

I Escuela Iberoamericana de Invierno de Meteorología (EIBIMET)

Webinar, Lima, 31 mayo 2021



CENTRO DE ESTUDIANTES
DE METEOROLOGÍA

Influencia del fenómeno El Niño en el caudal de los ríos costeros del Perú

[ENSO influence over streamflow of Peruvian coastal rivers]



Pedro Rau, PhD

Hidrólogo/Hidroclimatólogo

Profesor Asistente. Dpto. Ingeniería

Ambiental. Escuela de Posgrado.

Investigador principal CITA-UTEC

prau@utec.edu.pe



CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
Y TECNOLOGÍA
DEL AGUA - UTEC

ESCUELA DE
POSGRADO
UTEC



Algunas preguntas frecuentes_

- [1]: ¿Qué ocurre con El Niño?
- [2]: ¿Por qué nuestros ríos costeros inundan ocasionalmente?
- [3]: ¿Qué se sabe de la relación El Niño-Caudal y qué aportan las nuevas teorías?
- [4]: ¿Cómo podría analizar la relación ENSO-Caudal con alguna herramienta geoinformática?



Huarmey (Perú)
19 Marzo 2017

[1]: ¿Qué ocurre con El Niño?

El Niño
Southern
Oscillation?
El Niño Modoki?
La Niña?

Eastern Pacific
El Niño?

Coastal El Niño?

Mix El Niño?

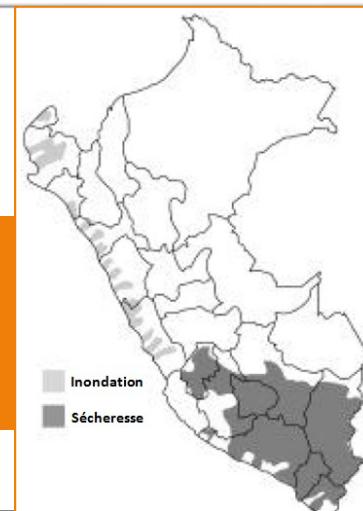


Trujillo (Peru): 26 Marzo 2017

1997/1998

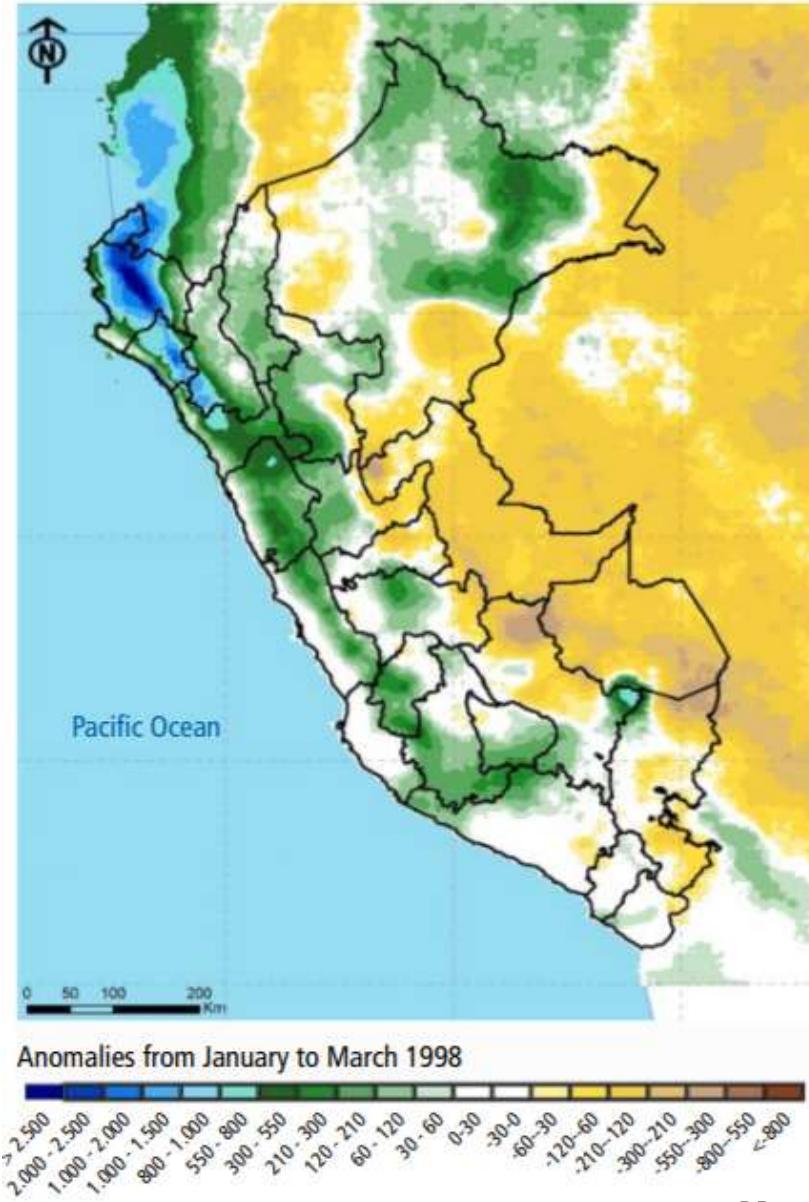
**El ultimo Niño global extremo
con influencia directa en la
Vertiente del Pacífico Peruano**

P.Rau – Hidroclimatología (2021)



Central Pacific
El Niño?
Canonical
El Niño?
El Niño
« Godzilla »?
Global El Niño?
Coastal La
Niña?
Super El
Niño?

French y Mechler (2017), SENAMHI

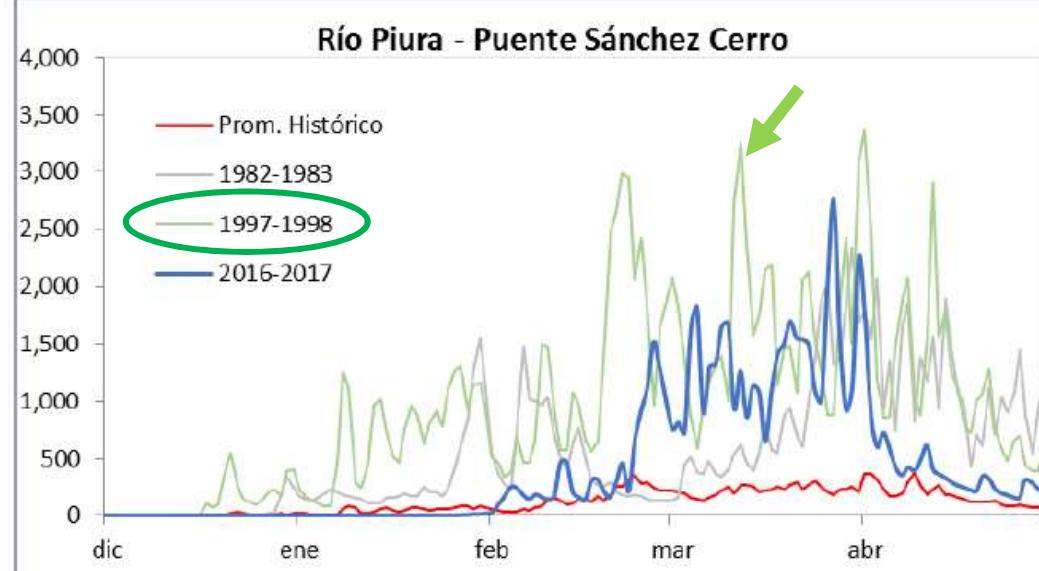
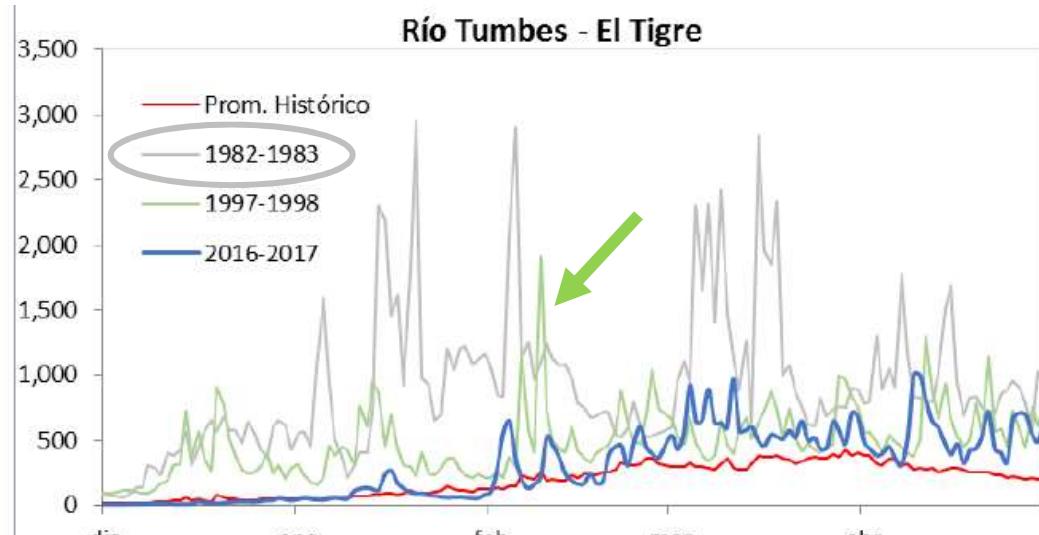


Nuestra realidad frente al clima

- Ubicación geográfica compleja
- Variabilidad y Cambio Climático, una realidad
- Peligros Naturales, Vulnerabilidad y Riesgo

Cuencas cercanas, similar climatología regional, diferente respuesta hidroclimática!

Caudales diarios (m³/s)



Comprensión de El Niño (índices)



Previsión/Pronóstico climático



Previsión/Pronóstico hidrológico

[2]: ¿Por qué nuestros ríos costeros inundan ocasionalmente?

I. Una ubicación geográfica

singular con repercusiones en la cuenca baja (desierto peruano)

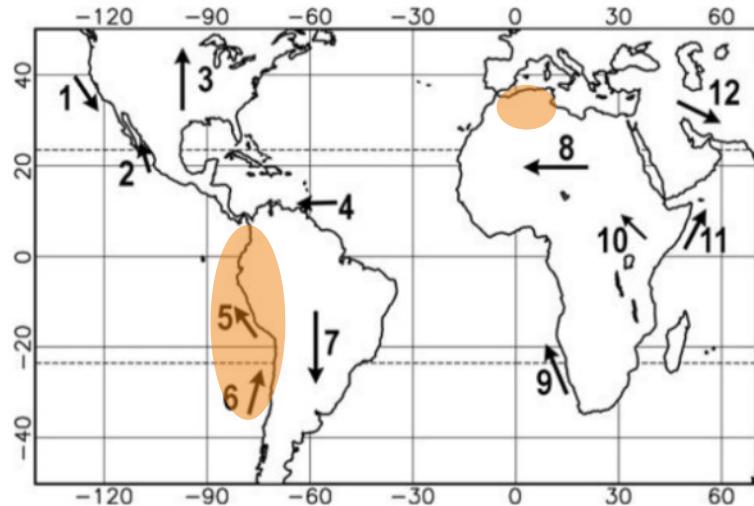


LIMA

Subsidencia atmosférica!

RIO DE JANEIRO

II. Condiciones de aridez y la supresión de lluvias

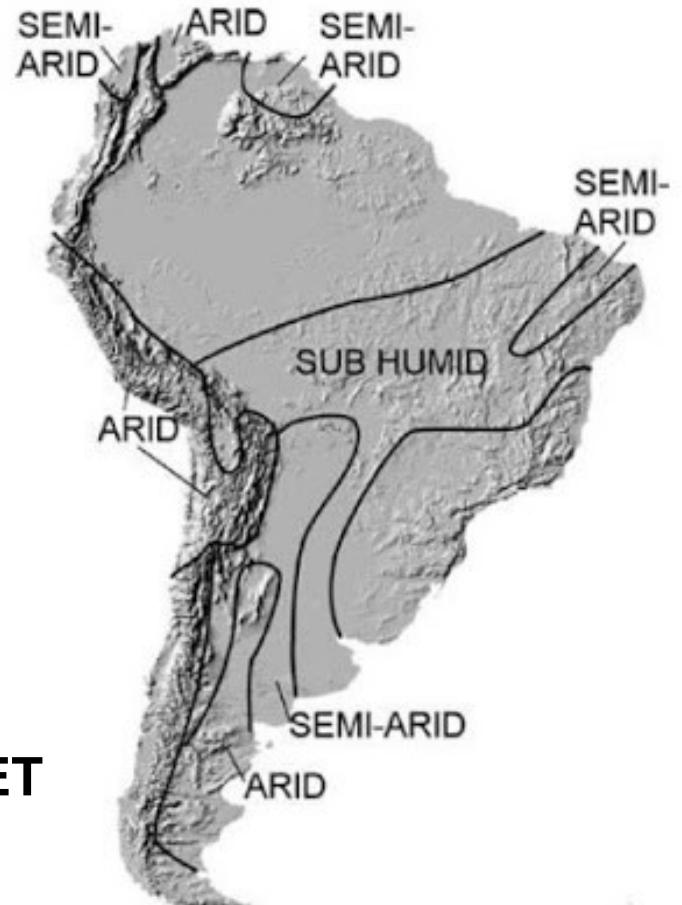


Nicholson (2008)

Low Level Jet (LLJ) o corriente en chorro en niveles bajos

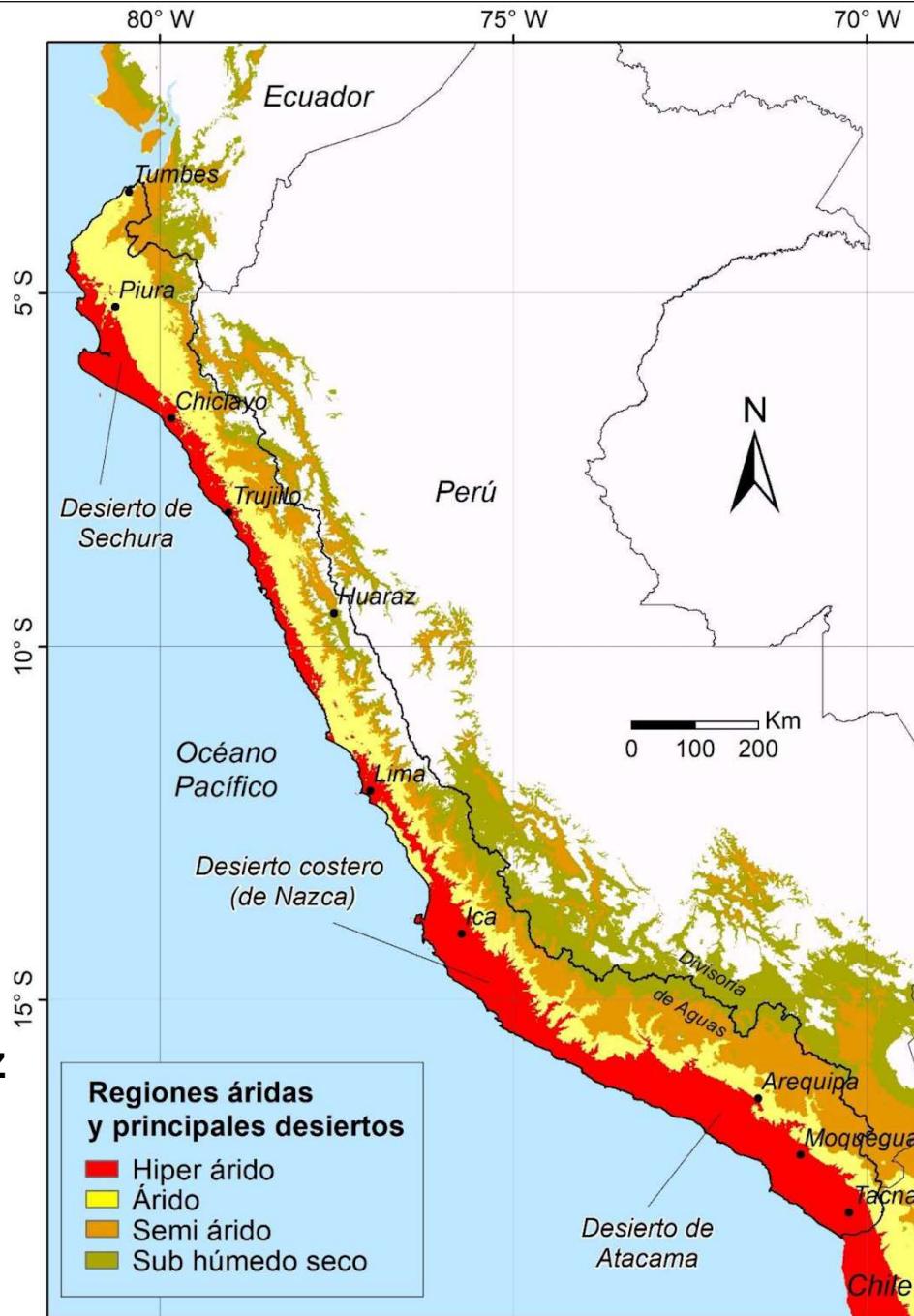
Relacion entre la Precipitacion (P) y la Evapotranspiracion potencial (PET): P/PET (UNEP, 1997)

Hyper-arid	<0.05
Arid	0.05 a 0.20
Semi-arid	0.20 a 0.5
Sub-humid	~0.75



Mapa de aridez del Perú (Rau, 2019a)

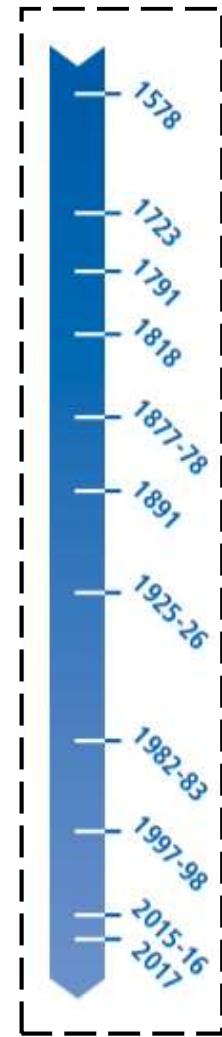
Datos CGIAR



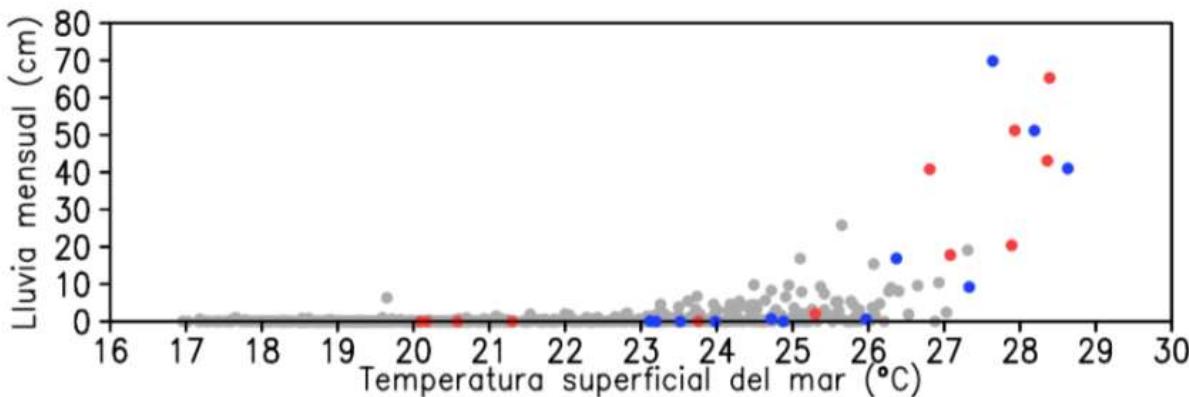
P.Rau – Hidroclimatología (2021)

Viviendo con El Niño

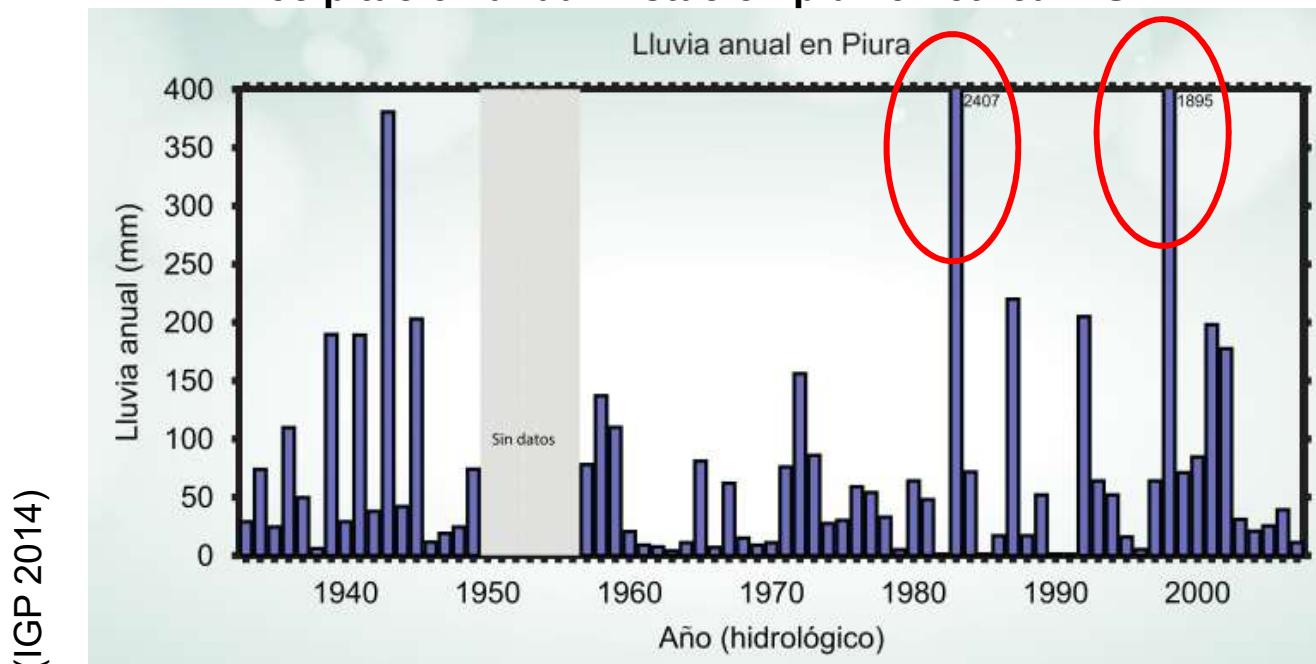
(Quinn et al. 1987; INDECI 2015, 2017)



III. Variabilidad climática



Precipitacion anual: Estacion pluviometrica PIURA

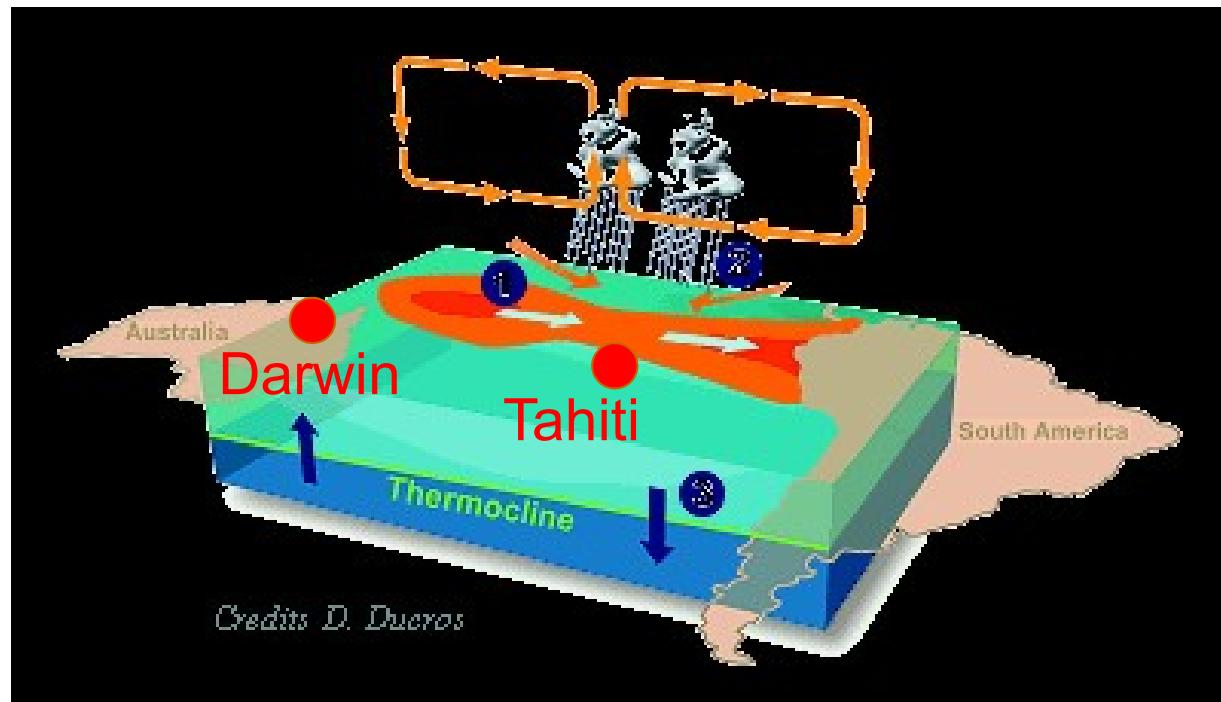


P media (sin Niños extraordinarios) ~ 60 mm/año
P en 1983 ~ 2400 mm/año \longrightarrow 40 veces mas!

Una anomalía de precipitación
única en el mundo!

[3]: ¿Qué se sabe de la relación ENSO-Caudal y qué aportan las nuevas teorías?

El Fenómeno El Niño (ENSO) global

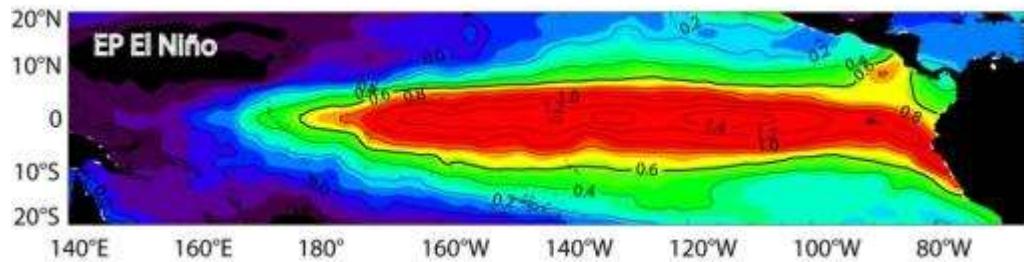


Bjerknes (1969); Wyrtki (1975); Rasmusson et Carpenter (1982)

- Clásico y Canónico
- Eventos extremos, El Niño, La Niña
(Ej: Índice SOI - Southern Oscillation Index)

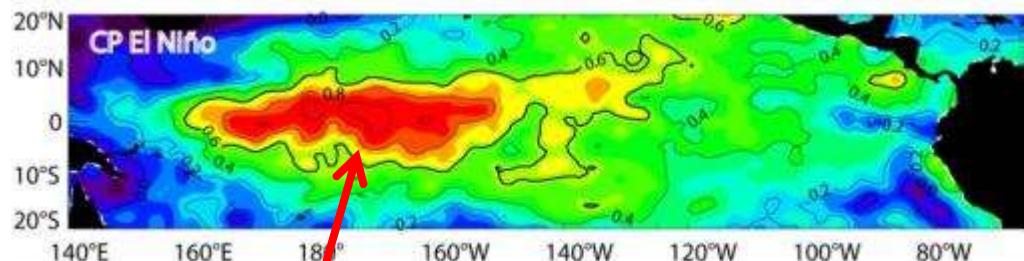
El fenómeno ENSO en dos fases

Eventos clasicos EP «Pacifico Este»



Indice E or Eindex
Describe los eventos extremos

Eventos Modoki CP « Pacifico Central»

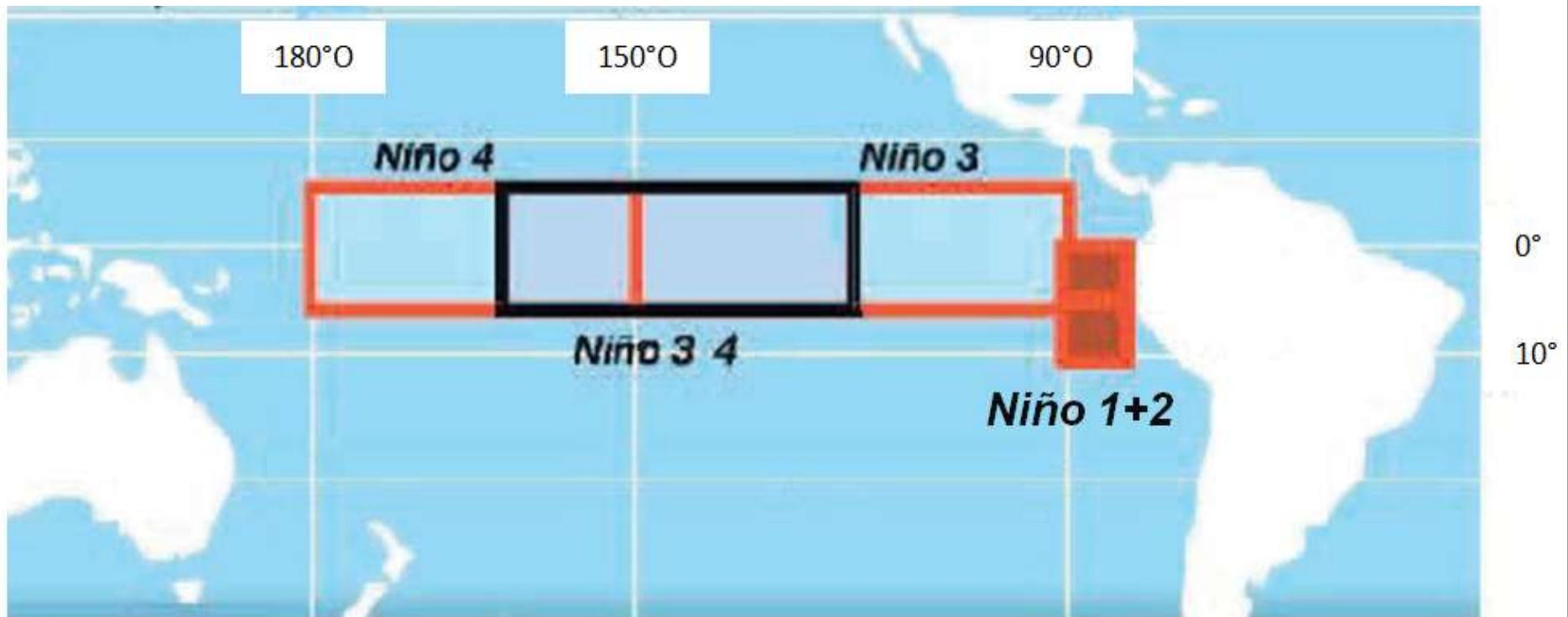


Indice C or Cindex
Describe El Niño Modoki (Eventos Moderados, La Niña)

(Takahashi et al., 2011)

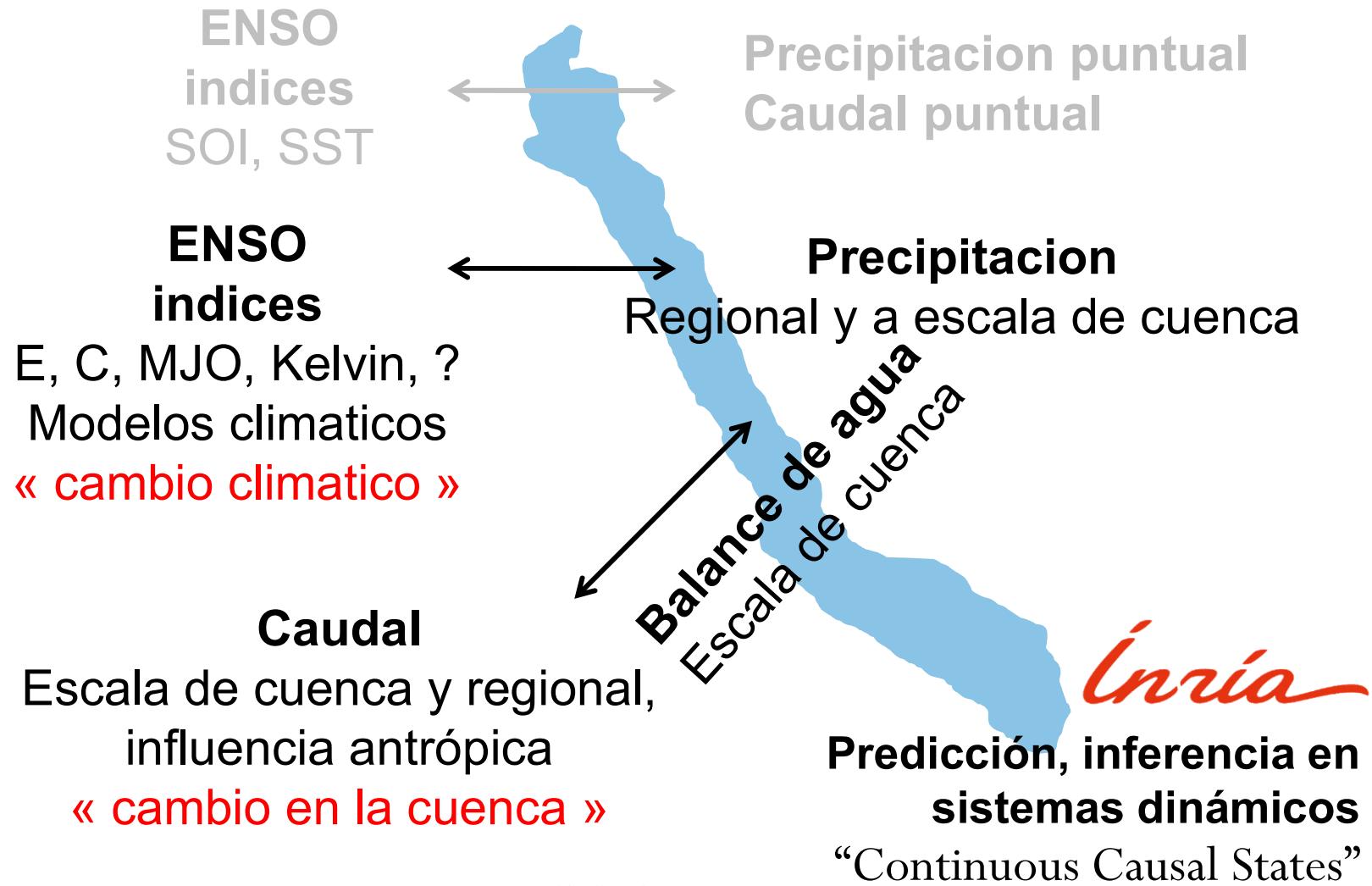
Calentamiento anomalo del Centro del Pacifico rodeado por anomalias de temperatura frias

Índices del ENSO



Índices clásicos	Índices dinámicos	Indices Atmosféricos	Indices Oceanográficos
SST (Sea Surface Temperature, SST1+2, SST3, SST3.4, SST4), SOI (Southern Oscillation Index), MEI (Multivariate ENSO Index)	E et C	MJO (Índice de la actividad de la oscilación Madden-Julian)	AKm1, AKm2 (Ondas Kelvin)

ENSO-Q: Research approach



Trabajos indexados arbitrados

Relación ENSO/lluvias

Sur Ecuatoriano y Vertiente del Pacifico Andes Perú

Horel and Cornejo-Garrido, 1986;
Goldberg *et al.*, 1987;
Tapley and Waylen, 1990;
Waylen and Poveda, 2002;
Takahashi, 2004;
Nickl, 2007;
Lagos *et al.*, 2008;
Lavado *et al.*, 2012;
Lavado and Espinoza, 2014;
Bourrel *et al.*, 2015;
Segura *et al.*, 2016;
Rau *et al.*, 2017a;
Takahashi and Martinez, 2017;
Julca *et al.*, 2017;
Sanabria *et al.*, 2018, 2019

La comprensión de la componente atmosférica - climática se va consolidando ☺

Relación ENSO/caudal

Sur Ecuatoriano y Vertiente del Pacifico Peruano

Waylen and Caviedes, 1986;
Wells, 1987;
Waylen and Poveda, 2002;
Lavado *et al.*, 2013;
Takahashi and Martinez, 2017;
Morera *et al.*, 2017;
Rau, 2017b

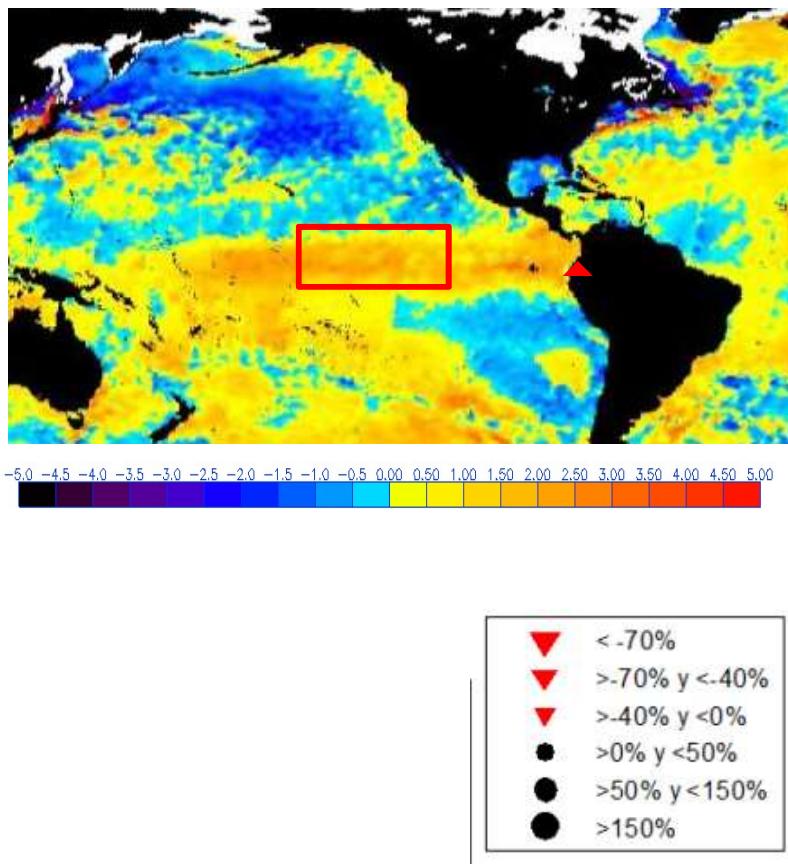
La comprensión de la componente hidrológica aun es incierta! ☹



Rio Rimac (Peru): Marzo 2017

Waylen y Poveda (2002)

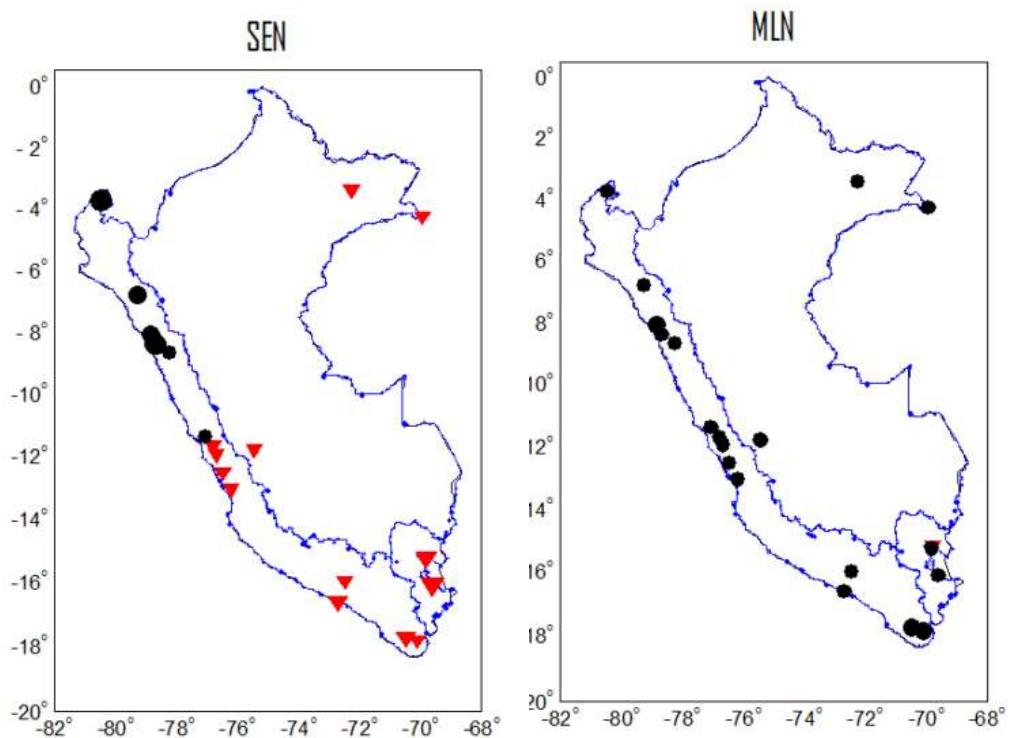
Asociación positiva entre caudales anuales máximos y la temperatura superficial del mar NINO3.4 (ABR-JUL) para el río Piura



Lavado et al (2013)

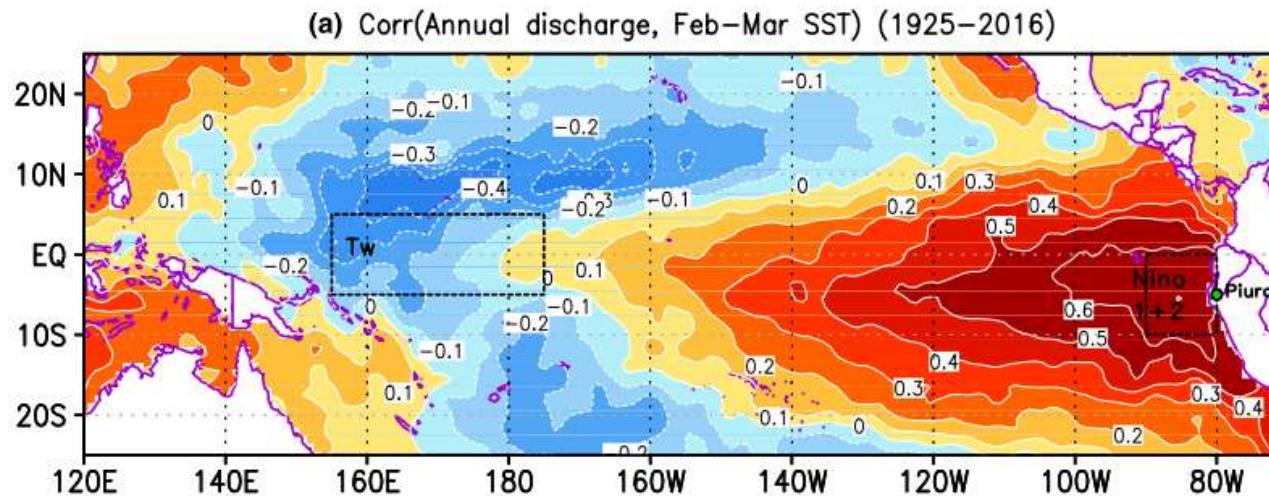
Primera documentación completa del impacto de El Niño con enfoque clásico.

- Aumento (disminución) de caudales en años Niño en el Norte (Sur).
- Aumento de caudales en años Niña en el Centro y Sur.



Takahashi y Martinez (2017)

- Avances en el pronóstico de El Niño 2016, 2017 y el caudal del río Piura, considerando el calentamiento en la región NINO1+2 y un enfriamiento en el Pacífico Central-Occidental.



Rau (2017b)

- Enfoque basado en los índices dinámicos El Niño, E y C
- Incorporación del cambio hidroclimático: «cambio en la cuenca». Selección de cuencas de características casi-naturales sin cambio significativo

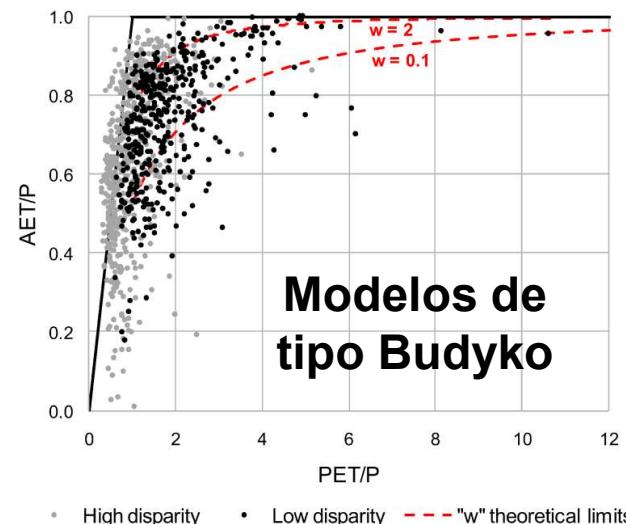
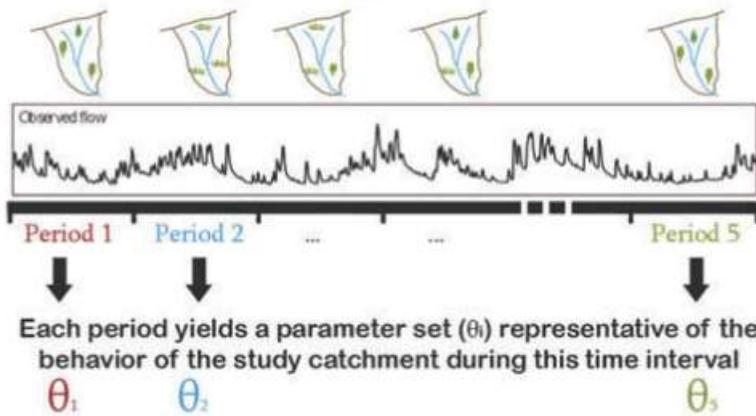


La influencia de los parámetros de una cuenca (vegetación, topografía, geomorfología, etc) también influye en la respuesta hidrológica a largo plazo frente a una variabilidad climática recurrente (Rice y Emanuel, 2017; otros)

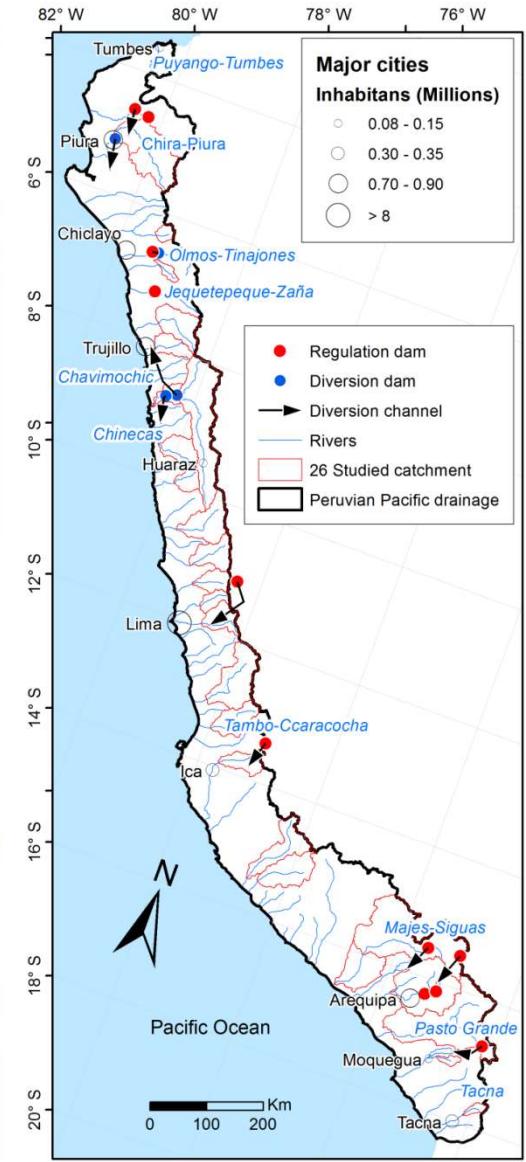
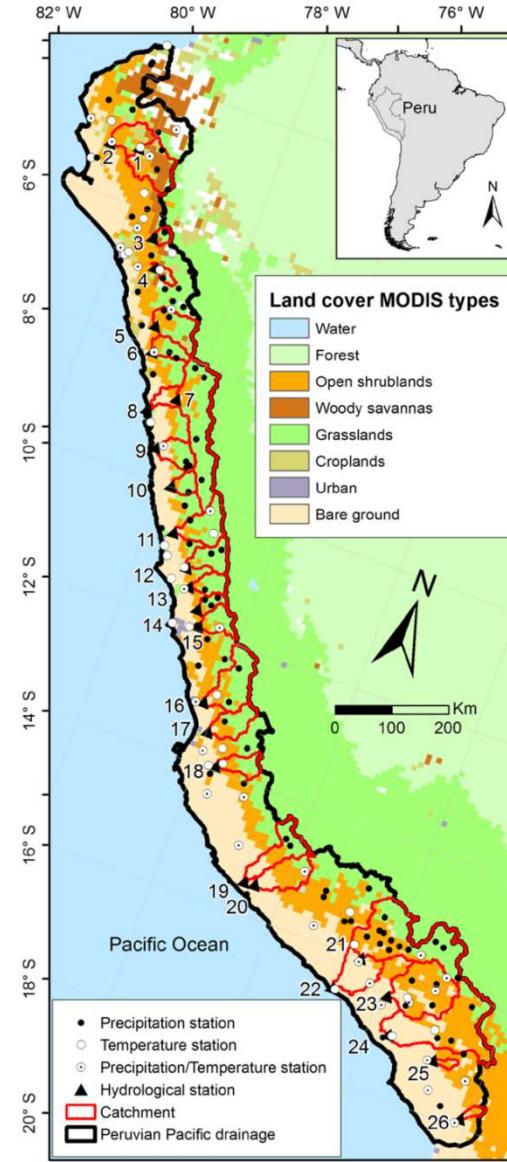
El cambio hidroclimático

CAMBIO CLIMATICO + CAMBIO EN LA CUENCA

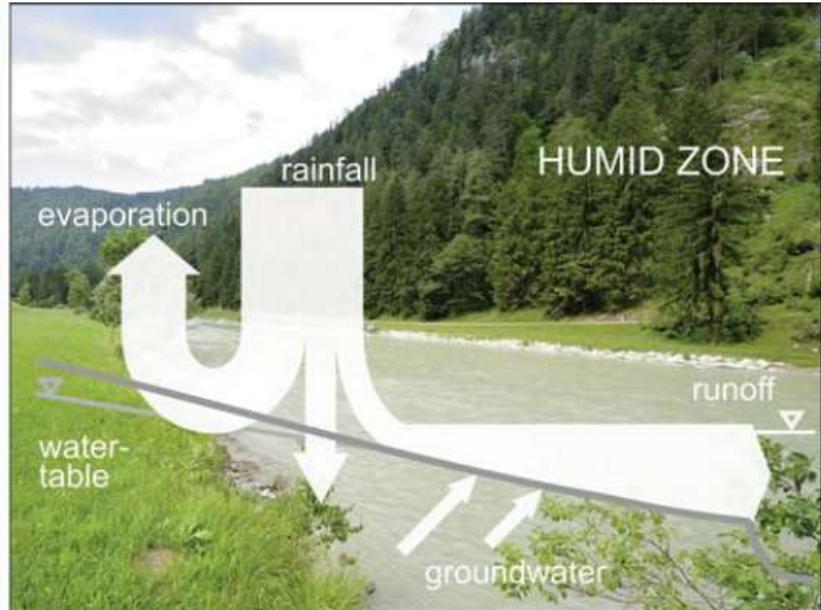
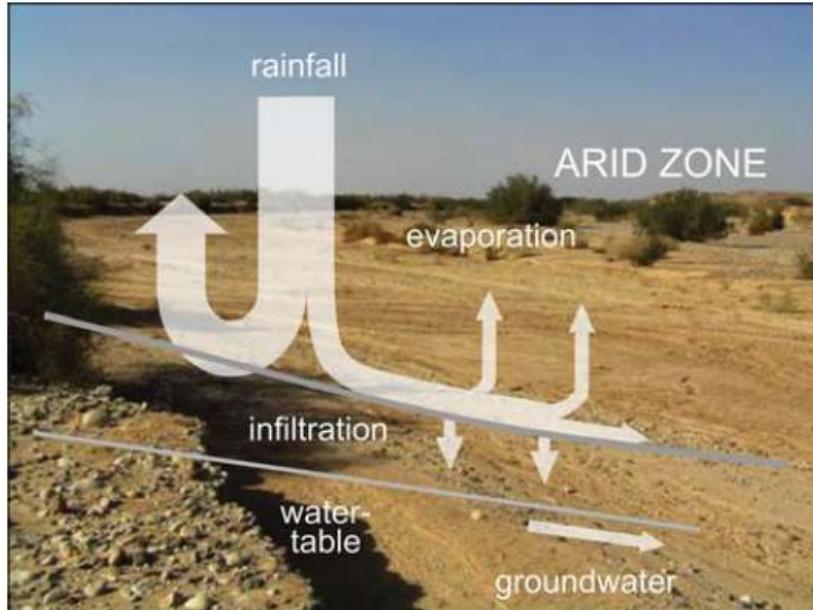
Cuenca en condición no-permanente



Rau et al (2018)

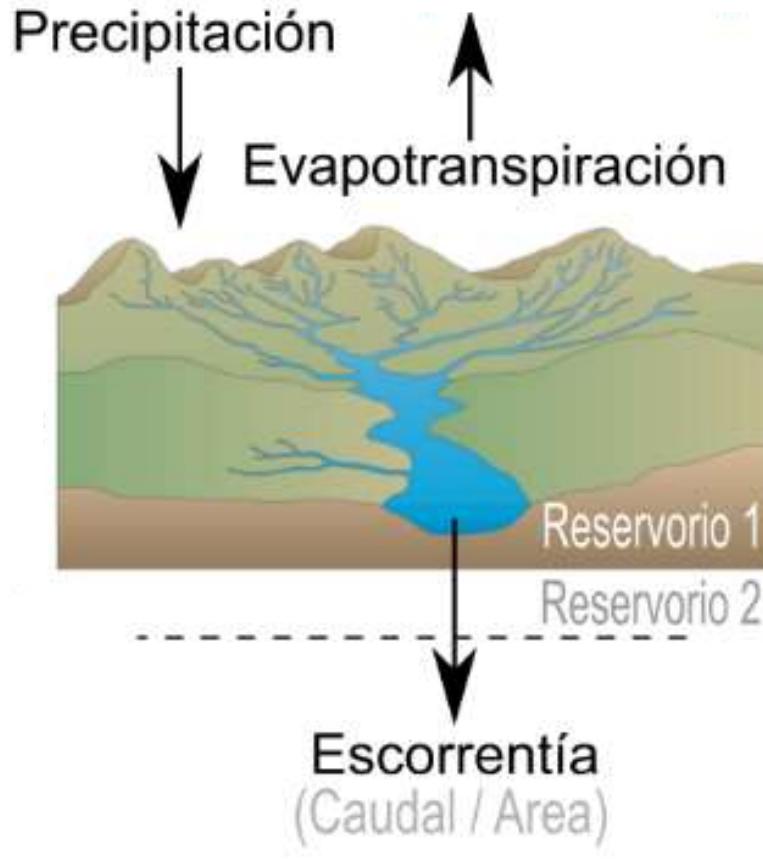


Particularidades de la hidrología de ambientes áridos ($PET > P$)

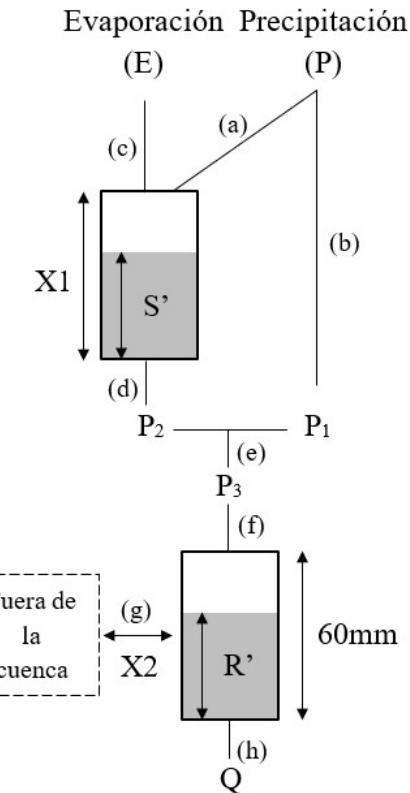


- ✓ *Marcada variación espacial de la lluvia.*
- ✓ *Marcada variación temporal en época húmeda y seca y entre un año a otro.*
- ✓ *Marcada intensidad a pasos más finos de tiempo (horario, diario).*

Conceptualizando las cuencas con medición



Modelo hidrológico GR2M



$$(a) S_1 = \frac{S' + X_1 \varphi}{S'}; \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right)$$

$$(b) P_1 = P + S' - S_1$$

$$(c) S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{S_1}{X_1}\right)}; \psi = \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)$$

$$(d) S' = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{1/3}}; P_2 = S_2 - S'$$

$$(e) P_3 = P_1 + P_2$$

$$(f) R_1 = R' + P_3$$

(g) $R_2 = X2.R_1$

$$(h) Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60}; R' = R_2 - Q$$

Modelo regional runoff index (rindex)

$$X1 = \frac{A^{0.393} L^{-4.107} p^{4.291}}{64.5}$$

Rau et al. (2019)

X1: Capacidad máxima del reservorio de suelo (GR2M)

A: Área en Km²

L: Longitud del curso principal de la cuenca (Km)

p: Perímetro de la cuenca (Km)

Influencia de El Niño en los caudales de la costa peruana

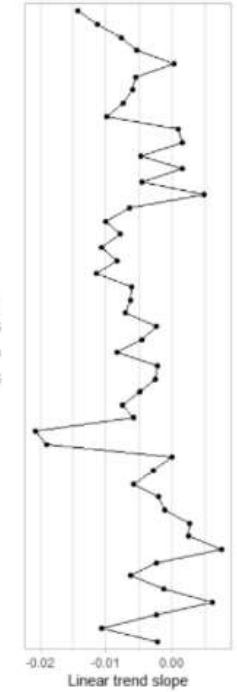
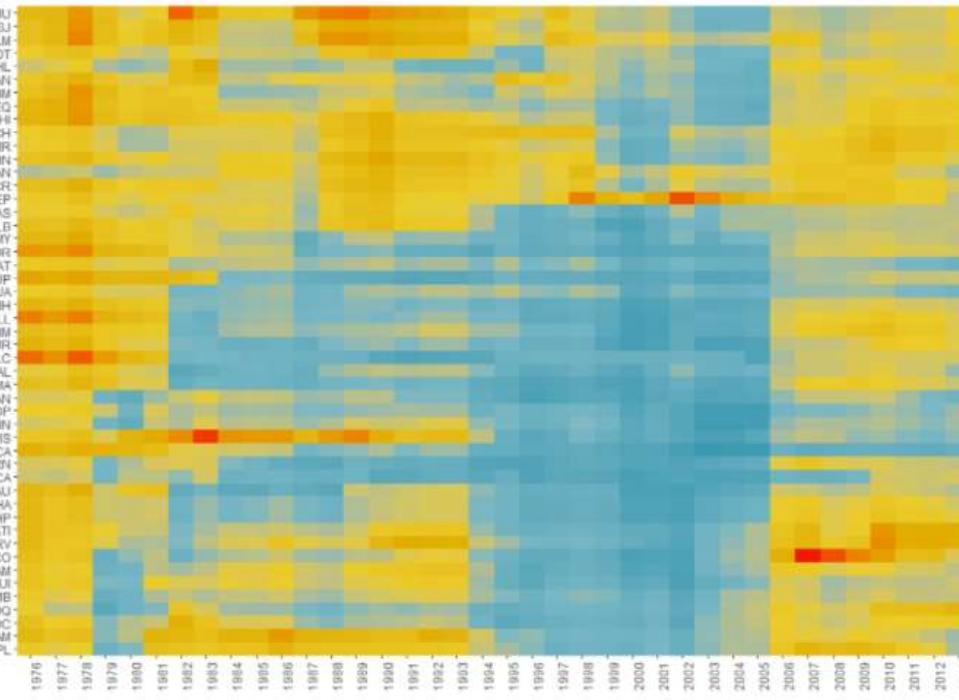
Método de
correlación
corrida o
**running
correlation**



Índice C para la
época húmeda
vs Escorrentía anual
con una ventana
deslizantes de 11
años

Caudales “casi-naturales” vs índice C

Runoff vs NINO 4 without extremes 82/83, 97/98, 16/17



- ✓ Una inversión de la relación ENSO/caudal a partir del año 1995 y fin en 2005.
- ✓ Correlaciones mas altas que la relación ENSO/lluvia
- ✓ Influencia notoria del cambio en la cuenca en la influencia de El Niño en los caudales in-situ y caudales casi-naturales generados por modelacion hidrologica conceptual (Rau et al, 2019).

[4]: ¿Cómo podría analizar la relación ENSO-Caudal con alguna herramienta geoinformática?

Aplicaciones en R (1)

Correlación espacial entre la temperatura superficial del mar (TSM) y la escorrentía (Q) de una cuenca

Objetivo: Estimar la relación entre la TSM y la escorrentía de una cuenca, a través del coeficiente de correlación y visualizando las regiones en el océano Pacífico con una mayor relación directa e inversa capaces de predecir la disponibilidad hídrica anual.

Materiales: R, Rstudio, varias librerías, TSM global HadISST, código y serie de escorrentías



v4.0.5

<https://cran.r-project.org/>



RStudio Desktop 1.4.1106

<https://www.rstudio.com/product/rstudio/download/#download>



<https://github.com/hydrocodes/eibimet>



HadISST_sst.nc.gz

<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html>

Áreas de trabajo en Rstudio



The screenshot shows the RStudio interface with several red boxes highlighting different areas:

- Editor de código / Consola de scripts**: A red box covers the top-left area where R code is written and executed.
- Área de objetos e historial**: A red box covers the top-right area showing the Global Environment and History tab.
- Consola R / Consola de resultados**: A red box covers the bottom-left area showing the Console tab with R command history and results.
- Figuras y archivos**: A red box covers the bottom-right area showing a line plot of Tmin (°C/d) over time.

Code in the Editor:

```
# Extraccion de una variable del CMIP5 (o cualquier archivo .NC)
library(raster)

# Comando brick lee todas las capas contenidas en el archivo nc, Ejm: pr:precipitacion
b <- brick("C:/1_THESE_SDUE2E/3_SIG/ccmodels/hadgem2-es/tasmin_Amon_HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_20
6

# Asignando indices
idx <- setZ(b)

# Inicializando la estructura de datos para almacenar los datos
coords <- data.frame(lat=-11.8, lon=2) # coordenadas de la ciudad y -11.8 la latitud
vals <- extract(b, coords, df=T)-273.15

# Fijar fechas y datos en un solo archivo dataframe
df <- data.frame(idx, vals)
rownames(df) <- NULL
names(df) <- c('date','value')

# Dar un vistazo al archivo
head(df)

# Plotear la serie
plot(df, type="l", xlab="Años", ylab="Tmin (°C/d)")

# Fijar fechas y datos en un solo archivo
df <- data.frame(idx, t(vals)[-1,])
rownames(df) <- NULL
names(df) <- c('date','value')

# Dar un vistazo al archivo
head(df)
date[1]
1 2005-12-16 14.42842
2 2006-01-15 16.42248
3 2006-02-14 16.47473
4 2006-03-16 16.50000
5 2006-04-15 16.50000
6 2006-05-15 13.03361
# Plotear la serie
plot(df, type="l", xlab="Años", ylab="Tmin (°C/d)")
```

Environment pane (Global Environment):

- vals: 1 obs. of 301 variables
- Variab: 36 obs. of 1 variable
- Variab_v: 36 obs. of 1 variable
- Variables: 36 obs. of 1 variable
- VPPgis: 7 obs. of 3 variables
- VPPMonthly: 40 obs. of 1 variable
- xorig: 36 obs. of 1 variable
- XParameter: 36 obs. of 1 variable
- xy: 36 obs. of 1 variable
- Values: 36 obs. of 1 variable
- AET: 36 obs. of 1 variable
- ConvertFun: 36 obs. of 1 variable
- date.ATSM: 36 obs. of 1 variable
- DatesR: 36 obs. of 1 variable
- datos_vector: 36 obs. of 1 variable
- datos_num: 36 obs. of 1 variable
- datos_ts: 36 obs. of 1 variable
- datos_vector: 36 obs. of 1 variable
- dist: 36 obs. of 1 variable
- "lp3": 36 obs. of 1 variable
- ":": 36 obs. of 1 variable

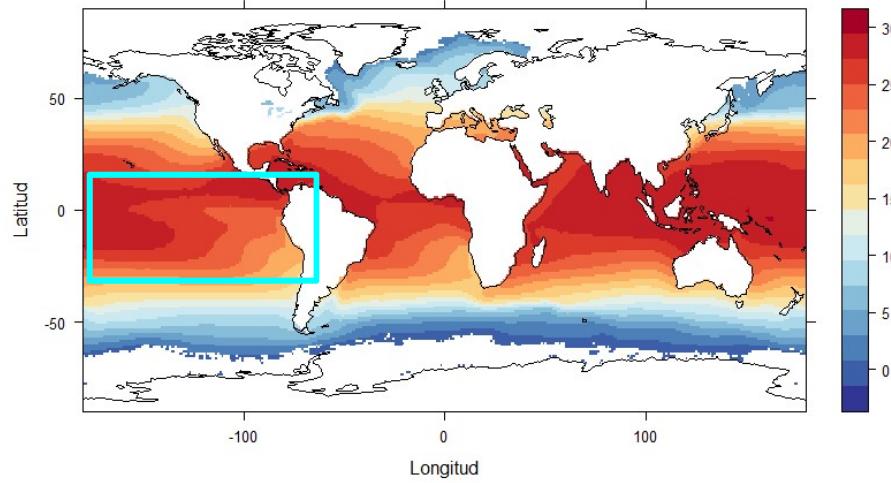
History pane (History tab):

```
Date[1:428], format: "1970-01-19" "1970-02-19" "1970-03-19" "1970-04-19" "1970-05-19" "1970-06-19" "1970-07-19" "1970-08-19" "1970-09-19" "1970-10-19" "1970-11-19" "1970-12-19" "1971-01-19" "1971-02-19" "1971-03-19" "1971-04-19" "1971-05-19" "1971-06-19" "1971-07-19" "1971-08-19" "1971-09-19" "1971-10-19" "1971-11-19" "1971-12-19" "1972-01-19" "1972-02-19" "1972-03-19" "1972-04-19" "1972-05-19" "1972-06-19" "1972-07-19" "1972-08-19" "1972-09-19" "1972-10-19" "1972-11-19" "1972-12-19" "1973-01-19" "1973-02-19" "1973-03-19" "1973-04-19" "1973-05-19" "1973-06-19" "1973-07-19" "1973-08-19" "1973-09-19" "1973-10-19" "1973-11-19" "1973-12-19" "1974-01-19" "1974-02-19" "1974-03-19" "1974-04-19" "1974-05-19" "1974-06-19" "1974-07-19" "1974-08-19" "1974-09-19" "1974-10-19" "1974-11-19" "1974-12-19" "1975-01-19" "1975-02-19" "1975-03-19" "1975-04-19" "1975-05-19" "1975-06-19" "1975-07-19" "1975-08-19" "1975-09-19" "1975-10-19" "1975-11-19" "1975-12-19" "1976-01-19" "1976-02-19" "1976-03-19" "1976-04-19" "1976-05-19" "1976-06-19" "1976-07-19" "1976-08-19" "1976-09-19" "1976-10-19" "1976-11-19" "1976-12-19" "1977-01-19" "1977-02-19" "1977-03-19" "1977-04-19" "1977-05-19" "1977-06-19" "1977-07-19" "1977-08-19" "1977-09-19" "1977-10-19" "1977-11-19" "1977-12-19" "1978-01-19" "1978-02-19" "1978-03-19" "1978-04-19" "1978-05-19" "1978-06-19" "1978-07-19" "1978-08-19" "1978-09-19" "1978-10-19" "1978-11-19" "1978-12-19" "1979-01-19" "1979-02-19" "1979-03-19" "1979-04-19" "1979-05-19" "1979-06-19" "1979-07-19" "1979-08-19" "1979-09-19" "1979-10-19" "1979-11-19" "1979-12-19" "1980-01-19" "1980-02-19" "1980-03-19" "1980-04-19" "1980-05-19" "1980-06-19" "1980-07-19" "1980-08-19" "1980-09-19" "1980-10-19" "1980-11-19" "1980-12-19" "1981-01-19" "1981-02-19" "1981-03-19" "1981-04-19" "1981-05-19" "1981-06-19" "1981-07-19" "1981-08-19" "1981-09-19" "1981-10-19" "1981-11-19" "1981-12-19" "1982-01-19" "1982-02-19" "1982-03-19" "1982-04-19" "1982-05-19" "1982-06-19" "1982-07-19" "1982-08-19" "1982-09-19" "1982-10-19" "1982-11-19" "1982-12-19" "1983-01-19" "1983-02-19" "1983-03-19" "1983-04-19" "1983-05-19" "1983-06-19" "1983-07-19" "1983-08-19" "1983-09-19" "1983-10-19" "1983-11-19" "1983-12-19" "1984-01-19" "1984-02-19" "1984-03-19" "1984-04-19" "1984-05-19" "1984-06-19" "1984-07-19" "1984-08-19" "1984-09-19" "1984-10-19" "1984-11-19" "1984-12-19" "1985-01-19" "1985-02-19" "1985-03-19" "1985-04-19" "1985-05-19" "1985-06-19" "1985-07-19" "1985-08-19" "1985-09-19" "1985-10-19" "1985-11-19" "1985-12-19" "1986-01-19" "1986-02-19" "1986-03-19" "1986-04-19" "1986-05-19" "1986-06-19" "1986-07-19" "1986-08-19" "1986-09-19" "1986-10-19" "1986-11-19" "1986-12-19" "1987-01-19" "1987-02-19" "1987-03-19" "1987-04-19" "1987-05-19" "1987-06-19" "1987-07-19" "1987-08-19" "1987-09-19" "1987-10-19" "1987-11-19" "1987-12-19" "1988-01-19" "1988-02-19" "1988-03-19" "1988-04-19" "1988-05-19" "1988-06-19" "1988-07-19" "1988-08-19" "1988-09-19" "1988-10-19" "1988-11-19" "1988-12-19" "1989-01-19" "1989-02-19" "1989-03-19" "1989-04-19" "1989-05-19" "1989-06-19" "1989-07-19" "1989-08-19" "1989-09-19" "1989-10-19" "1989-11-19" "1989-12-19" "1990-01-19" "1990-02-19" "1990-03-19" "1990-04-19" "1990-05-19" "1990-06-19" "1990-07-19" "1990-08-19" "1990-09-19" "1990-10-19" "1990-11-19" "1990-12-19" "1991-01-19" "1991-02-19" "1991-03-19" "1991-04-19" "1991-05-19" "1991-06-19" "1991-07-19" "1991-08-19" "1991-09-19" "1991-10-19" "1991-11-19" "1991-12-19" "1992-01-19" "1992-02-19" "1992-03-19" "1992-04-19" "1992-05-19" "1992-06-19" "1992-07-19" "1992-08-19" "1992-09-19" "1992-10-19" "1992-11-19" "1992-12-19" "1993-01-19" "1993-02-19" "1993-03-19" "1993-04-19" "1993-05-19" "1993-06-19" "1993-07-19" "1993-08-19" "1993-09-19" "1993-10-19" "1993-11-19" "1993-12-19" "1994-01-19" "1994-02-19" "1994-03-19" "1994-04-19" "1994-05-19" "1994-06-19" "1994-07-19" "1994-08-19" "1994-09-19" "1994-10-19" "1994-11-19" "1994-12-19" "1995-01-19" "1995-02-19" "1995-03-19" "1995-04-19" "1995-05-19" "1995-06-19" "1995-07-19" "1995-08-19" "1995-09-19" "1995-10-19" "1995-11-19" "1995-12-19" "1996-01-19" "1996-02-19" "1996-03-19" "1996-04-19" "1996-05-19" "1996-06-19" "1996-07-19" "1996-08-19" "1996-09-19" "1996-10-19" "1996-11-19" "1996-12-19" "1997-01-19" "1997-02-19" "1997-03-19" "1997-04-19" "1997-05-19" "1997-06-19" "1997-07-19" "1997-08-19" "1997-09-19" "1997-10-19" "1997-11-19" "1997-12-19" "1998-01-19" "1998-02-19" "1998-03-19" "1998-04-19" "1998-05-19" "1998-06-19" "1998-07-19" "1998-08-19" "1998-09-19" "1998-10-19" "1998-11-19" "1998-12-19" "1999-01-19" "1999-02-19" "1999-03-19" "1999-04-19" "1999-05-19" "1999-06-19" "1999-07-19" "1999-08-19" "1999-09-19" "1999-10-19" "1999-11-19" "1999-12-19" "2000-01-19" "2000-02-19" "2000-03-19" "2000-04-19" "2000-05-19" "2000-06-19" "2000-07-19" "2000-08-19" "2000-09-19" "2000-10-19" "2000-11-19" "2000-12-19" "2001-01-19" "2001-02-19" "2001-03-19" "2001-04-19" "2001-05-19" "2001-06-19" "2001-07-19" "2001-08-19" "2001-09-19" "2001-10-19" "2001-11-19" "2001-12-19" "2002-01-19" "2002-02-19" "2002-03-19" "2002-04-19" "2002-05-19" "2002-06-19" "2002-07-19" "2002-08-19" "2002-09-19" "2002-10-19" "2002-11-19" "2002-12-19" "2003-01-19" "2003-02-19" "2003-03-19" "2003-04-19" "2003-05-19" "2003-06-19" "2003-07-19" "2003-08-19" "2003-09-19" "2003-10-19" "2003-11-19" "2003-12-19" "2004-01-19" "2004-02-19" "2004-03-19" "2004-04-19" "2004-05-19" "2004-06-19" "2004-07-19" "2004-08-19" "2004-09-19" "2004-10-19" "2004-11-19" "2004-12-19" "2005-01-19" "2005-02-19" "2005-03-19" "2005-04-19" "2005-05-19" "2005-06-19" "2005-07-19" "2005-08-19" "2005-09-19" "2005-10-19" "2005-11-19" "2005-12-19" "2006-01-19" "2006-02-19" "2006-03-19" "2006-04-19" "2006-05-19" "2006-06-19" "2006-07-19" "2006-08-19" "2006-09-19" "2006-10-19" "2006-11-19" "2006-12-19" "2007-01-19" "2007-02-19" "2007-03-19" "2007-04-19" "2007-05-19" "2007-06-19" "2007-07-19" "2007-08-19" "2007-09-19" "2007-10-19" "2007-11-19" "2007-12-19" "2008-01-19" "2008-02-19" "2008-03-19" "2008-04-19" "2008-05-19" "2008-06-19" "2008-07-19" "2008-08-19" "2008-09-19" "2008-10-19" "2008-11-19" "2008-12-19" "2009-01-19" "2009-02-19" "2009-03-19" "2009-04-19" "2009-05-19" "2009-06-19" "2009-07-19" "2009-08-19" "2009-09-19" "2009-10-19" "2009-11-19" "2009-12-19" "2010-01-19" "2010-02-19" "2010-03-19" "2010-04-19" "2010-05-19" "2010-06-19" "2010-07-19" "2010-08-19" "2010-09-19" "2010-10-19" "2010-11-19" "2010-12-19" "2011-01-19" "2011-02-19" "2011-03-19" "2011-04-19" "2011-05-19" "2011-06-19" "2011-07-19" "2011-08-19" "2011-09-19" "2011-10-19" "2011-11-19" "2011-12-19" "2012-01-19" "2012-02-19" "2012-03-19" "2012-04-19" "2012-05-19" "2012-06-19" "2012-07-19" "2012-08-19" "2012-09-19" "2012-10-19" "2012-11-19" "2012-12-19" "2013-01-19" "2013-02-19" "2013-03-19" "2013-04-19" "2013-05-19" "2013-06-19" "2013-07-19" "2013-08-19" "2013-09-19" "2013-10-19" "2013-11-19" "2013-12-19" "2014-01-19" "2014-02-19" "2014-03-19" "2014-04-19" "2014-05-19" "2014-06-19" "2014-07-19" "2014-08-19" "2014-09-19" "2014-10-19" "2014-11-19" "2014-12-19" "2015-01-19" "2015-02-19" "2015-03-19" "2015-04-19" "2015-05-19" "2015-06-19" "2015-07-19" "2015-08-19" "2015-09-19" "2015-10-19" "2015-11-19" "2015-12-19" "2016-01-19" "2016-02-19" "2016-03-19" "2016-04-19" "2016-05-19" "2016-06-19" "2016-07-19" "2016-08-19" "2016-09-19" "2016-10-19" "2016-11-19" "2016-12-19" "2017-01-19" "2017-02-19" "2017-03-19" "2017-04-19" "2017-05-19" "2017-06-19" "2017-07-19" "2017-08-19" "2017-09-19" "2017-10-19" "2017-11-19" "2017-12-19" "2018-01-19" "2018-02-19" "2018-03-19" "2018-04-19" "2018-05-19" "2018-06-19" "2018-07-19" "2018-08-19" "2018-09-19" "2018-10-19" "2018-11-19" "2018-12-19" "2019-01-19" "2019-02-19" "2019-03-19" "2019-04-19" "2019-05-19" "2019-06-19" "2019-07-19" "2019-08-19" "2019-09-19" "2019-10-19" "2019-11-19" "2019-12-19" "2020-01-19" "2020-02-19" "2020-03-19" "2020-04-19" "2020-05-19" "2020-06-19" "2020-07-19" "2020-08-19" "2020-09-19" "2020-10-19" "2020-11-19" "2020-12-19" "2021-01-19" "2021-02-19" "2021-03-19" "2021-04-19" "2021-05-19" "2021-06-19" "2021-07-19" "2021-08-19" "2021-09-19" "2021-10-19" "2021-11-19" "2021-12-19" "2022-01-19" "2022-02-19" "2022-03-19" "2022-04-19" "2022-05-19" "2022-06-19" "2022-07-19" "2022-08-19" "2022-09-19" "2022-10-19" "2022-11-19" "2022-12-19" "2023-01-19" "2023-02-19" "2023-03-19" "2023-04-19" "2023-05-19" "2023-06-19" "2023-07-19" "2023-08-19" "2023-09-19" "2023-10-19" "2023-11-19" "2023-12-19" "2024-01-19" "2024-02-19" "2024-03-19" "2024-04-19" "2024-05-19" "2024-06-19" "2024-07-19" "2024-08-19" "2024-09-19" "2024-10-19" "2024-11-19" "2024-12-19" "2025-01-19" "2025-02-19" "2025-03-19" "2025-04-19" "2025-05-19" "2025-06-19" "2025-07-19" "2025-08-19" "2025-09-19" "2025-10-19" "2025-11-19" "2025-12-19" "2026-01-19" "2026-02-19" "2026-03-19" "2026-04-19" "2026-05-19" "2026-06-19" "2026-07-19" "2026-08-19" "2026-09-19" "2026-10-19" "2026-11-19" "2026-12-19" "2027-01-19" "2027-02-19" "2027-03-19" "2027-04-19" "2027-05-19" "2027-06-19" "2027-07-19" "2027-08-19" "2027-09-19" "2027-10-19" "2027-11-19" "2027-12-19" "2028-01-19" "2028-02-19" "2028-03-19" "2028-04-19" "2028-05-19" "2028-06-19" "2028-07-19" "2028-08-19" "2028-09-19" "2028-10-19" "2028-11-19" "2028-12-19" "2029-01-19" "2029-02-19" "2029-03-19" "2029-04-19" "2029-05-19" "2029-06-19" "2029-07-19" "2029-08-19" "2029-09-19" "2029-10-19" "2029-11-19" "2029-12-19" "2030-01-19" "2030-02-19" "2030-03-19" "2030-04-19" "2030-05-19" "2030-06-19" "2030-07-19" "2030-08-19" "2030-09-19" "2030-10-19" "2030-11-19" "2030-12-19" "2031-01-19" "2031-02-19" "2031-03-19" "2031-04-19" "2031-05-19" "2031-06-19" "2031-07-19" "2031-08-19" "2031-09-19" "2031-10-19" "2031-11-19" "2031-12-19" "2032-01-19" "2032-02-19" "2032-03-19" "2032-04-19" "2032-05-19" "2032-06-19" "2032-07-19" "2032-08-19" "2032-09-19" "2032-10-19" "2032-11-19" "2032-12-19" "2033-01-19" "2033-02-19" "2033-03-19" "2033-04-19" "2033-05-19" "2033-06-19" "2033-07-19" "2033-08-19" "2033-09-19" "2033-10-19" "2033-11-19" "2033-12-19" "2034-01-19" "2034-02-19" "2034-03-19" "2034-04-19" "2034-05-19" "2034-06-19" "2034-07-19" "2034-08-19" "2034-09-19" "2034-10-19" "2034-11-19" "2034-12-19" "2035-01-19" "2035-02-19" "2035-03-19" "2035-04-19" "2035-05-19" "2035-06-19" "2035-07-19" "2035-08-19" "2035-09-19" "2035-10-19" "2035-11-19" "2035-12-19" "2036-01-19" "2036-02-19" "2036-03-19" "2036-04-19" "2036-05-19" "2036-06-19" "2036-07-19" "2036-08-19" "2036-09-19" "2036-10-19" "2036-11-19" "2036-12-19" "2037-01-19" "2037-02-19" "2037-03-19" "2037-04-19" "2037-05-19" "2037-06-19" "2037-07-19" "2037-08-19" "2037-09-19" "2037-10-19" "2037-11-19" "2037-12-19" "2038-01-19" "2038-02-19" "2038-03-19" "2038-04-19" "2038-05-19" "2038-06-19" "2038-07-19" "2038-08-19" "2038-09-19" "2038-10-19" "2038-11-19" "2038-12-19" "2039-01-19" "2039-02-19" "2039-03-19" "2039-04-19" "2039-05-19" "2039-06-19" "2039-07-19" "2039-08-19" "2039-09-19" "2039-10-19" "2039-11-19" "2039-12-19" "2040-01-19" "2040-02-19" "2040-03-19" "2040-04-19" "2040-05-19" "2040-06-19" "2040-07-19" "2040-08-19" "2040-09-19" "2
```

Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$)

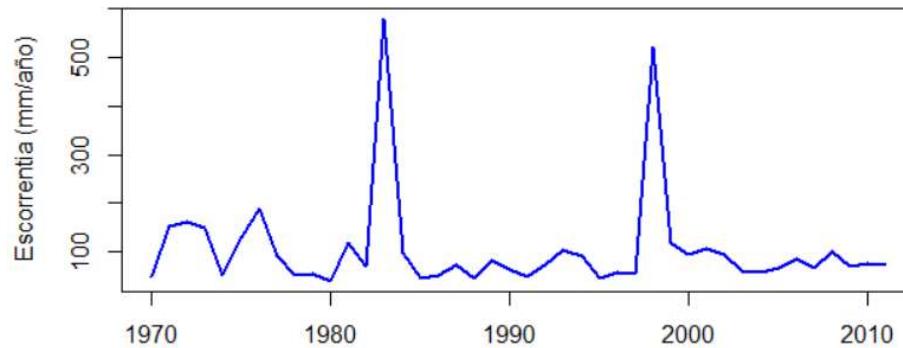
1870-01-16 al 2021-02-16

TSM promedio anual



versus

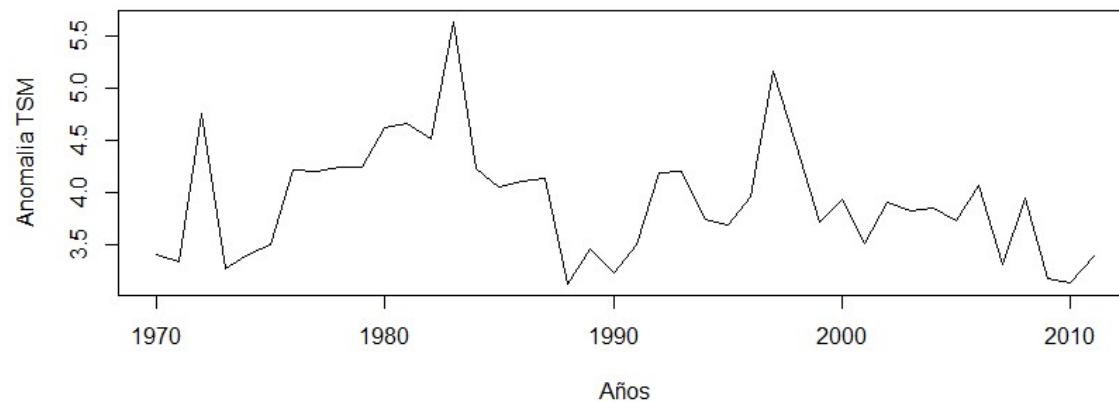
Escorrentía en una cuenca (mm/año)



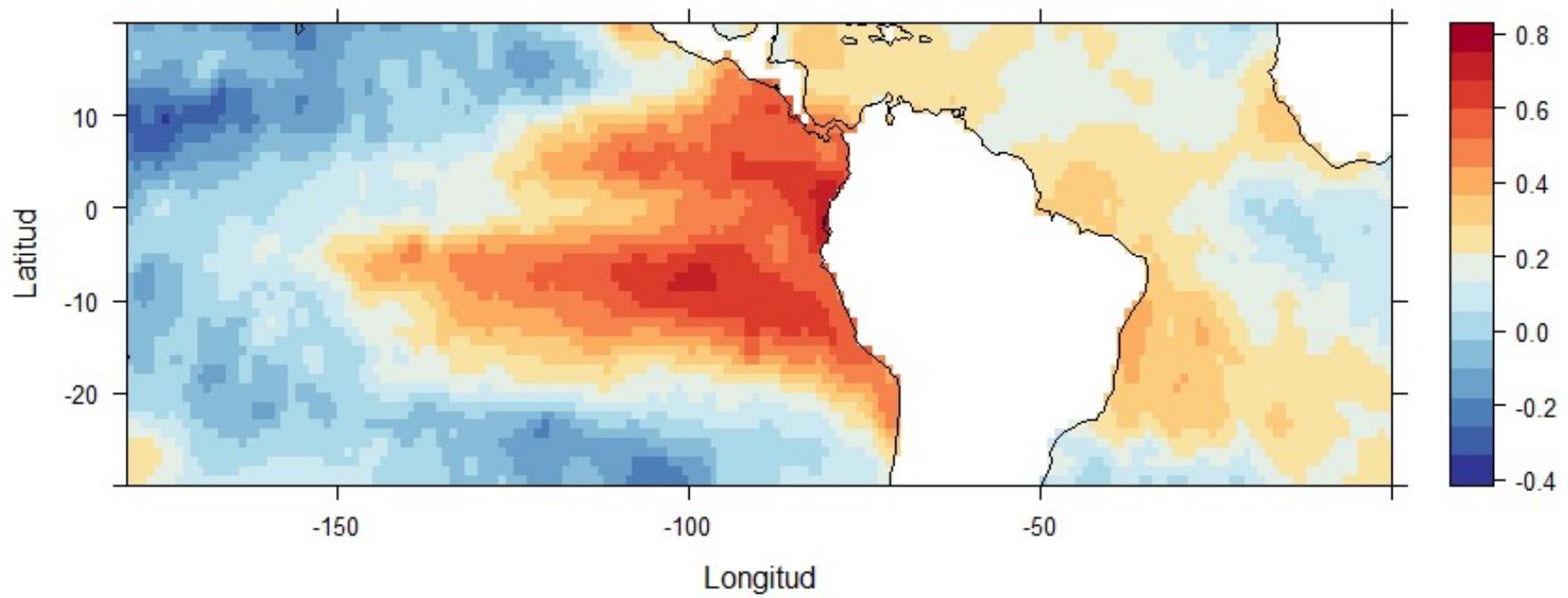
Revisar el código:

https://github.com/hydrocodes/eibimet/blob/main/cor_tsm_runoff.R

Anomalia TSM Long=-76.5,Lat=-18.5



Correlacion TSM vs escorrentia anual



Aplicaciones en R (2)

Correlación corrida entre un índice ENSO y una serie de escorrentías de varias cuencas

Objetivo: Estimar la relación entre un índice climático y la escorrentía de una cuenca, a través del coeficiente de correlación e identificando en el tiempo y en qué cuencas hay una relación directa o inversa más fuerte con fines de predicción.

Materiales: Rstudio cloud, librería hydRopclim, código y base de datos de índice y escorrentías.



<https://rstudio.cloud/>



Índice Niño 3.4

<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>

```
devtools:::install_github ("hydrocodes/hydRopclim")
```

Tools -> Install Packages **reshape2**, **ggplot2**, **wesanderson**, **cowplot**



<https://github.com/hydrocodes/hydRopclim>

<https://github.com/hydrocodes/eibimet>

Una base de datos mensuales csv completa

Cabecera con
nombre Date

Cabecera con
nombre del índice

Cabeceras con nombres de las estaciones

Date	Index	A	B	C	D	E
Jan-1960	0.3047	0.2	13.9	158.2	8.4	140.9
Feb-1960	0.2884	0.5	22.4	116.1	1.1	27.6
Mar-1960	-0.0231	3.9	18.3	129.7	1	121.6
Apr-1960	0.2022	2.8	4.9	101.9	0.4	74.1
May-1960	-0.1671	2.1	8.1	95.1	0.1	23.6
Jun-1960	-0.7922	0.8	0.4	24.5	0.5	6.8
Jul-1960	-1.3054	0.3	0	11.7	1.2	2.4
Aug-1960	-1.4191	0.2	0.3	15.1	0.1	7.3

Fechas en
formato %b-%Y

Datos de escorrentías

Calcular una serie de índices estacionales:

Para el índice climático: Promediar Dic-Ene-Feb

Para cada una de las estaciones: Sumar Sep-Oct-Nov-Did-Ene-Feb-Mar-Abr

Generar

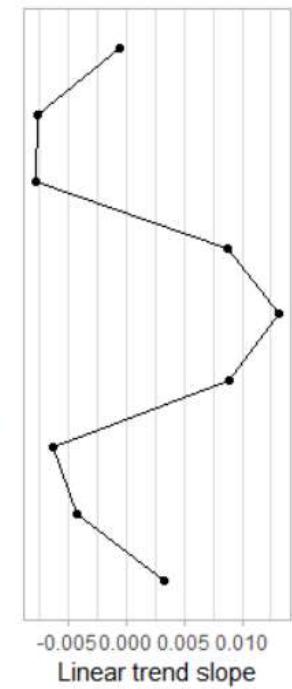
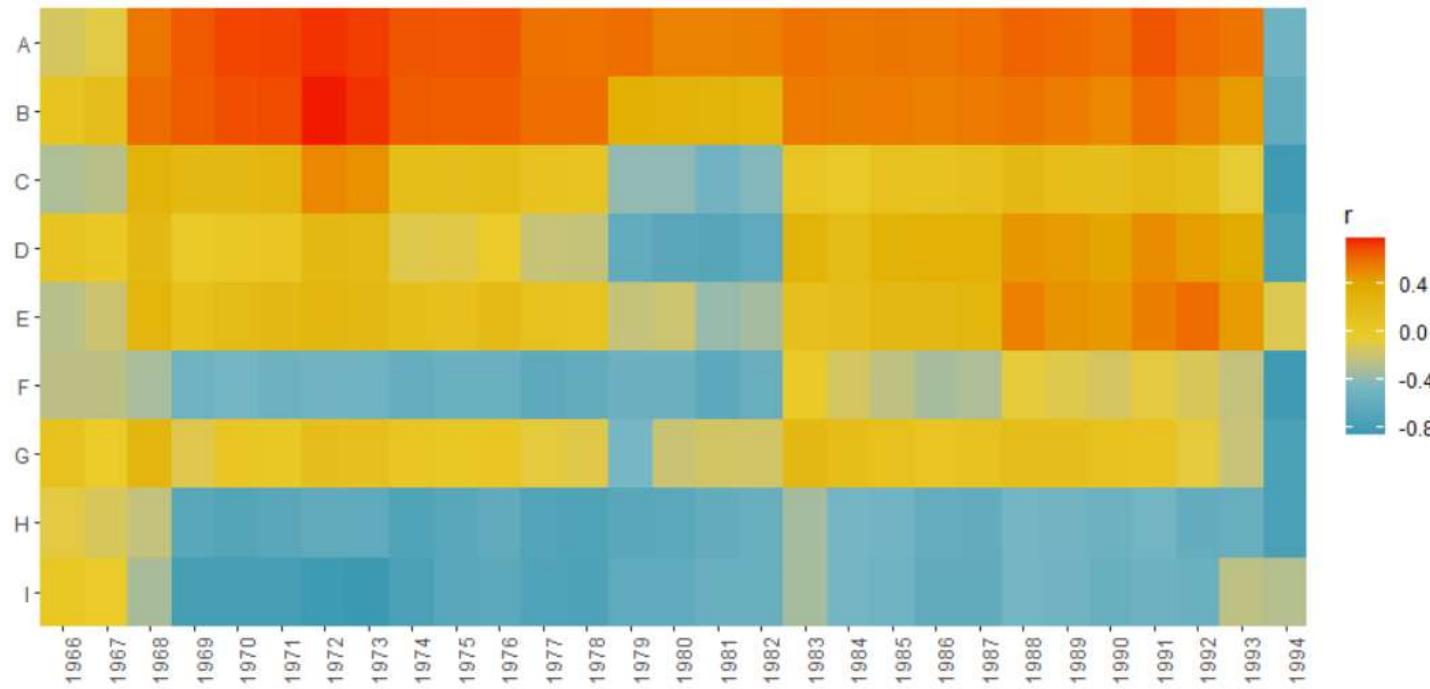
1 archivo csv con los nuevos índices estacionales

1 archivo csv con las correlaciones corridas

1 archivo csv con la tabulación de correlaciones para otros usos

Revisar el código:

<https://github.com/hydrocodes/eibimet/blob/main/runcorr.R>



	Row.names	x	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	
1	1	-1.35456667		74.8	328.4	969.5	10.3	532.8	378.3	5.2	235.5	529.9
2	2	-0.70133333		158.7	487.8	983.5	21.2	579.8	530	27.2	499.2	675.2
3	3	1.57796667		63.8	396.2	1011.1	22.6	515.2	436.7	35.4	372	781.4
4	4	-1.74323333		18.1	49.6	736.7	11.1	411.3	374.8	18.1	274.1	634.5
5	5	-0.57446667		45.8	265.7	1004.1	11.1	472.1	308.9	18	268.6	502.1

ALGUNAS REFERENCIAS

- Lavado-Casimiro WS, Felipe O, Silvestre E, Bourrel L. 2013. *ENSO impact on hydrology in Peru*. *Adv. Geosci.*, 11 (1–7)
 - Rau P, Bourrel L, Labat D et al. 2017a. *Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast*. *International Journal of Climatology* 37(1):143-158.
 - Rau P. 2017b. *Precipitation, runoff and water balance regimes variability along the Peruvian Pacific slope and coast: ENSO influence and sensitivity to hydroclimatic change (PhD thesis)*. Université Toulouse III Paul Sabatier. France 267pp
 - Rau P, Bourrel L, Labat D et al. 2018. *Hydroclimatic change disparity of Peruvian Pacific drainage catchments*. *Theoretical and Applied Climatology*.
 - Rau P. 2019a. *Aportes en ingeniería hidrológica de zonas áridas. Casos aplicados a la vertiente del Pacífico peruano*. VII Congreso internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente. ICG. Lima, Perú
 - Rau P, Bourrel L, Labat D, et al, 2019b. *Assessing multi-decadal runoff (1970–2010) using regional hydrological modelling under data and water scarcity conditions in Peruvian Pacific catchments*. *Hydrological Processes*. 33(1):20-35
 - Rice J. S, Emanuel R. 2017. *How are streamflow responses to the El Niño Southern Oscillation affected by watershed characteristics?*, *Water Resour. Res.*, 53, 4393–4406
 - Takahashi, K., Martínez, AG. 2017. *The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific*. *Clim Dyn* 52, 7389–7415.
 - Waylen P, Poveda G. 2002. *El Niño-southern oscillation and aspects of western South American hydro-climatology*. *Hydrological Processes*, 16,6, 1247-1260

18 de marzo 1925

Gracias por su atención!

<http://pedrorau.blogspot.com>



<https://www.utec.edu.pe/>



<https://cita.utec.edu.pe/>



<https://posgrado.utec.edu.pe/maestria-ingenieria-civil/>



<https://www.facebook.com/RAHU.seguridad.hidrica>



<https://younghs.com/>