

An aerial photograph showing a wide, winding river with a reddish-brown hue, meandering through a dense, lush green tropical forest. The river's path is highly irregular, forming several large loops and curves. The surrounding forest is thick and vibrant green, with some lighter patches of vegetation visible. The overall scene is a striking contrast between the earthy tones of the river and the deep greens of the forest.

**Acoplamiento entre la cordillera de los Andes y la
cuenca del Río Amazonas y sus retroalimentaciones
con el Océano Tropical Atlántico Norte y el Océano
Pacífico Tropical**

Alejandro Builes Jaramillo

Profesor Asociado

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

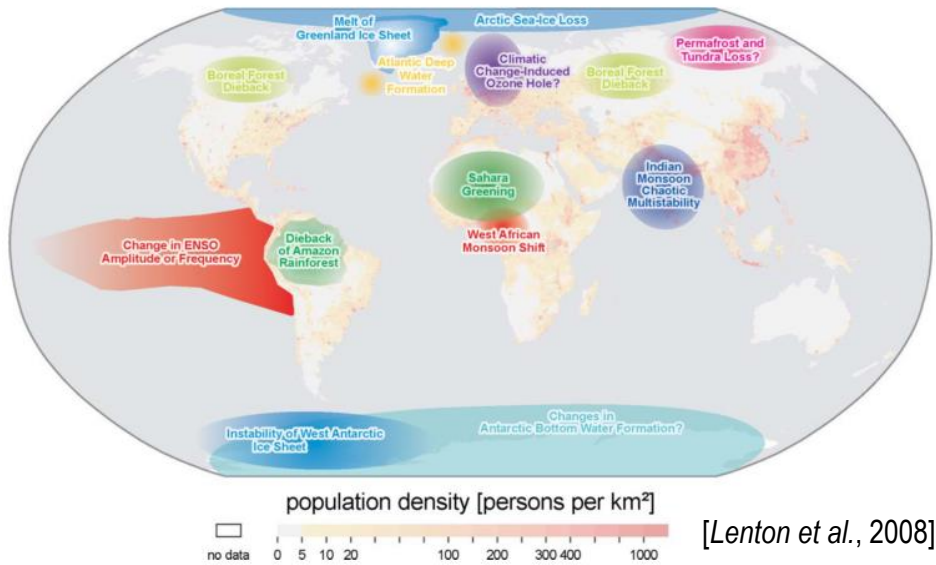
Miércoles 13 de diciembre de 2017

1:00 p.m.

Agenda

- **Introducción**
- **Capítulo 1 – Balance conjunto de agua superficial y atmosférica para la cuenca del Río Amazonas**
- **Capítulo 2 - Retroalimentaciones de doble vía entre el Océano Tropical Atlántico Norte y la cuenca del Río Amazonas a escalas de tiempo estacional e intranual**
- **Capítulo 3 - Interacciones no lineales entre la cuenca del Río Amazonas y el Océano Tropical Atlántico Norte a escala interanual**
- **Capítulo 4 - Puente suelo-atmósfera entre los océanos Pacífico Tropical y Atlántico Tropical Norte a través de la cuenca del Río Amazonas en las sequías de 2005 y 2010**

Introducción

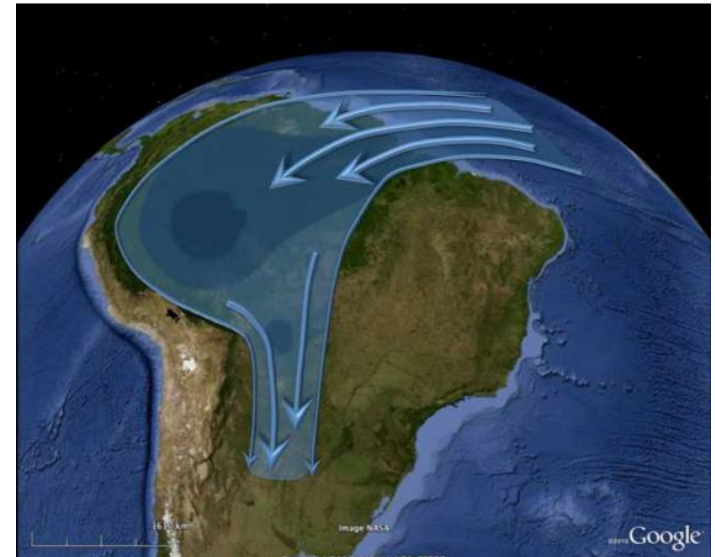


Amazonía como elemento de inflexión en el clima terrestre.

[Keller et al., 2009; Nobre and Borma, 2009; Hirota et al., 2011]

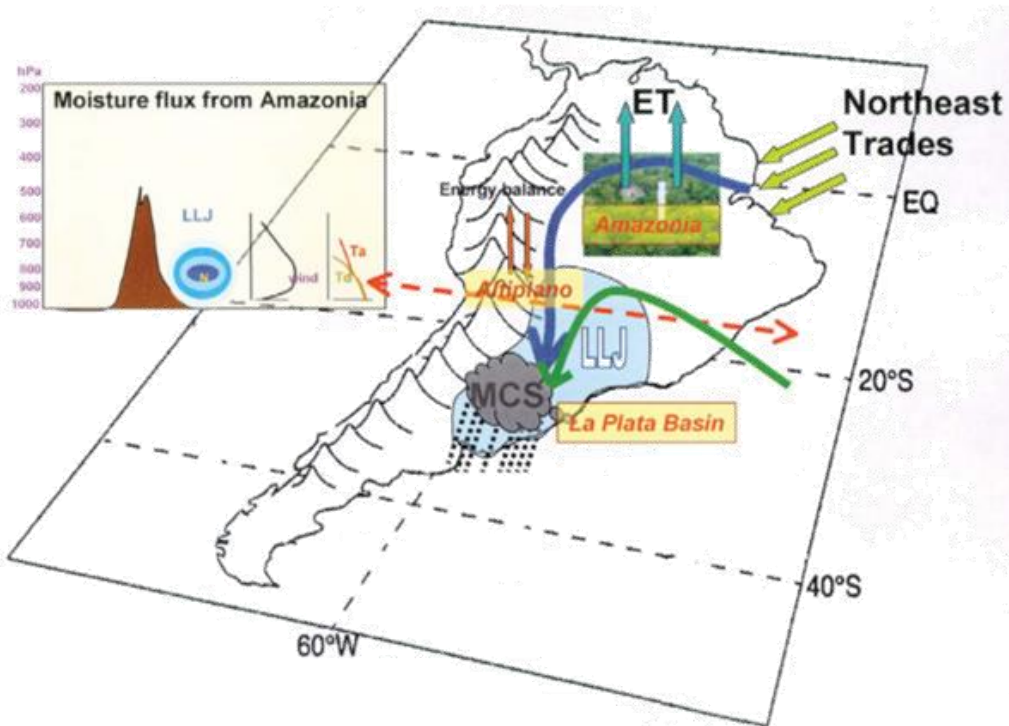
Relación directa entre la hidroclimatología en la Amazonía y la dinámica de vientos y temperaturas superficiales en el Océano Tropical Atlántico Norte (TNA).

[Fu et al., 2001; Poveda et al., 2006; Nobre et al., 2009; Yoon and Zeng, 2010; Gimeno et al., 2012; Yin et al., 2014, Arias et al., 2015]



[Moraes-Arrault et al., 2011]

Introducción



Esquema de los elementos más importantes en el transporte de humedad sobre Sur América.

[Vera et al., 2006]

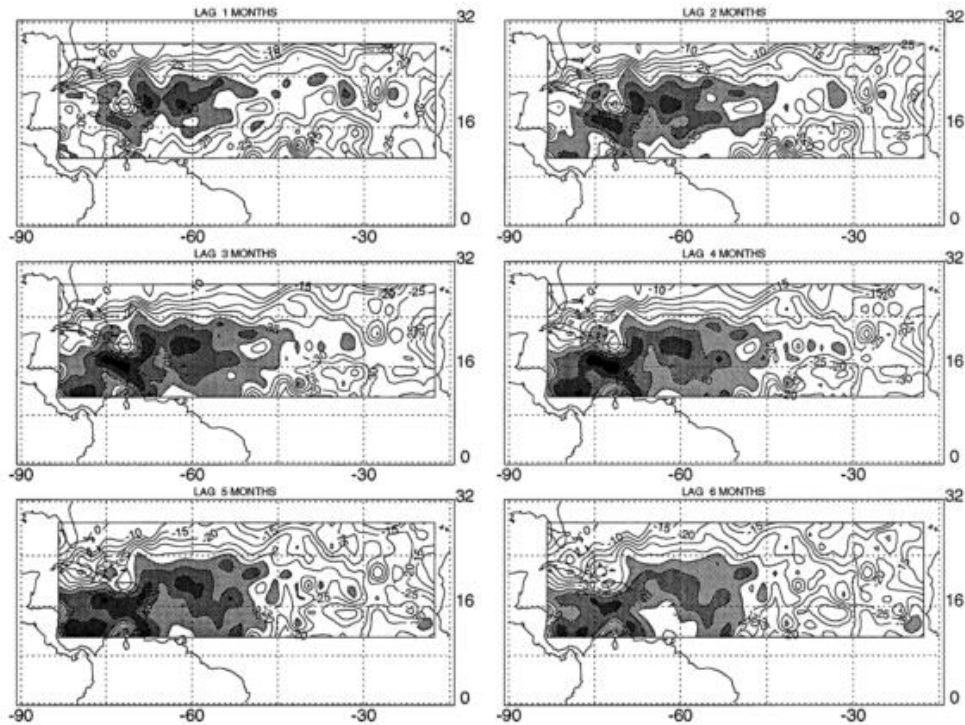
El sistema ENSO perturba los patrones de lluvia y temperaturas en la cuenca.

[Ropelewski and Halpert, 1987; Marengo and Hastenrath, 1993; Coe et al., 2002; Poveda and Salazar, 2004; Drumond and Ambrizzi, 2006; Poveda et al., 2006; Araújo Gonzalez et al., 2007; Lewis et al., 2011; Davidson et al., 2012; Espinoza et al., 2012]

El incremento de eventos extremos inducidos por el cambio climático podría relacionarse con un posible cambio en los ecosistemas y en el estado de equilibrio de la cuenca.

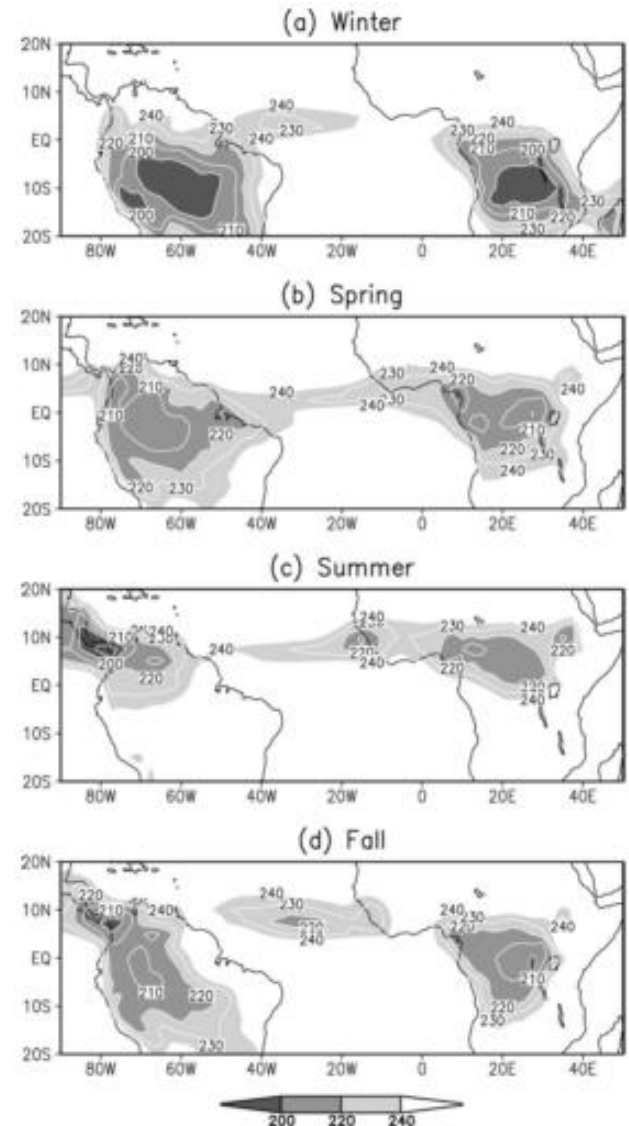
[Holmgren et al., 2001; Nepstad et al., 2004, 2008; Salazar et al., 2007, 2016; Nobre and Borma, 2009; Li et al., 2011; Swann et al., 2015]

Introducción



[Poveda y Mesa, 1997]

Hay evidencias de la capacidad que tienen los hidro-ecosistemas continentales en la modulación patrones climáticos en el TNA.



[Wang y Fu, 2011]

Introducción

¿Cuál es el panorama completo del balance de agua en la cuenca del Río Amazonas?

¿Puede la Amazonía influir en el Océano Tropical Atlántico Norte?

¿En qué escalas de tiempo?

¿Puede la Amazonía amplificar la acción del Océano Pacífico Tropical en el Océano Tropical Atlántico Norte?

Capítulo 1

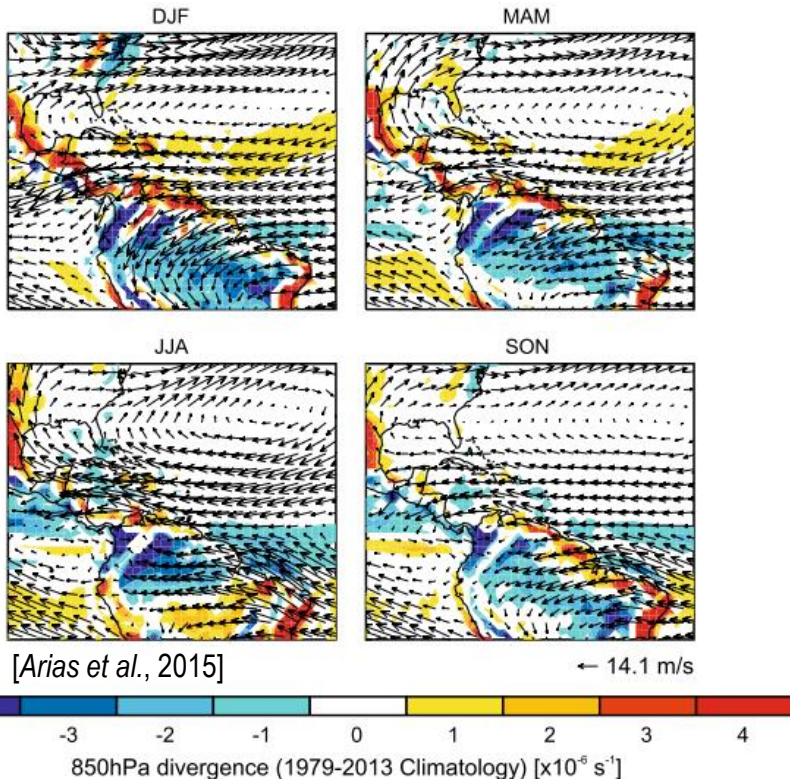
Balance conjunto de de agua superficial y atmosférica para la cuenca del Río Amazonas

Alejandro Builes-Jaramillo y Germán Poveda
Somético a *Water Resources Research*

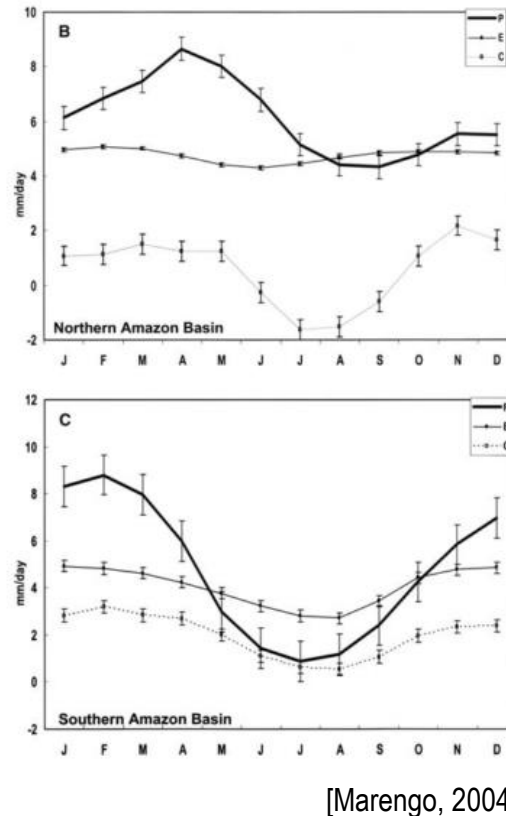
(Builes-Jaramillo, A. and Poveda, G., 2017. Conjoint Analysis of the Surface and Atmospheric Water Balances in the Andes-Amazon System)

Introducción

Dinámicas macroclimáticas



Dinámicas hidrológicas

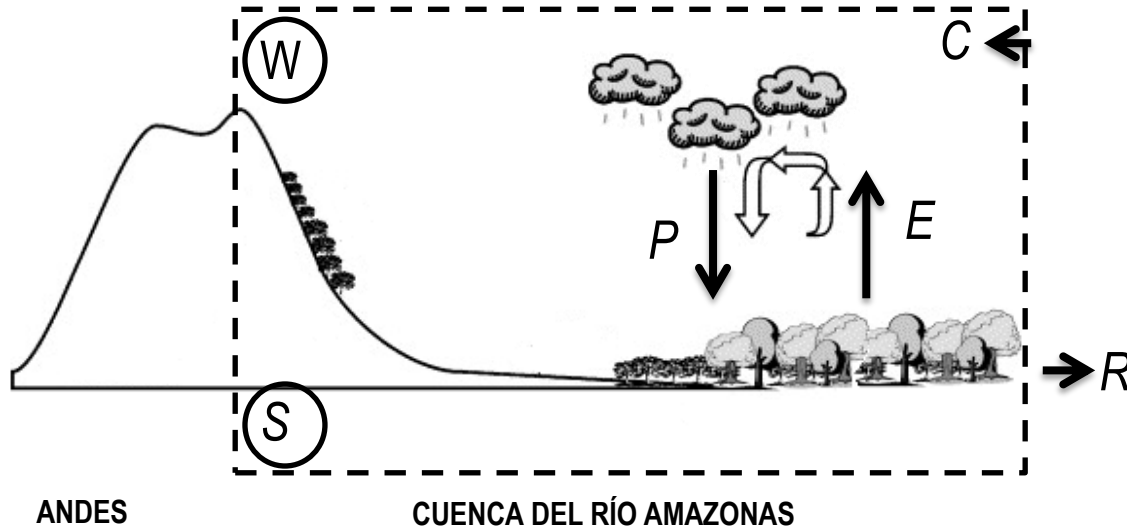


Hasta el momento la literatura disponible presenta patrones de desbalance del **50%** entre los balances atmosférico y superficial de agua en la cuenca.

¿Cuál es el panorama de balance conjunto para diferentes desagregaciones espaciales, regiones y cuál es el ciclo anual del desbalance?

Metodología

Balances atmosférico y en superficie



Ecuaciones de balance

$$\frac{\partial S(t)}{\partial t} = P(t) - E(t) - R(t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial W(t)}{\partial t} = -P(t) + E(t) + C(t) \quad (2)$$

$$\langle R \rangle = \langle P \rangle - \langle E \rangle \quad (3)$$

$$\langle C \rangle = \langle P \rangle - \langle E \rangle \quad (4)$$

Desbalance

$$I = \frac{C}{R} - 1 \quad (5)$$

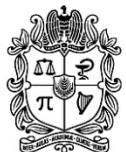
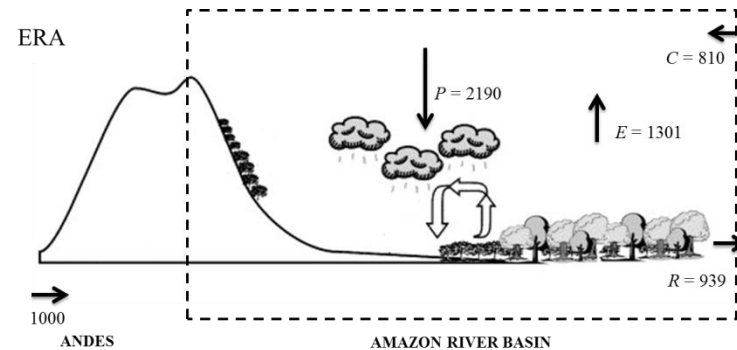
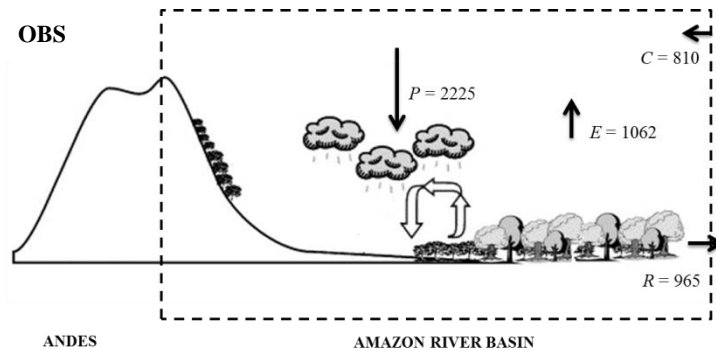
	Fuente	Resolución E.	Periodo	Referencia
P	GPCC	1.0°x1.0°	1901-2010	[Schneider et al., 2014]
	Era-Interim	0.75°x0.75°	1979-2014	[Dee et al., 2011]
	ORCHIDEE	1.0°x1.0°	1970-2008	[Krinner et al., 2005]
	MPI	0.5°x0.5°	1982-2008	[Jung et al., 2010]
E	MODIS	1.0°x1.0°	2000-2010	[Mu et al., 2011; Nadzri and Hashim, 2014]
	GLEAM	0.25°x0.25°	1979-2014	[Miralles et al., 2011]
	Era-Interim	0.75°x0.75°	1979-2014	[Dee et al., 2011]
R	SO-HYBAM	drainage area	1982-2008	http://www.ore-hybam.org/
	Era-Interim	0.75°x0.75°	1979-2014	[Dee et al., 2011]
C	Era-Interim	0.75°x0.75°	1979-2014	[Dee et al., 2011]

Resultados

Cierre del balance superficial y atmosférico para toda la cuenca

TIPO	DATOS	Superficie		Atmósfera	
		P-E-R (mm y ⁻¹)	CIERRE	P-E-C (mm y ⁻¹)	CIERRE
OBS	GPCC-ORCHIDEE-HYBAM (1979-2008)	197	Si	353	No
OBS	GPCC-MPI-HYBAM (1982-2008)	78	Si	234	No
OBS	GPCC-GLEAM-HYBAM (1984-2007)	11	Si	167	Si
OBS	GPCC-MODIS-HYBAM (2000-2008)	-30	Si	125	Si
Reanálisis	Era-Interim (1979-2012)	-51	Si	78	Si
Promedio		41	Si	191	No

Desbalance positivo para toda la cuenca
 $P > E + C$



Resultados

Cierre de las ecuaciones de balance superficial y atmosférico para 146 o 115 cuencas dentro de la cuenca del Río Amazonas

Sub-cuencas (Superficial)

Observaciones: 55% con cierre

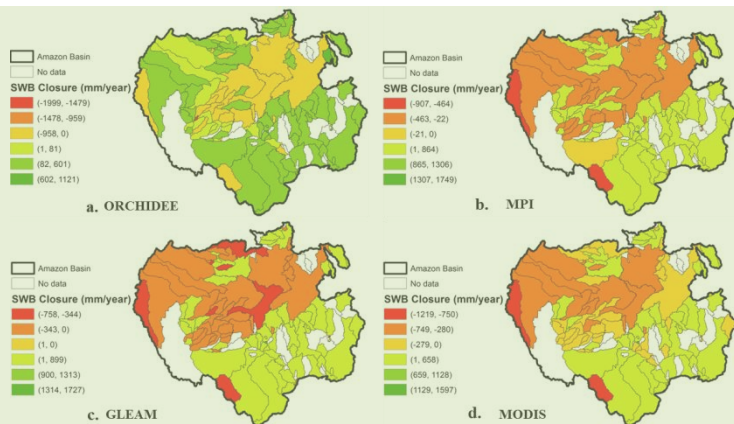
Reanálisis: 93% con cierre

Sub-cuencas (Atmosférico)

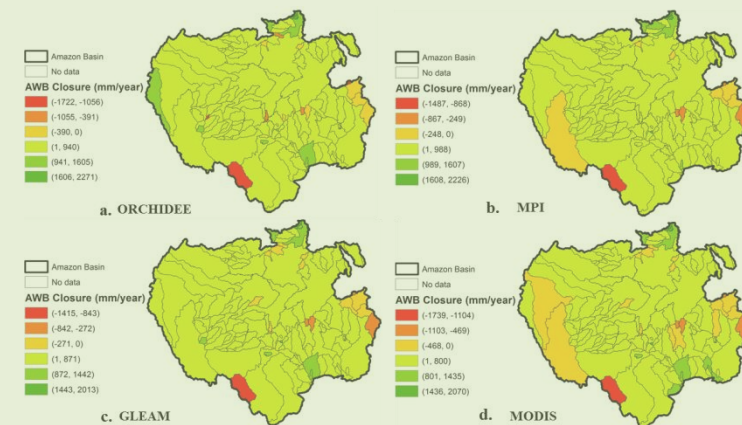
Observaciones :100% sin cierre

Reanálisis : 3% con cierre

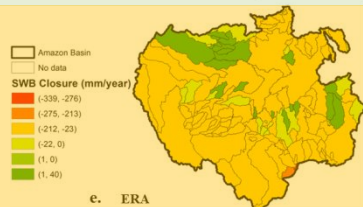
Observaciones



Observaciones

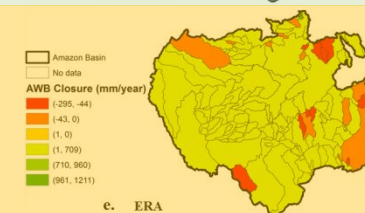


Reanálisis



$$\langle P \rangle - \langle E \rangle - \langle R \rangle$$

Reanálisis



$$\langle P \rangle - \langle E \rangle - \langle C \rangle$$

Resultados

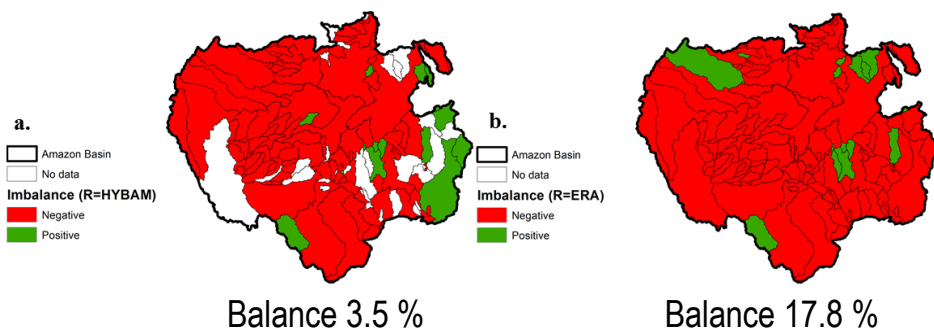
Desbalance entre los balances superficial y atmosférico en la cuenca y subcuencas

	C (mm y ⁻¹)	R (mm y ⁻¹)	R-C (mm y ⁻¹)	I(%)
(ERA-HYBAM)	810	965	155	(-16)
(ERA-ERA)	810	939	129	(-14)

$$I = \frac{C}{R} - 1$$

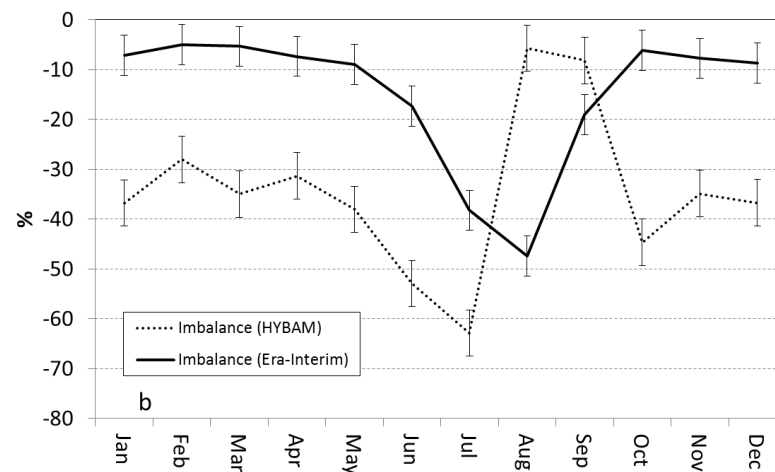
Desbalance negativo para toda la cuenca y para la mayoría de las subcuencas

$$R > C$$



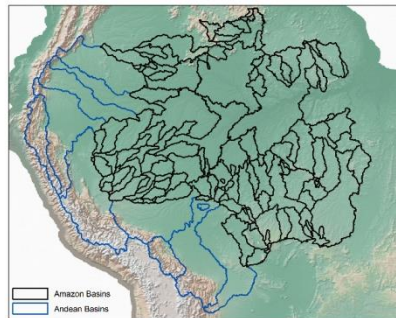
Se propone una actualización a la cuantificación del desbalance para evaluar el desbalance mensual de largo plazo según [Rasmusson, 1968]:

$$CI(t) = \frac{C(t) - \frac{\partial W(t)}{\partial t}}{R(t) + \frac{\partial S(t)}{\partial t}} - 1$$

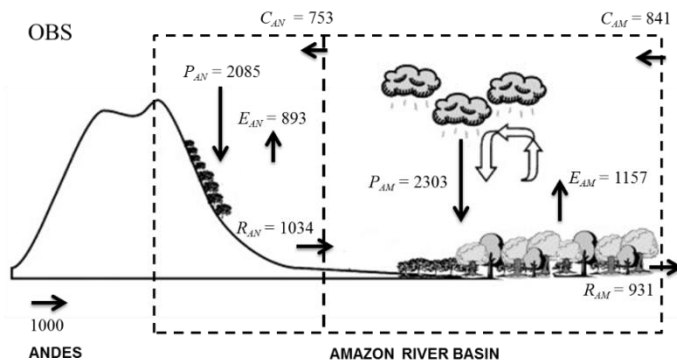
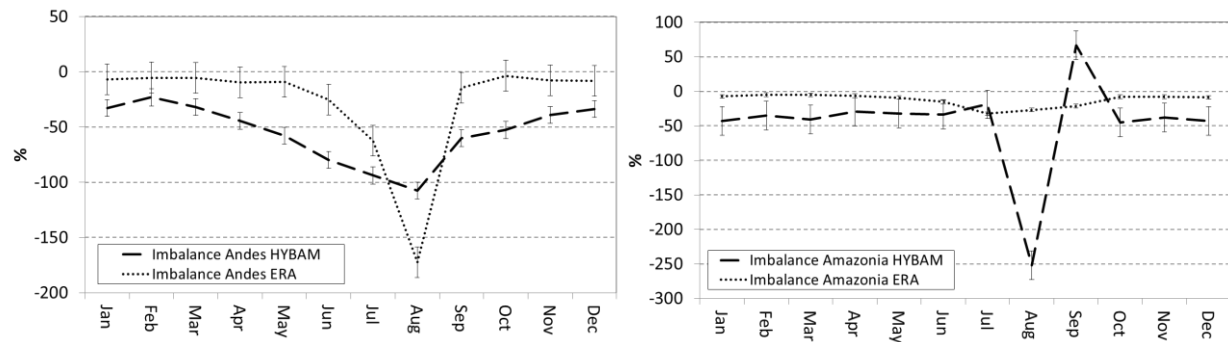


Resultados

Andes y Amazonía



Desbalance entre los balances superficial y atmosférico en



- El balance superficial presenta cierre para la información empleada.
- No hay cierre de los balances atmosféricos, se mantiene $R > C$.
- Andes es la región con la mayor escorrentía por unidad de área.
- El ciclo anual del desbalance exhibe los mismo picos en la temporada seca.

Conclusiones

Cierre del balance de agua en **superficie** para todas las combinaciones de información.

La relación $R > C$ indica que todavía hay mucho por estudiar en la representación de los flujos atmosféricos provenientes de la cuenca, especialmente de los ecosistemas predominantes como el bosque amazónico.

Desbalance del **14% - 16%** indica una mejor representación del cierre de las ecuaciones de balance en los reanálisis.

La representación del **ciclo anual del desbalance** hace posible identificar a la **temporada seca** como una fuente de incertidumbre en la representación de C .

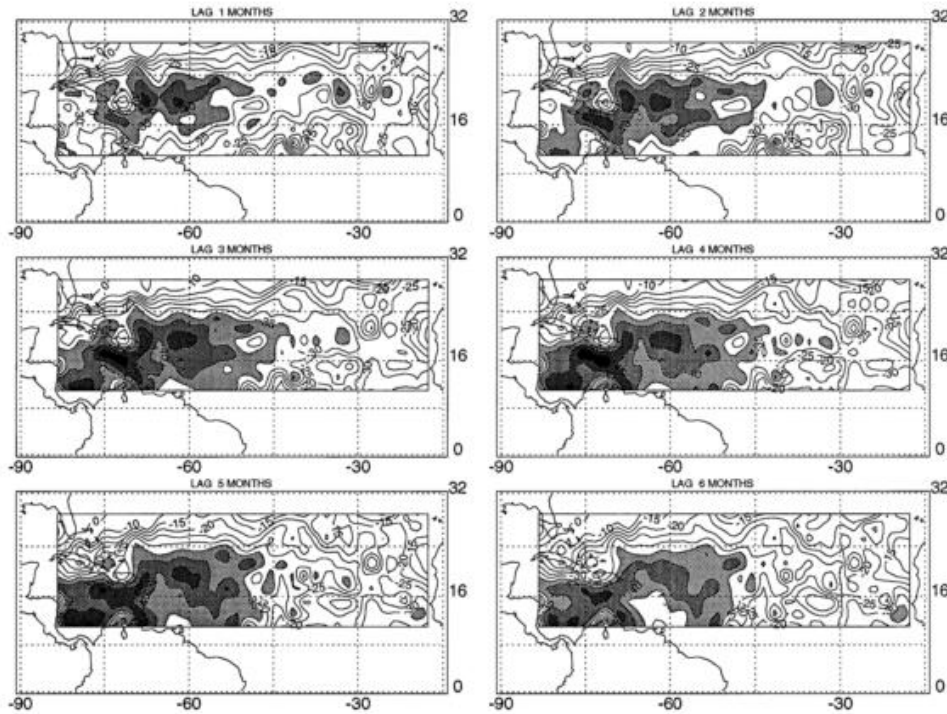
Capítulo 2

Retroalimentaciones de doble vía entre el Océano Tropical Atlántico Norte y la cuenca del Río Amazonas a escalas de tiempo estacional e interanual

Alejandro Builes-Jaramillo, Paola Arias y Germán Poveda
Presentado en EGU-Leonardo 2016

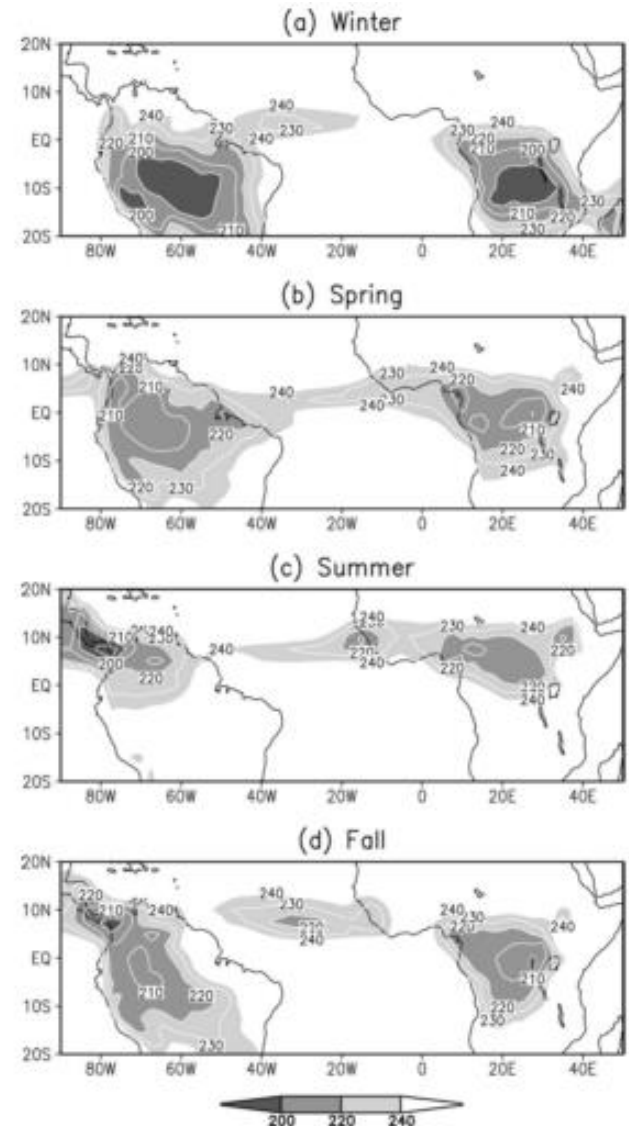
(Builes-Jaramillo, A., Arias, P. and Poveda, G., 2016. *Influence of Amazonian Convection Over Tropical North Atlantic SST's*. EGU Leonardo Conference: From evaporation to precipitation: The atmospheric moisture transport. October 25-27 de 2016. Ourense, Spain)

Introducción



[Poveda y Mesa, 2011]

¿Es posible que la Amazonía pueda modular las temperaturas en el TNA?



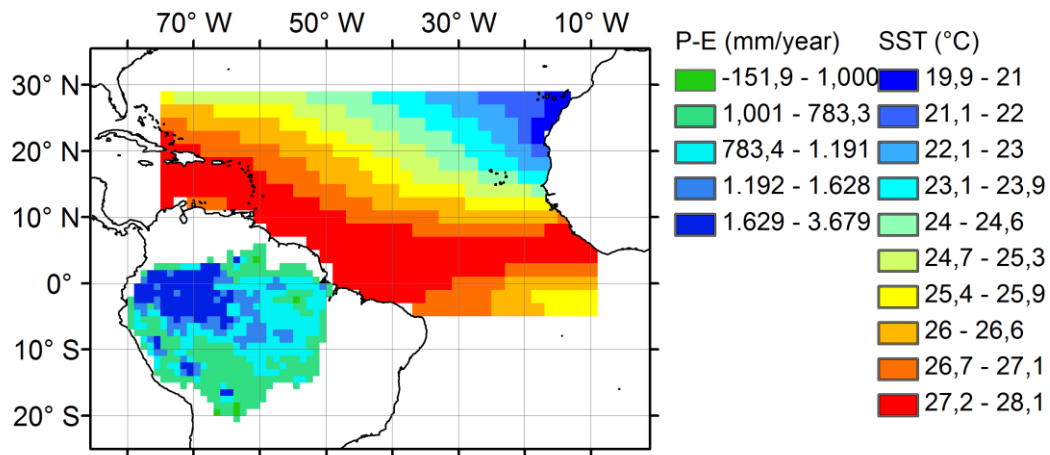
[Wang y Fu, 2011]

Metodología

Regiones:

Océano Tropical Atlántico Norte (TNA) 75°W to 10°W y 5°S to 29°N

Cuenca del Río Amazonas (AM) 79.5°W to 50.5°W y 19.5°S to 4.5°N



Series de tiempo (1979-2008):

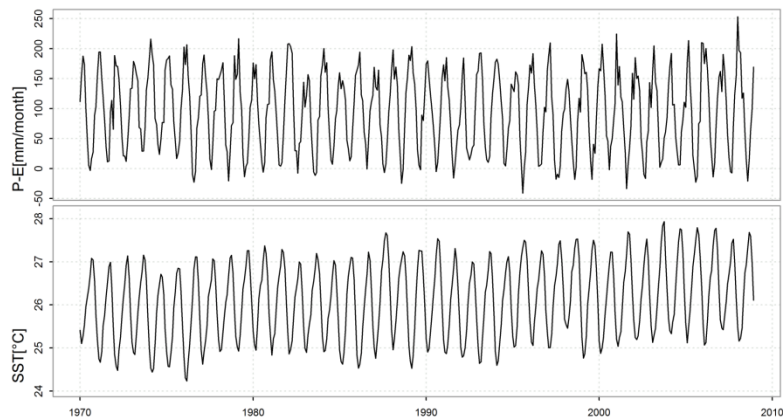
P-E: (1° x 1°):

Precipitación mensual (GPCC) – Evapotranspiración (ORCHIDEE) (Schneider et al., 2014; Krinner et al., 2005).

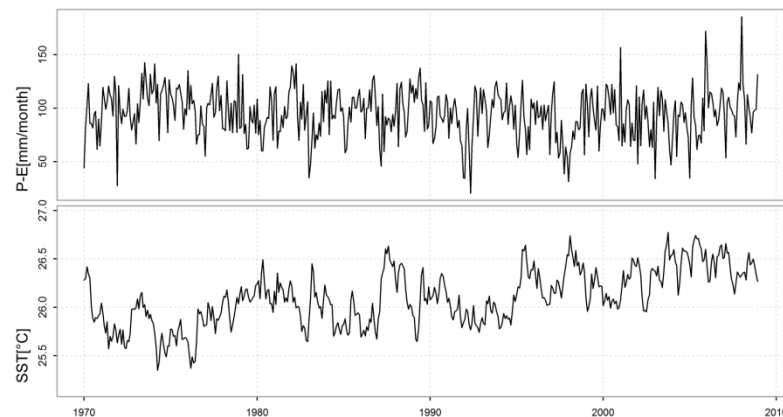
SST (2° x 2°):

Temperatura superficial del mar (ERSST v3b, NOAA) (Smith et al., 2008).

Información cruda



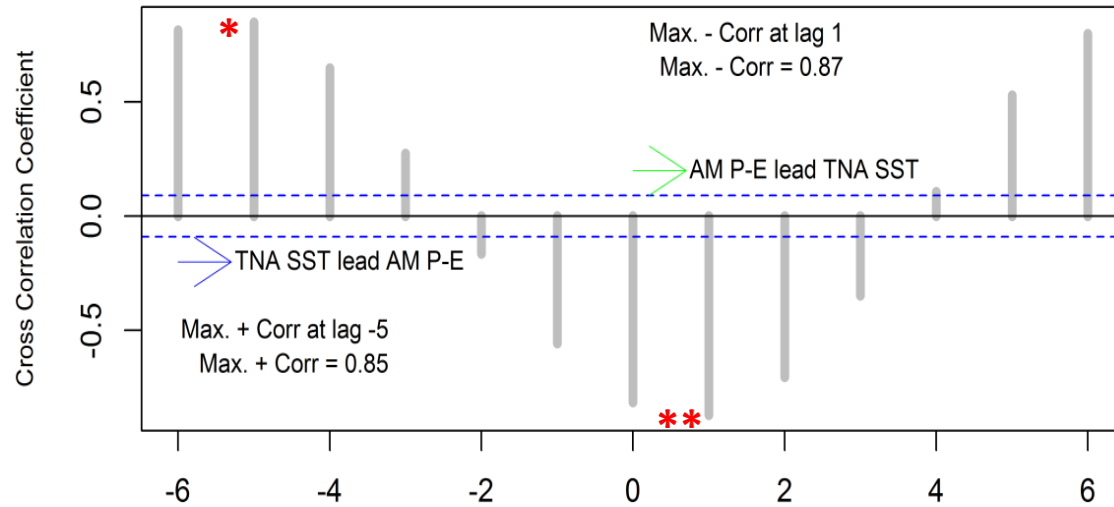
Remoción de ciclo anual (filtro de paso bajo)



Resultados

Correlaciones rezagadas (CCF) entre las series de tiempo de P-E en la Amazonia y SST en el TNA

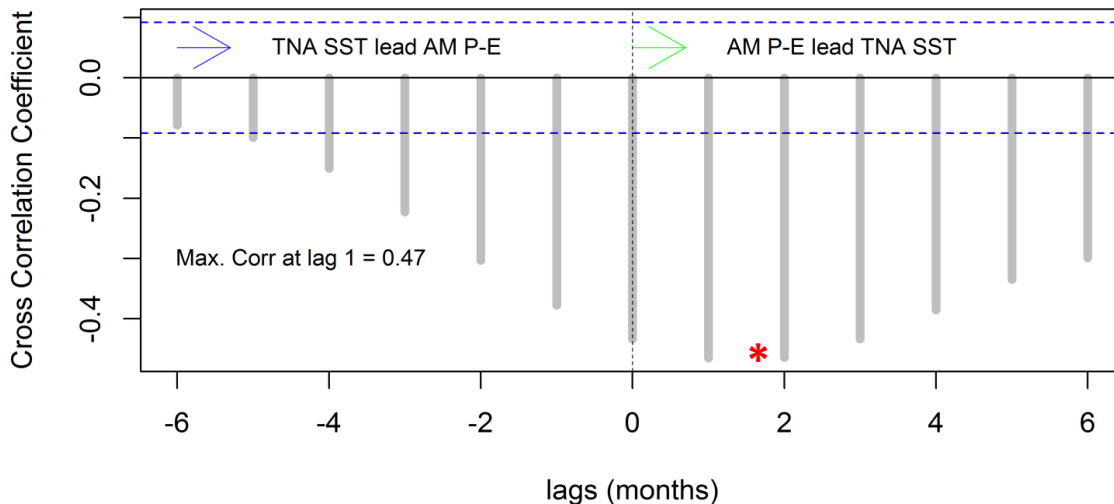
Estacional



*Para rezagos negativos las **SST** influencia **P-E**, mayores (menores) temperaturas se relacionan con mayor (menor) disponibilidad de agua en la cuenca.

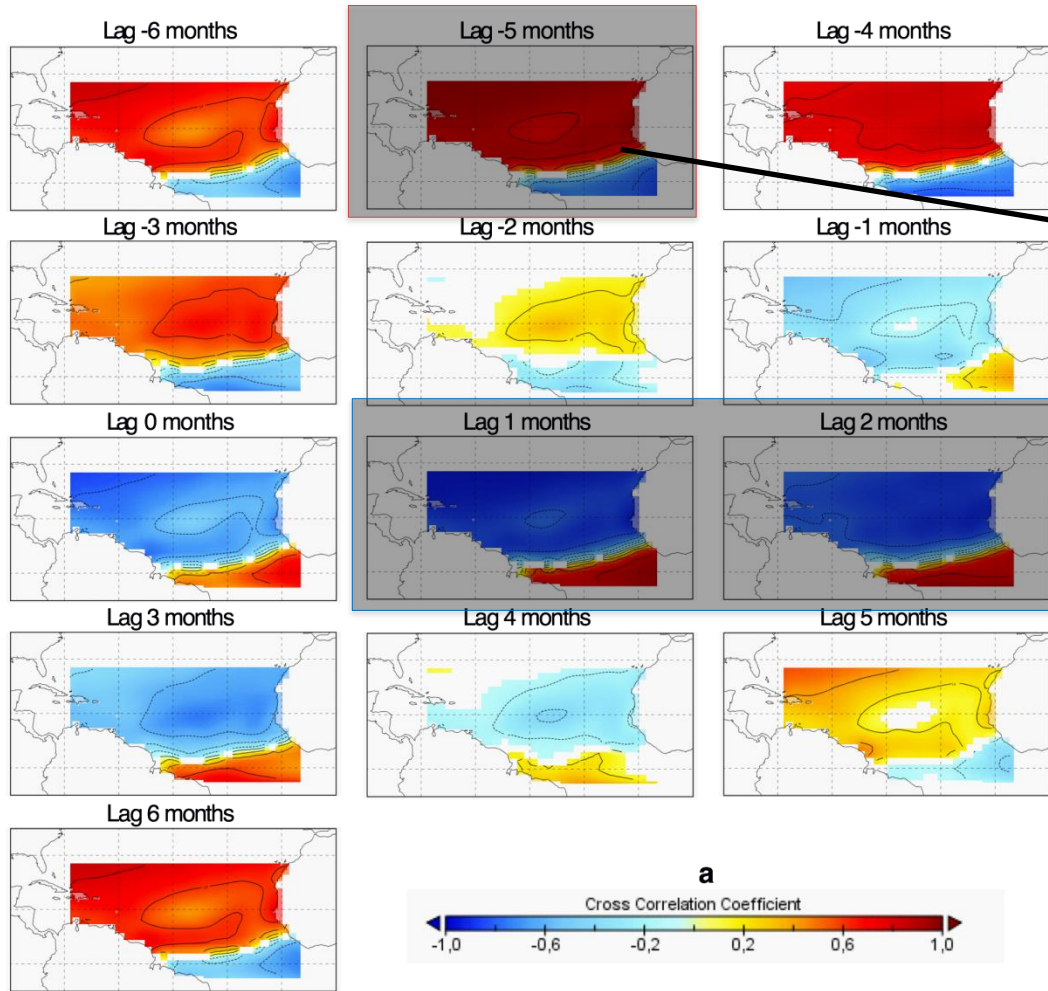
** Para rezagos positivos **P-E** influencia las **SST**, mayor(menor) P-E se relaciona con menor(mayor) SST en el TNA. **Una Amazonía más seca(humeda) se relaciona con un oceano más caliente(frío).**

Interanual

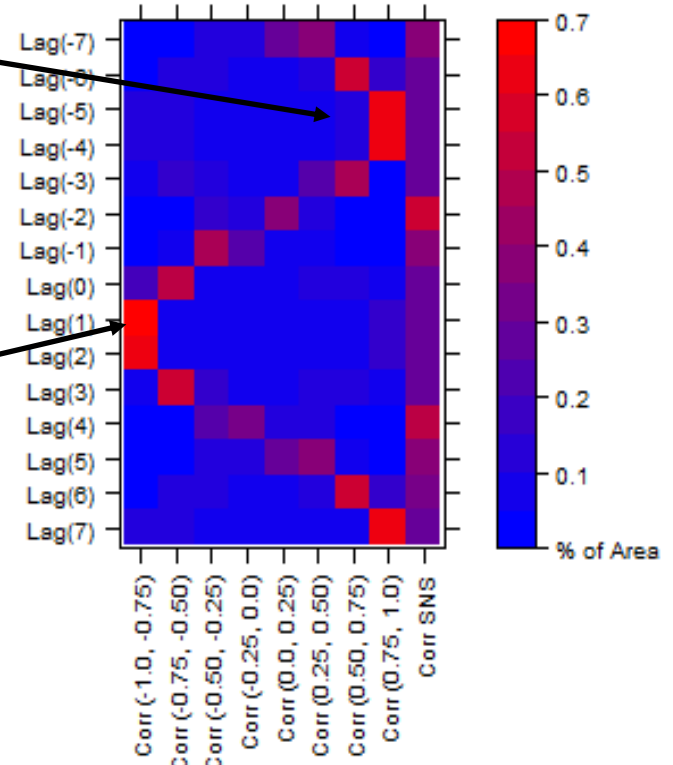


*Los P-E en la Amazonia influncian de 0 a 2 meses las SST en el TNA con una correlación negativa. Menos (más) P-E sobre la Amazonia se relaciona con mayor (menor) SST. **Amazonia seca (humeda) – Oceano caliente (frío).**

Resultados

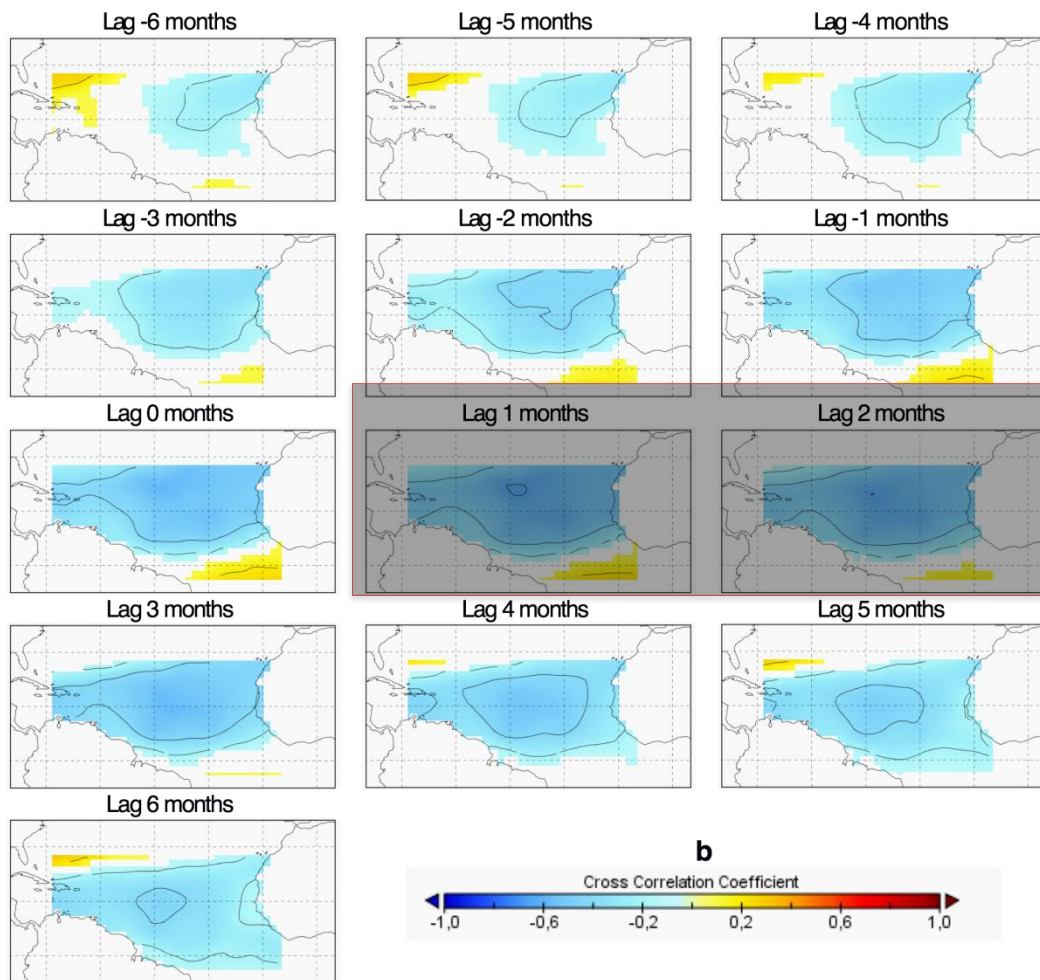


Resultados estacionales
Correlaciones altas (>0.75) cubren más del 60% del TNA



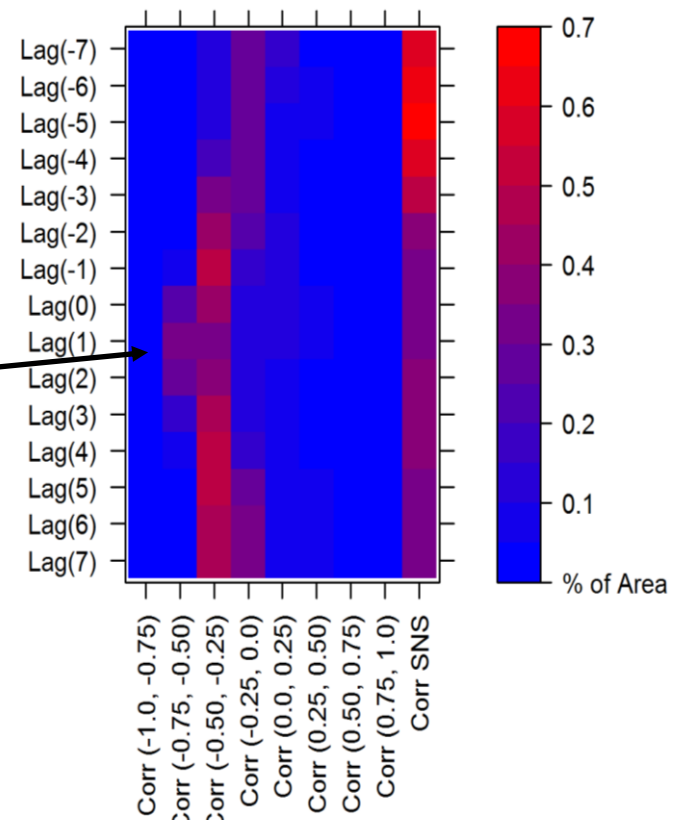
Sólo se presentan correlaciones estadísticamente significativas

Resultados



Sólo se presentan correlaciones estadísticamente significativas

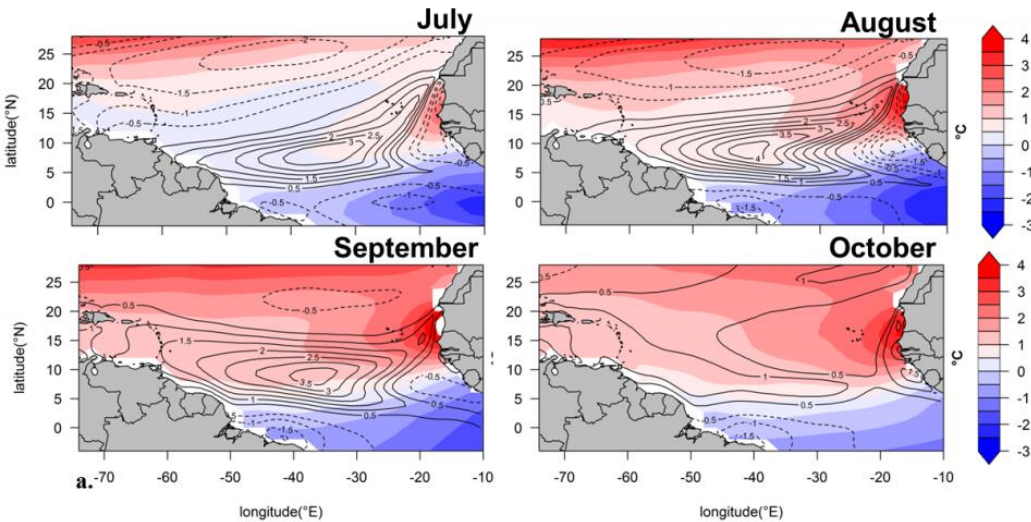
Resultados Interanuales
Correlaciones altas (>0.5) cubren más del 40% del TNA



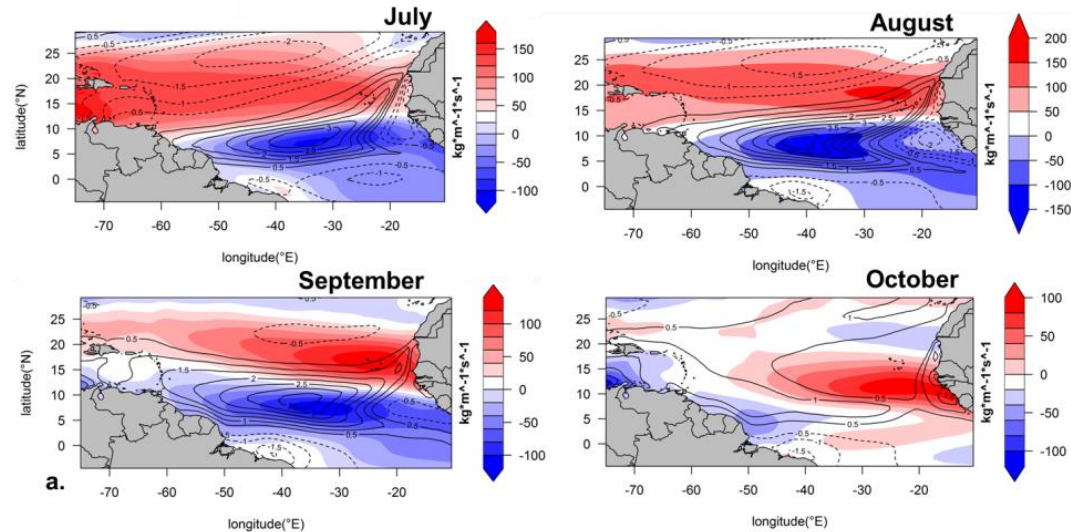
Resultados

Temporada seca de la Amazonía (JASO)

Anomalías mensuales de vientos zonales (líneas) y temperaturas superficiales del océano (colores). Disminución de la velocidad del viento alisios zonales – aumento de la temperatura.



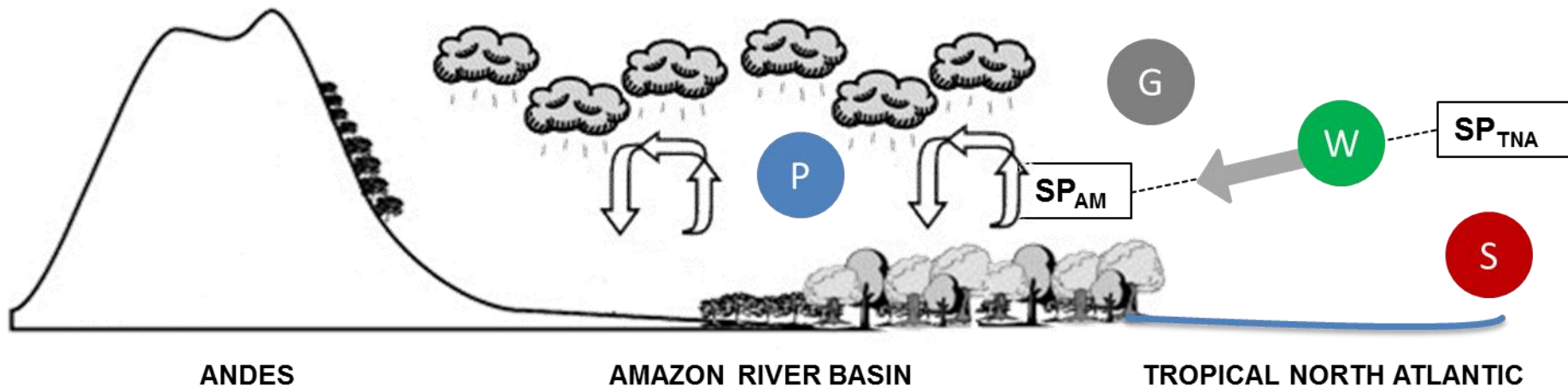
Anomalías mensuales de vientos zonales (líneas) y la integral vertical del transporte horizontal de humedad (colores). Disminución de la velocidad del viento alisios zonales – disminución del transporte de humedad.



Se hicieron análisis similares para la temporada húmeda y para eventos extremos (no se presentan)

Conclusiones

Los meses más secos (húmedos) de la Amazonía se caracterizan por una **disminución (aumento)** de la **precipitación (P)**, que a su vez aumenta (disminuye) la presión atmosférica superficial y así **reduciendo (aumentando)** el **gradiente de presión (G)** entre las regiones del TNA y la Amazonía. Esta alteración en el gradiente de presión genera la **reducción (aumento)** de la velocidad de los **vientos alisios zonales (W)** en el TNA que se relaciona entonces con una reducción (aumento) del enfriamiento por evaporación y en consecuencia el **aumento (disminución)** de las **temperaturas superficiales del océano** en el TNA (**S**).



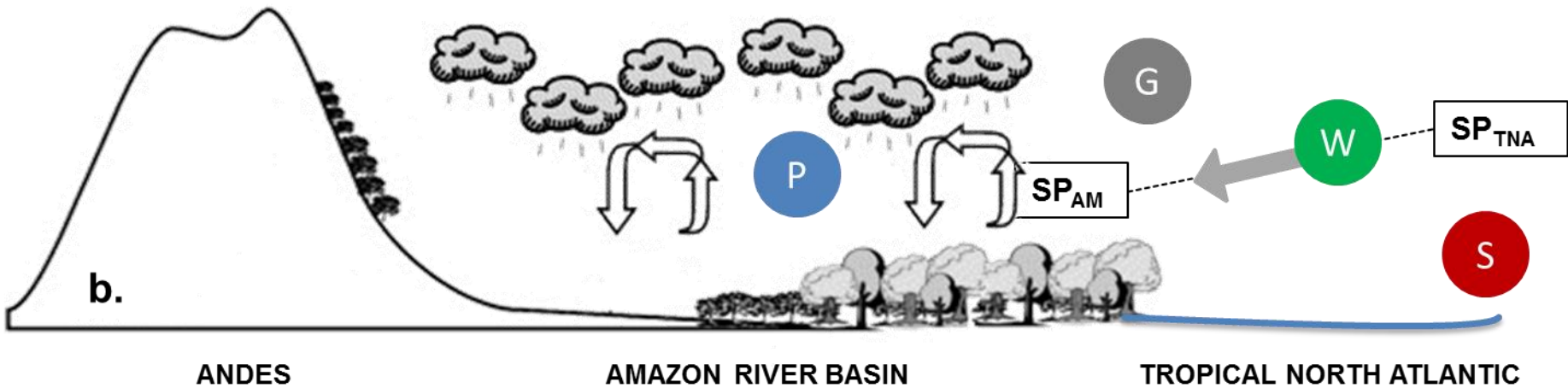
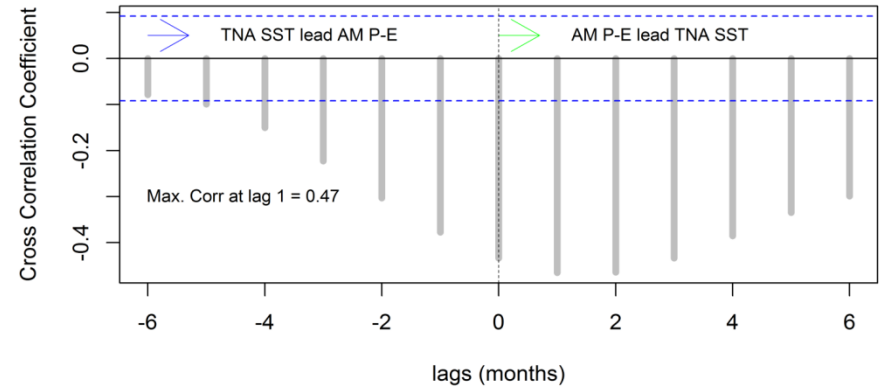
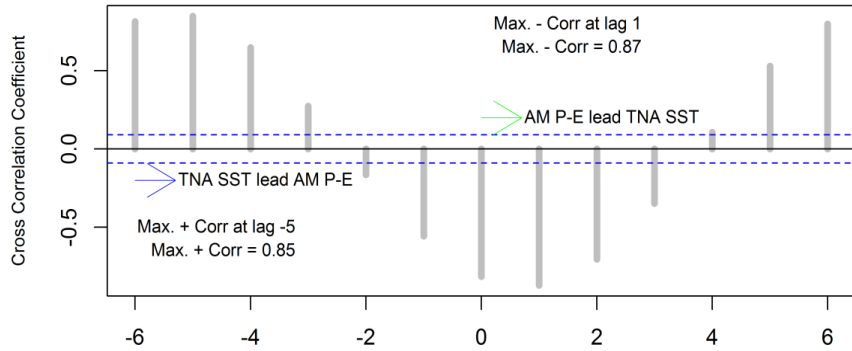
Capítulo 3

Interacciones no lineales entre la cuenca del Río Amazonas y el Océano Tropical Atlántico Norte a escala interanual

Alejandro Builes-Jaramillo, Norbert Marwan, Germán Poveda y Jurgüen Kurths
Publicado en *Climate Dynamics*

(Builes-Jaramillo, A., N. Marwan, G. Poveda, and J. Kurths 2017, Nonlinear interactions between the Amazon River basin and the Tropical North Atlantic at interannual timescales, Clim. Dyn., doi:10.1007/s00382-017-3785-8)

Introducción



Metodología

Recurrencia

Transformación al espacio de fase
(Time delay method)

$$\mathbf{x}_i = \sum_{j=1}^m x_{i+(j-1)d} \hat{e}_j$$

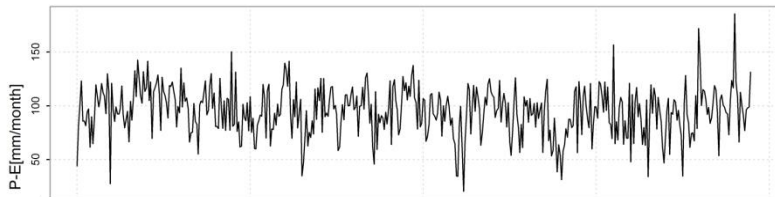
[Takens, 1981]

m = dimensión de embedding

d = retraso de embedding

e = ejes unitarios en el espacio \mathbb{R}^m

Sistema X - Observable



$$R_{ij}^X = \Theta(\varepsilon - \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|), \quad i, j = 1, \dots, N.$$

Probabilidad de recurrir en un tiempo i para el sistema X

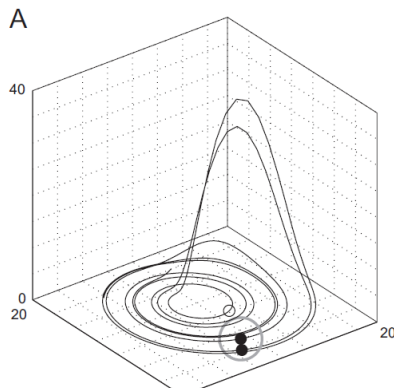
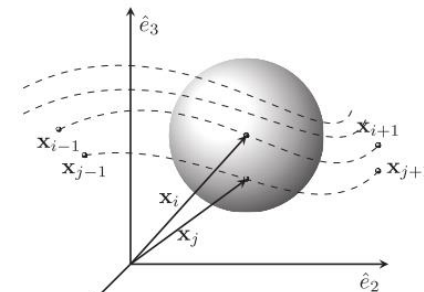
$$p_i^X = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R_{ij}^X$$

$$p^X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i^X$$

Probabilidad de recurrir en todo el intervalo de tiempo para el sistema X

$$R^X = \begin{pmatrix} i-1 & i & i+1 & \dots & j-1 & j & j+1 \\ i-1 & 1 & \dots & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 \\ i & \dots & 1 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 \\ i+1 & \dots & \dots & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ j-1 & \dots & \dots & \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ j & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 1 & \dots \\ j+1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

[Ramos, et. al, 2017]

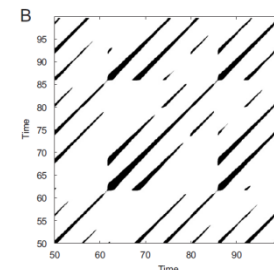


(Marwan et al. 2007)

$$R_{ij}^{X,Y} = R_{ij}^X R_{ij}^Y = \Theta(\varepsilon_X - \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|) \Theta(\varepsilon_Y - \|\mathbf{y}_i - \mathbf{y}_j\|)$$

$$p_i^{X,Y} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R_{ij}^{X,Y}$$

Probabilidad conjunta de que los sistemas X y Y recurran para todo un intervalo de tiempo i



Metodología

Medida de dependencia basada en la recurrencia para un periodo i :

$$RMD_i = \frac{p_i^{X,Y}}{p_i^X \cdot p_i^Y}$$

(Goswami et al. 2013)



Es natural querer introducir una medida de dependencia rezagada:

$$RMD(\tau) = \log_2 \left(\frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} \frac{p_i^{X,Y(\tau)}}{p_i^X \cdot p_i^{Y(\tau)}} \right)$$

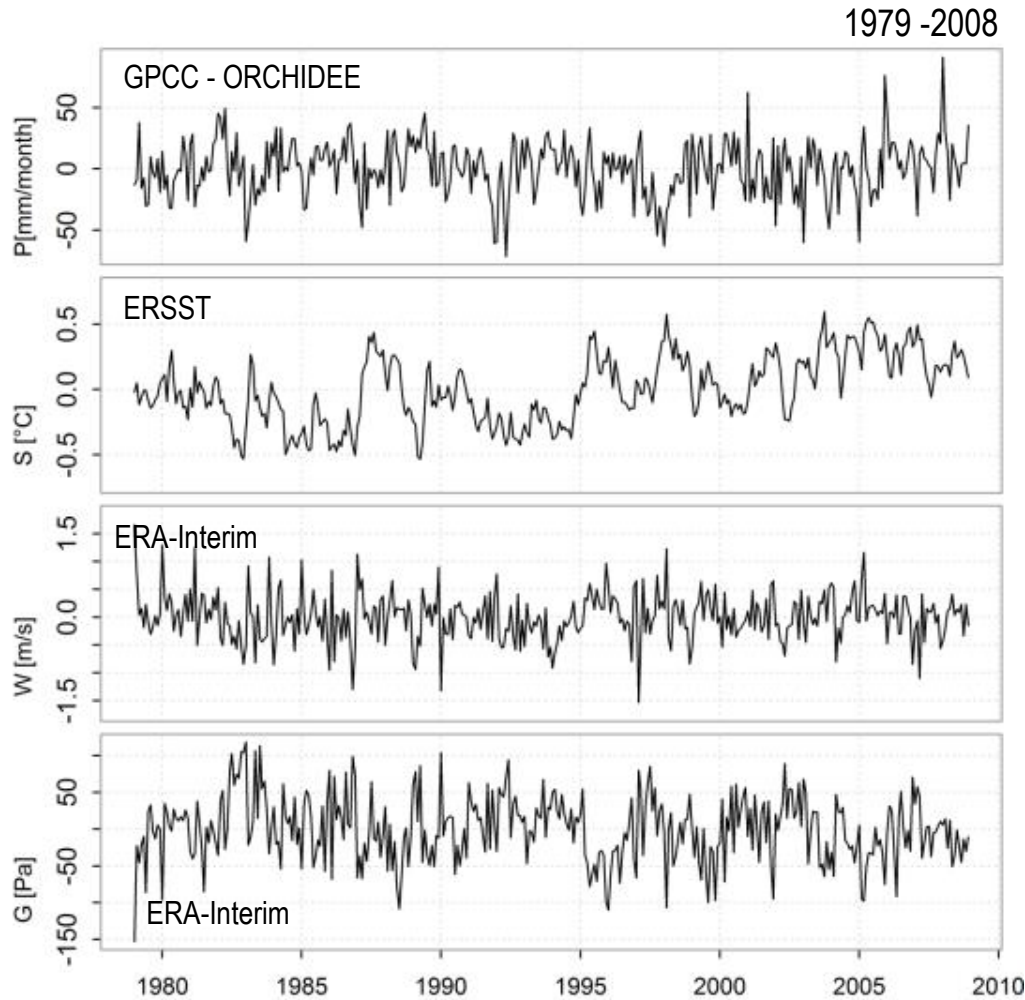
RMD (τ) es una medida de la probabilidad de que la trayectoria \vec{x}_i del sistema X recurra en su simultáneamente con la trayectoria \vec{y}_i del sistema Y en el vecindario ε durante el rezago τ .

Prueba de significancia estadística

(Thiel et al. 2006, 2008)

Basados en los patrones de recurrencia de las trayectorias \vec{y}_i del sistema dependiente Y se generan **500 trayectorias sintéticas o «gemelas»**. Con estas trayectorias se calcula el RMD con la trayectoria \vec{x}_i construyéndose un intervalo de confianza. Todo valor de RMD que cae por encima del 90% del intervalo se considera estadísticamente significativo.

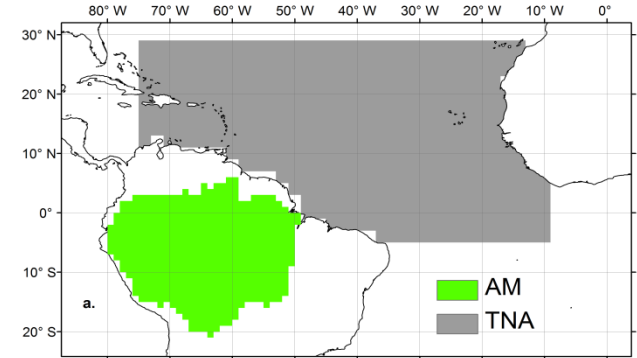
Resultados



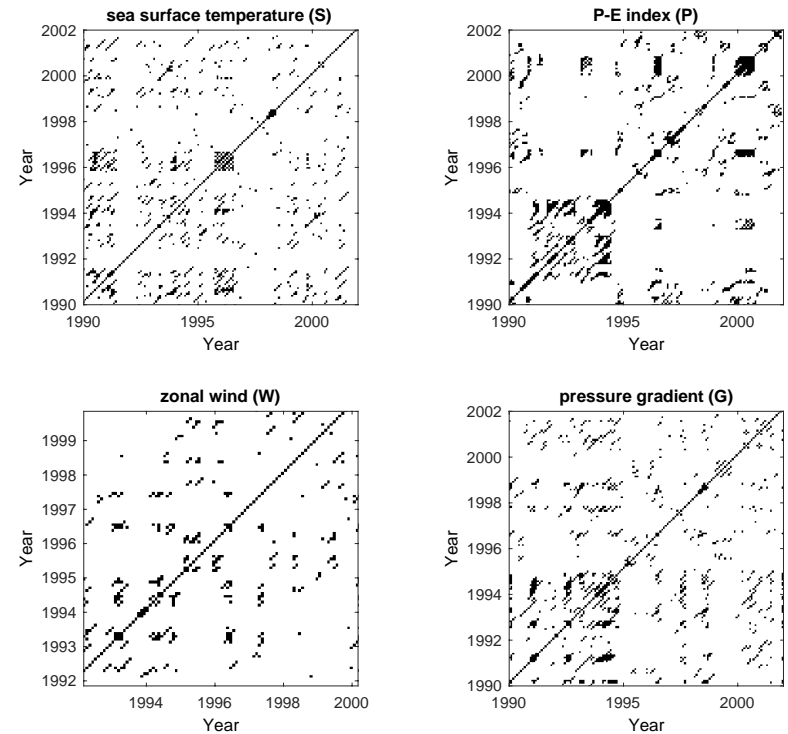
Series de tiempo luego la remoción del ciclo anual

Precipitación, SST, Vientos zonales, Gradiente de presión

Regiones de análisis

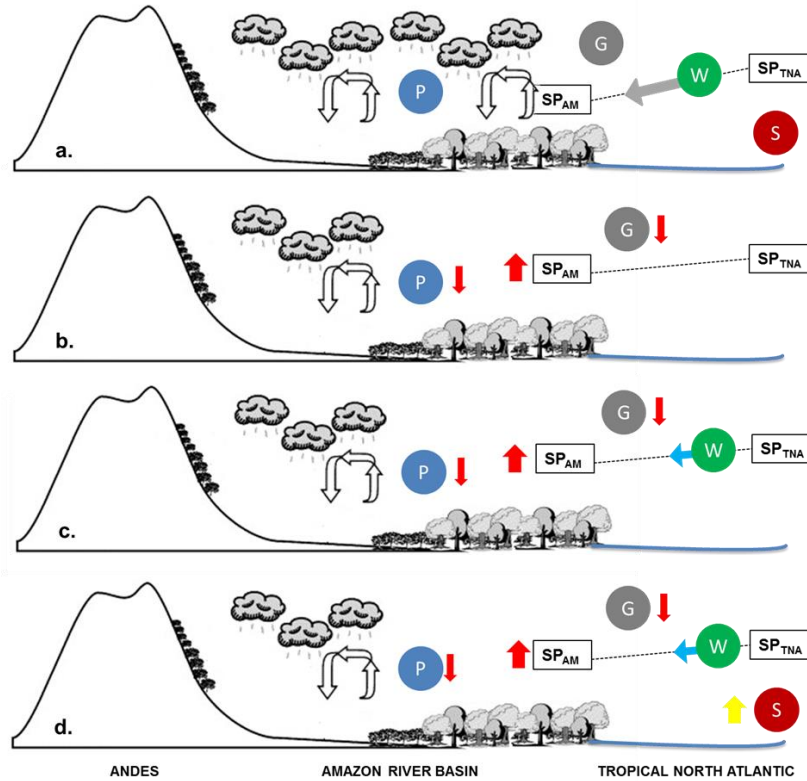
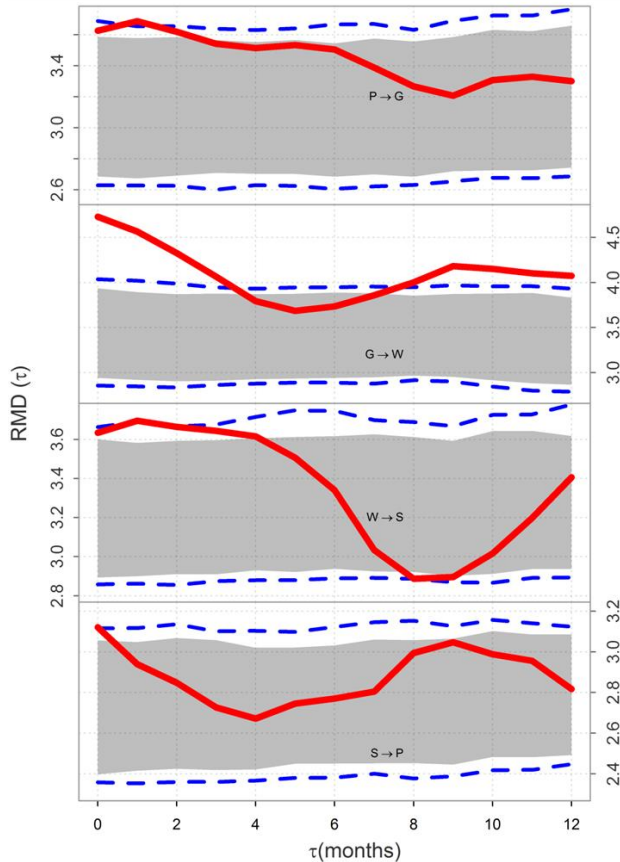


Recurrence Plots de las variables de estudio



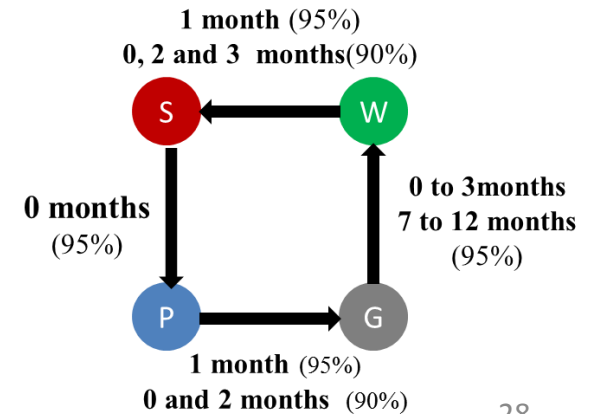
Resultados

Resultados del RMD para los pares de variables



Representación física de los resultados del RMD para el sistema AM – TNA.

Gráfica que resume los rezagos, y la significancia estadística de los resultados del RMD.

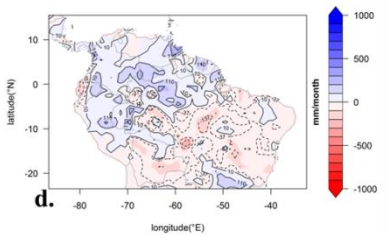


Resultados

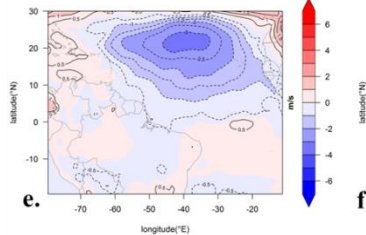
Análisis de eventos extremos de precipitación y temporadas secas y lluviosas en la Amazonía

Promedio de las variables en las temporadas seca y húmeda:
 Línea roja (seca): 63-64, 79-81, 82-83, 97-98, 05, 10
 Línea azul (húmeda): 89, 99, 09

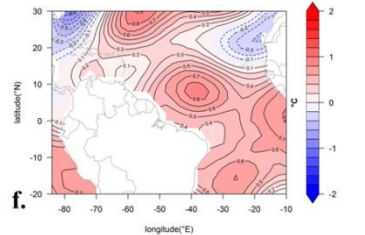
Anomalía de precipitación



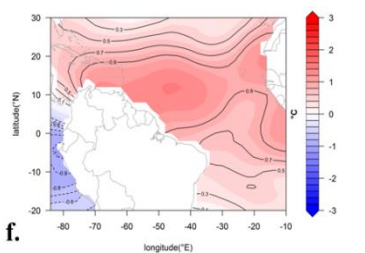
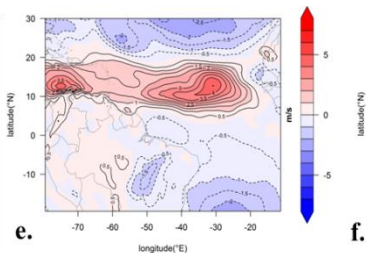
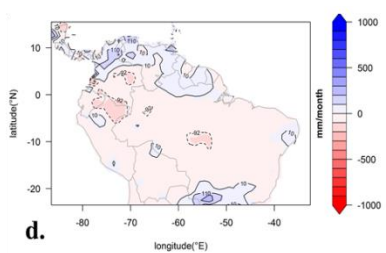
Anomalía de viento zonal



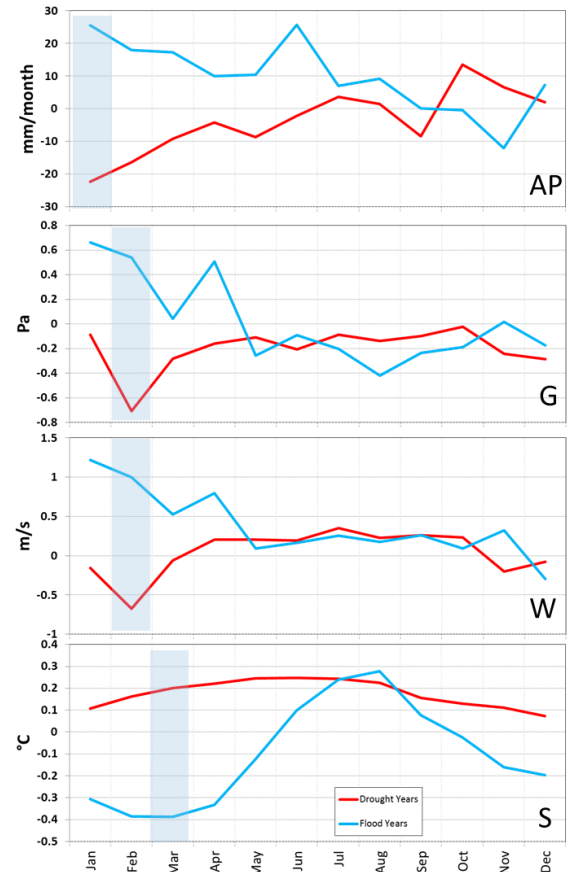
Anomalía de SST



Enero 2009



Septiembre 2010



Conclusiones

Los resultados encontrados presentan a la Amazonía como un **actor protagónico** en la dinámica del clima tropical a escalas interanuales.

Anomalías de precipitación en la Amazonía durante la **temporada de lluvias** parecen influenciar de forma más clara las SST en el TNA.

La retroalimentación identificada es otra pieza del rompecabezas para el entendimiento de la dinámica de las **dos regiones** durante eventos extremos de precipitación en la Amazonía.

Futuras anomalías de precipitación en la Amazonía tienen la capacidad de influir en procesos como la **formación de tormentas tropicales** o en el aumento de la **severidad de sequías** en la cuenca.

Capítulo 4

Puente suelo-atmósfera entre los océanos Pacífico Tropical y Atlántico Tropical Norte a través de la cuenca del Río Amazonas en las sequías de 2005 y 2010

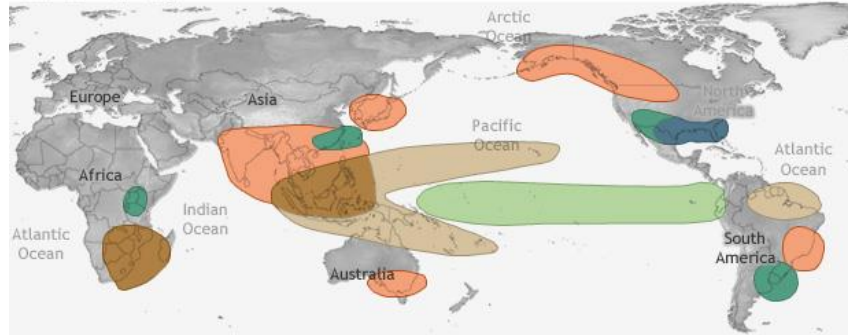
Alejandro Builes-Jaramillo, Antônio Ramos y Germán Poveda
Metodología publicada en *Physical Review E* y Capítulo sometido a *Chaos*

(Ramos, A. M. T., A. Builes-Jaramillo, G. Poveda, B. Goswami, E. E. N. Macau, J. Kurths, and N. Marwan, 2017. Recurrence measure of conditional dependence and applications, *Phys. Rev. E*, 95(5), 052206, doi:10.1103/PhysRevE.95.052206)

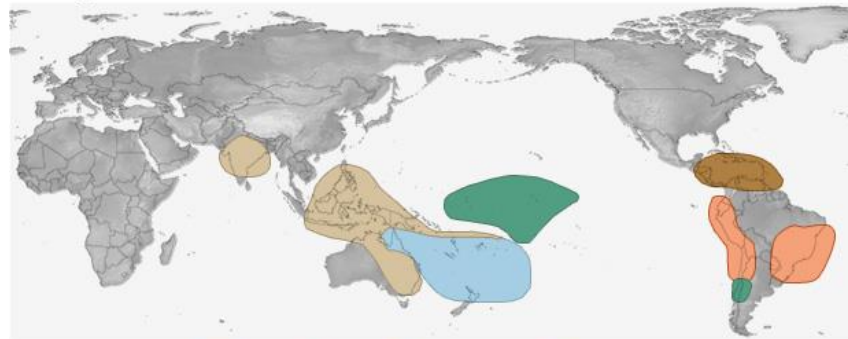
Introducción

EL NIÑO CLIMATE IMPACTS

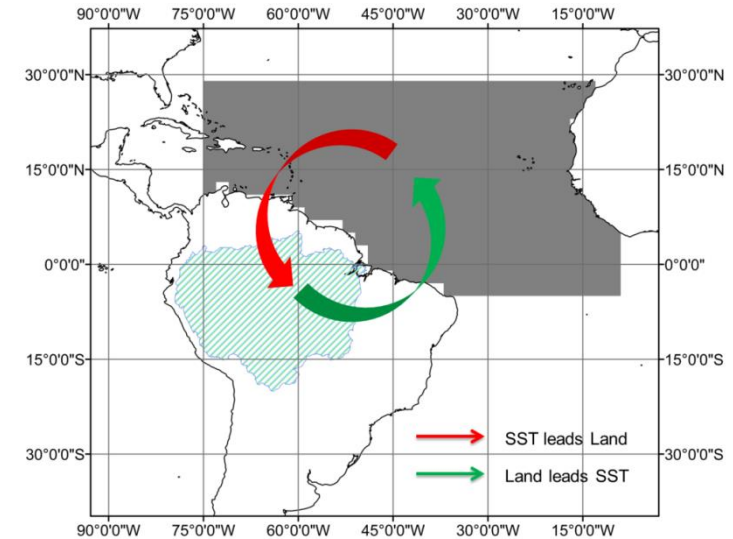
December-February



June-August



Regiones donde podría haber impactos asociados a eventos El Niño durante el verano (DJF) e invierno boreal (JJA). Imagen tomada de la NOAA (<http://bit.ly/2h18XLm>)



¿Puede la Amazonía amplificar la acción del Océano Pacífico Tropical en el Océano Tropical Atlántico Norte?

Metodología

Volviendo a la recurrencia.....

[Ramos, et. al, 2017]

La probabilidad de que las trayectorias de los sistemas X y Y recurran de forma simultánea, condicionado a la recurrencia del sistema Y , en un periodo i , puede definirse como:

$$p_i^{X|Y} = \frac{p_i^{X,Y}}{p_i^Y} = \frac{\sum_j R_{ij}^{X,Y}}{\sum_j R_{ij}^Y},$$

Se puede definir entonces una medida de dependencia condicional basada en la recurrencia (RMCD) y análoga a la información mutua condicional.

$$\mathcal{I}_{\text{RMCD}}(X, Y|Z) = \frac{1}{N} \sum_i p_i^{X,Y,Z} \log \left(\frac{p_i^{X,Y|Z}}{p_i^{X|Z} p_i^{Y|Z}} \right)$$

Igual que con la transferencia de entropía, es posible evaluar causalidad de la influencia de X en Y teniendo en cuenta el pasado de $X^\tau = \{x_{i-\tau}\}$ y el presente de Y , excluyendo cualquier contribución del pasado de Y , $Y^{\tau'}$.

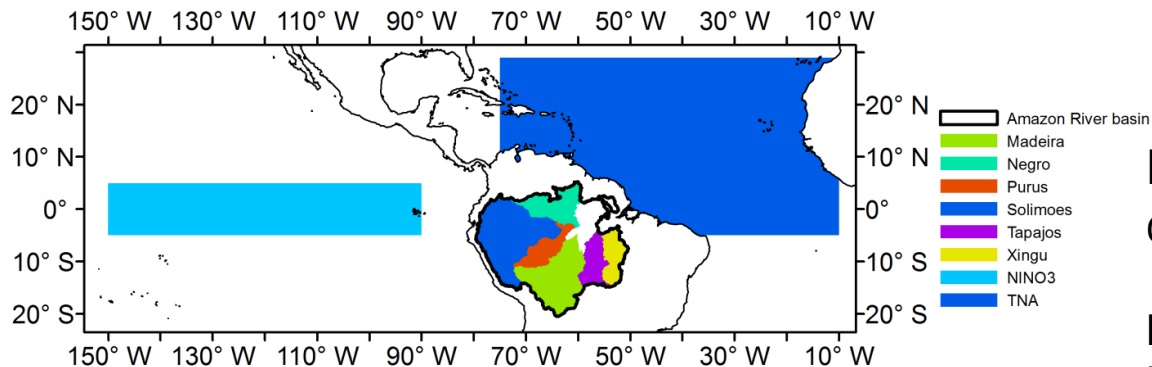
$$\mathcal{I}_{\text{RMCD}}(X^\tau, Y|Y^{\tau'}) = \frac{1}{N} \sum_i \left[\frac{1}{N} \sum_j R_{ij}^{X^\tau, Y, Y^{\tau'}} \times \log \left(\frac{\sum_j R_{ij}^{X^\tau, Y, Y^{\tau'}} \sum_j R_{ij}^{Y^{\tau'}}}{\sum_j R_{ij}^{X^\tau, Y^{\tau'}} \sum_j R_{ij}^{Y, Y^{\tau'}}} \right) \right]$$

Metodología - Información

Prueba de significancia estadística

1. Trayectorias sintéticas o «gemelas» 1000 evaluando el 99% de la distribución
2. Test de Dunn-Sidák para comparación múltiple entre los diferentes rezagos [Šidák, 1967]

Información para los dos periodos de análisis 2005 - 2010



Regiones:

NIÑO 3.0 90°W-150°W y 5°S- 5°N

TNA 75°W to 10°W y 5°S to 29°N

AM y 6 Subcuencas: SO-HYBAM

El método es intensivo en la demanda de información:

Información diaria

Precipitación en la Amazonia

TRMM 3B42

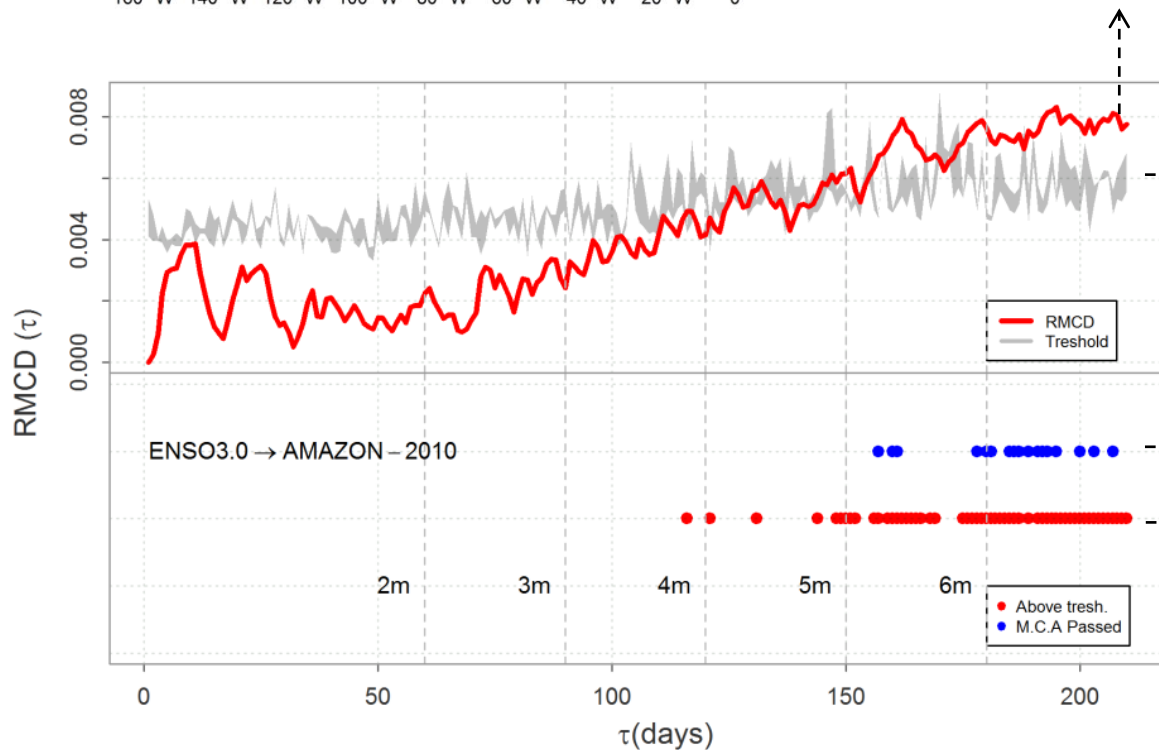
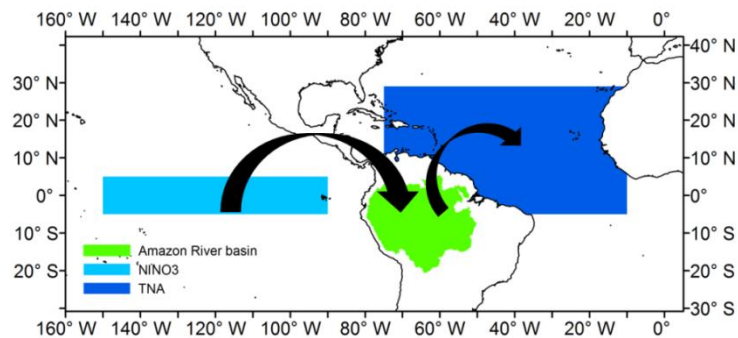
Temperatura superficial del océano

NOAA OI SST High resolution dataset

Resultados - Interpretación

Ejemplo: Transferencia de información desde la región NIÑO 3.0 a la Amazonía en el año 2010

RMCD calculado entre los dos sistemas X (independiente) y Y (dependiente). En este caso SST en la región NIÑO 3.0 y la precipitación en la Amazonía

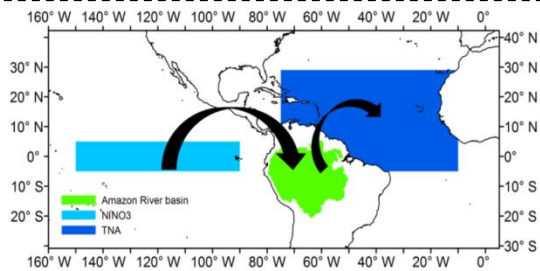


Intervalo de confianza construido con el 99% de la distribución del RMCD calculado con las trayectorias gemelas

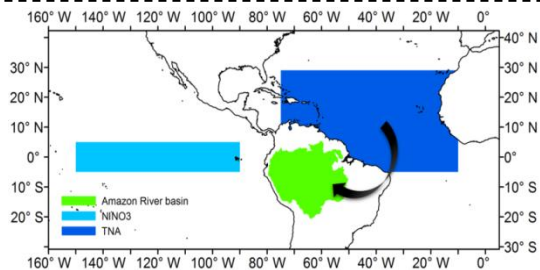
Rezagos que pasan la segunda prueba de significancia estadística

Rezagos donde los valores de RMCD cruzan el intervalo de confianza y se acepta la hipótesis de transferencia de información entre los sistemas

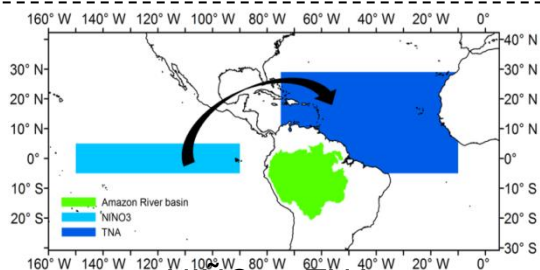
Resultados



NIÑO → AM → TNA



TNA → AM



NIÑO → TNA

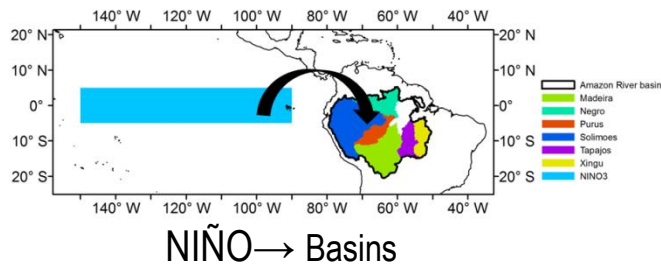
- Más TI desde el Pacífico hacia la Amazonia en 2010 (5 a 7 meses de rezago).
- Más TI desde la Amazonía hacia el TNA en 2010 (0 a 6 meses de rezago).

- **Mayor actividad** en la TI desde la Amazonía durante el evento **El Niño del 2010**.

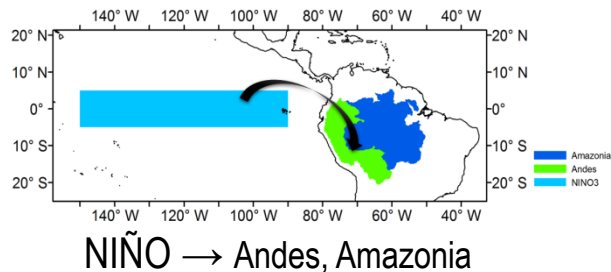
- **TI permanente** desde el TNA hacia la Amazonía en 2005 y 2010.
- Mayor significancia estadística en la transferencia de información durante la **sequía del 2005**.

- **Mayor TI** desde el Pacífico hacia el TNA durante el **evento El Niño del año 2010**.

Resultados

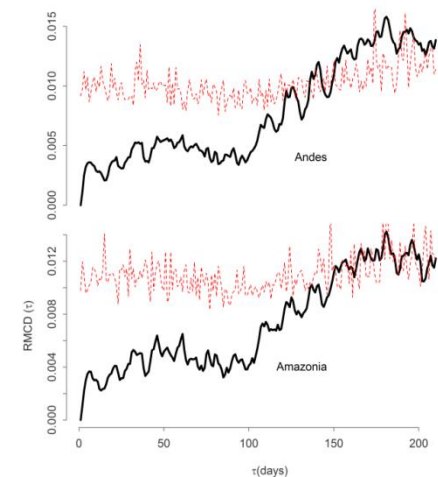


- Durante la **sequía del 2010** la TI en las **seis subcuencas** se experimento con mayor intensidad a partir del **mes 5 de rezago hasta el mes 7**.
- Durante la sequía del 2005 hay TI del Pacifico a las subcuencas, pero **no se puede definir un patrón** en el tiempo de rezago.



- La TI desde el Pacífico hacia **Andes y Amazonía es similar** en ambos periodos, siendo más intensa durante la sequía del año 2010 a partir del mes 5 de rezago.
- La **TI llega primero a los Andes** que a la Amazonía.

Las series con las que se representan los valores de RMCD durante el año 2010 experimentan una **tendencia creciente** generalizada cuando se evalúa cualquier dirección de TI desde el Pacífico.



Conclusiones

El desarrollo de una metodología de análisis causal entre sistemas dinámicos permitió el análisis de la **transferencia de información** entre tres sistemas hidroclimatológicos de gran importancia para el clima tropical.

La **significancia estadística** de la transferencia de información desde el Océano Pacífico Tropical hacia el continente y el TNA **aumenta** durante el evento **El Niño** del año 2010.

La **métrica distingue las regiones** que influyen en la variabilidad de la precipitación en la Amazonía para las sequías de 2005 (TNA) y 2010 (NIÑO).

La metodología identifica las **relaciones dinámicas** entre la Amazonía y el TNA y evidencia aumento de la transferencia de información desde la **Amazonía hacia el TNA** en el evento **El Niño** de 2010.

Agradecimientos

Núcleo científico



Germán Poveda
Norbert Marwan
Jürgen Kurths
Antônio Ramos
Paola Arias



Espacios para la formación avanzada

Max Planck Institute
for Biogeochemistry 



Evaluadores de *Climate Dynamics*
Evaluadores de *Physical Review E*
Evaluadores de *Water Resources Research*

Instituciones Financiadoras



DAAD
Deutscher Akademischer Austausch Dienst
German Academic Exchange Service

