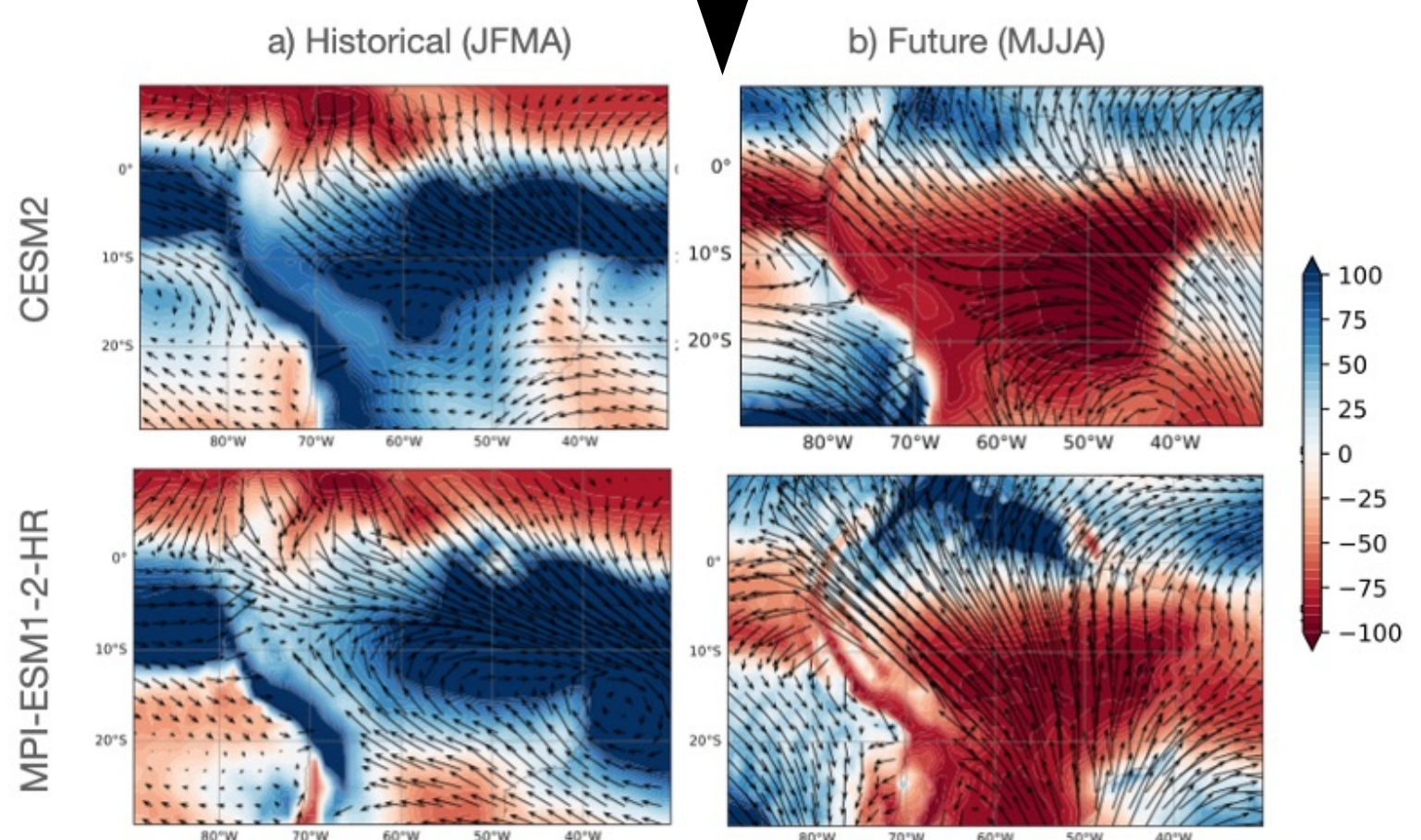
Para el futuro:

- Los ciclos anuales de los CP muestran un aumento de las frecuencias de los CP de invierno durante la estación seca.
- Estos CP aparecen en marzo (en lugar de abril), y prolongan su ocurrencia hasta finales de noviembre (en lugar de finales de octubre).

Identificación de Patrones de Circulación



Relative mean daily frequency of the nine CPs in STSA. The x-axis displays the 365 days of the year, while the y-axis indicates the relative mean daily frequency of each CP

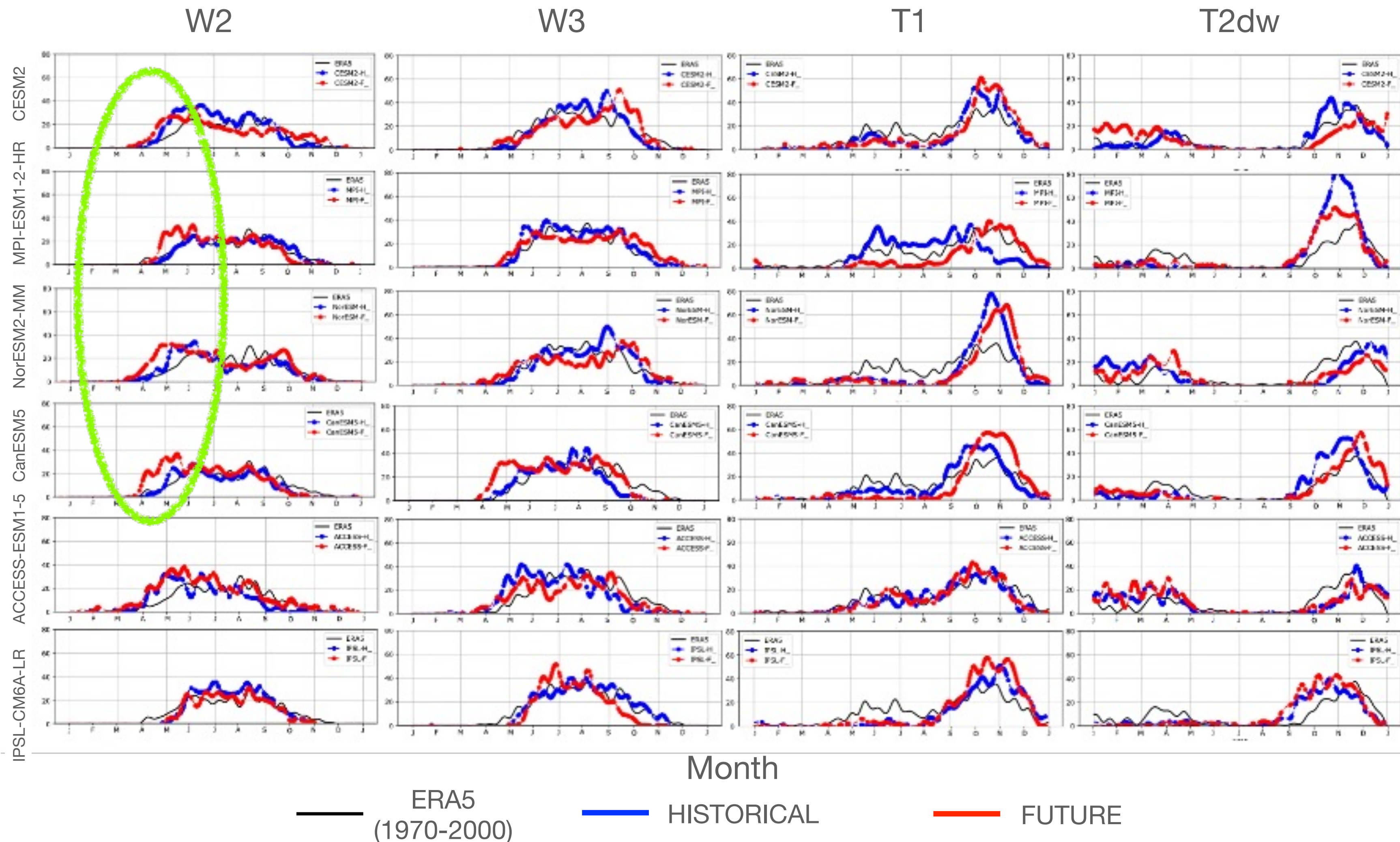


Differences of precipitation and 850 wind anomalies between historical S3 and the new estimated future CP.

Para el futuro:

- CESM2 y MPI-ESM1-2-HR → la metodología no detecta el estado atmosférico representado por el CP S3.
- Se detecta un cuarto CP de invierno (W4) **nuevo!**

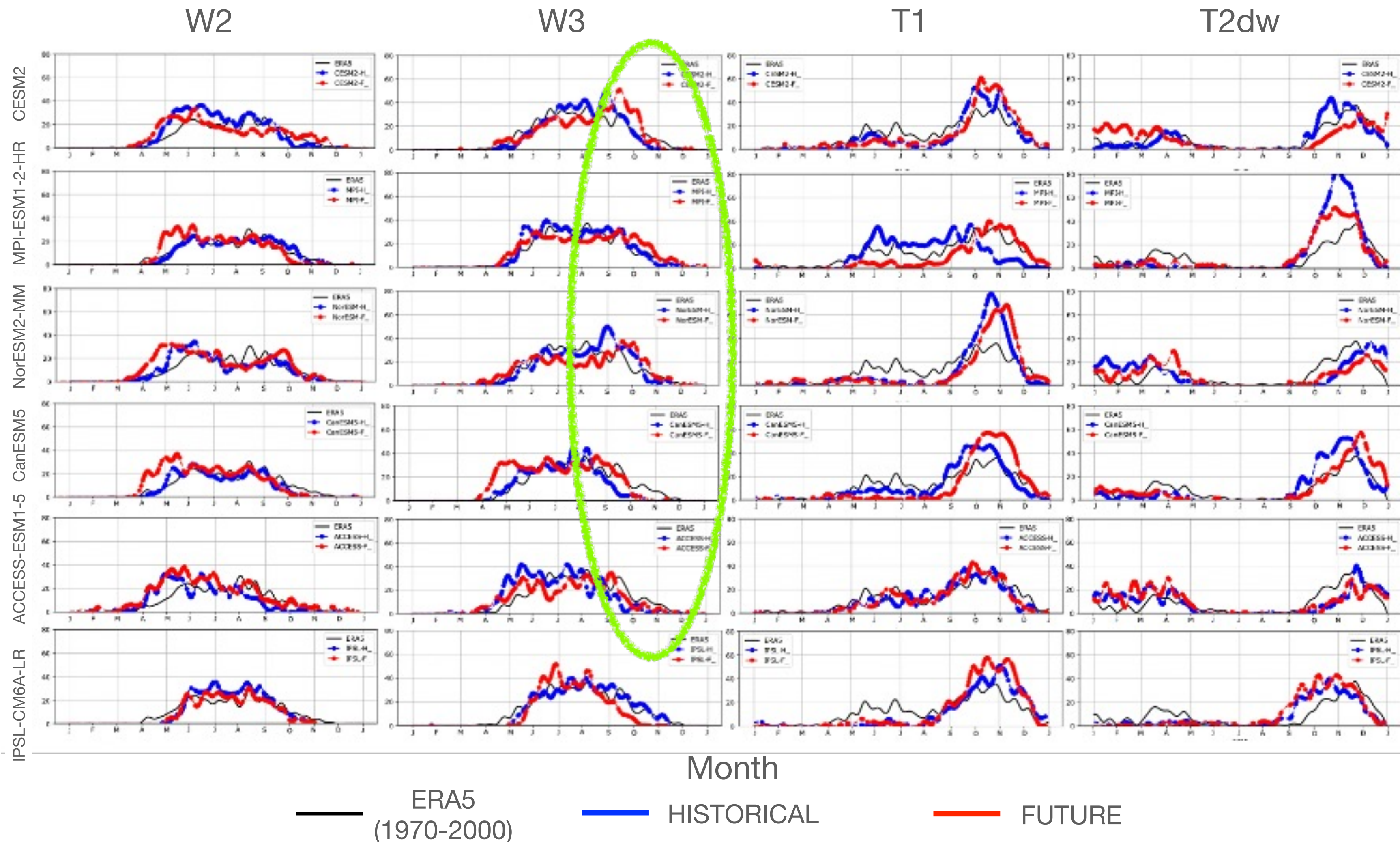
Alargamiento de la temporada seca



- En el futuro: mayor ocurrencia al inicio de su ciclo anual (abril, mayo y junio)
- Mayor frecuencia de días secos al principio de la estación seca (entre el 10% y el 20%).

Relative mean daily frequency of winter (W2, W3) and transitional (T1 and T2dw) circulation patterns (CPs). The x-axis displays the 365 days of the year, y-axis indicates the relative mean daily frequency of each CP. Days with significant differences between historical and future periods are highlighted with red dots (p-value < 0.05).

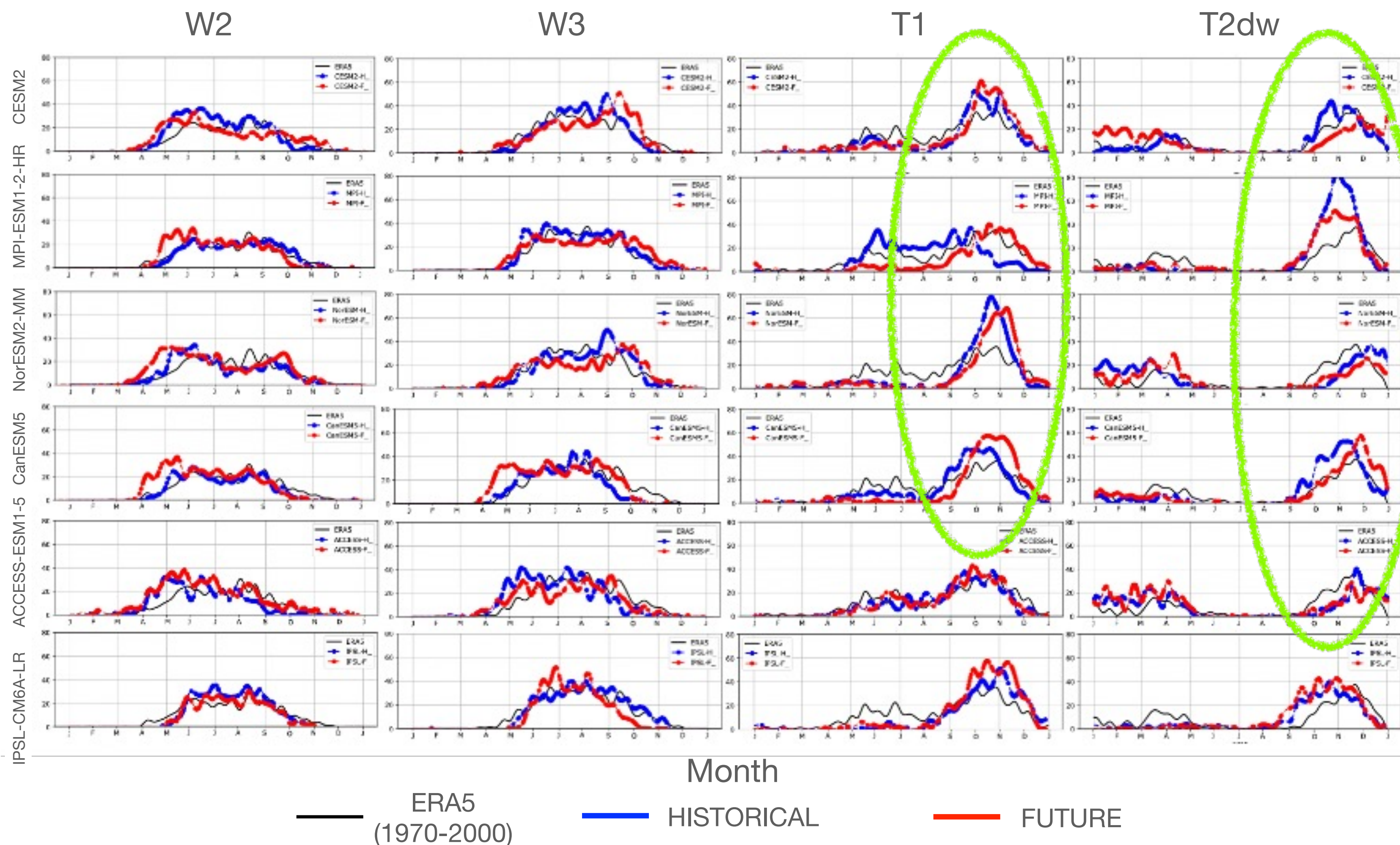
Alargamiento de la temporada seca



- Condiciones secas se producen no sólo durante los meses de invierno
- Favorece un inicio tardío de la SAMS y un retraso de la DSE.

Relative mean daily frequency of winter (W2, W3) and transitional (T1 and T2dw) circulation patterns (CPs). The x-axis displays the 365 days of the year, y-axis indicates the relative mean daily frequency of each CP. Days with significant differences between historical and future periods are highlighted with red dots (p -value < 0.05).

Alargamiento de la temporada seca



- Muestran un retraso en el momento de su aparición
- DSE más tardío de lo habitual, favoreciendo un retraso del SAMS.

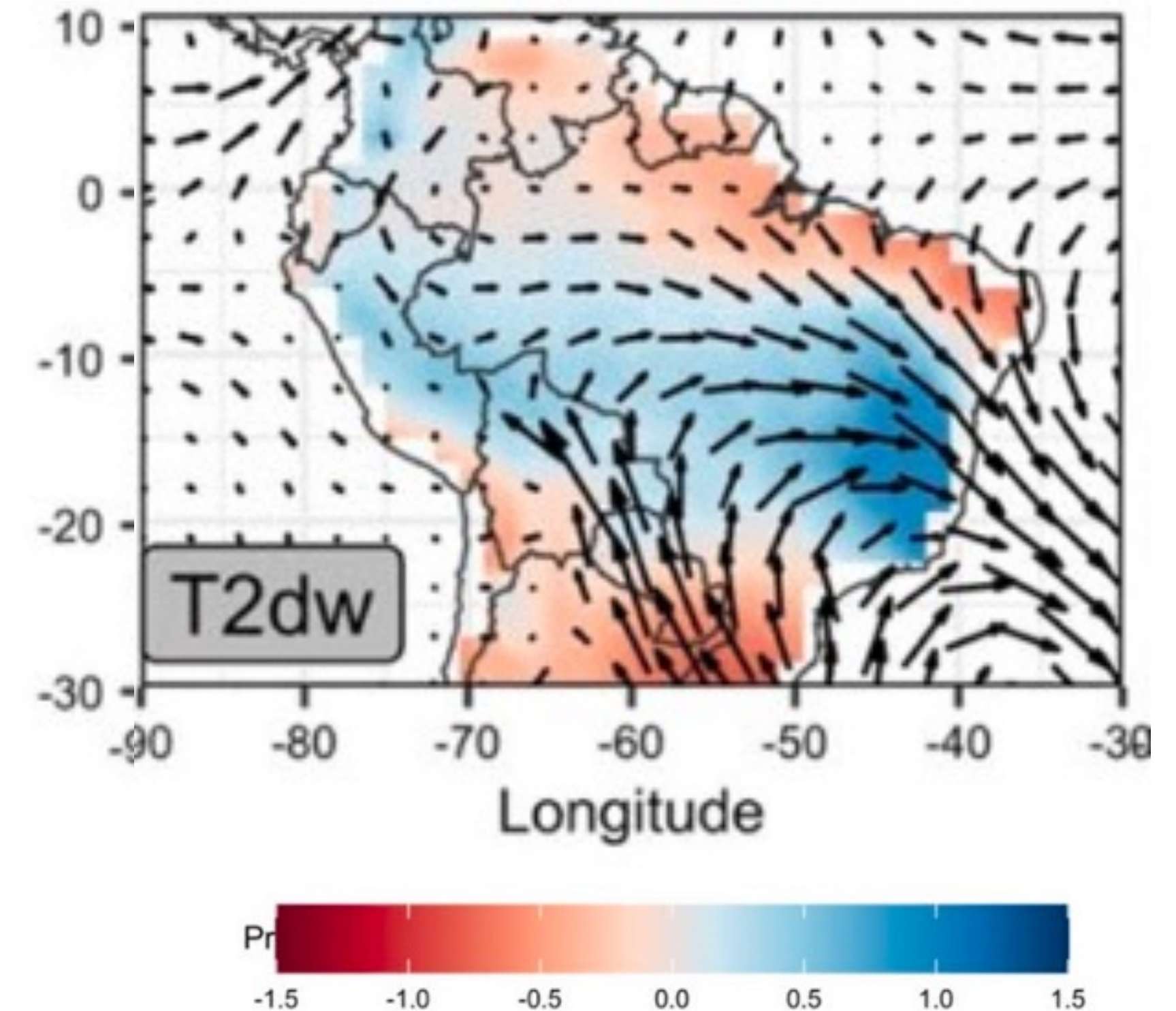
Relative mean daily frequency of winter (W2, W3) and transitional (T1 and T2dw) circulation patterns (CPs). The x-axis displays the 365 days of the year, y-axis indicates the relative mean daily frequency of each CP. Days with significant differences between historical and future periods are highlighted with red dots (p -value < 0.05).

Patrones de circulación y precipitación asociada

Temporada de transición - T2dw

Caracterizado por:

- Anomalías de vientos que cruzan el Ecuador.
- Intrusión de vientos provenientes del Sur que llegan al Sur de la Amazonia, relacionados con circulación ciclónica.
- Anomalías positivas de precipitación sobre el sur de la Amazonia.
- Convergencia de vientos sobre el sur de la Amazonia y la SACZ.



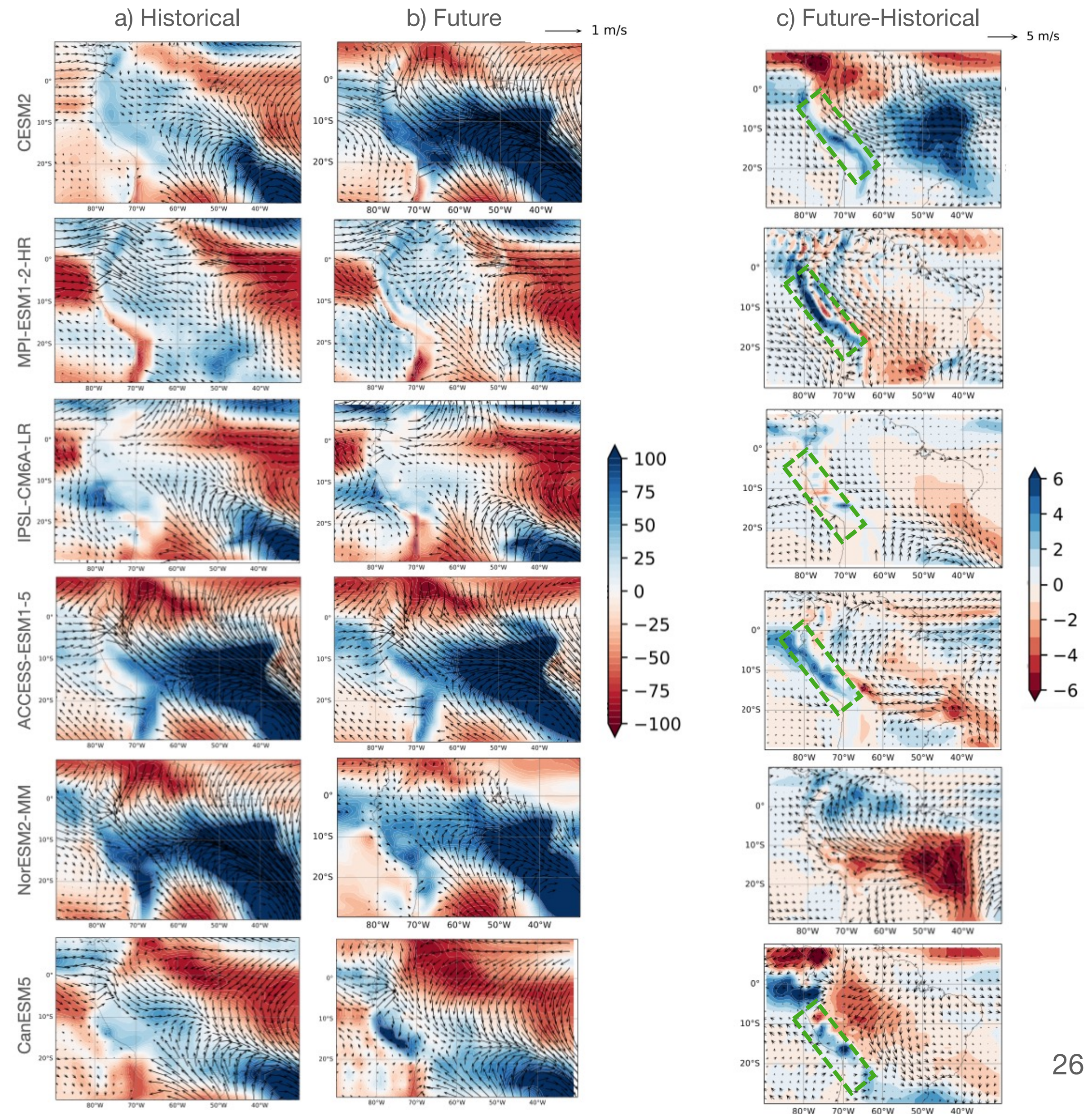
Spatial pattern of 850 hPa wind and rainfall anomalies for the T2dw CP . Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to rainfall anomalies in mm/day

Patrones de Circulación y Precipitación asociada

Transición- T2dw

- Los vientos transecuatoriales se debilitan (excepto CESM2)
- Favorece que la humedad procedente del Caribe no llegue a la región SACZ
- La cordillera de los Andes se muestra con mayores precipitaciones durante el periodo futuro

Spatial pattern of 850 hPa wind and rainfall anomalies for the T2dw CP . Vectors indicate wind anomalies at 850 hPa and shaded colors refer to rainfall anomalies in mm/day



Conclusiones

Se proyecta para el periodo futuro:

- Reducción de las precipitaciones durante el periodo de transición de seco a húmedo.
- Aumento de la duración de la estación seca (DSA precoz y DSE tardía).
- Condiciones más secas sobre el Sudeste Amazónico y la SACZ durante la estación de transición de seca a húmeda.
- Mayor ocurrencia de W2 y W3, y menor frecuencia de T2dw, asociadas a cambios atmosféricos que contribuyen a un retraso de la DSE.

El modelo MPI-ESM1-2-HR es seleccionado como el más adecuado para continuar con el desarrollo de los objetivos

Modelo consistente en la representación de los mecanismos físicos que describen el sistema climático de la región

Referencias

- Coe, M. T., Costa, M. H., & Soares-Filho, B. S. (2009). The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River—Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of hydrology*, 369(1-2), 165-174.
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Marengo, J., & Segura, H. (2019). Contrasting north–south changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*, 116(9–10), 5413–5430.
- Espinoza, J. C., Arias, P., Moron, V., Junquas, C., Segura, H., Sierra-Pérez, J., et al. (2021). Recent changes in the atmospheric circulation patterns during the dry-to-wet transition season in south tropical South America (1979–2020): Impacts on precipitation and fire season. *Journal of Climate*, 34, 9025–9042
- Olmo, M. E., Espinoza, J. C., Bettolli, M. L., Sierra, J. P., Junquas, C., Arias, P. A., et al. (2022) Circulation patterns and associated rainfall over South Tropical South America: GCMs evaluation during the dry-to-wet transition season. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, e2022JD036468
- Parsons, L. A. (2020). Implications of CMIP6 projected drying trends for 21st century Amazonian drought risk. *Earth's Future*, 8(10), e2020EF001608.
- Segura, H., Espinoza, J. C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., & Garreaud, R. (2020). Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. *Climate Dynamics*, 54(5), 2613-2631.
- Wilks, D. S. (2019). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (4th ed., p. 840). Elsevier.