



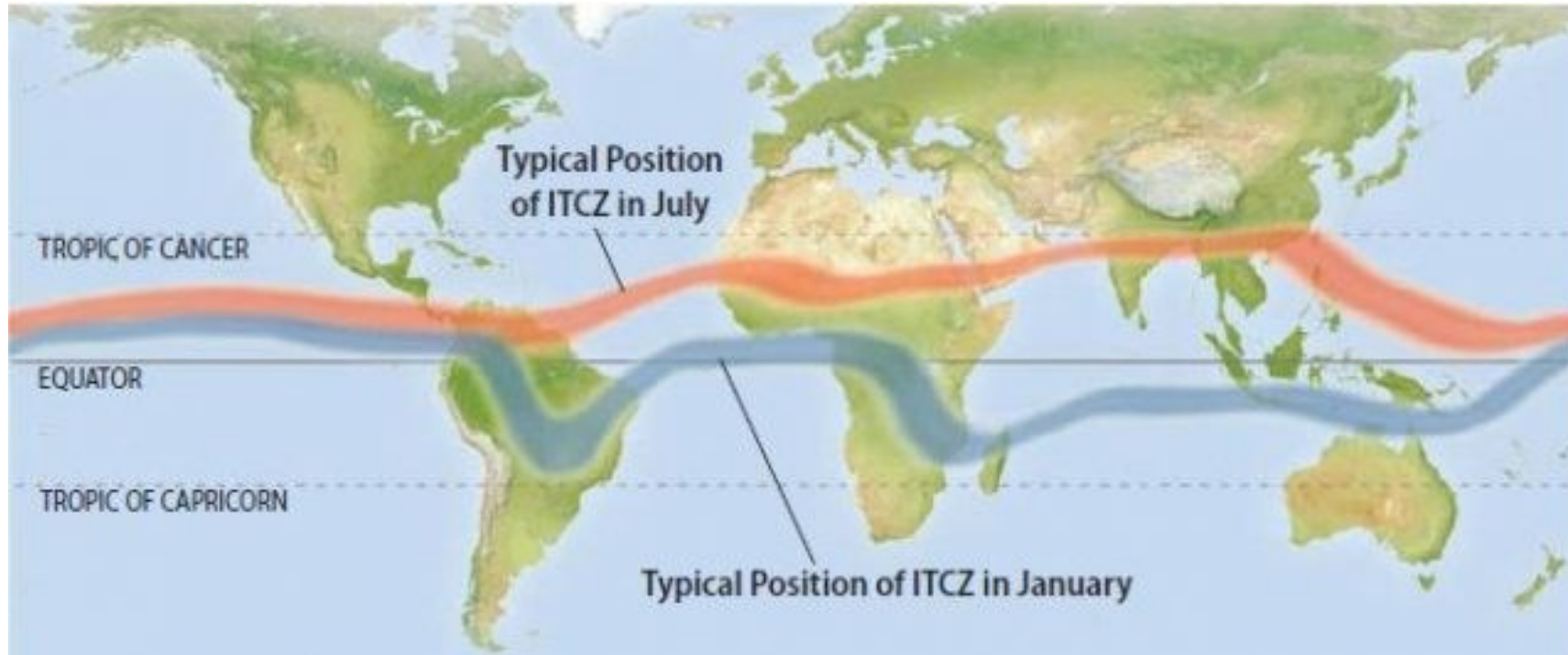
Fundamentos de la Variabilidad Climática en Sudamérica Tropical

Jhan-Carlo Espinoza (IRD-Francia; PUCP-Perú)
Jhan-carlo.espinoza@ird.fr

Contenido

1. Precipitaciones en América del Sur tropical: Distribución espacial y Ciclo estacional
 2. ¿Cuáles son los principales elementos climáticos que modulan la variabilidad de precipitaciones?
 3. Una breve introducción al fenómeno El Niño
 4. Variabilidad interanual de las precipitaciones y eventos extremos
-

Esquema de circulación de vientos de bajos niveles ($\pm 1000\text{m}$)

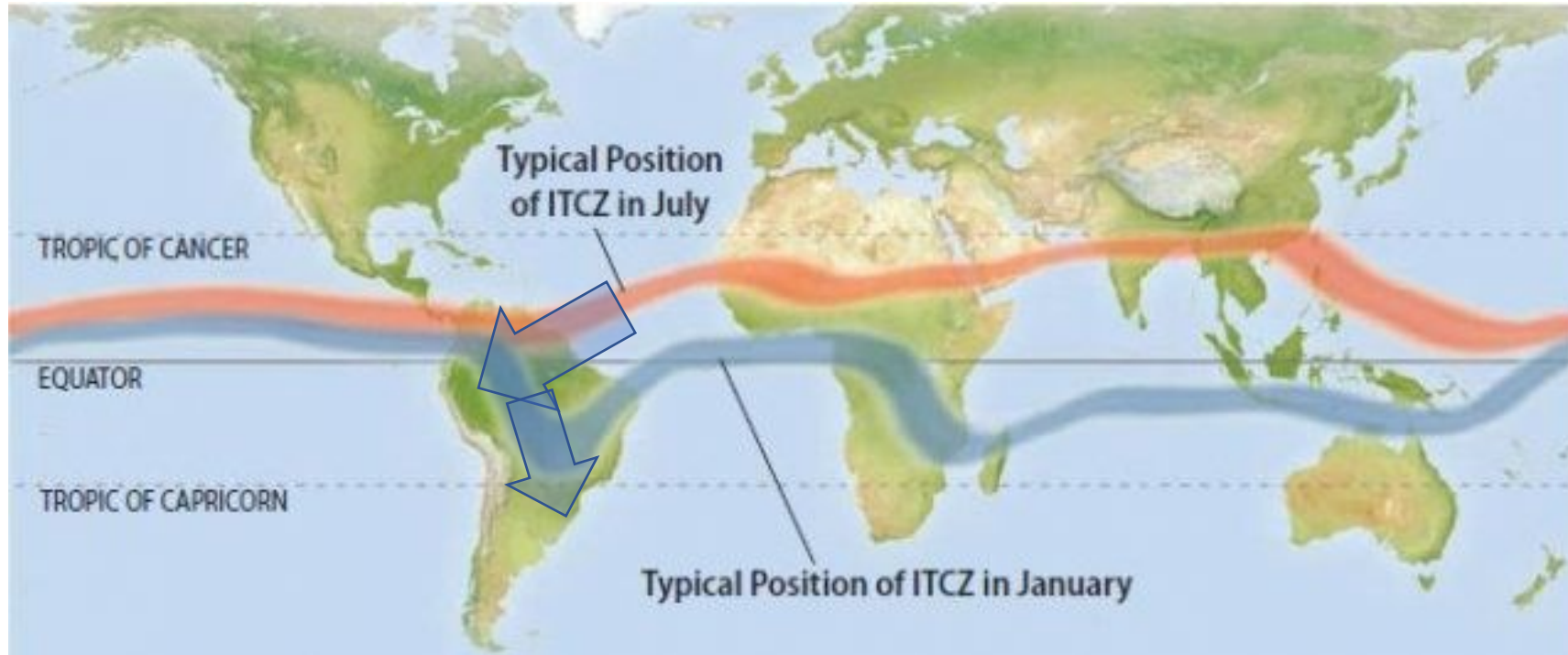


Verano (DJF)



Invierno (JJA)

Esquema de circulación de vientos de bajos niveles ($\pm 1000\text{m}$)

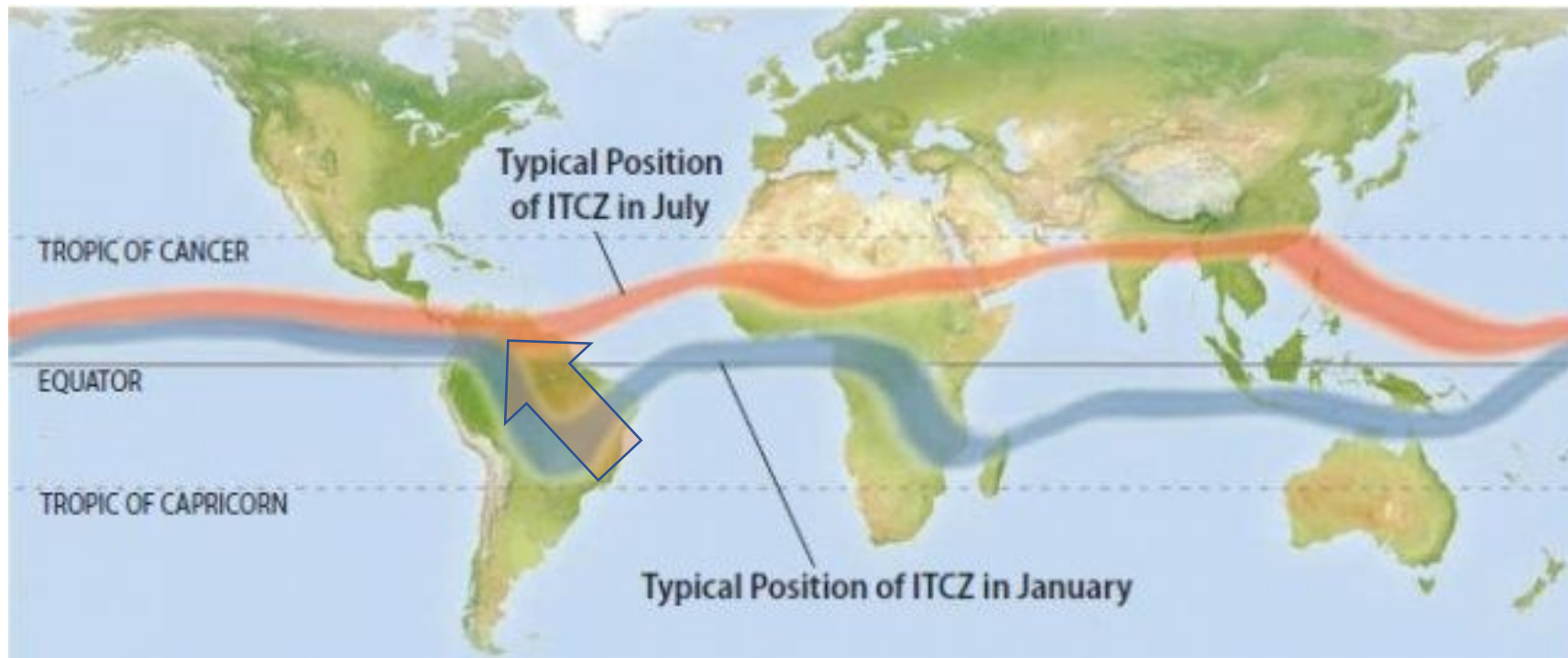


Verano (DJF)



Invierno (JJA)

Esquema de circulación de vientos de bajos niveles ($\pm 1000\text{m}$)

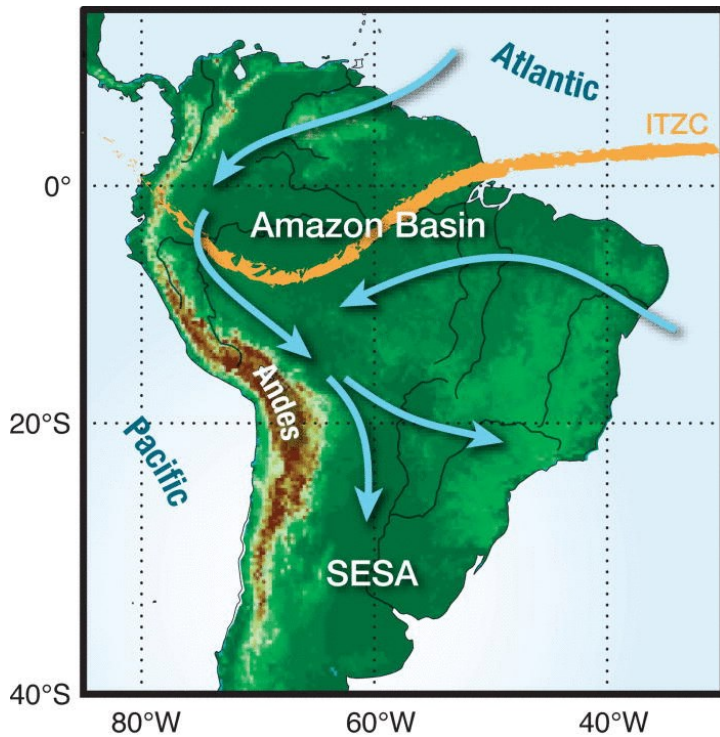


Verano (DJF)



Invierno (JJA)

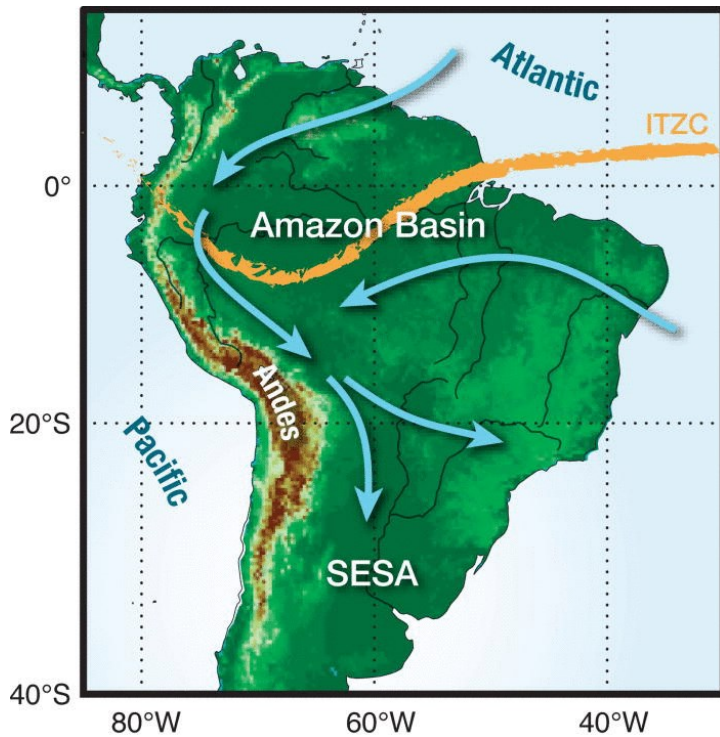
Sistema acoplado Amazonía - Andes



Humedad desde el
Atlántico

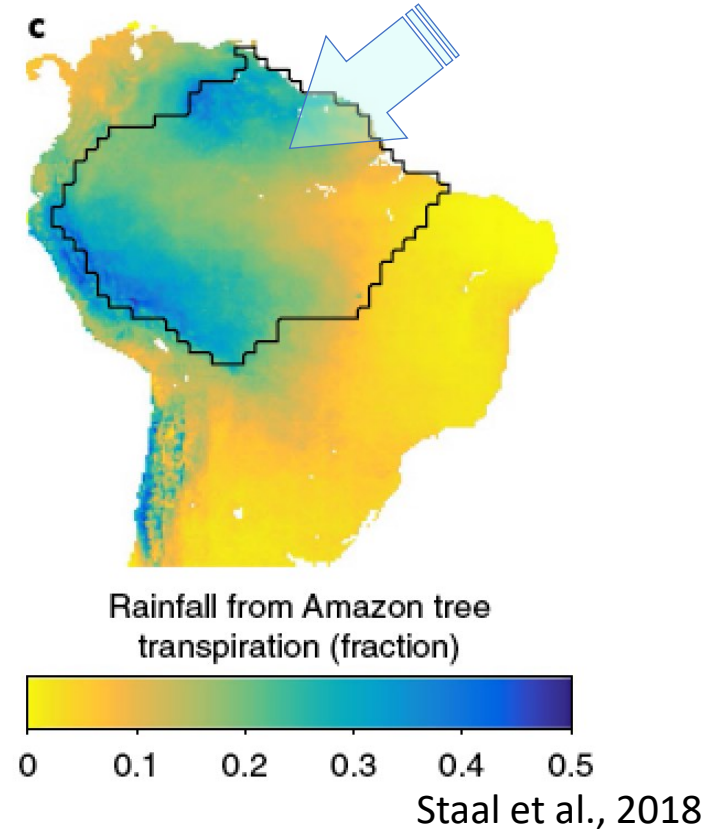
Vientos de bajo nivel (± 1000
msnm) e ITZC
(DEF)

Sistema acoplado Amazonía - Andes



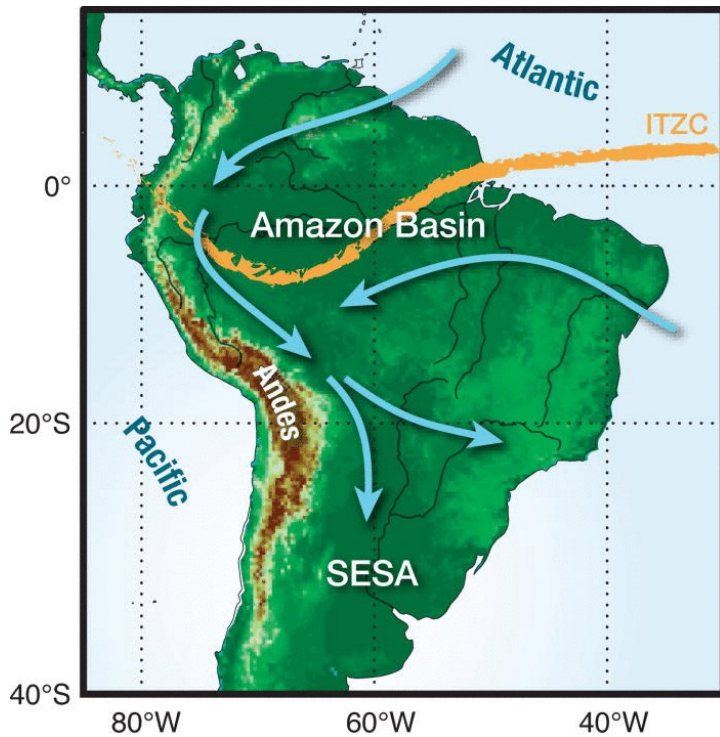
Humedad desde el Atlántico

Vientos de bajo nivel (± 1000 msnm) e ITZC (DEF)



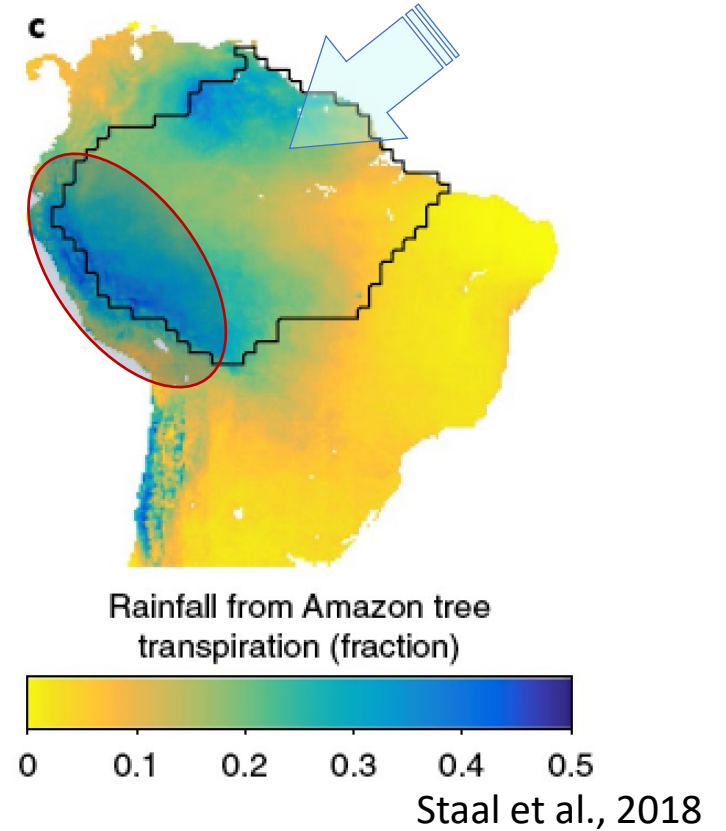
Fracción de la Lluvia anual que ha sido evapotranspirada por el bosque amazónico

Sistema acoplado Amazonía - Andes



Humedad desde el Atlántico

Vientos de bajo nivel (± 1000 msnm) e ITZC (DEF)

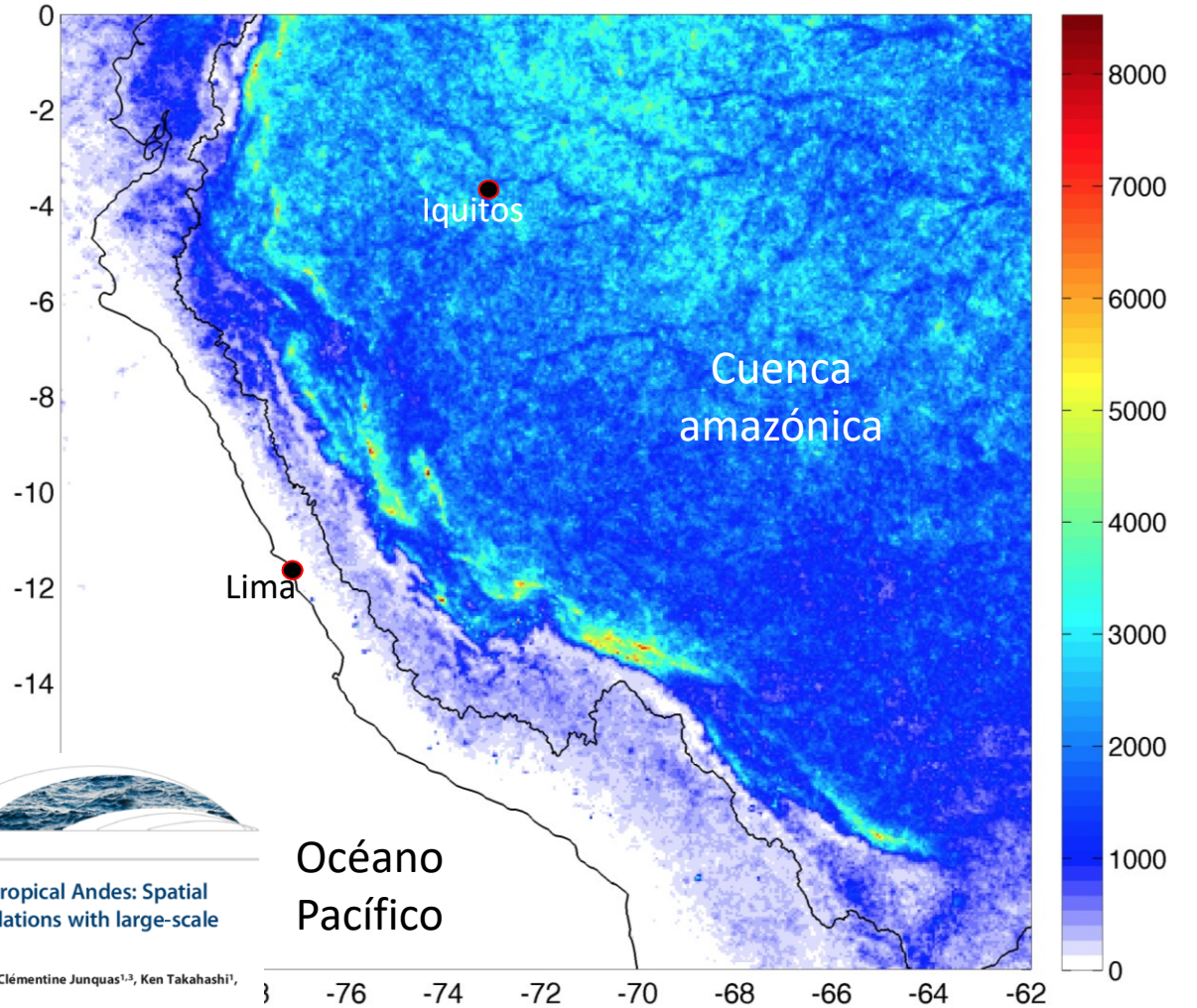


Fracción de la Lluvia anual que ha sido evapotranspirada por el bosque amazónico

La cuenca Amazónica y la región de transición Amazonía-Andes

Información de precip. TRMM
2a25 (1998-2012)

Espinoza et al., 2015, WRR



AGU PUBLICATIONS

Water Resources Research

RESEARCH ARTICLE

10.1002/2014WR016273

Key Points:

- TRMM-PR and 95 stations describe rainfall contrasts in Amazon-Andes transition

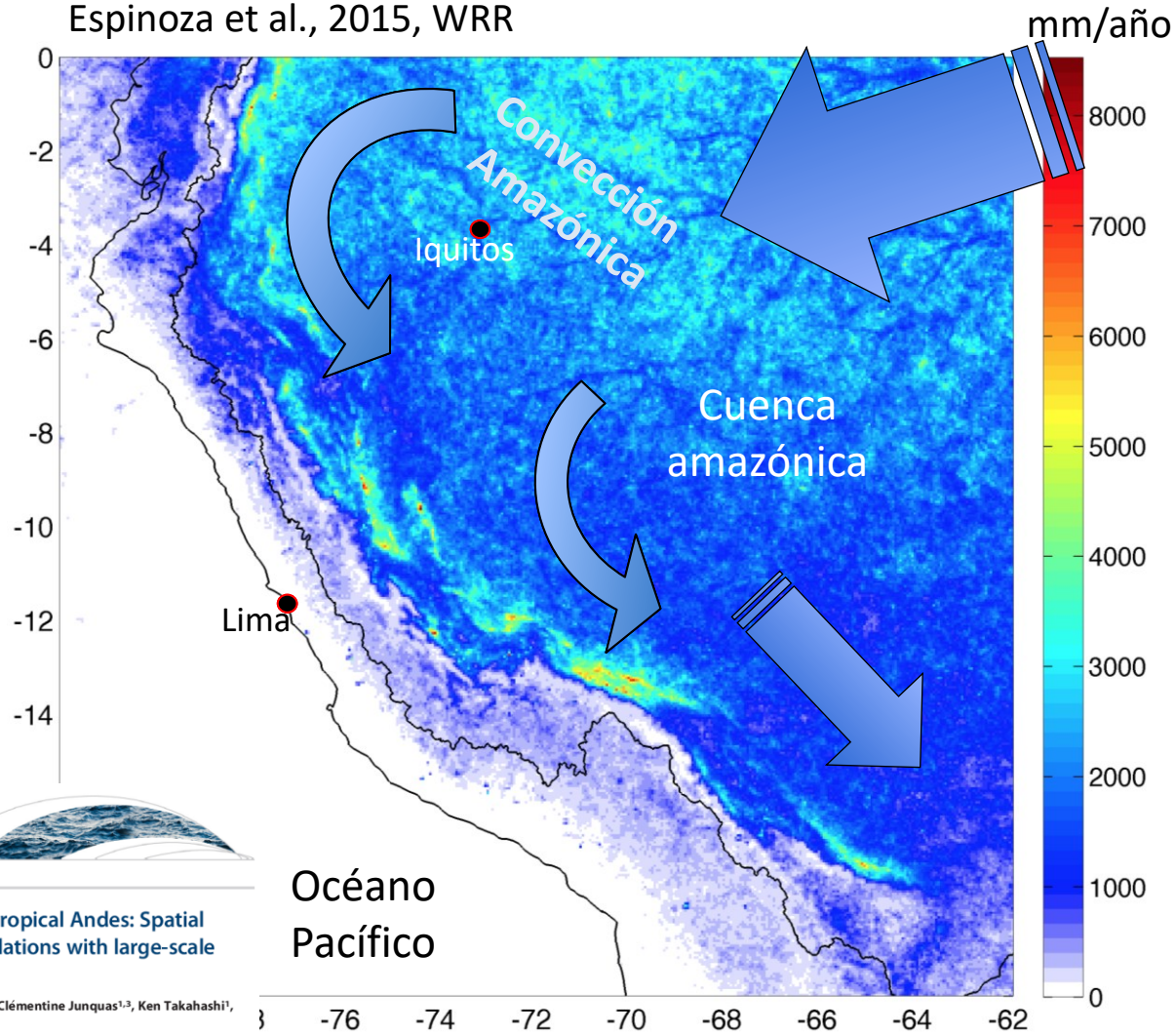
Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation

Jhan Carlo Espinoza¹, Steven Chavez¹, Josyane Ronchall², Clémentine Junquas^{1,3}, Ken Takahashi¹, and Waldo Lavado⁴

La cuenca Amazónica y la región de transition Amazonía-Andes

Información de precip. TRMM
2a25 (1998-2012)

Espinoza et al., 2015, WRR



AGU PUBLICATIONS

Water Resources Research

RESEARCH ARTICLE

10.1002/2014WR016273

Key Points:

• TRMM-PR and 95 stations describe rainfall contrasts in Amazon-Andes transition

Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation

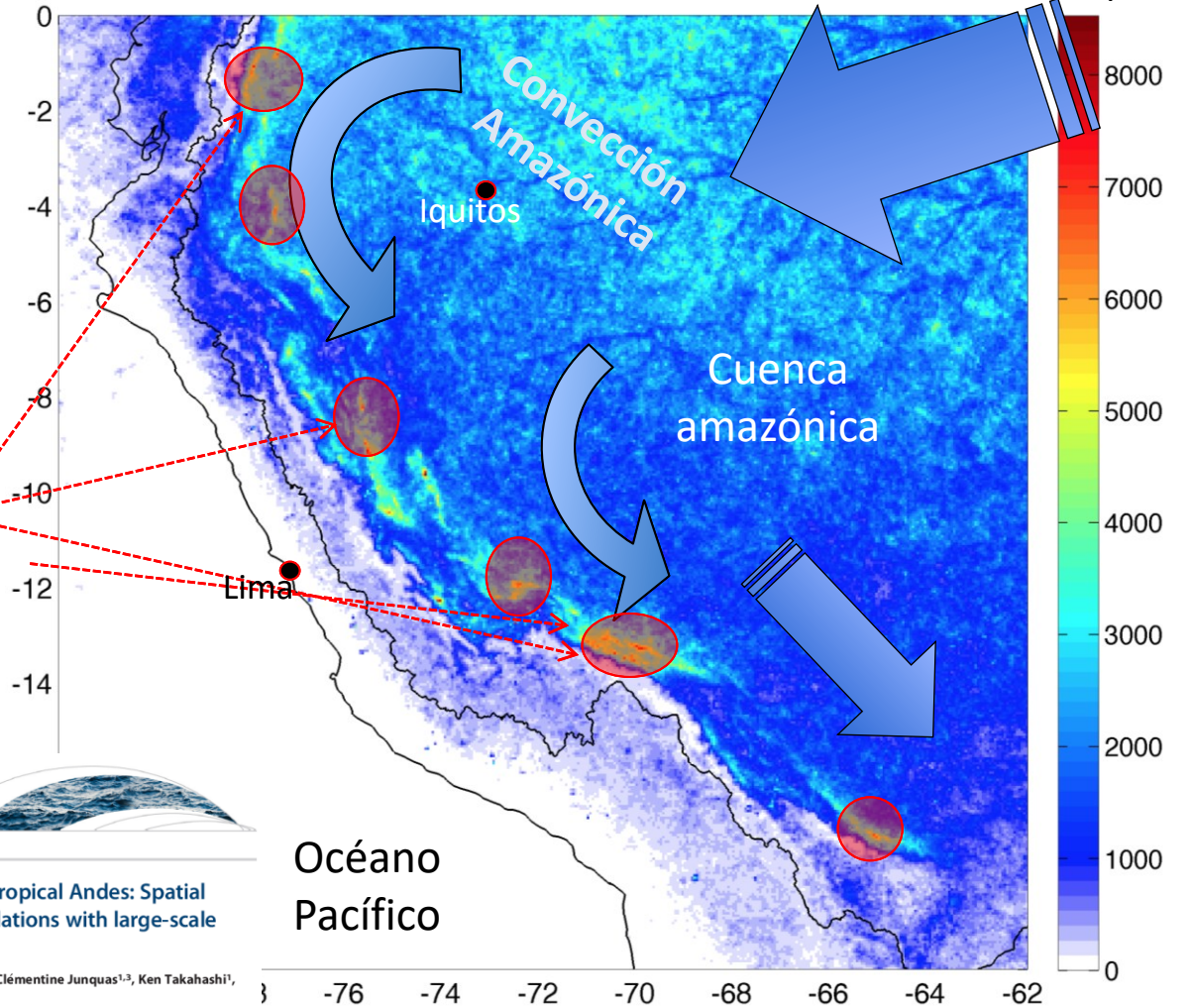
Jhan Carlo Espinoza¹, Steven Chavez¹, Josyane Ronchall², Clémentine Junquas^{1,3}, Ken Takahashi¹, and Waldo Lavado⁴

La cuenca Amazónica y la región de transición Amazonía-Andes

Información de precip. TRMM
2a25 (1998-2012)

Más altas tasas de precipitación de toda la cuenca amazónica.
“Hotspots de biodiversidad”
45000 especies de plantas vasculares

Espinoza et al., 2015, WRR



La interacción entre la orografía andina, la humedad proveniente de la cuenca amazónica y mecanismos de la circulación atmosférica originan en esta región núcleos de precipitación : los hotspots.

AGU PUBLICATIONS

Water Resources Research

RESEARCH ARTICLE

10.1002/2014WR016273

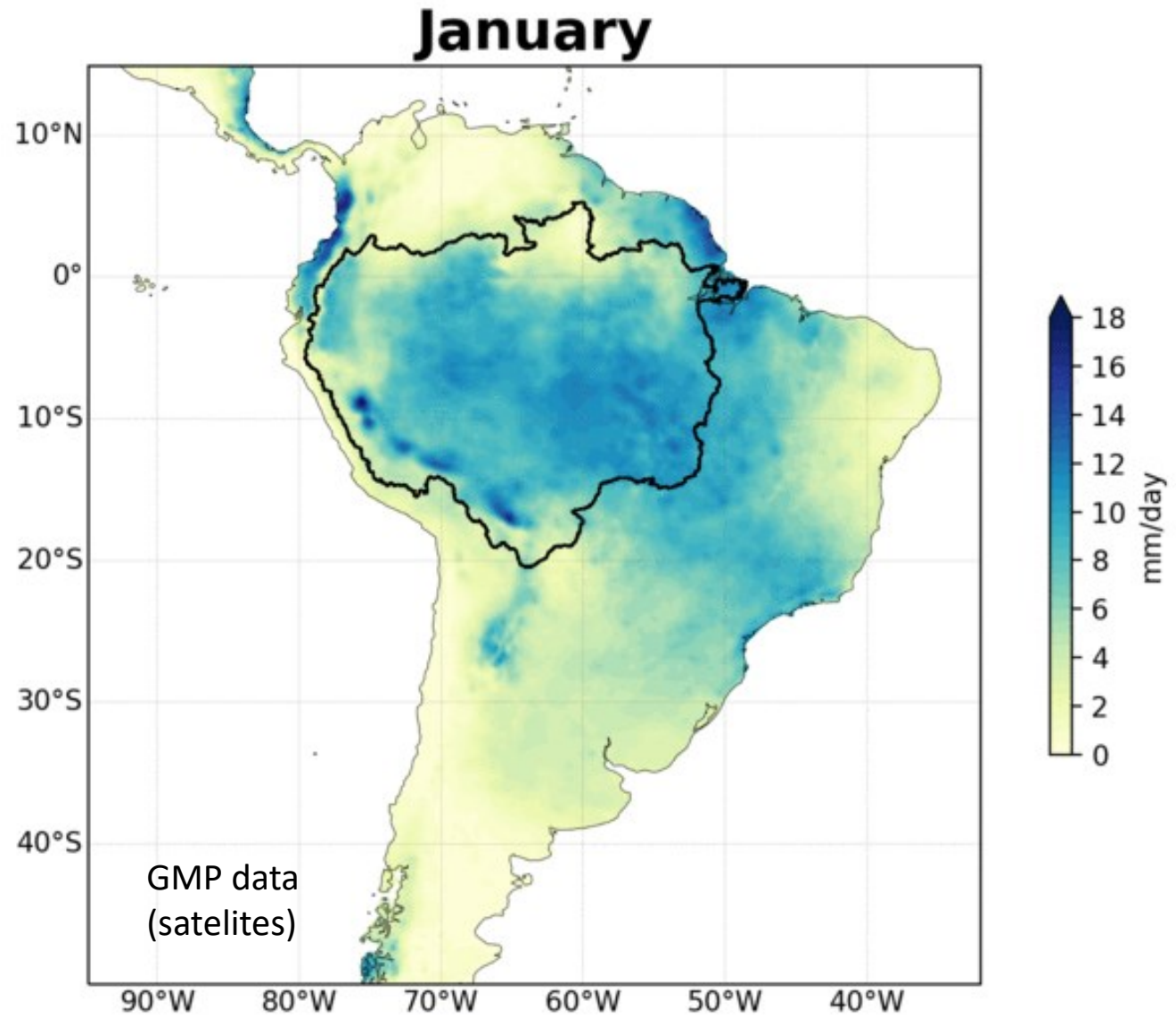
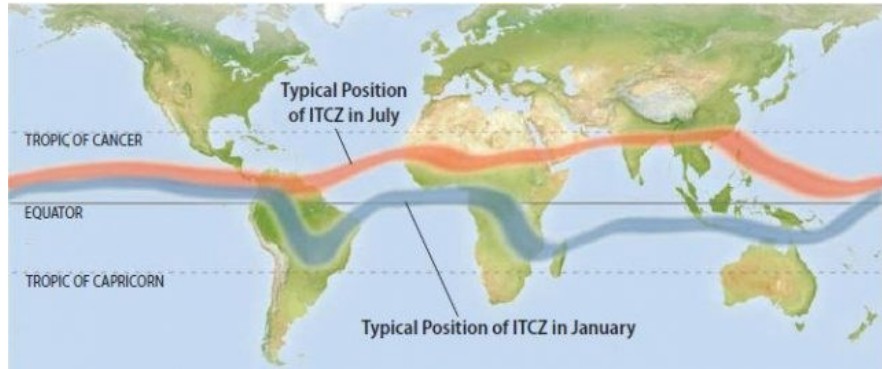
Key Points:

• TRMM-PR and 95 stations describe rainfall contrasts in Amazon-Andes transition

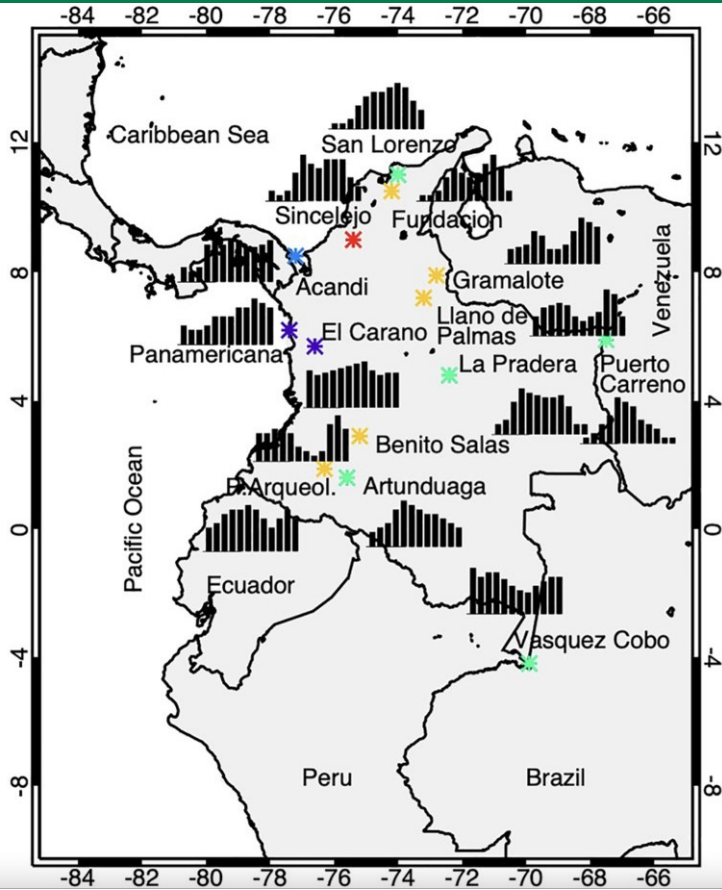
Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation

Jhan Carlo Espinoza¹, Steven Chavez¹, Josyane Ronchall², Clémentine Junquas^{1,3}, Ken Takahashi¹, and Waldo Lavado⁴

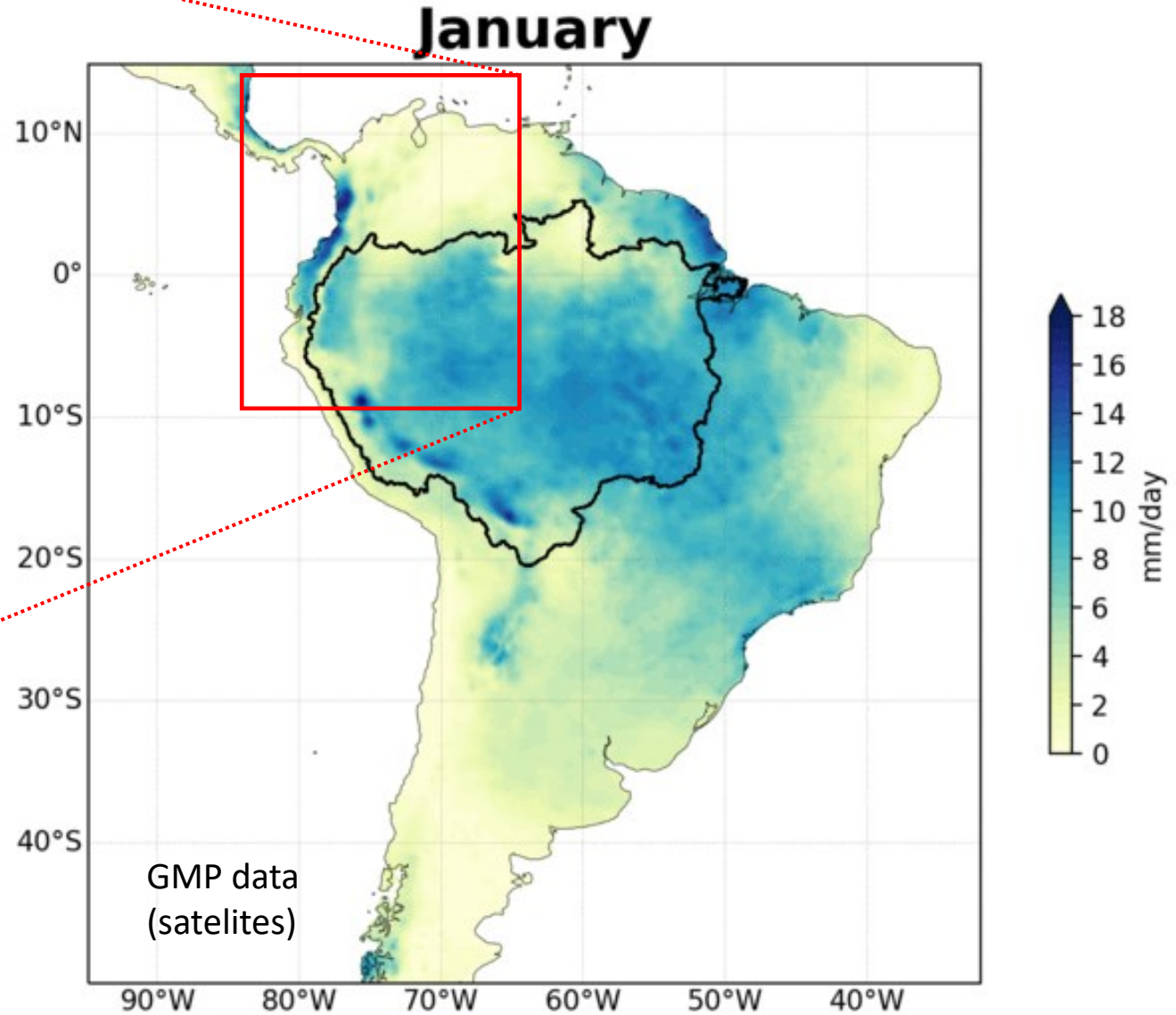
Contrastes estacionales de las precipitaciones



Contrastes estacionales de las precipitaciones



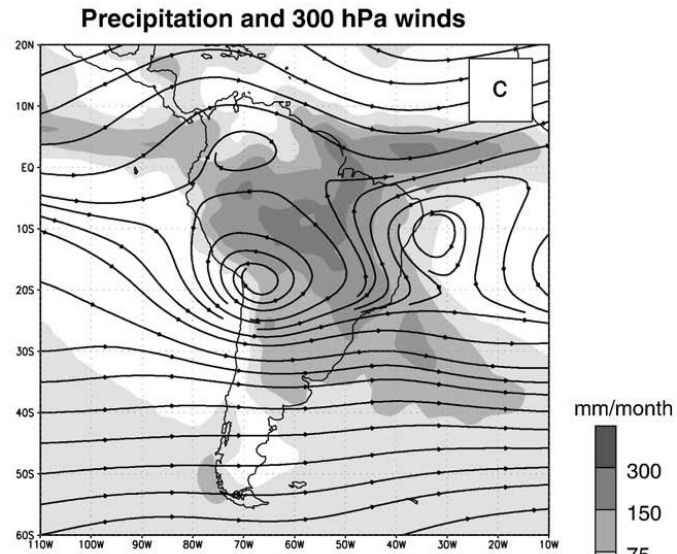
Ricaurte et al. (2019)



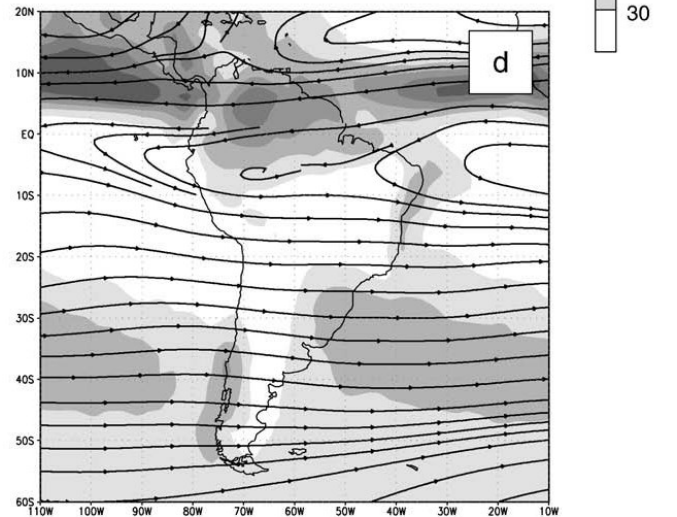


Variabilidad estacional de las lluvias en los Andes-Altiplano

Verano (DEF)



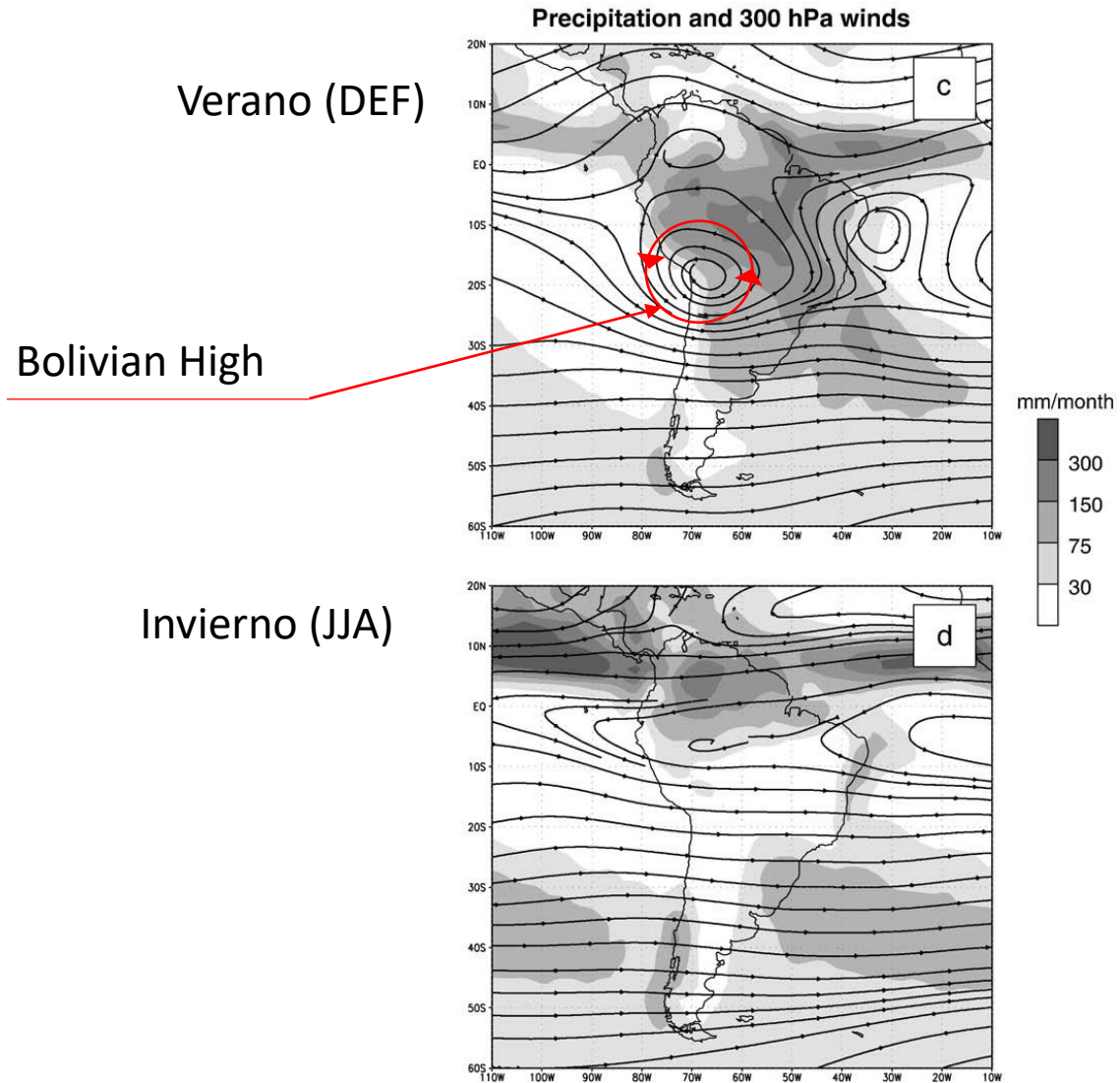
Invierno (JJA)



Garreaud et al. (2009)



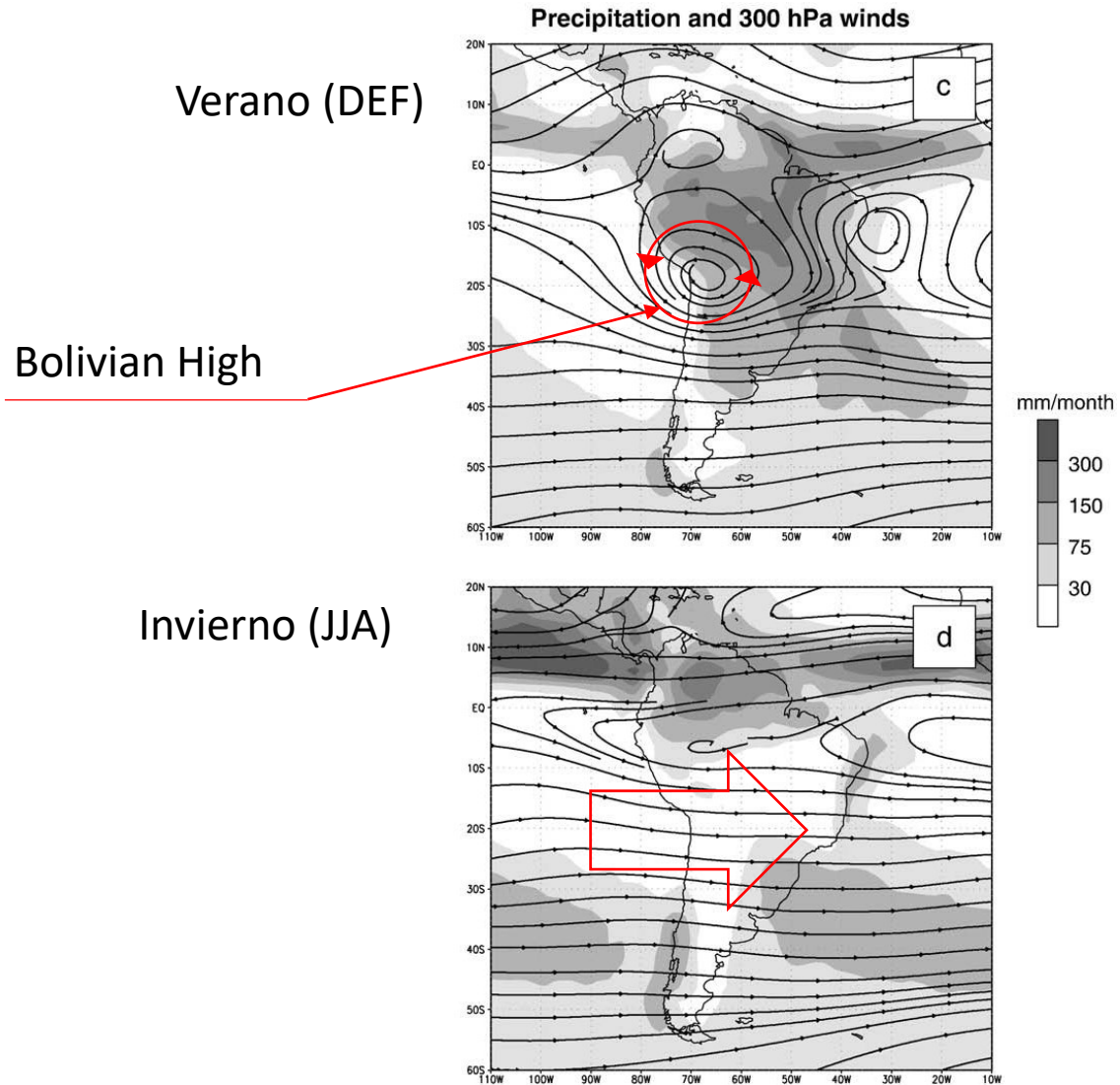
Variabilidad estacional de las lluvias en los Andes-Altiplano



Garreaud et al. (2009)



Variabilidad estacional de las lluvias en los Andes-Altiplano

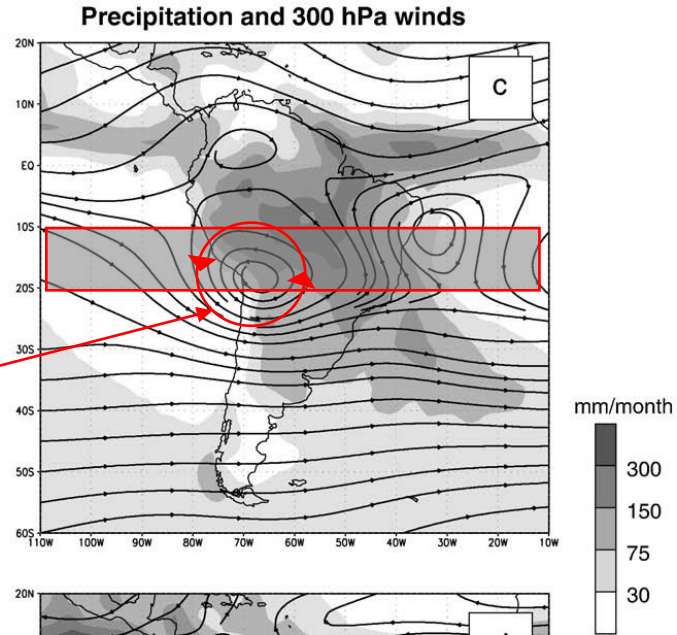


Garreaud et al. (2009)

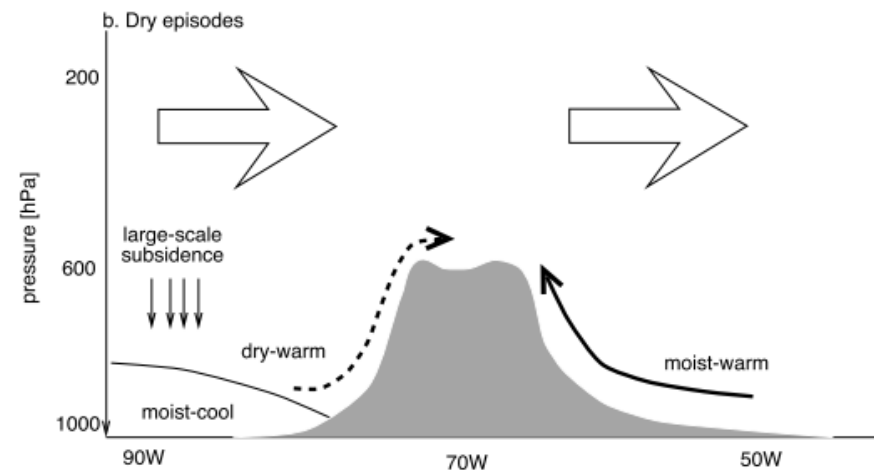
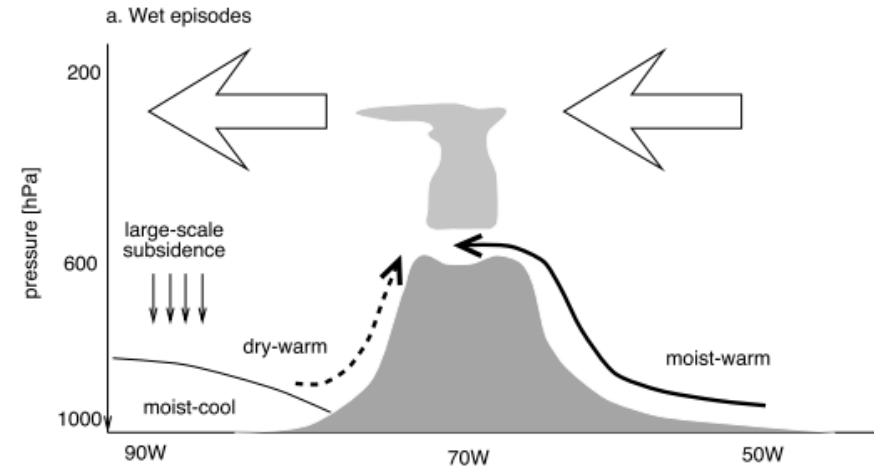
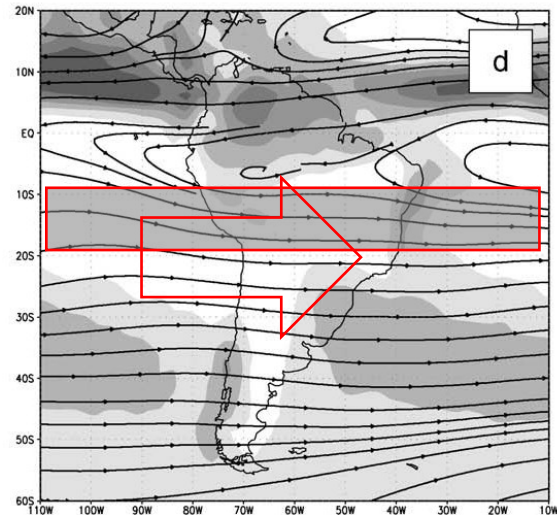
Variabilidad estacional de las lluvias en los Andes-Altiplano

Verano (DEF)

Bolivian High



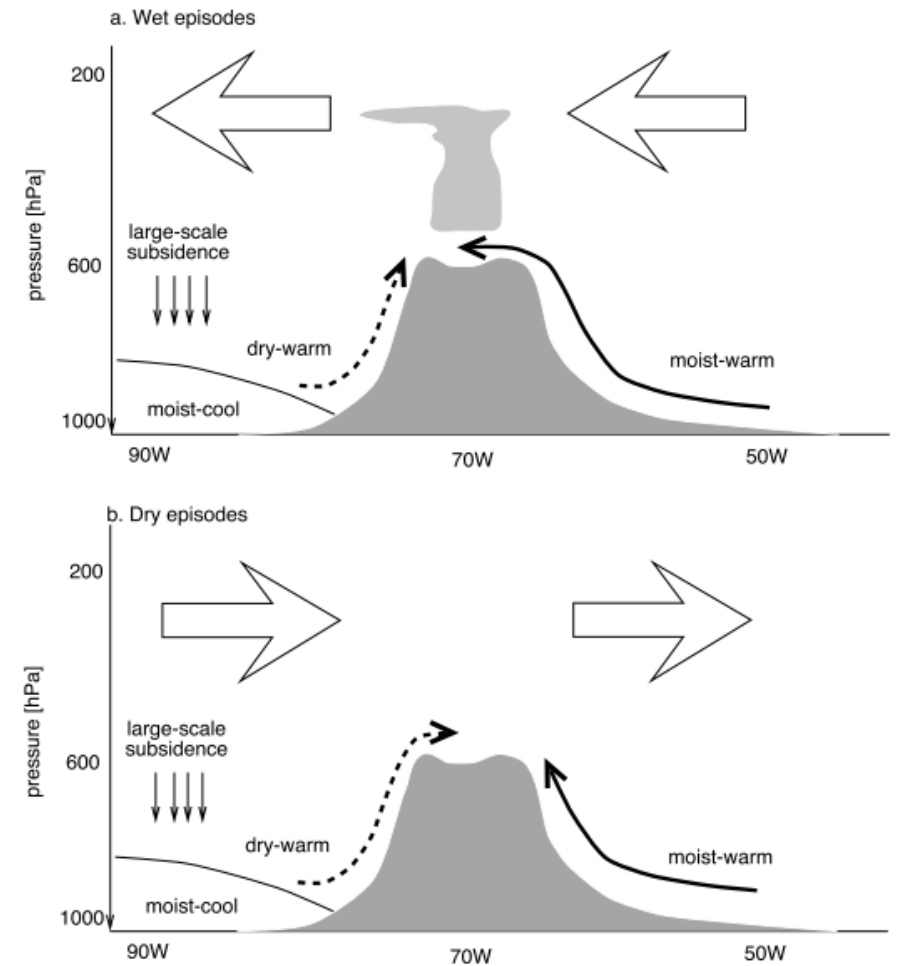
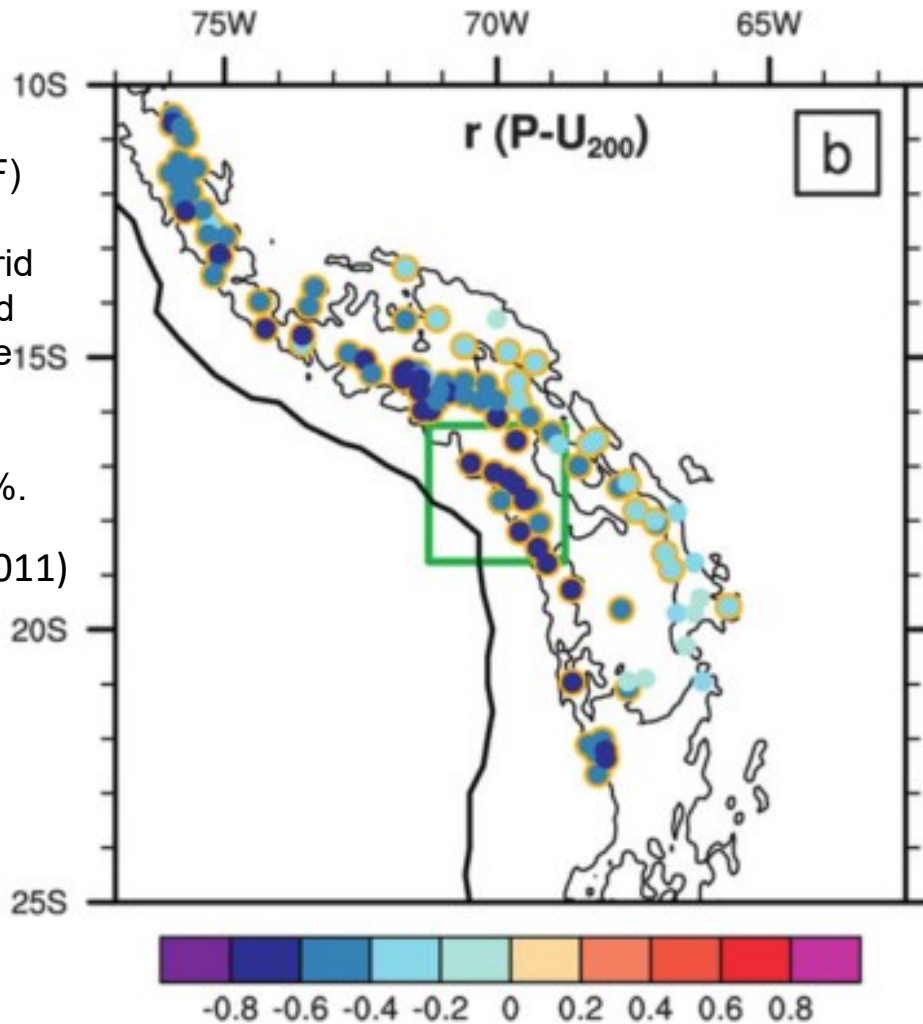
Invierno (JJA)



Precipitaciones en los Andes-Altiplano y su relación con vientos de alto nivel

Correlation between monthly (DJF) U200 from the NCEP-NCAR reanalysis at the 17.58S, 708W grid point (green square) and observed precipitation at each station for the period 1948–2007. Circles with yellow outline indicate significant correlations based on t test at 95%.

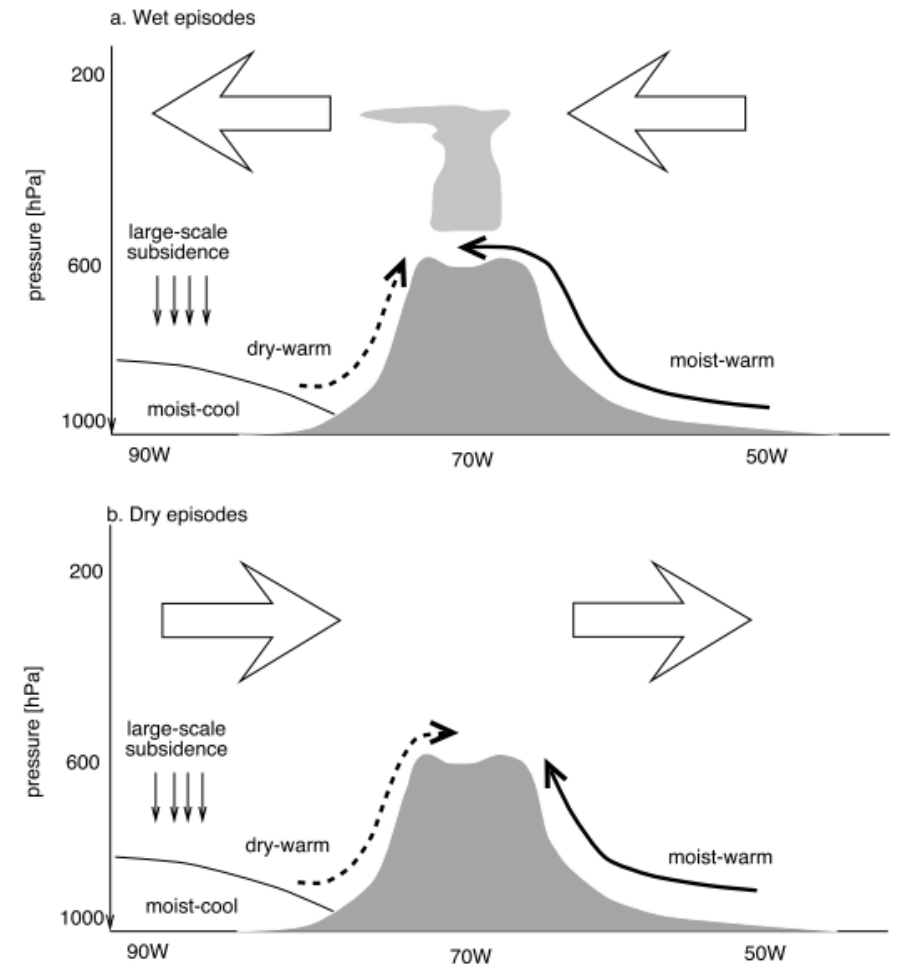
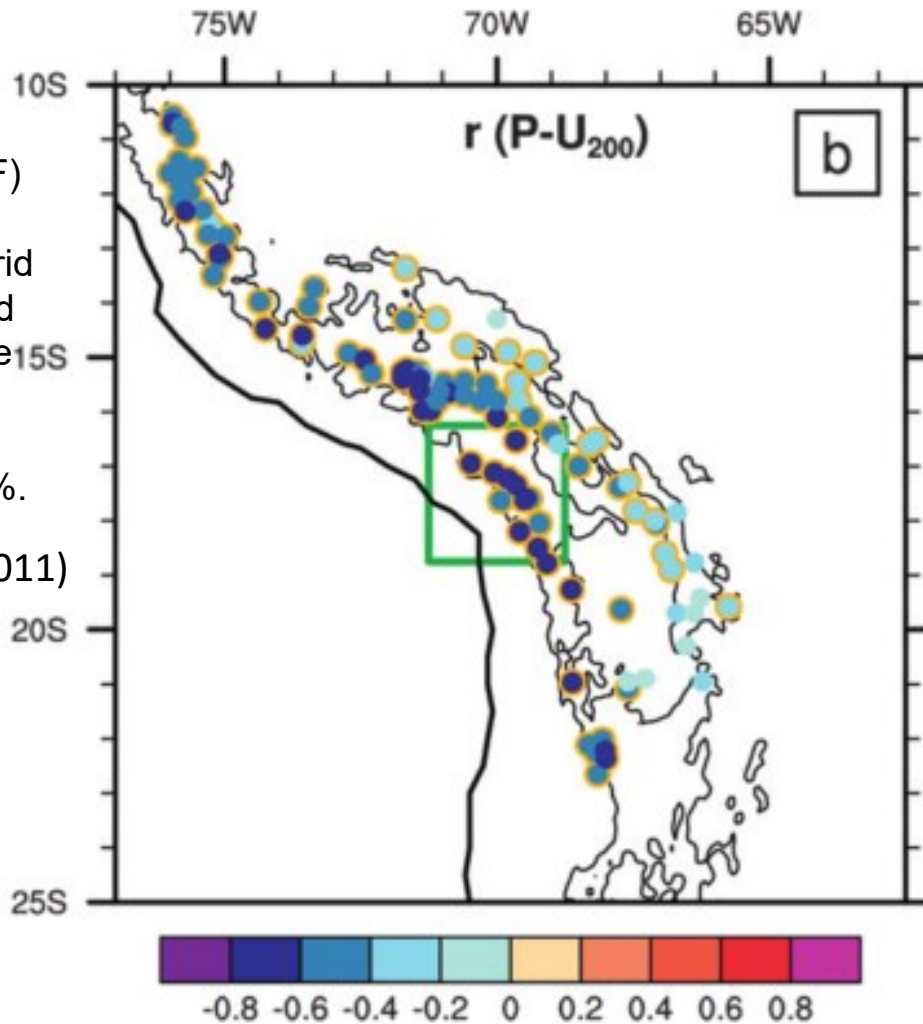
Minvielle and Garreaud (2011)



Precipitaciones en los Andes-Altiplano y su relación con vientos de alto nivel

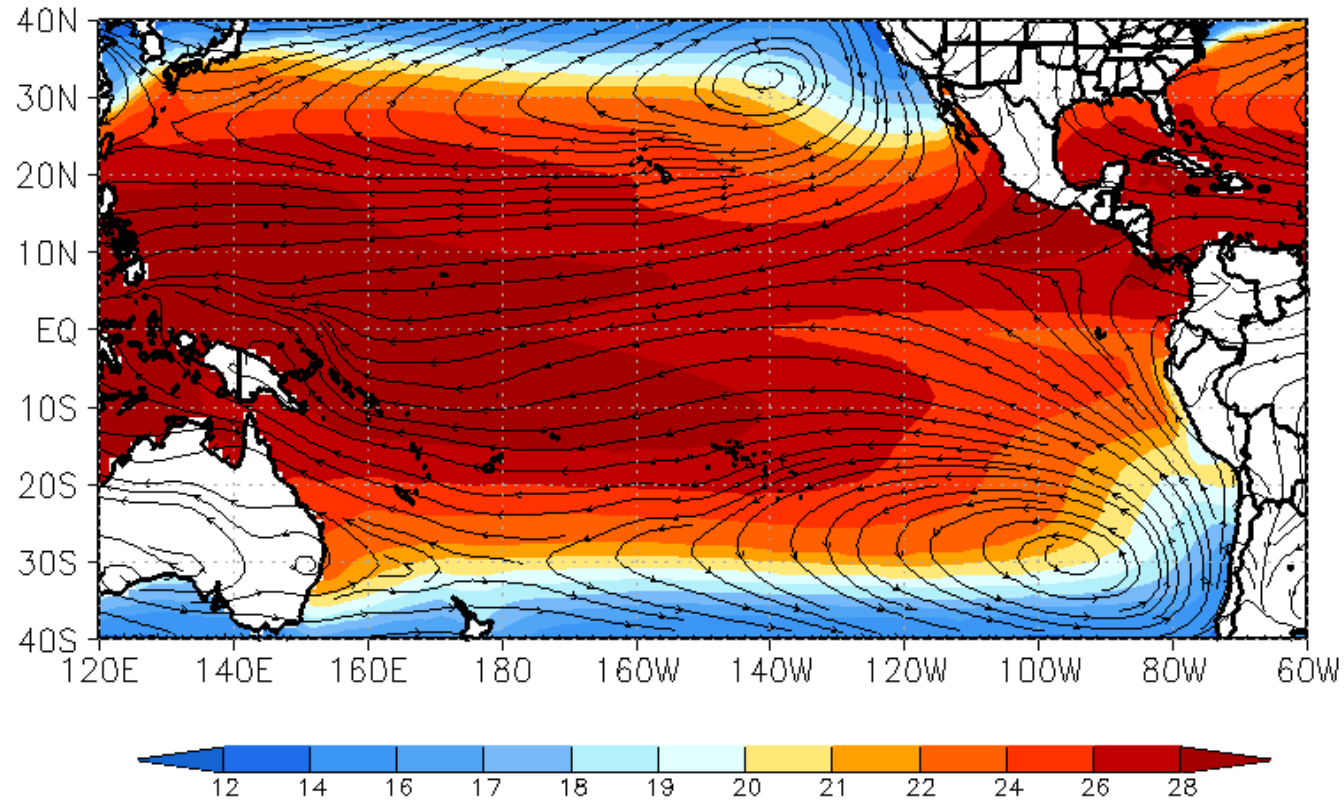
Correlation between monthly (DJF) U200 from the NCEP–NCAR reanalysis at the 17.58S, 708W grid point (green square) and observed precipitation at each station for the period 1948–2007. Circles with yellow outline indicate significant correlations based on t test at 95%.

Minvielle and Garreaud (2011)

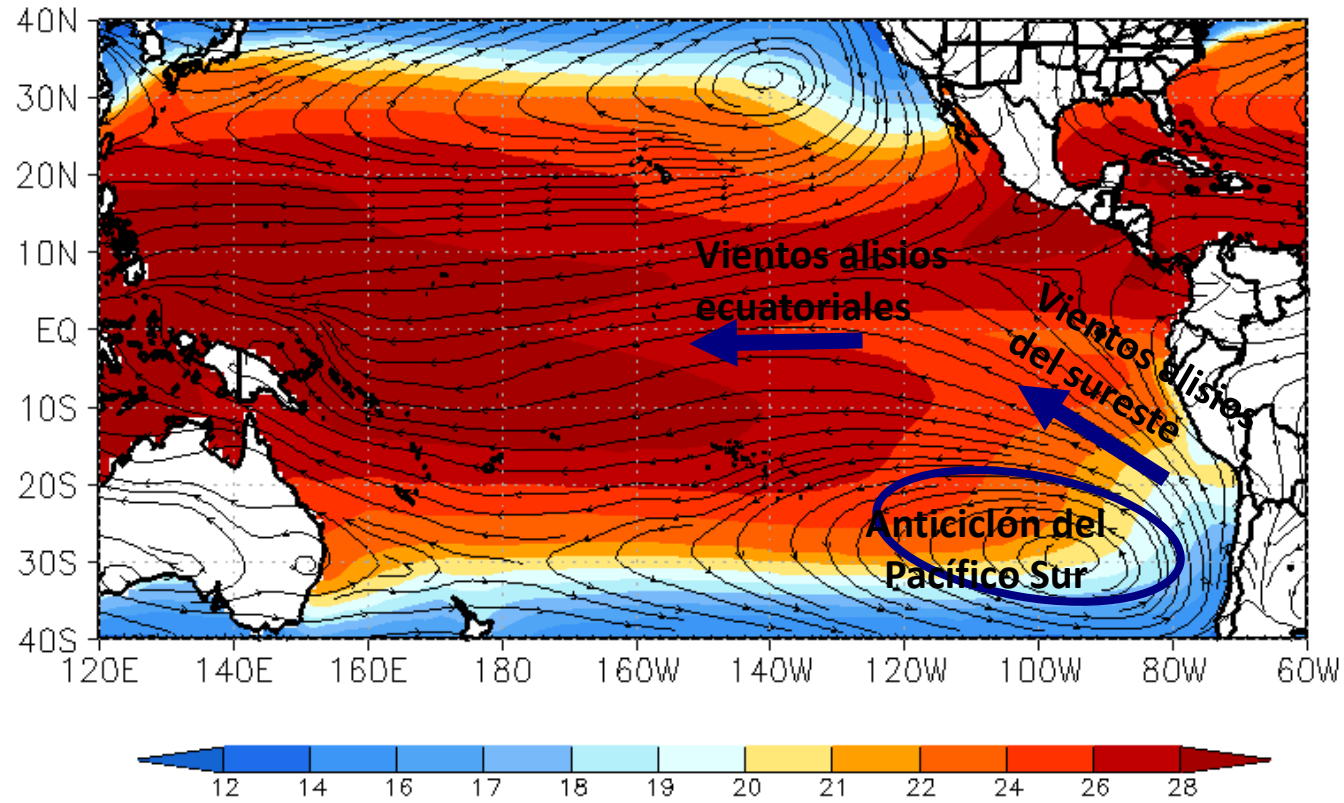


Esta relación también se ha documentado a escalas multidecadales (Segura et al., 2016). Pero parece haber perdido fuerza desde inicios de los años 2000 (Segura et al., 2020)

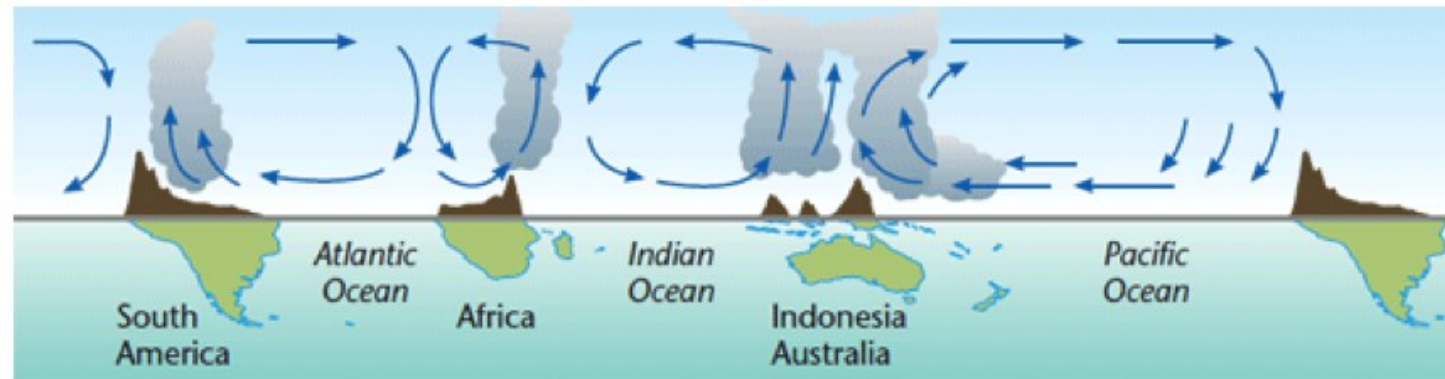
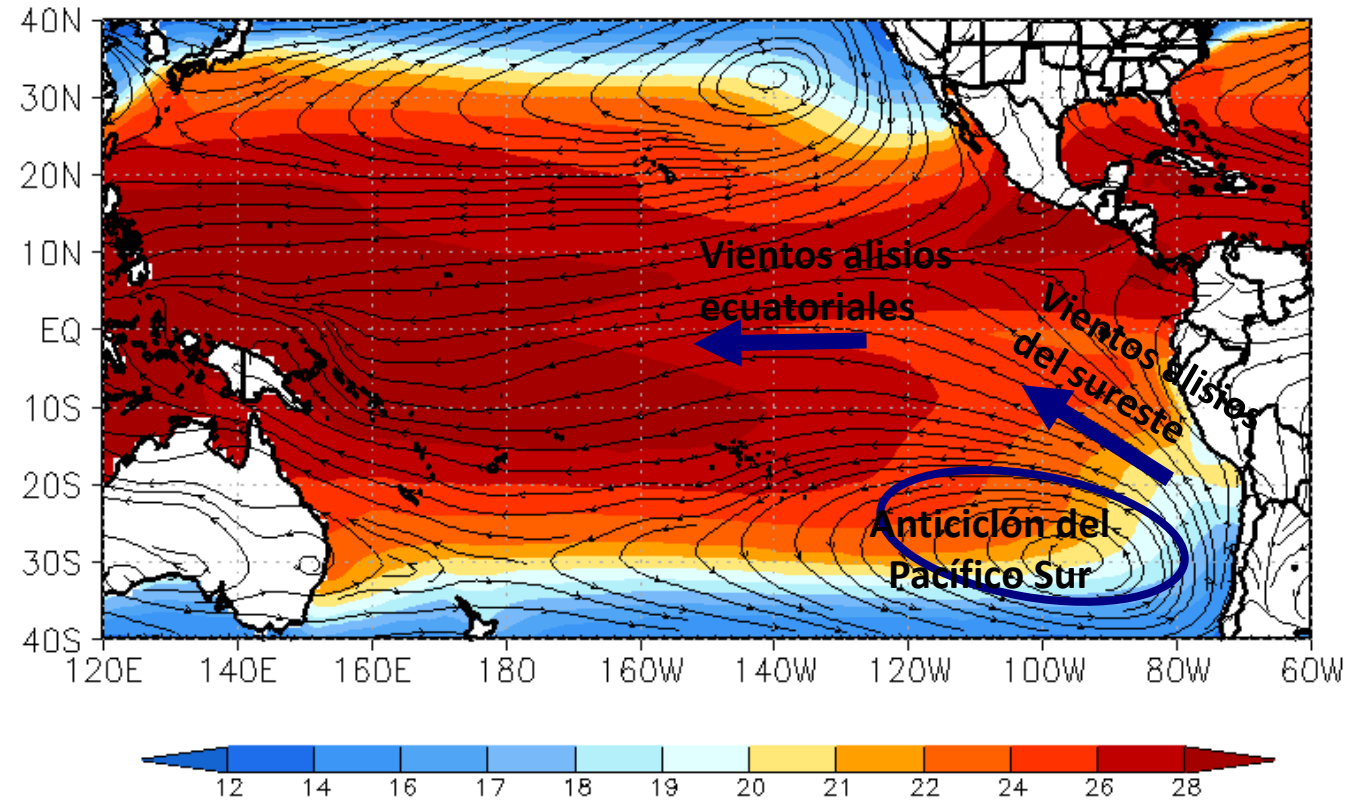
El clima promedio en el Pacífico y la circulación de Walker



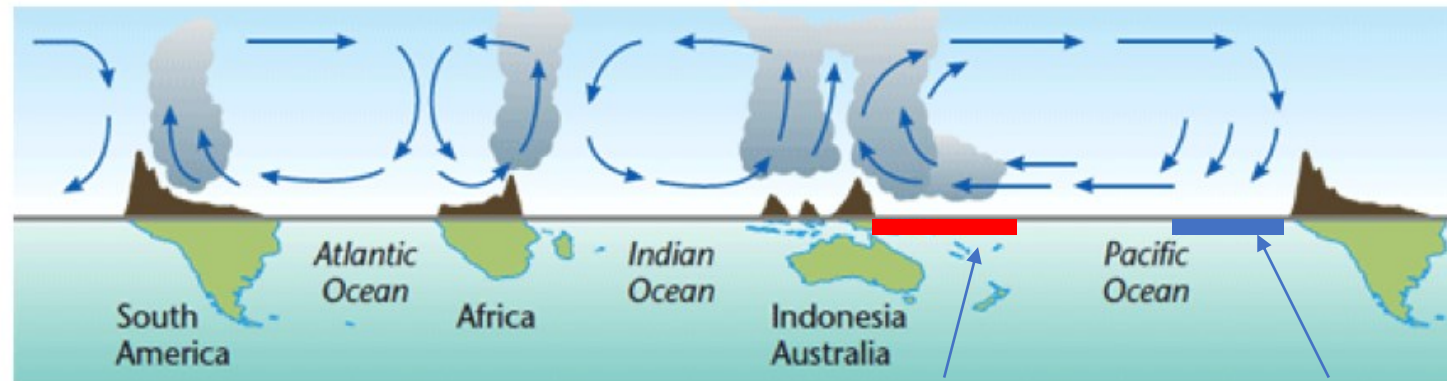
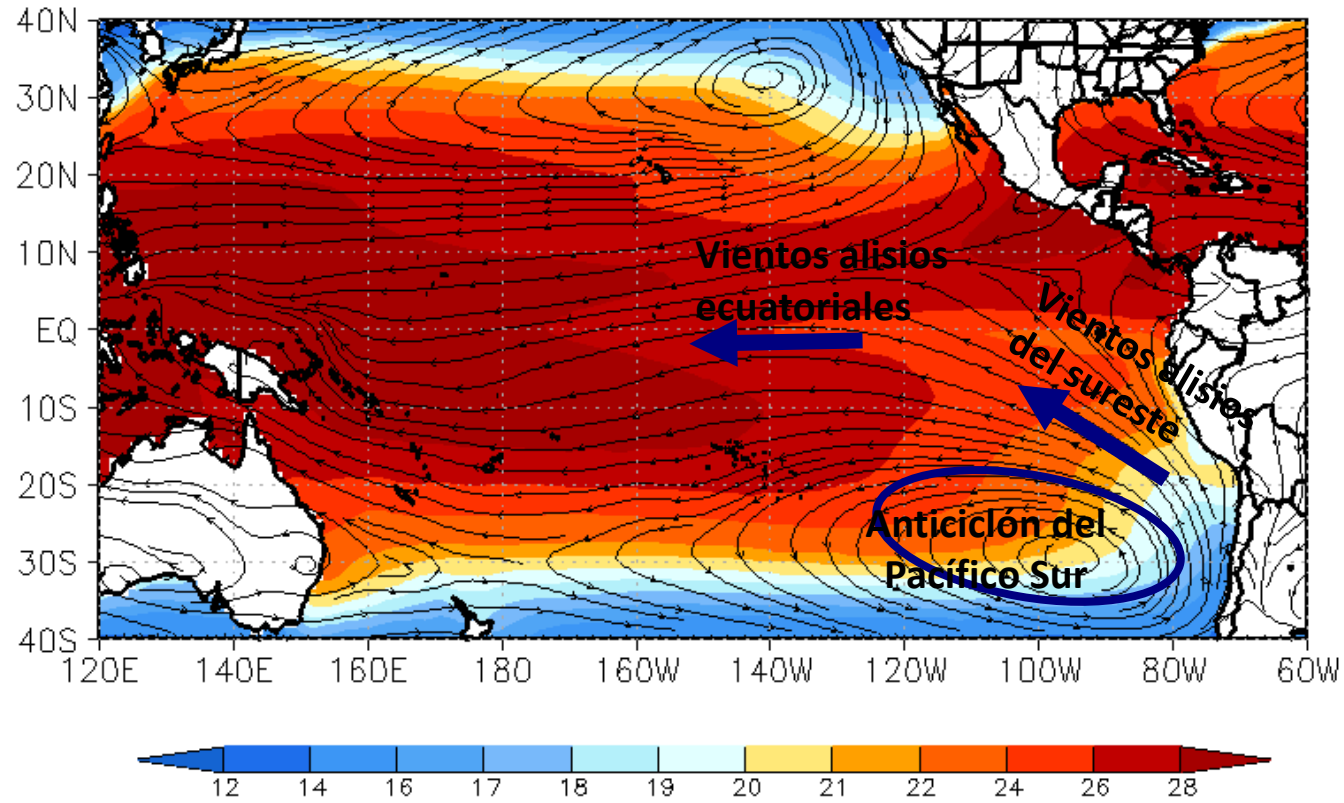
El clima promedio en el Pacífico y la circulación de Walker



El clima promedio en el Pacífico y la circulación de Walker



El clima promedio en el Pacífico y la circulación de Walker

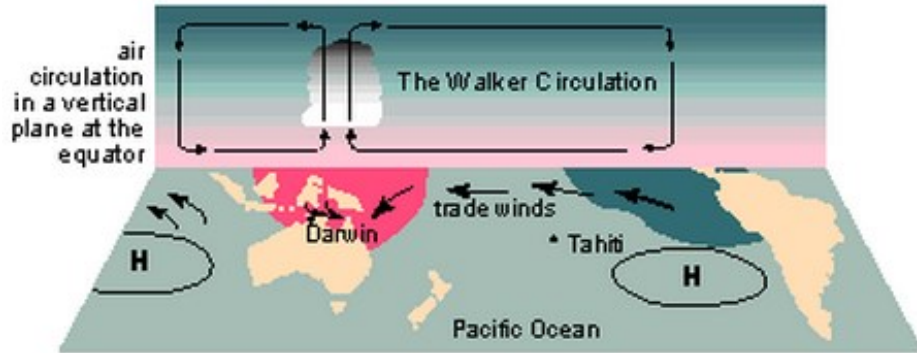


Más caliente

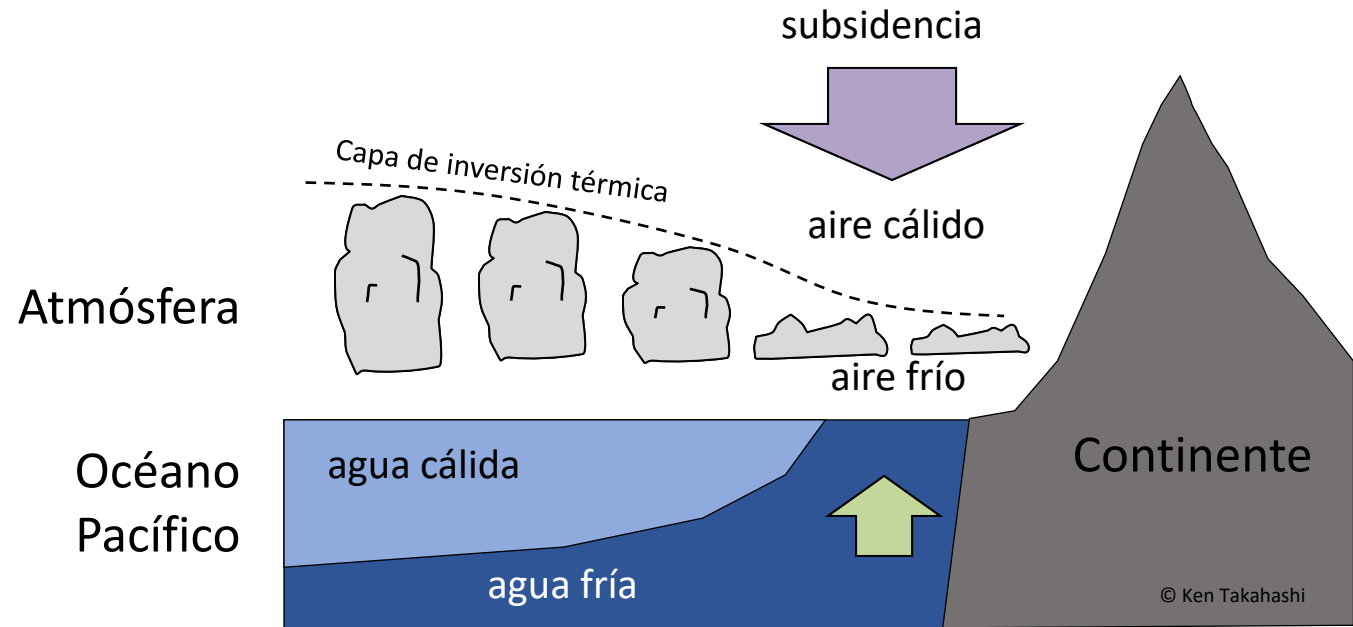
Más frío

Condiciones climáticas típicas en la costa del Perú

Typical Walker circulation pattern



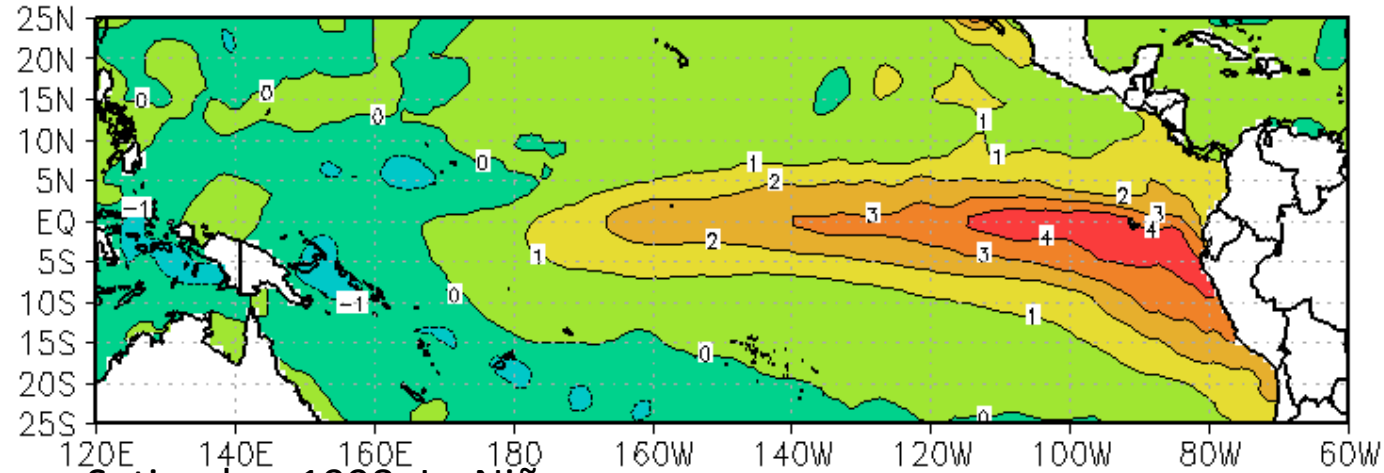
warmer sea cooler sea (H) typical summer positions of high pressure systems surface winds



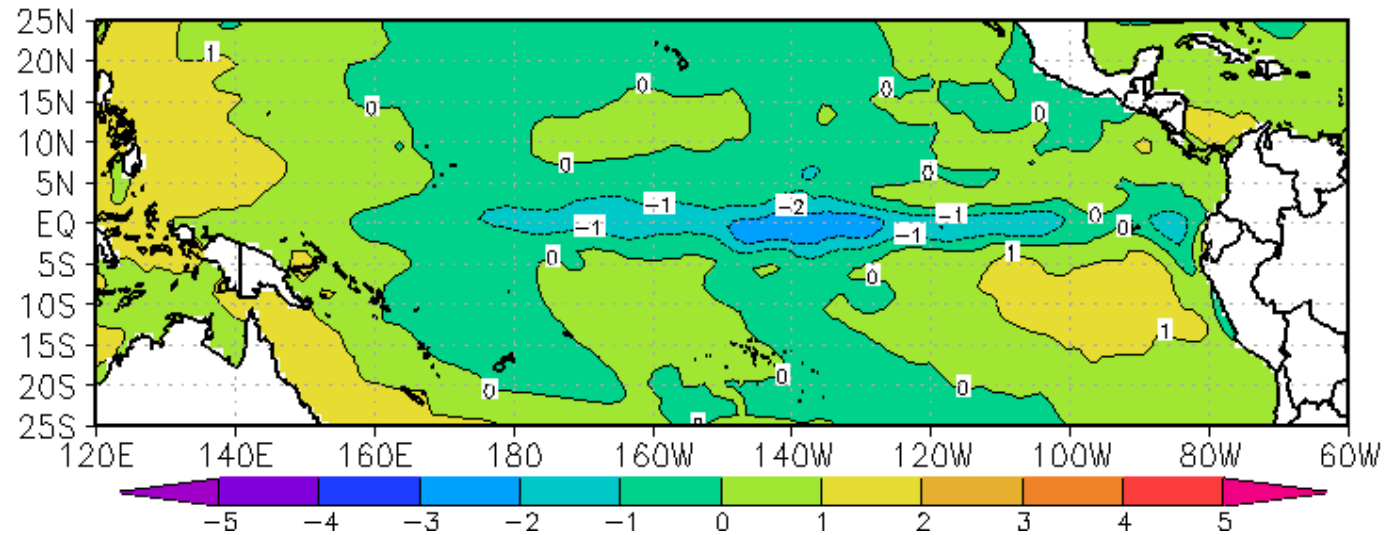
La frialdad del mar/aire superficial, y el calentamiento del aire más arriba por la subsistencia inhiben el ascenso de aire necesario para la lluvia.

Anomalía* de temperatura superficial del mar

Setiembre 1997: El Niño



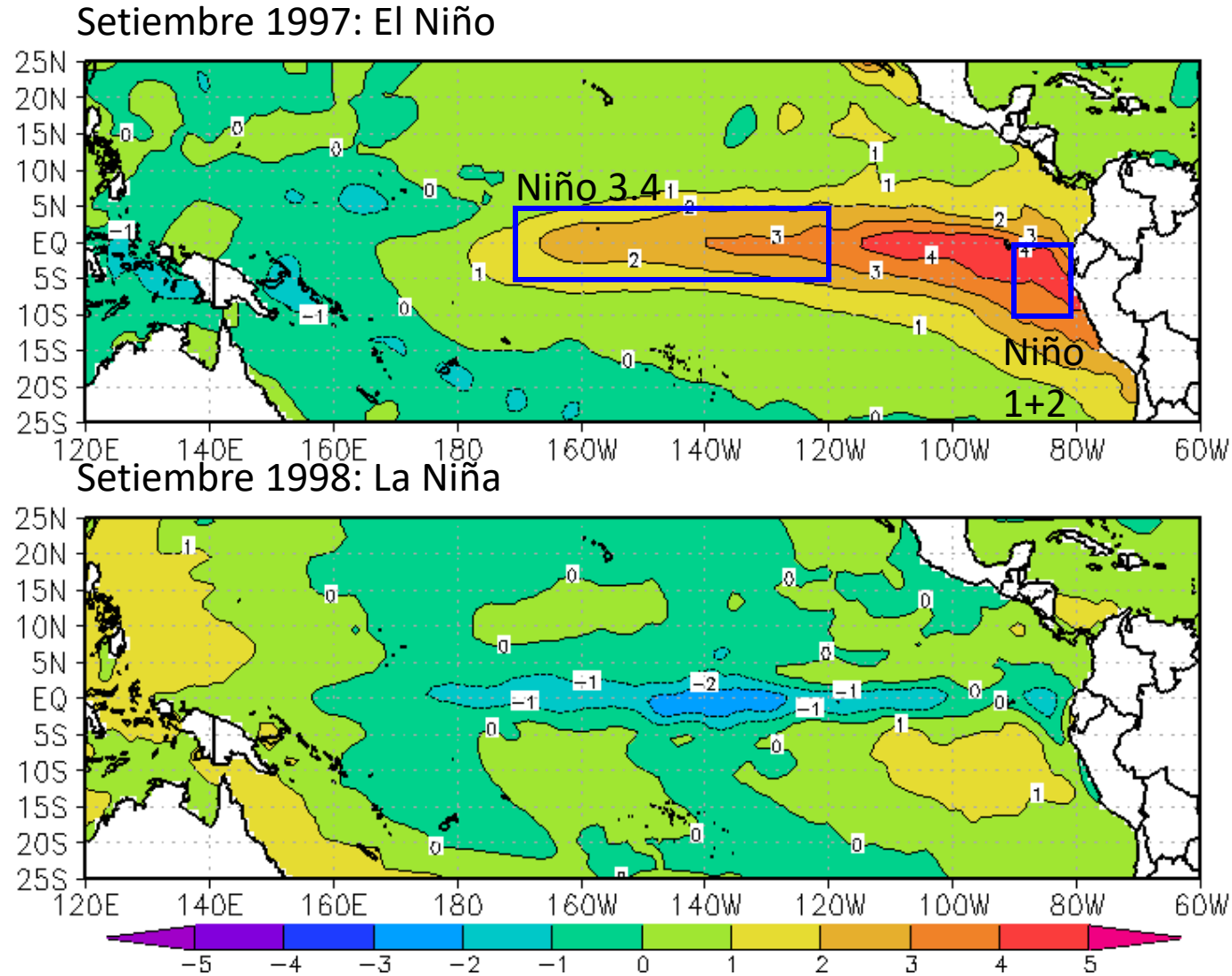
Setiembre 1998: La Niña



Fuente de
datos: NCEP

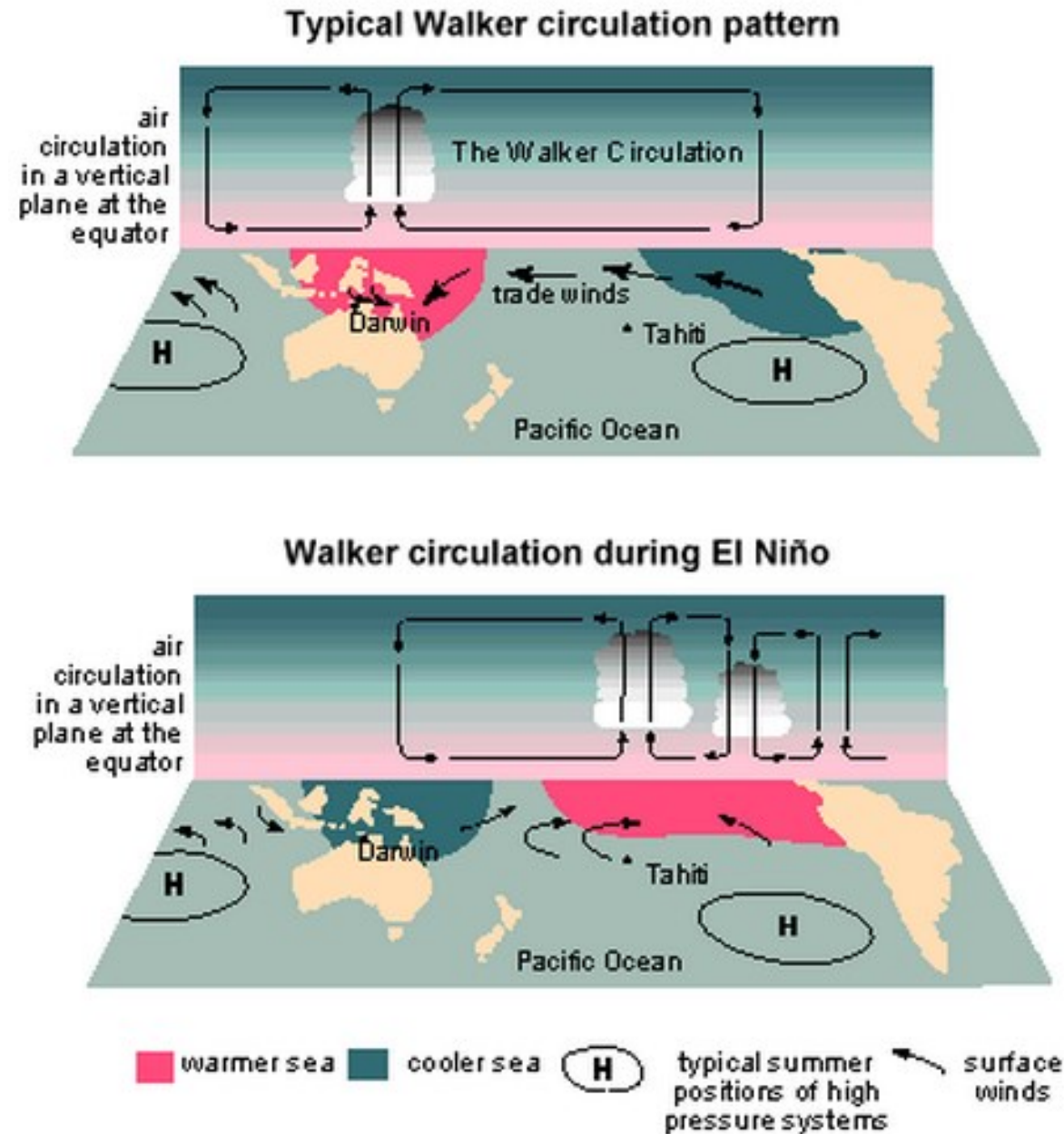
* "Anomalía" = Diferencia con respecto al valor promedio de al menos 20 años

Anomalía* de temperatura superficial del mar

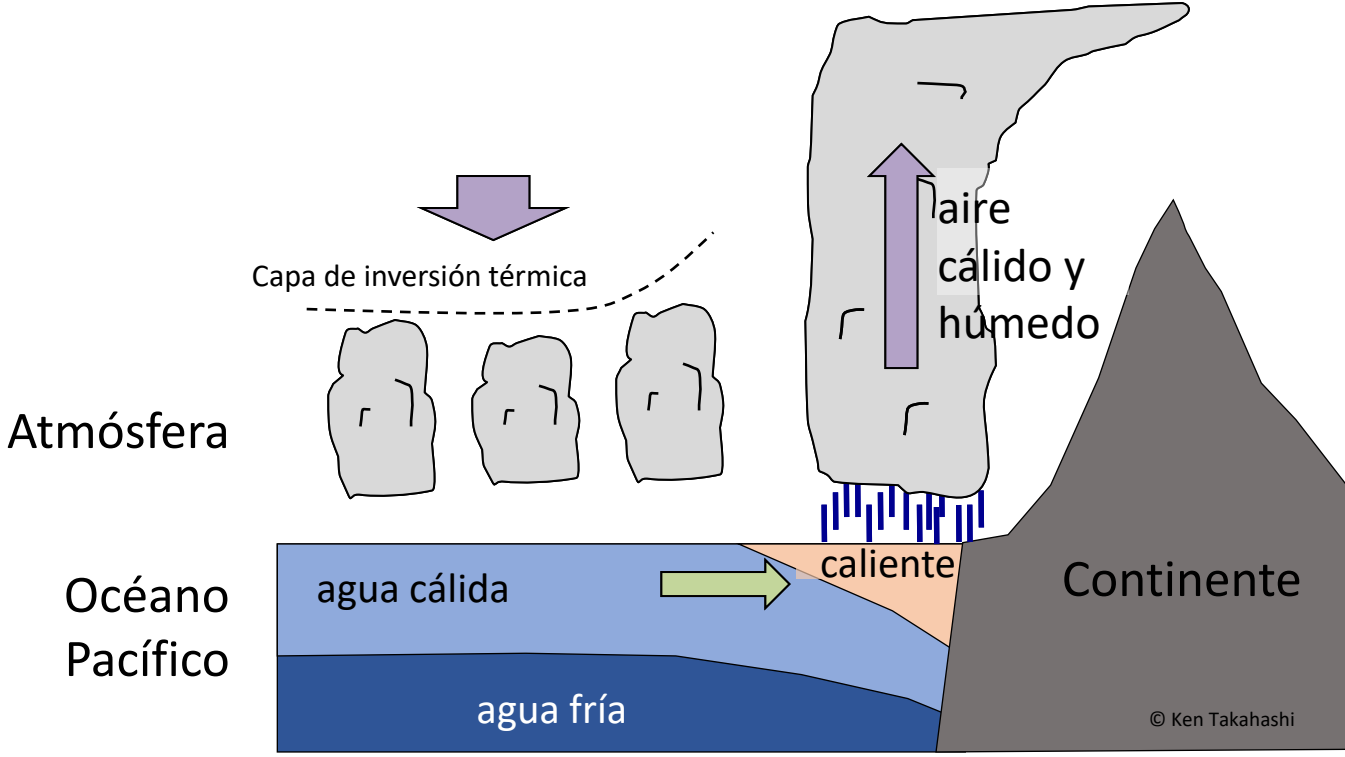
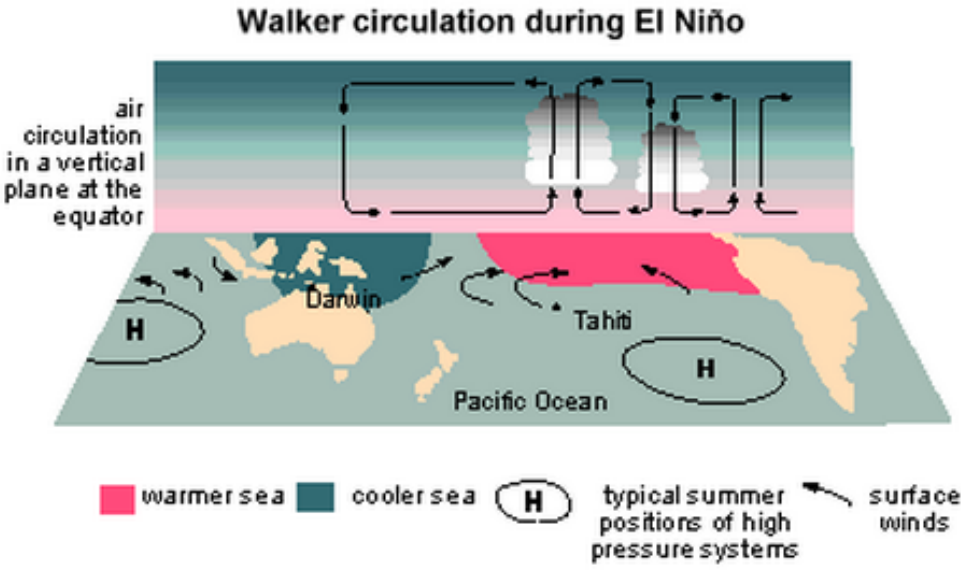


* “Anomalía” = Diferencia con respecto al valor promedio de al menos 20 años

Cambios en la circulación de Walker debido a El Niño



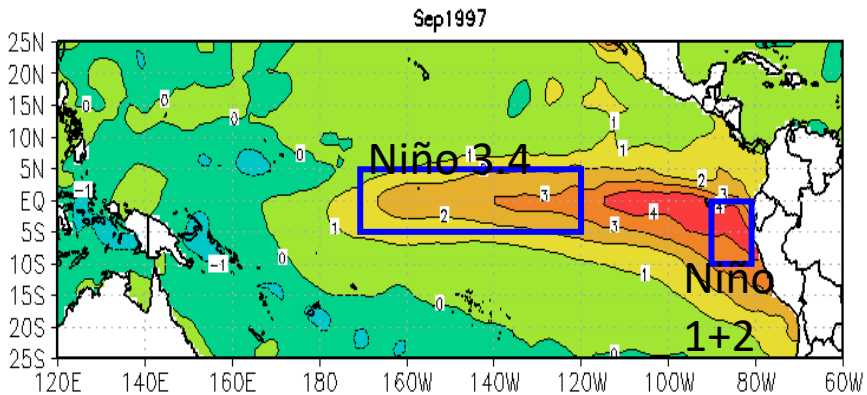
Condiciones climáticas típicas en la costa del Perú Durante el Fenómeno El Niño*



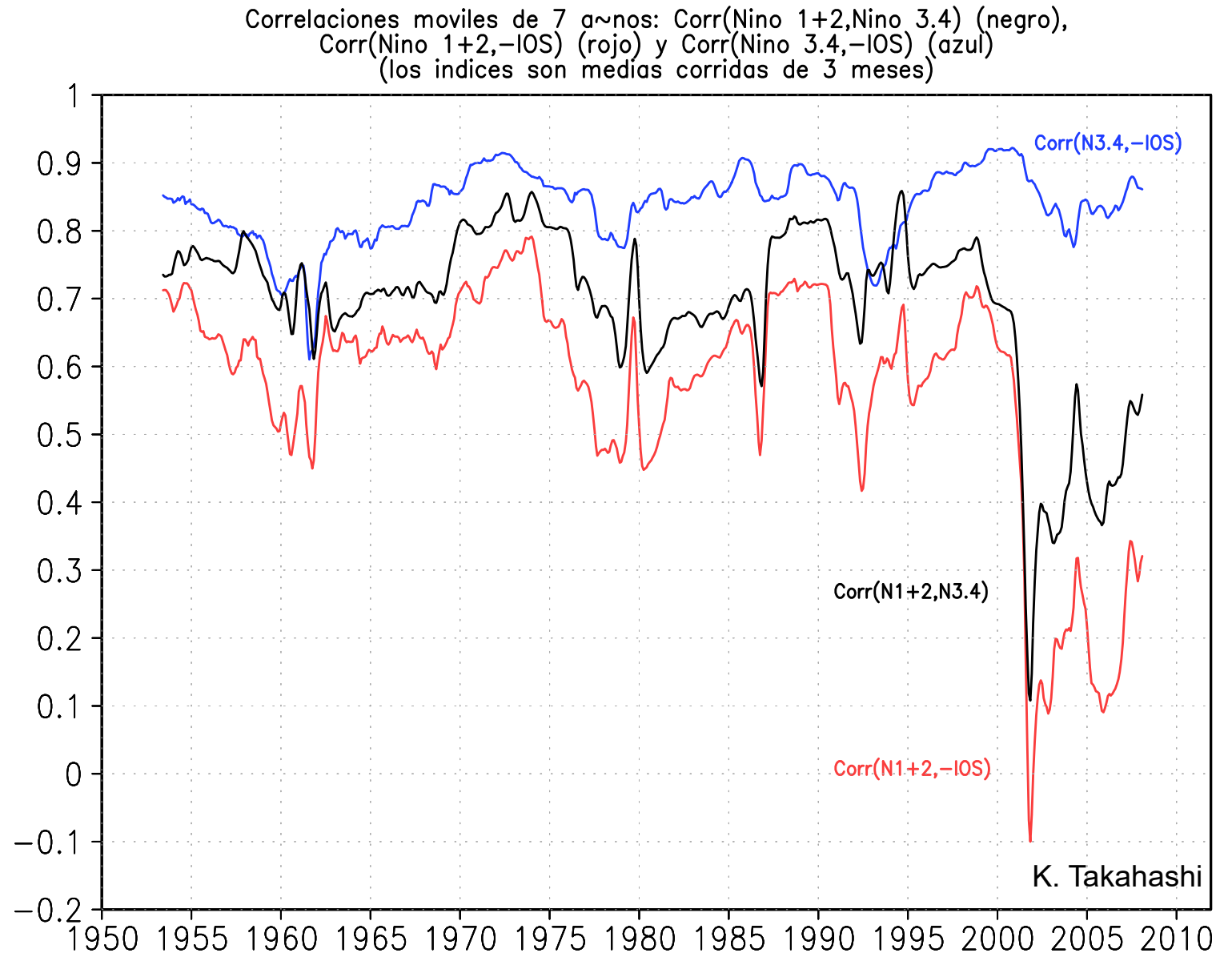
El mar caliente permite la formación de tormentas tropicales en la costa

* **Importante:** Cuando el FEN se da en invierno, solo tendrá un efecto notable sobre la temperatura pero **no sobre la lluvia**

¿Diferentes tipos de El Niño?



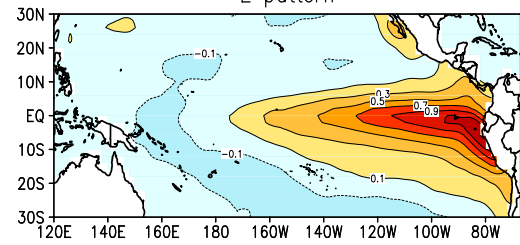
- El IOS y el Niño 3.4 representan la misma variabilidad de ENOS a escala global
- El Niño 1+2 (costa de Sudamérica) se ha desacoplado fuertemente del ENOS global en las últimas décadas



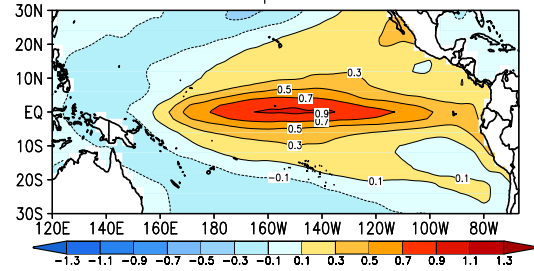
Diversidad de El Niño y sus impactos en los Andes

Takahashi et al., 2011

E pattern

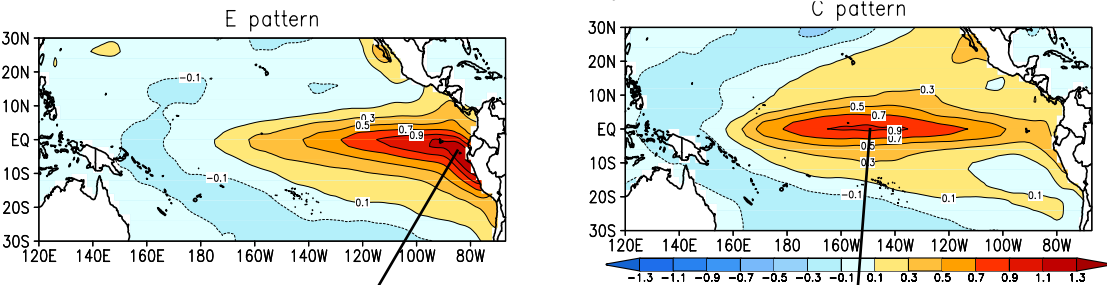


C pattern



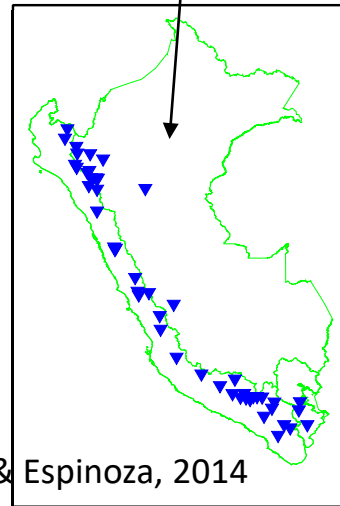
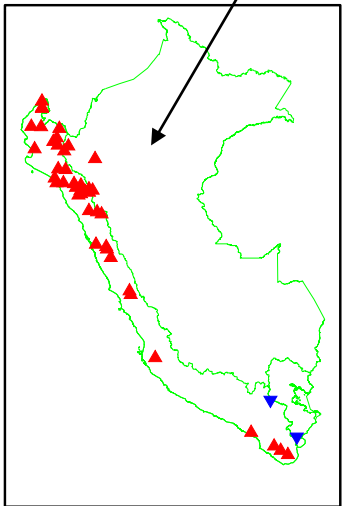
Diversidad de El Niño y sus impactos en los Andes

Takahashi et al., 2011



a) Correlacion de Lluvias Anuales vs. Indice E

b) Correlacion de Lluvias Anuales vs. Indice C



Lavado & Espinoza, 2014

Calentamiento en la costa favorece más lluvia

Calentamiento (enfriamiento) en el centro suprime (incrementa) la lluvia en la cuenca alta

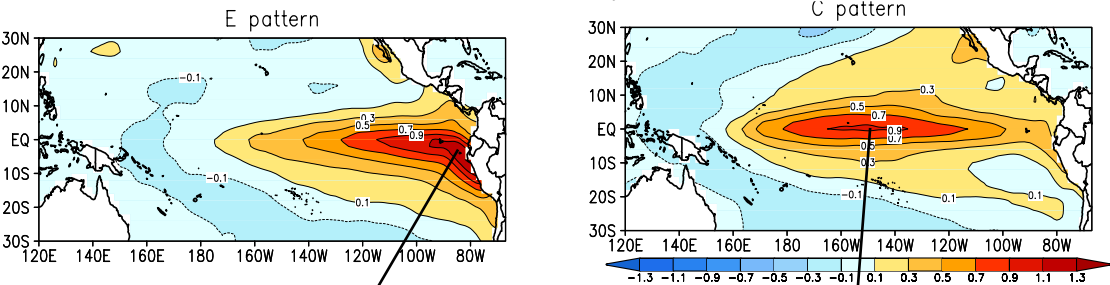
Codiciones frías en el Pacífico Oeste pueden reducir la estabilidad atmosférica en los Andes tropicales (ver Takahashi & Martinez., 2017; Sulca et al2016)

▲ Correlaciones positivas. Más lluvia

▼ Correlaciones negativas. Menos lluvia

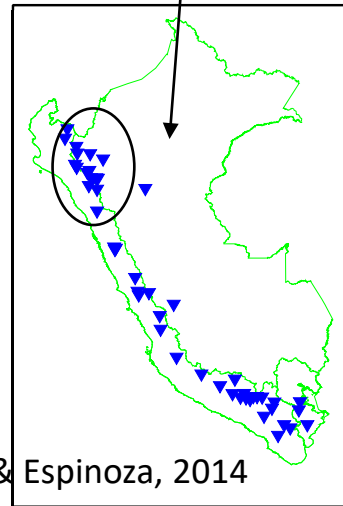
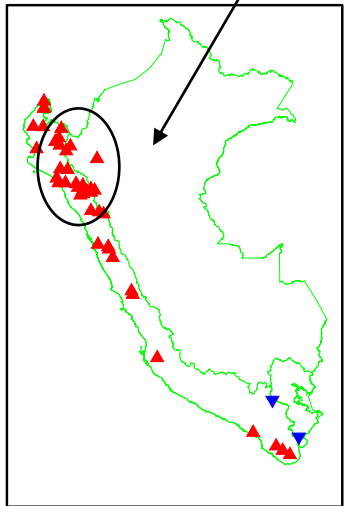
Diversidad de El Niño y sus impactos en los Andes

Takahashi et al., 2011



a) Correlacion de Lluvias Anuales vs. Indice E

b) Correlacion de Lluvias Anuales vs. Indice C



Lavado & Espinoza, 2014

Calentamiento en la costa favorece más lluvia

Calentamiento (enfriamiento) en el centro suprime (incrementa) la lluvia en la cuenca alta

Diferentes “tipos” de El Niño tienen impactos distintos (contrarios) en las precipitaciones en Andes tropicales

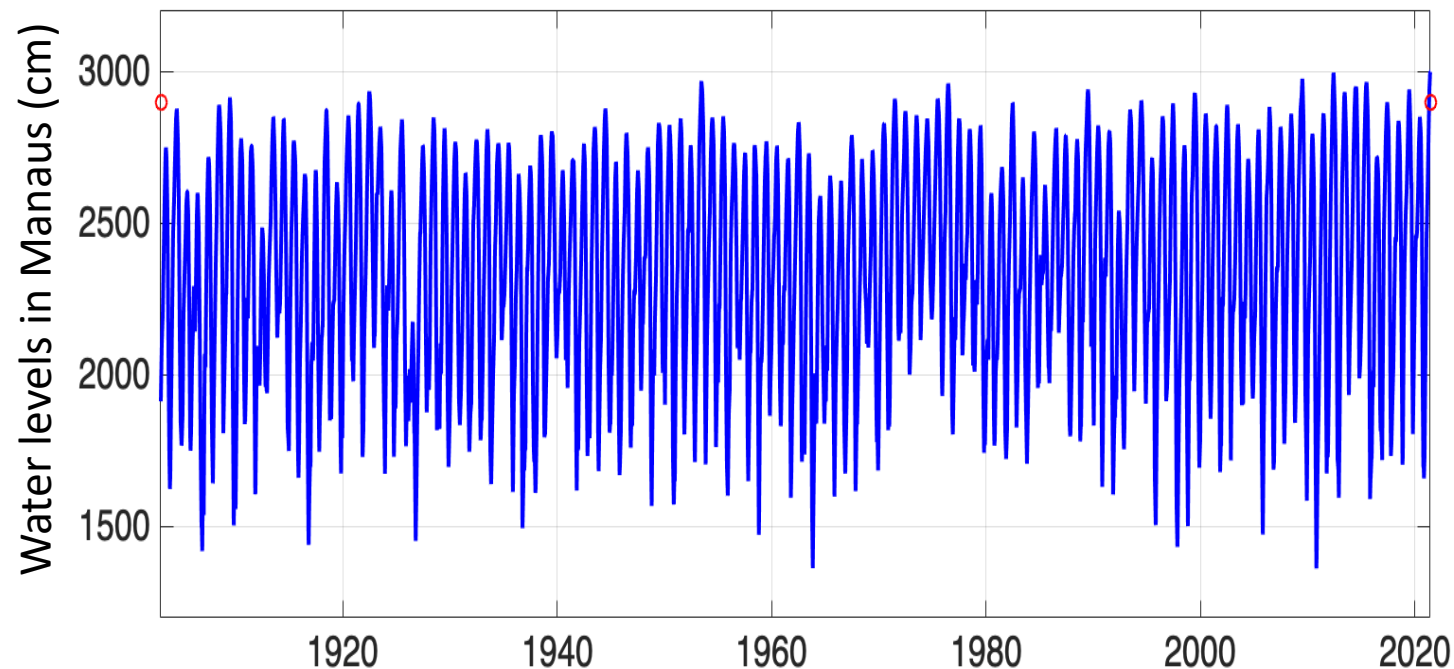
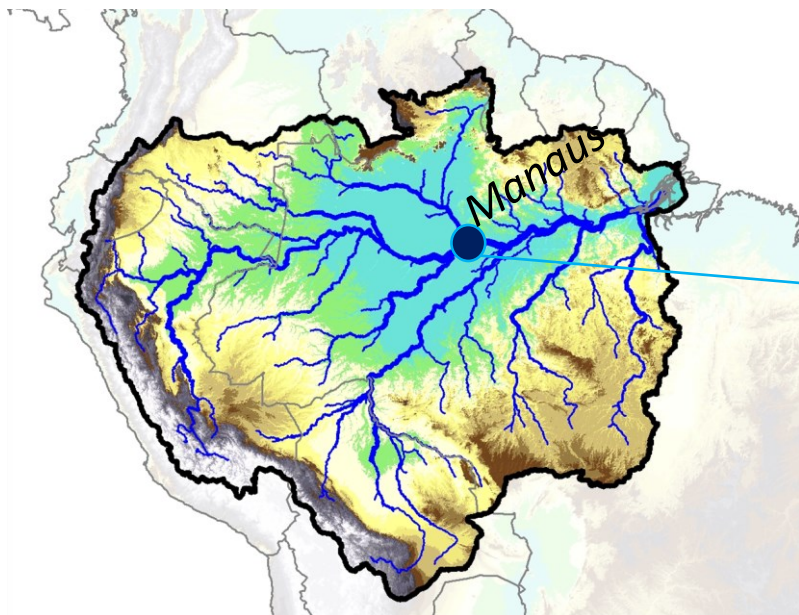
Codiciones frías en el Pacífico Oeste pueden reducir la estabilidad atmosférica en los Andes tropicales (ver Takahashi & Martinez., 2017; Sulca et al 2016)

▲ Correlaciones positivas. Más lluvia

▼ Correlaciones negativas. Menos lluvia

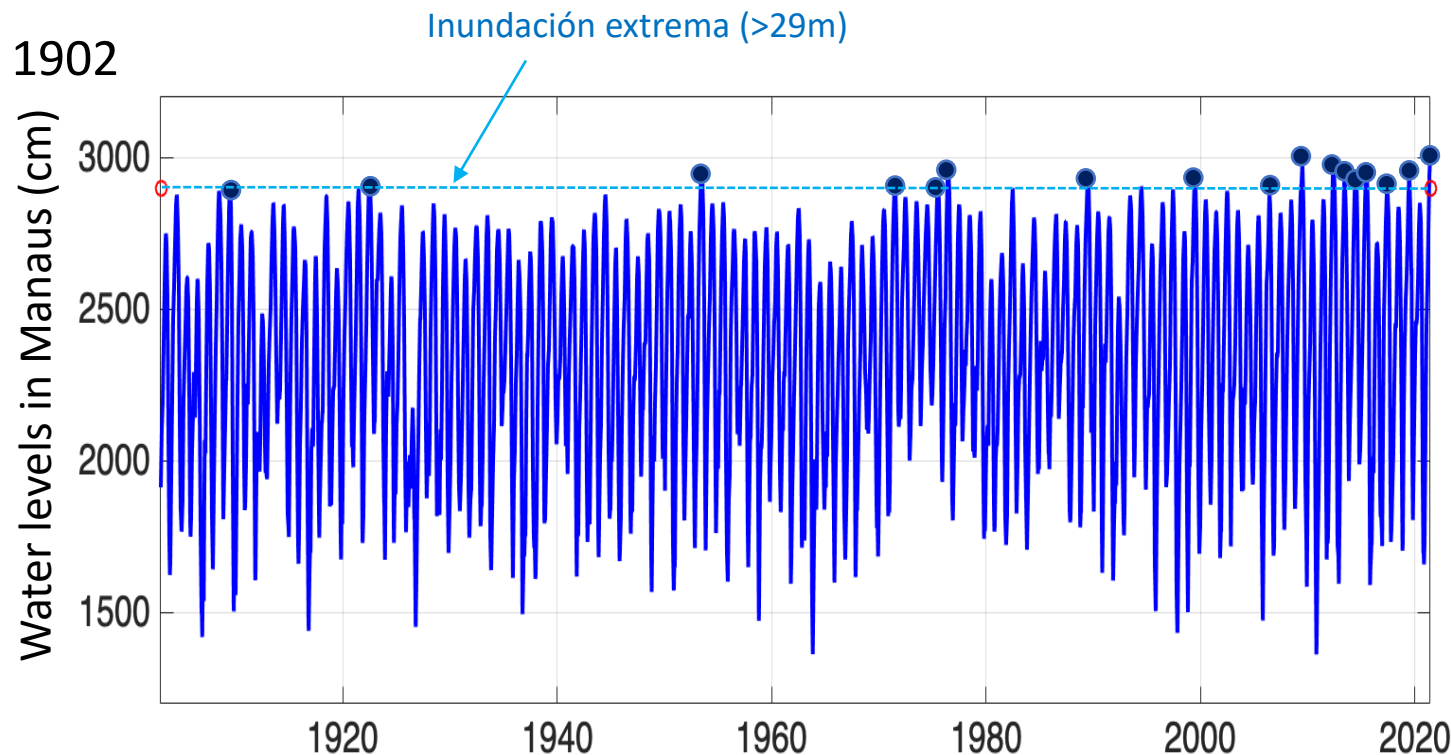
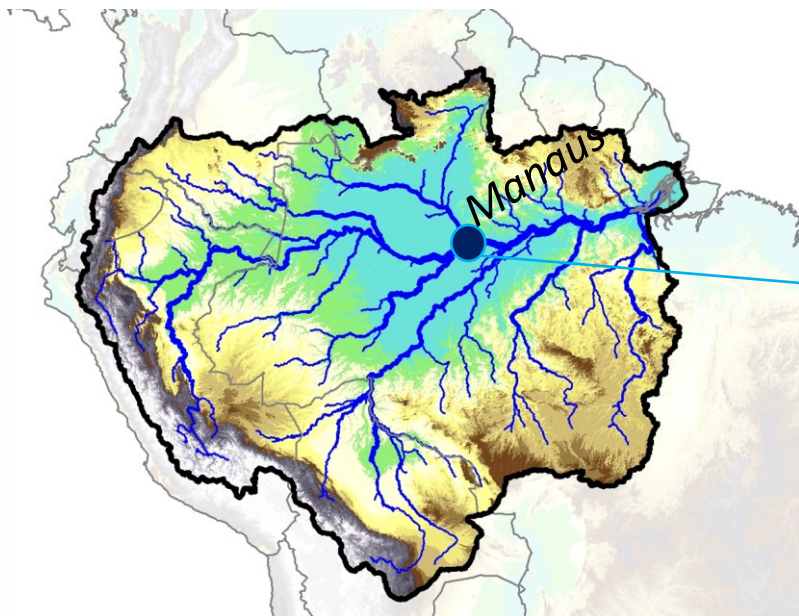
Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica

Niveles de agua del río en Manaus (Brasil) desde 1902



Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica

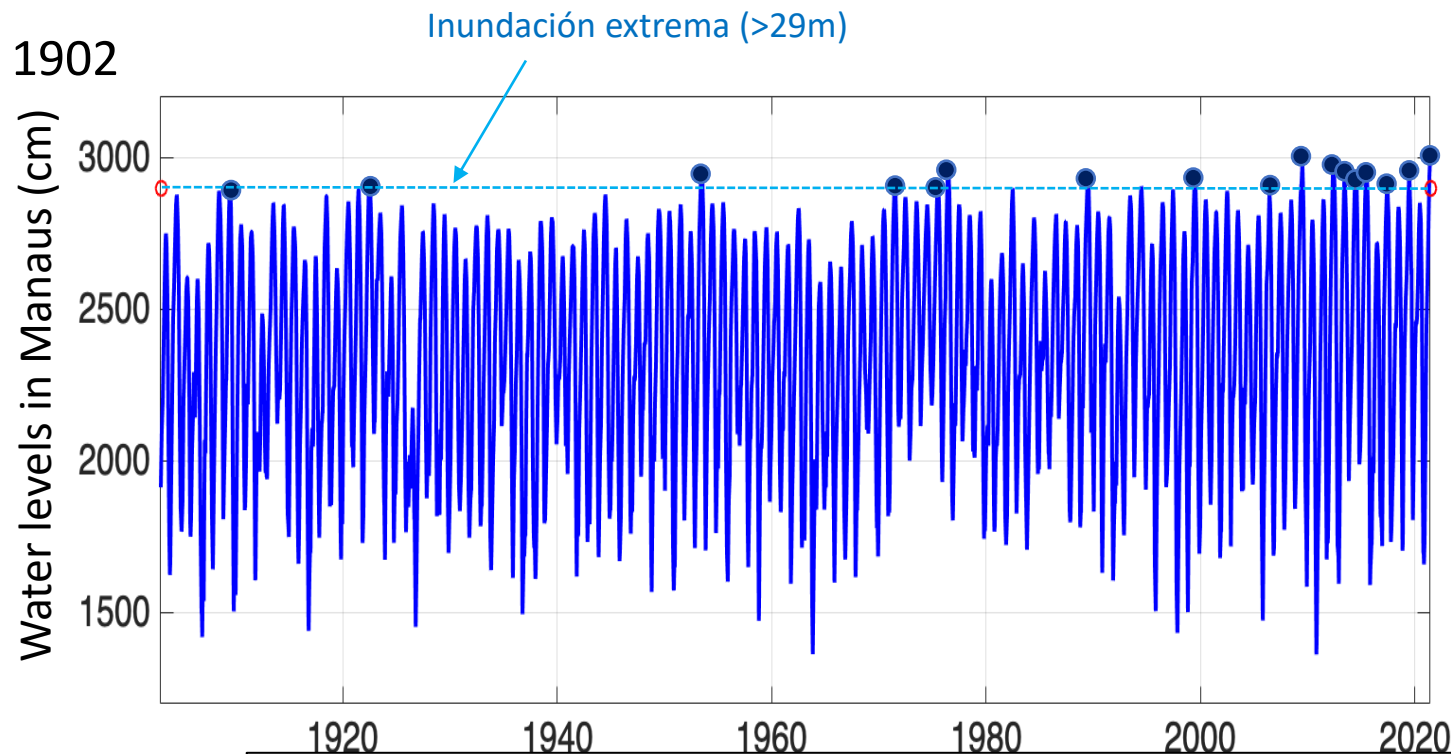
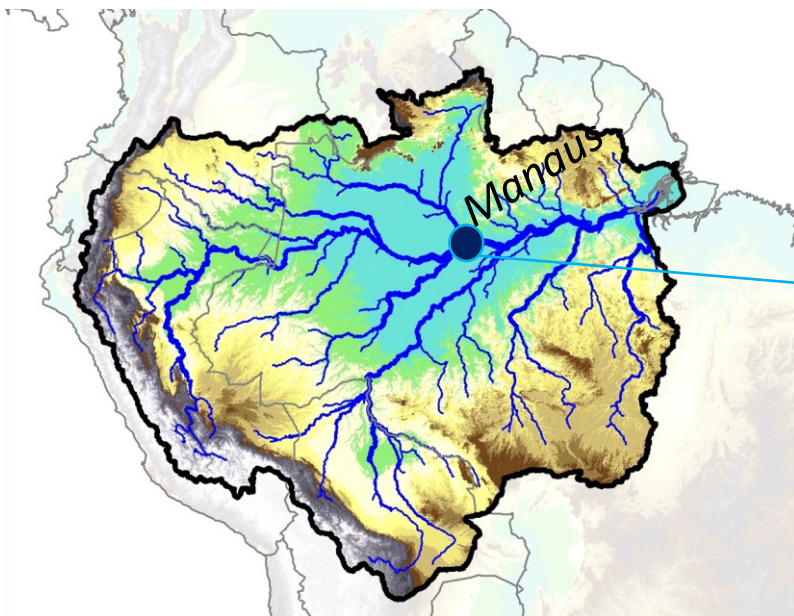
Niveles de agua del río en Manaus (Brasil) desde 1902



- Primera mitad del siglo 20: 1 inundación cada 20 años
 - Desde 2000: 1 inundación cada 4 años

Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica

Niveles de agua del río en Manaus (Brasil) desde 1902



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Weather and Climate Extremes

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

Espinoza et al 2022

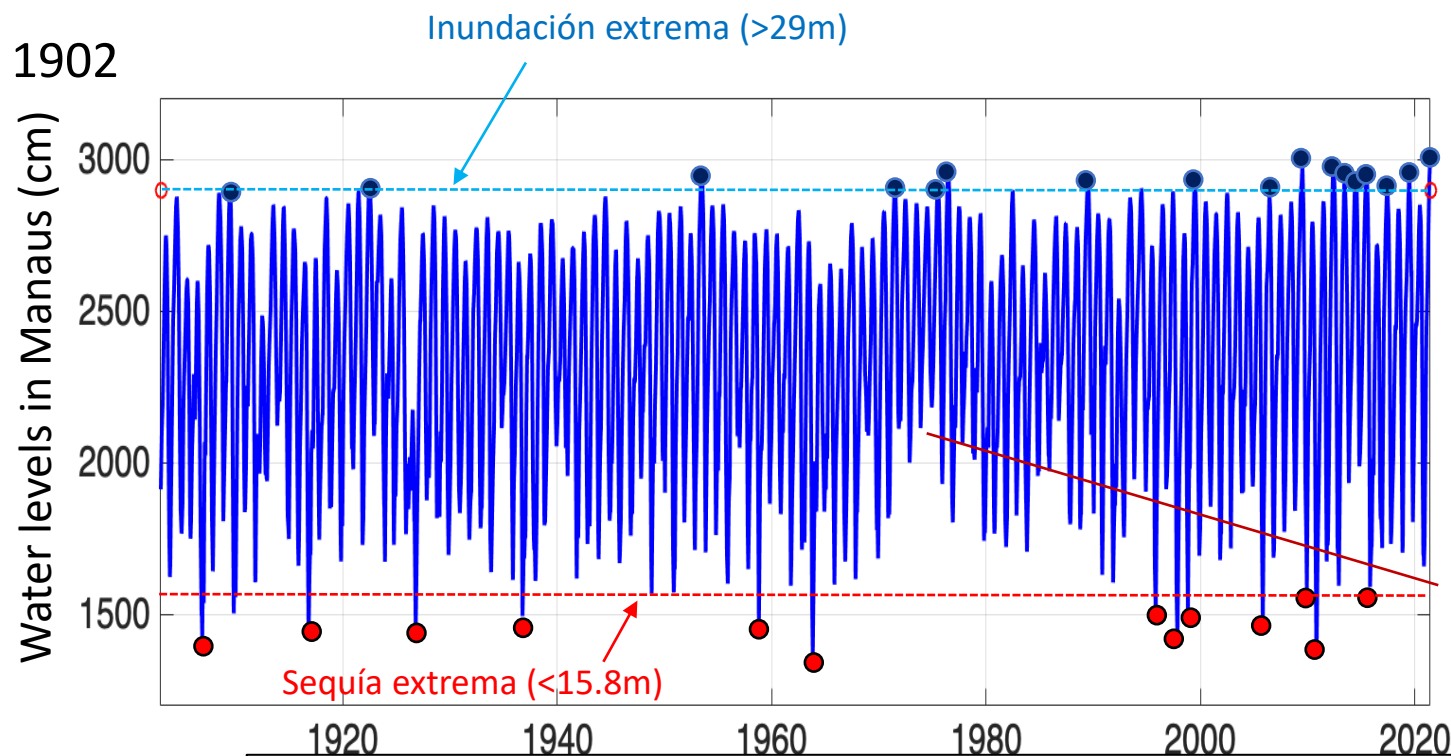
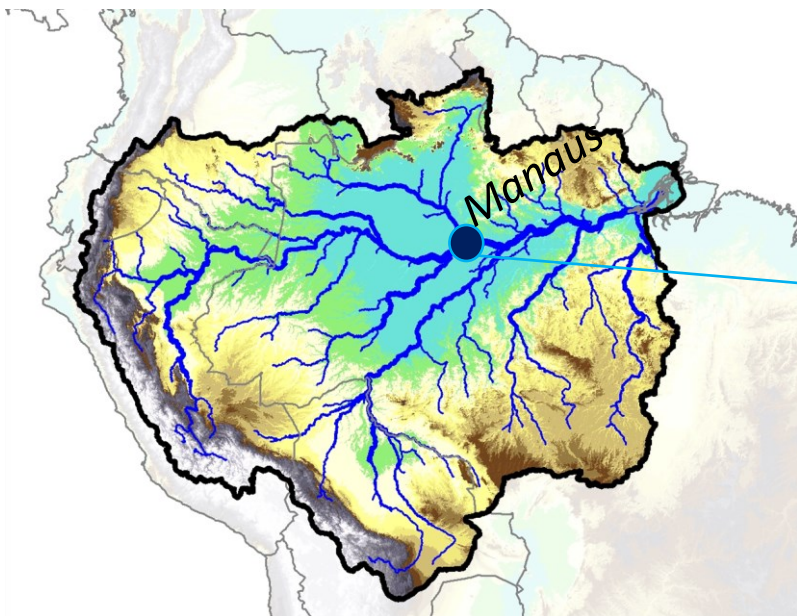
The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods

Jhan-Carlo Espinoza^{a,*}, José Antonio Marengo^b, Jochen Schongart^c, Juan Carlos Jimenez^d

- Primera mitad del siglo 20: 1 inundación cada 20 años
- Desde 2000: 1 inundación cada 4 años

Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica

Niveles de agua del río en Manaus (Brasil) desde 1902



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Weather and Climate Extremes

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

Espinoza et al 2022

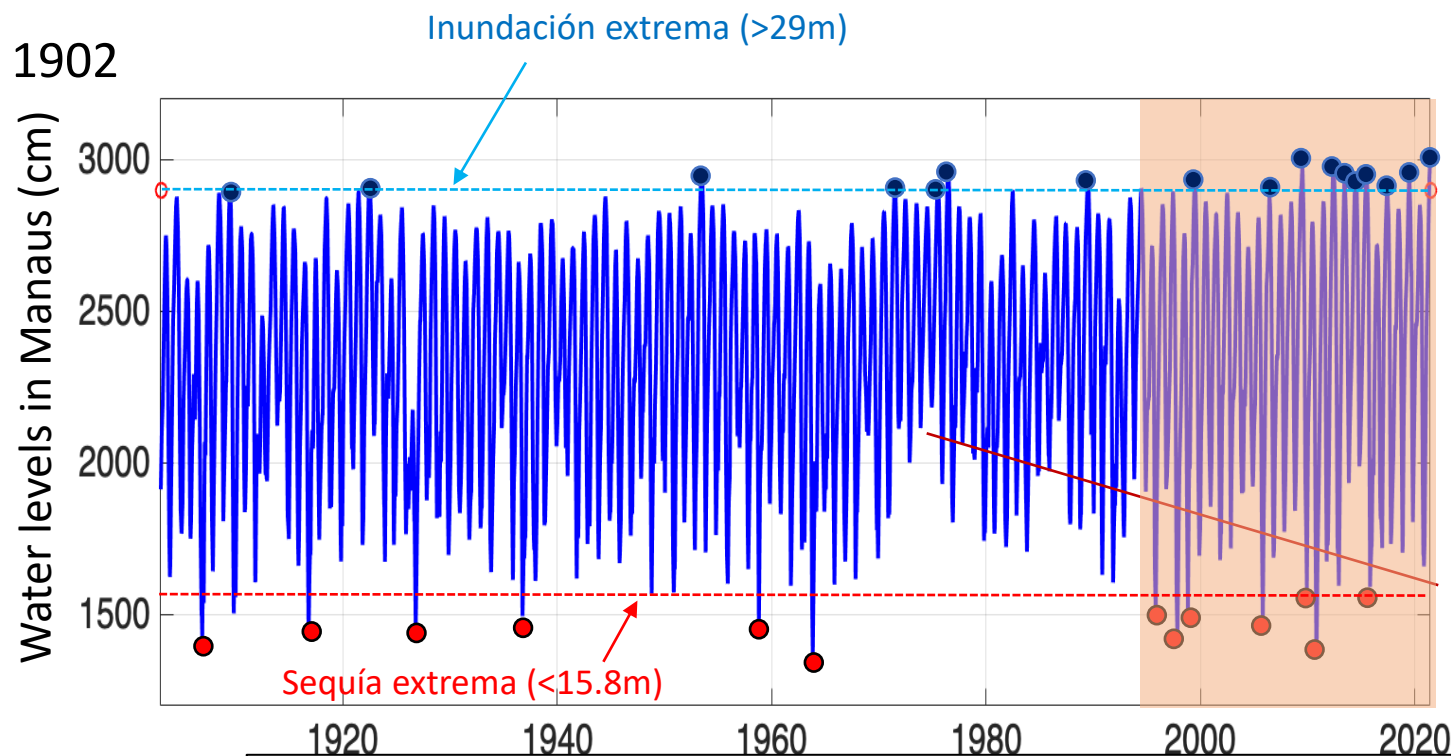
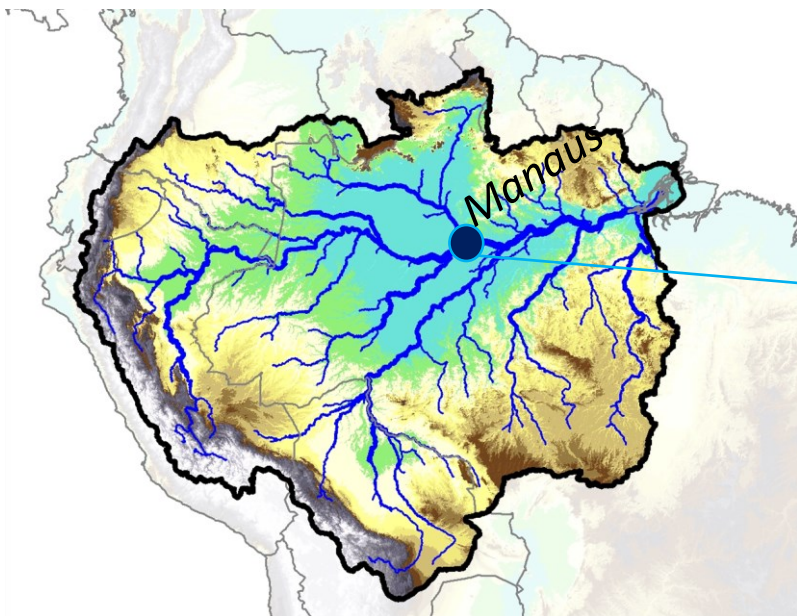
The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods

Jhan-Carlo Espinoza^{a,*}, José Antonio Marengo^b, Jochen Schongart^c, Juan Carlos Jimenez^d

- Primera mitad del siglo 20: 1 inundación cada 20 años
- Desde 2000: 1 inundación cada 4 años

Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica

Niveles de agua del río en Manaus (Brasil) desde 1902



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Weather and Climate Extremes

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

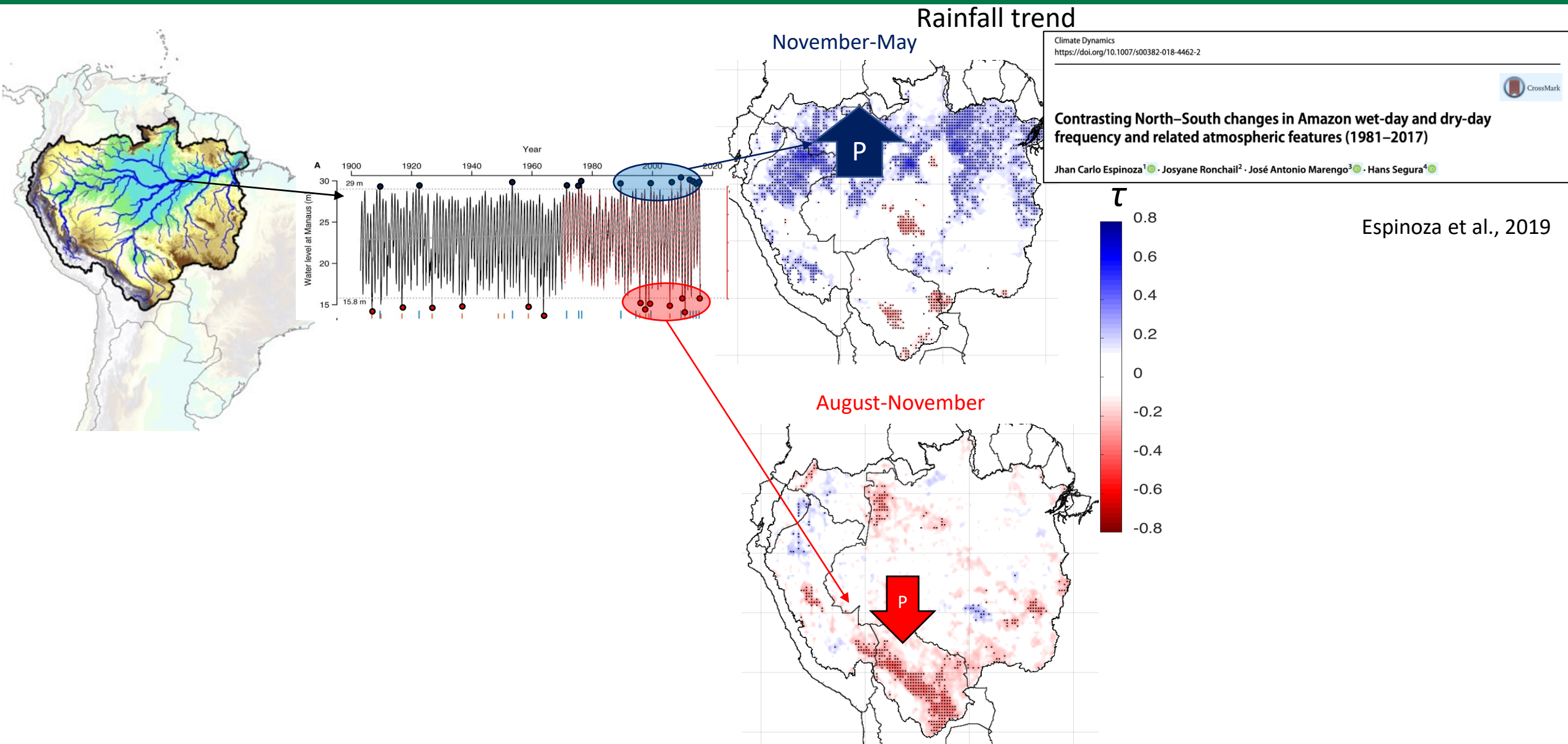
Espinoza et al 2022

The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods

Jhan-Carlo Espinoza^{a,*}, José Antonio Marengo^b, Jochen Schongart^c, Juan Carlos Jimenez^d

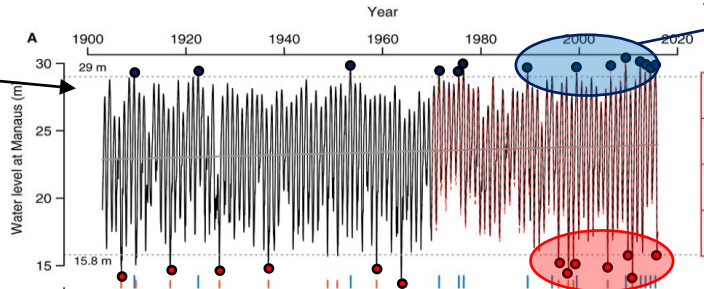
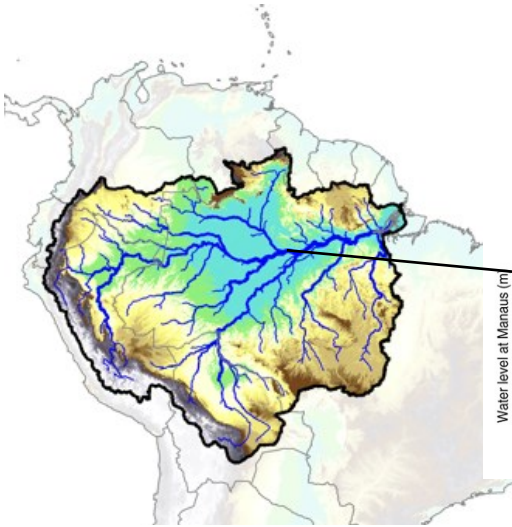
- Primera mitad del siglo 20: 1 inundación cada 20 años
- Desde 2000: 1 inundación cada 4 años

Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica

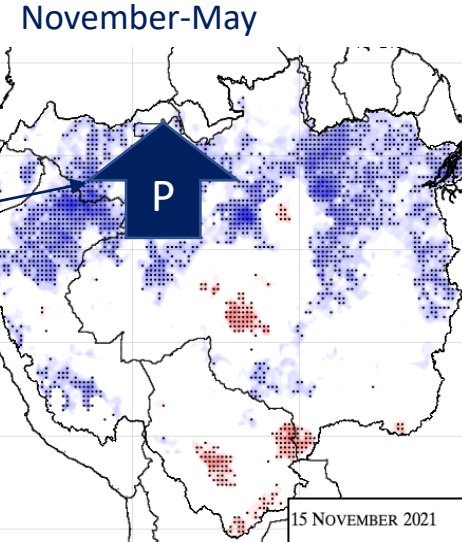


Especially, the figure shows a map of the Amazon basin on the left. A time-series plot (A) shows the water level at Manaus from 1900 to 2020, with a blue oval highlighting the period 2000-2020. Two maps of the Amazon basin show rainfall trends for November-May (top) and August-November (bottom). A color scale for the trend coefficient τ ranges from -0.8 (red) to 0.8 (blue). A blue arrow labeled 'P' points to the November-May map, and a red arrow labeled 'P' points to the August-November map.

Cambios en el regimen hidro-climático en la cuenca Amazónica



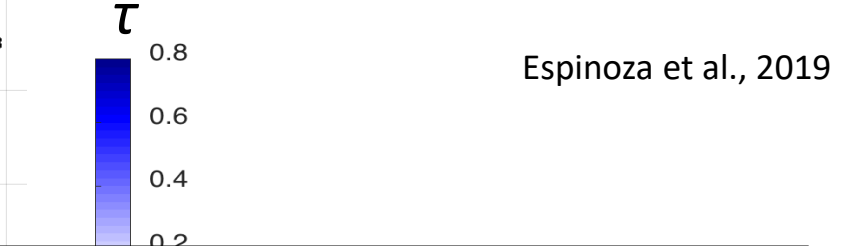
Rainfall trend



Climate Dynamics
<https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>

Contrasting North-South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981-2017)

Jhan Carlo Espinoza¹ · Josyane Ronchail² · José Antonio Marengo³ · Hans Segura⁴



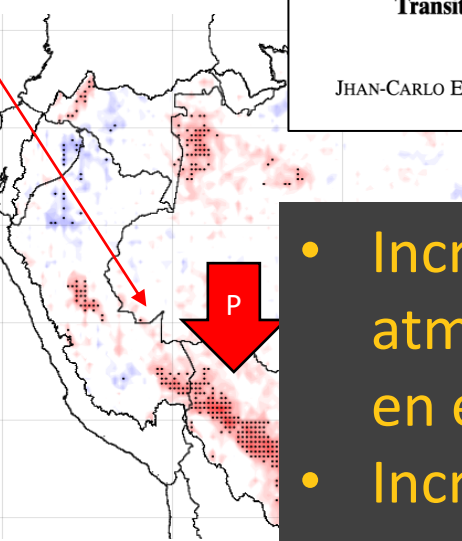
Espinoza et al., 2019

15 NOVEMBER 2021 JOURNAL OF CLIMATE 9025

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

JHAN-CARLO ESPINOZA,^a PAOLA A. ARIAS,^b VINCENT MORON,^{c,d} CLEMENTINE JUNQUAS,^a HANS SEGURA,^a JUAN PABLO SIERRA-PÉREZ,^a SLY WONGCHUIG,^a AND THOMAS CONDOM^a

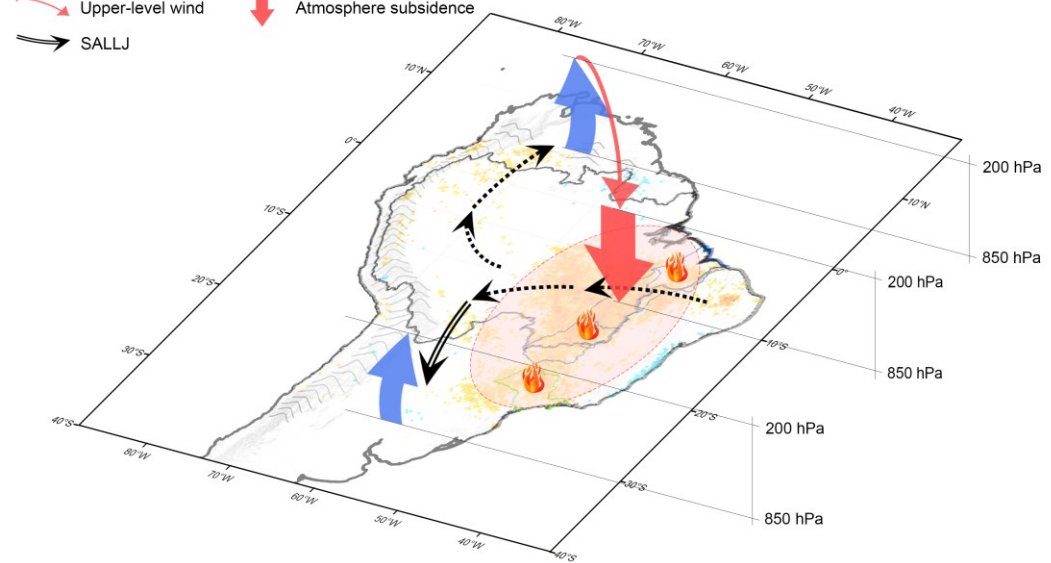
August-September



-0.8

Espinoza et al (2021)

- > Low-level wind
- ↑ Ascending motion
- > Upper-level wind
- SALLJ
- Dry conditions
- 🔥 Fire activity
- ↓ Atmosphere subsidence



- Incremento de la ascendencia atmosférica y actividad convectiva en el norte
- Incremento de la subsidencia atmosférica en el sur

Para más información pueden ver
“El rol de la Amazonía en el clima regional en 10 minutos”

https://drive.google.com/open?id=1v9zgEUUqCbhRRIN-2P1sOEMqA4JMBOOV&usp=drive_fs



Conclusiones

El clima promedio depende de condiciones de gran escala (ITCZ, Monzón, etc) y condiciones locales (vegetación, topografía, etc)

Eventos extremos en la región han sido asociados a El Niño (pero no exclusivamente)

El cambio climático, deforestación y otras modificaciones están alterando los diferentes mecanismos responsables de la variabilidad de las precipitaciones

Algunos de estos cambios se han hecho más evidentes desde inicios del siglo 21