



Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café

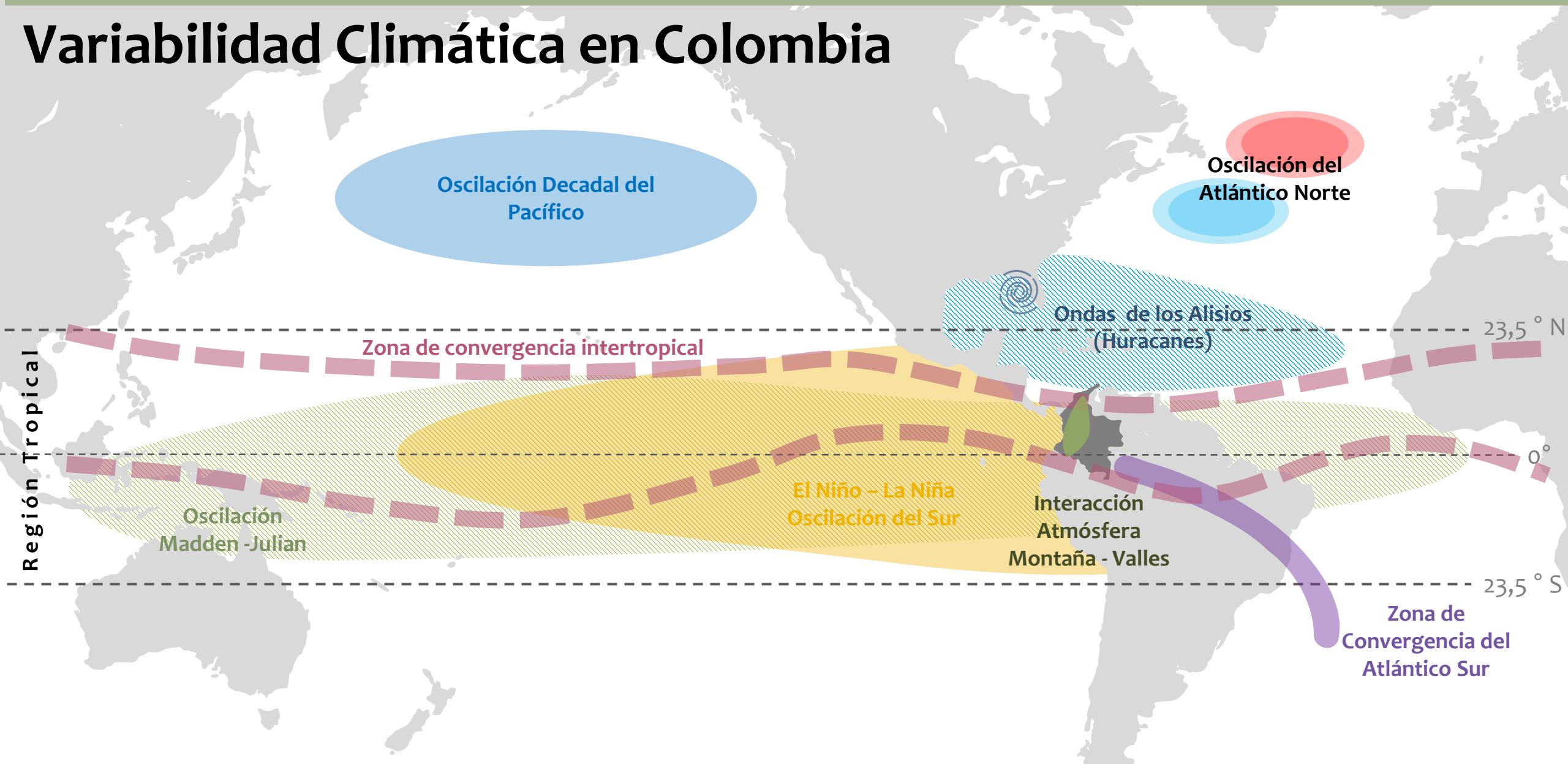
Ciencia y Pasión en cada grano



Índices climáticos como herramienta para explorar la variabilidad climática en la Zona Cafetera colombiana.

Ninibeth G. Sarmiento Herrera – Disciplina de Agroclimatología

Variabilidad Climática en Colombia



Índices climáticos

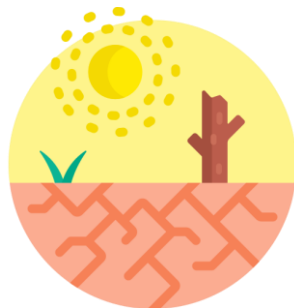
Un índice climático es un valor que puede ser usado para describir el estado y los cambios en el sistema climático.

Pueden ser categorizados según la variable que representan (temperatura, presión, precipitación, etc.) o según el tipo de fenómeno que describen.



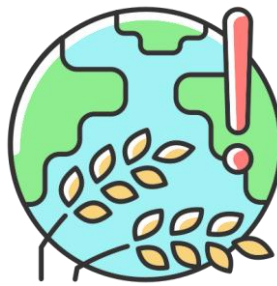
Globales
/Teleconexión

ONI, SOI, PDO, NAO,
etc.



Sequía

SPI, SPEI, PDSI, etc.



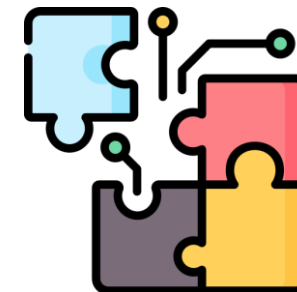
Agrometeorológicos /
Térmicos

IDH, TX90p, WSRI, etc.



Extremos

RX5day, CDD, CWD, etc.



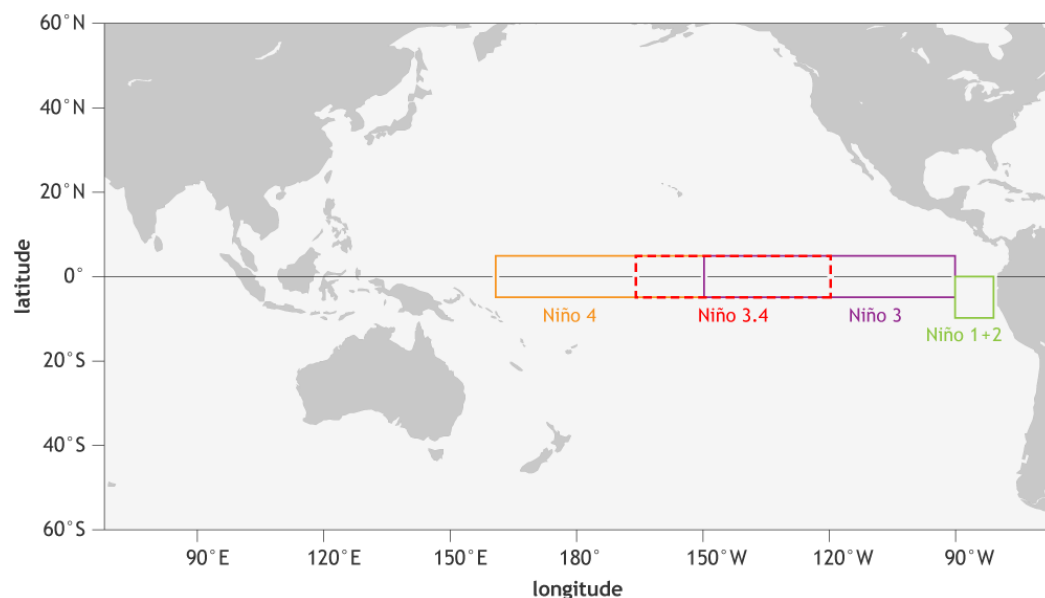
Compuestos /
Integrados

Índice ≠ Indicador

Índices climáticos Globales

Índice	Región / fenómeno	Variable base	Escala temporal	Influencia esperada en Colombia
ONI (Oceanic Niño Index)	Pacífico ecuatorial (Niño 3.4)	Anomalía SST (3 meses móviles)	Interanual	El Niño: ↓ lluvia / La Niña: ↑ lluvia
SOI (Southern Oscillation Index)	Tahití – Darwin	Presión atmosférica (SLP)	Mensual – estacional	Negativo = El Niño / Positivo = La Niña
PDO (Pacific Decadal Oscillation)	Pacífico Norte	SSTs	Decadal	Puede amplificar o amortiguar ENSO
AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation)	Atlántico Norte	SSTs	Multidecadal	Modula lluvias en el Caribe y Orinoquía
NAO (North Atlantic Oscillation)	Atlántico norte	Presión atmosférica	Mensual – estacional	Afecta vientos y lluvias en el Caribe
MJO (Madden–Julian Oscillation)	Indo-Pacífico	Convección (OLR)	Intraestacional (30–90 días)	Modula eventos de lluvia/sequía en semanas
QBO (Quasi-Biennial Oscillation)	Estratósfera tropical	Vientos zonales (alisios)	Bienal (~28 meses)	Influye en dinámica convectiva y lluvias
TNA / TSA (Tropical North/South Atlantic)	Atlántico tropical	SST	Estacional – interanual	Modulan la ZCIT y lluvias en la región andina
IOD (Indian Ocean Dipole)	Océano Índico ecuatorial	SST diferencial este-oeste	Interanual	Menor influencia directa, pero acoplado con ENSO en algunos años

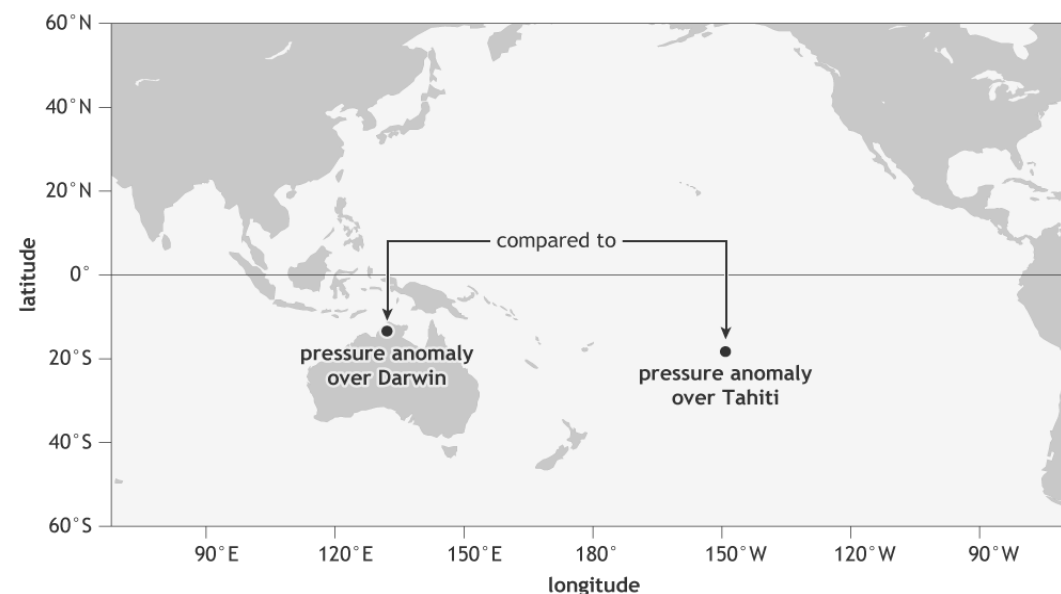
Índices climáticos Globales: El Niño Oscilación Sur



Índices basados en la Temperatura
Superficial del Mar

ERSST

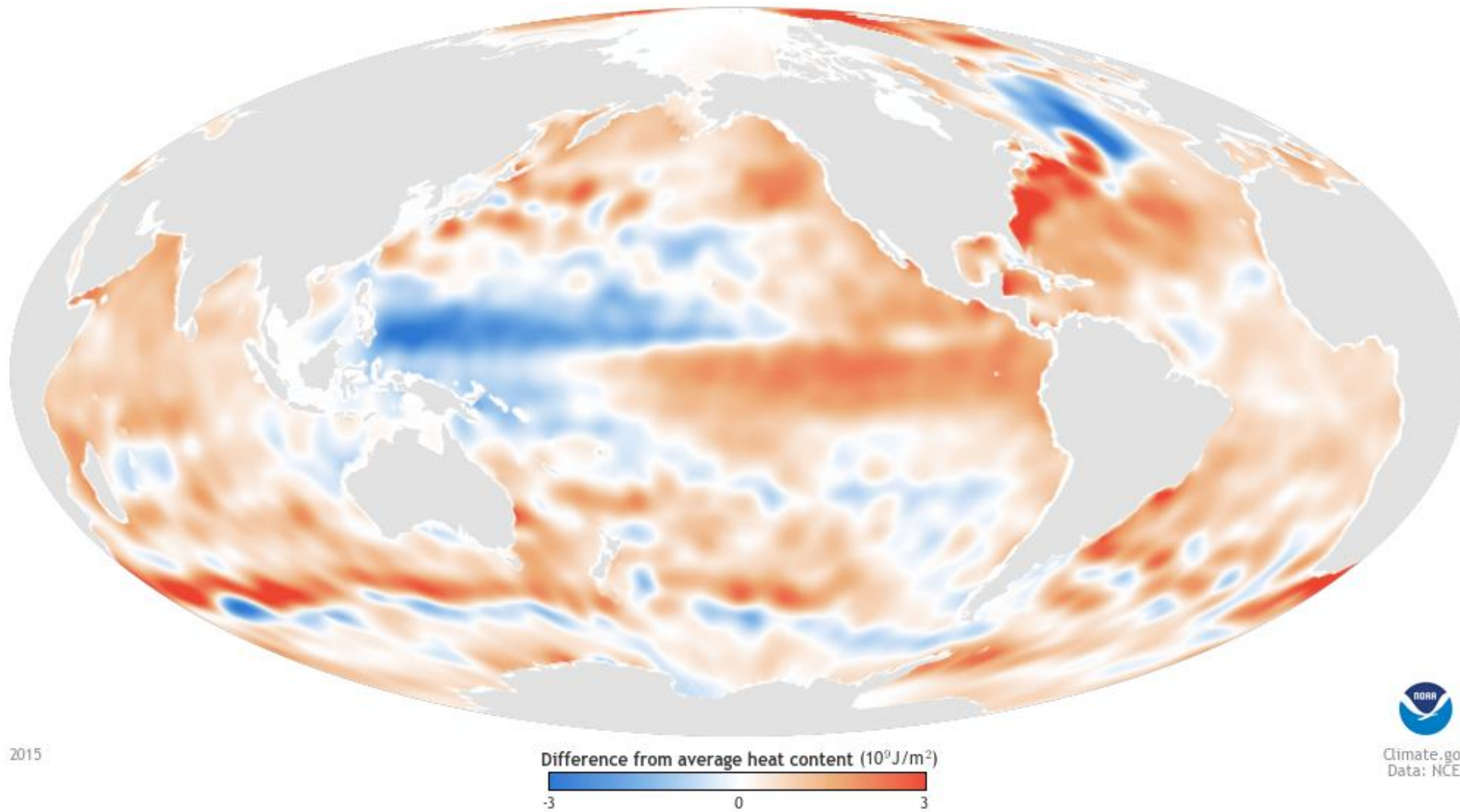
ONI (Oceanic Niño Index), Niño 1+2, Niño 3,
Niño 4, EMI (El Niño Modoki Index)



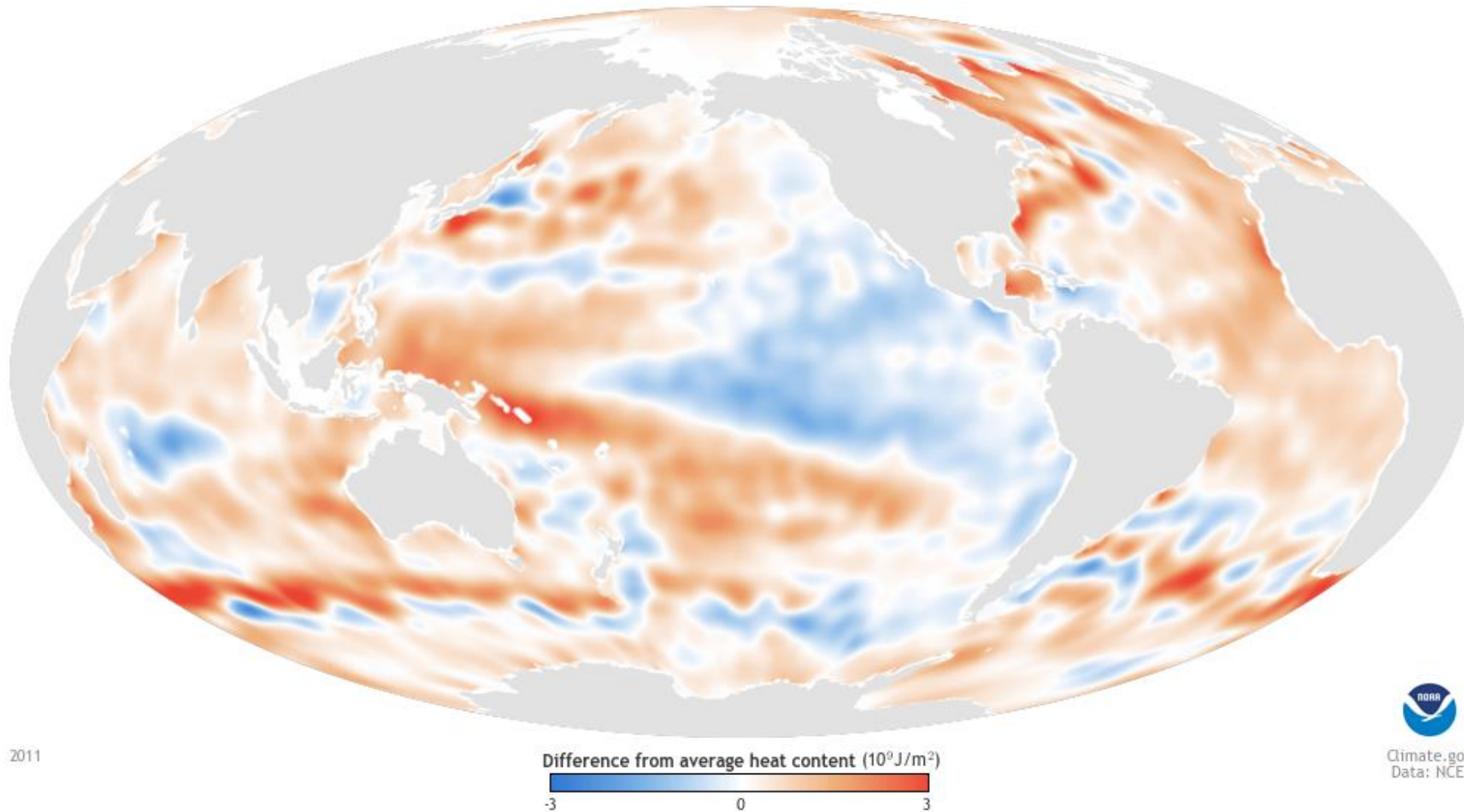
Índices basados en presión

SOI (Southern Oscillation Index),
EQSOI (Equatorial SOI),
MEI (Multivariate ENSO Index)

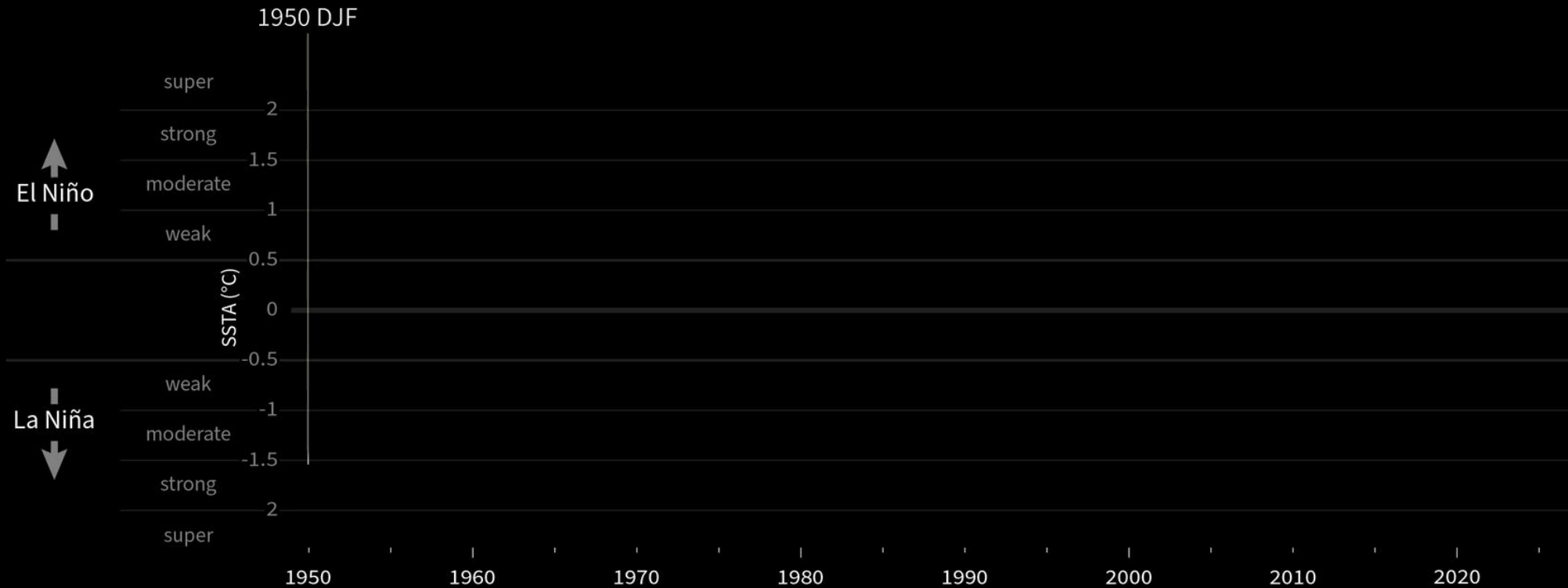
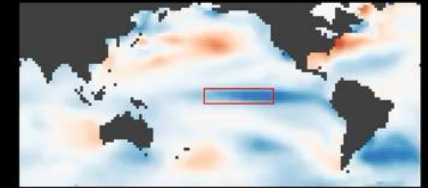
Índices climáticos Globales: El Niño Oscilación Sur



Índices climáticos Globales: El Niño Oscilación Sur



NOAA Oceanic Niño Index Region 3.4 Sea Surface Temperature Anomaly



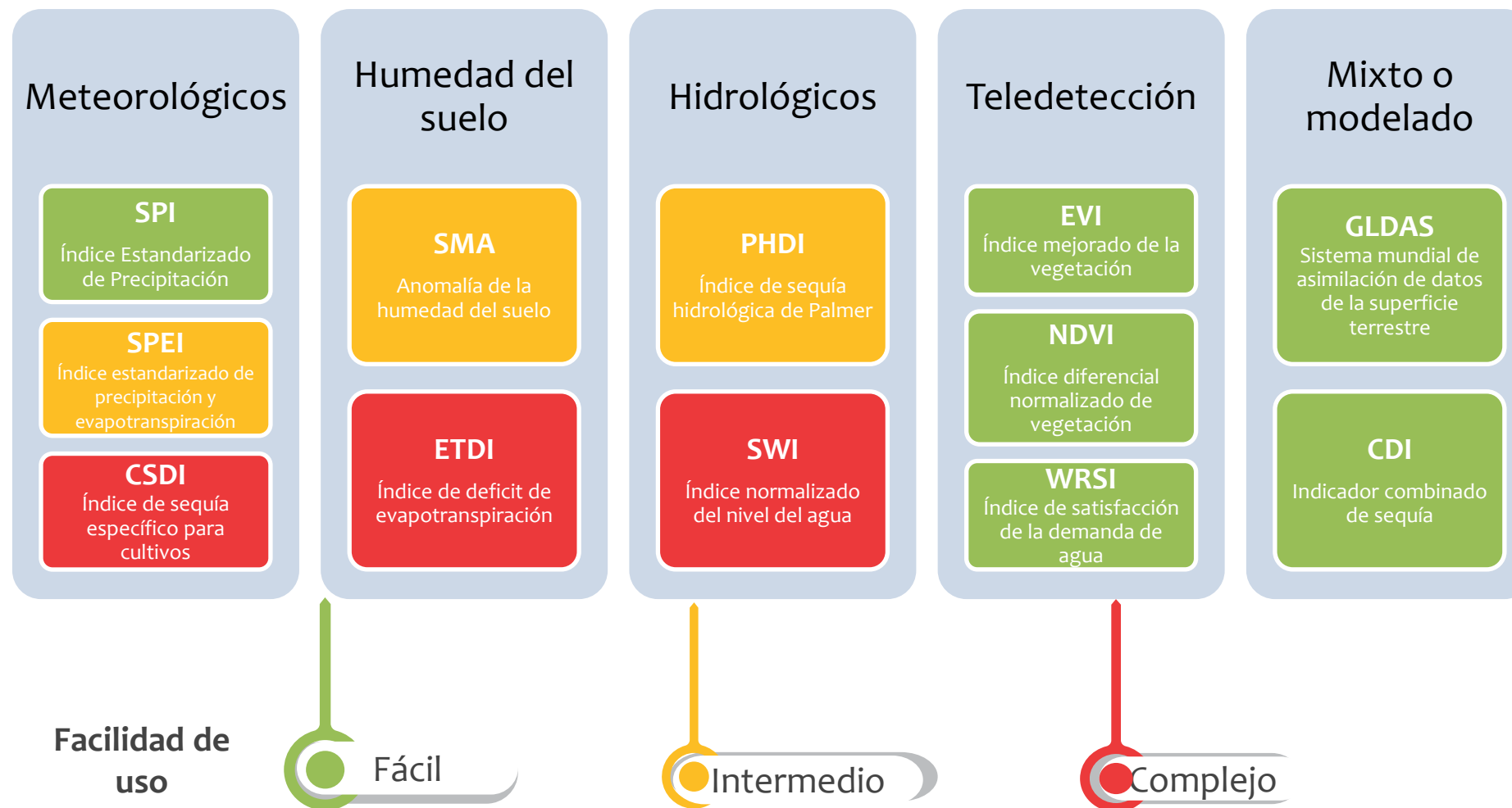
https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030800/a030847/ONI_1950-2023_1080p.webm

Índices de sequía

50 índices e indicadores



INTEGRATED DROUGHT
MANAGEMENT PROGRAMME



<https://www.droughtmanagement.info/indices/>

Índices climáticos extremos

“Un índice climático es una función cuantitativa derivada de datos diarios (temperatura o precipitación), diseñados para caracterizar los extremos climáticos que tienen impactos significativos en los ecosistemas, la agricultura, la salud humana y la infraestructura”

Expert Team on Climate Change
Detection and Indices (ETCCDI)

Número de
Índices

Core ETCCDI
(27)

ET-SCI
adicionales
(36)

Índices básicos: extremos de
temperatura y precipitación

Extensión para sector salud,
agricultura, energía, etc.



Algunos de los más utilizados:



Basados en temperatura:

- **TXx**: Temperatura máxima más alta del año
- **TNn**: Temperatura mínima más baja del año
- **WSDI**: Duración de olas de calor (días cálidos consecutivos)
- **FD**: Número de días con heladas ($T_{min} < 0^{\circ}C$)
- **TX90p / TN10p**: Días por encima del percentil 90 (cálidos) o por debajo del 10 (fríos)



Basados en precipitación:

- **RX1day**: Máxima precipitación diaria
- **RX5day**: Máxima precipitación en 5 días consecutivos
- **R95p**: Precipitación total por encima del percentil 95 (lluvias intensas)
- **CDD**: Días secos consecutivos (días con lluvia < 1 mm)
- **SDII**: Índice de intensidad de lluvia

Understanding the historical and future impacts of ENSO on climate and coffee production in Colombia and Indonesia

Passos, E¹, Kaur, L², Sarmiento Herrera, N³

¹ Physical Oceanography Laboratory at the Universidade do Estado do Rio de Janeiro

² SGTB Khalsa College, University of Delhi

³ National Coffee Research Centre - Cenicafé

DOI: 10.5281/zenodo.10987575

Crop production in Colombia and Indonesia is predominantly carried out by small, family-owned farms, significantly contributing to job creation in rural areas (Purnawan et al., 2021; Sanderson et al., 2022). The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) influences both countries' rainfall, flooding, drought, and heat waves (Ward et al., 2016; Hao et al., 2018). These ENSO-related weather anomalies substantially affect crop production and farmers' livelihoods (Li et al., 2019; Botero et al., 2022). Coffee production significantly drives the agricultural economies of both nations, being a cornerstone crop with substantial economic impact. Therefore, future droughts and ENSO events may impact coffee production (Almeida et al., 2020). With this in mind, this research aims to explore the diverse impacts of ENSO events on temperature and rainfall patterns, consequently affecting vegetation and coffee production in Colombia and Indonesia.



[Climatematch Impact Scholars Program](#)

 **¿Cómo se ha manifestado la variabilidad climática en la zona cafetera en las últimas décadas?**

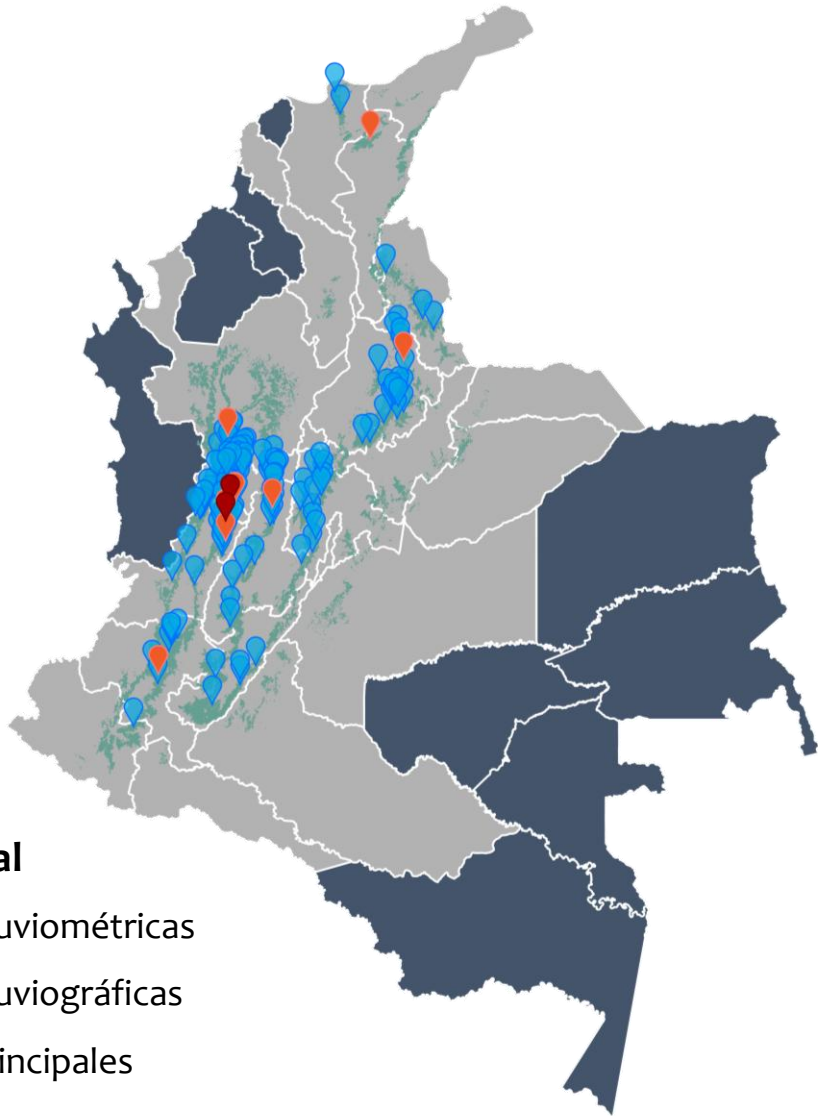
 ¿Qué relación existe entre los eventos ENSO y la ocurrencia de sequías o excesos de lluvia en la zona cafetera?

 **¿En qué medida estos índices climáticos pueden apoyar la toma de decisiones para la gestión del riesgo agroclimático en caficultura?**



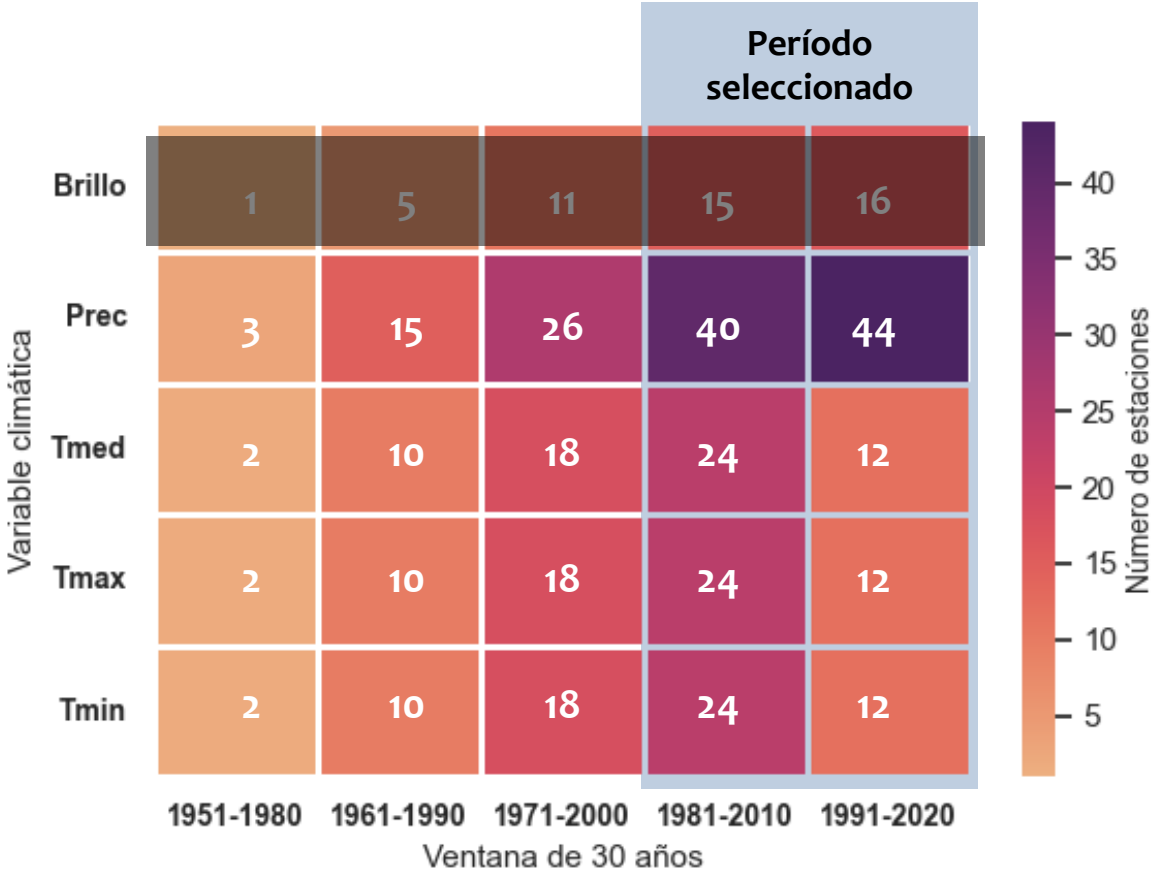
Metodología

Fuentes de información: Estaciones meteorológicas



Red Convencional

- Estaciones Pluviométricas
- Estaciones Pluviográficas
- Estaciones Principales



Llenado de datos faltantes por análogos climáticos y por estaciones cercanas

Fuentes de información:

Bases de datos basados en satelitales



CHIRPS

Climate Hazards Group
InfraRed Precipitation
with Station Data

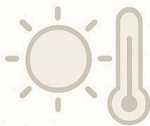
Cobertura
Trópicos



Resolución
▶ 0.05° (5 km)

Variables
💧 Precipitación

CHC
UCSB



AgERA5

ECMWF Climate
Reanalysis

Cobertura
Global



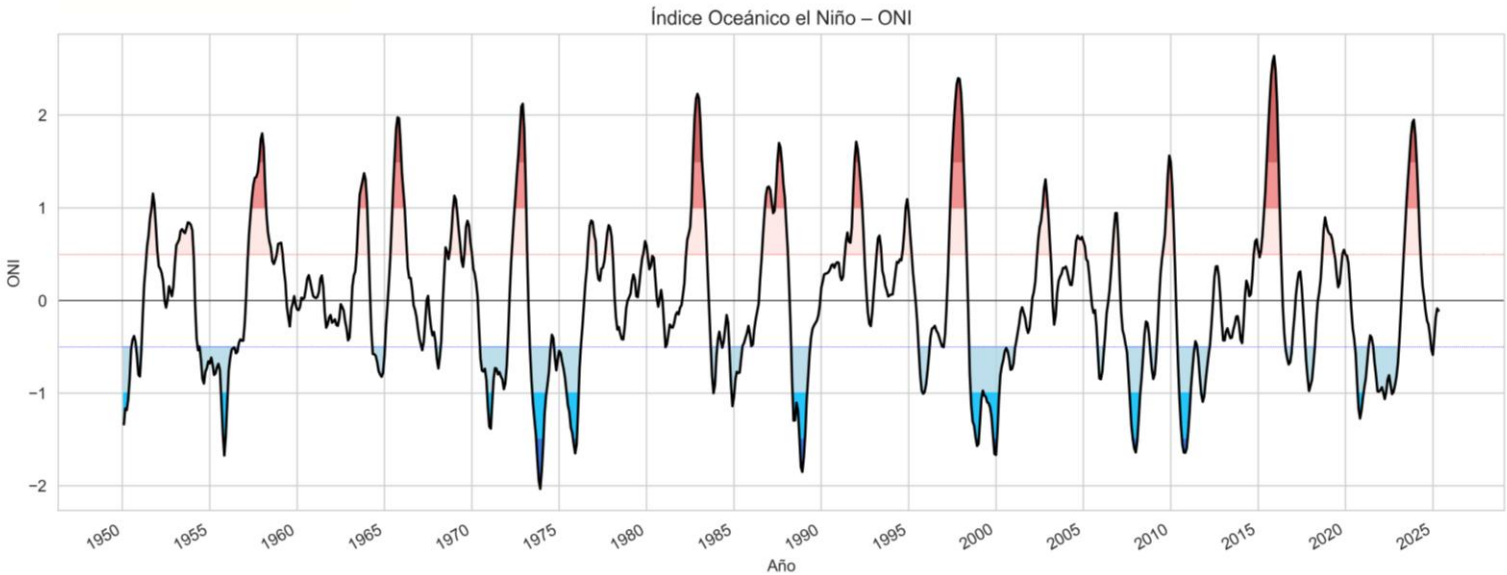
Resolución
▶ 0.1° (11 km)

Variables
Evapotranspiración
🌡 Temperatura

ECMWF

Fase ENSO	Intervalo ONI (°C)
El Niño fuerte	$\geq +1.5$
El Niño moderado	+1.0 a +1.4
El Niño débil	+0.5 a +0.9
Neutral	-0.4 a +0.4
La Niña débil	-0.5 a -0.9
La Niña moderada	-1.0 a -1.4
La Niña fuerte	≤ -1.5

NOAA



Índices climáticos extremos



Índice	Descripción
PRCPTOT	Suma total de precipitación diaria (≥ 1 mm) en un mes.
SDII	Intensidad media de lluvia: razón entre PRCPTOT y número de días con lluvia (≥ 1 mm).
R10mm	Número de días con precipitación ≥ 10 mm.
R20mm	Número de días con precipitación ≥ 20 mm.
Rx1day	Máxima precipitación en un solo día del mes.
Rx5day	Máxima precipitación acumulada en un período móvil de 5 días.
CDD	Número máximo de días secos consecutivos ($P < 1$ mm).
CWD	Número máximo de días húmedos consecutivos ($P \geq 1$ mm).
R95pTOT	Suma de la precipitación en días muy húmedos (supera el percentil 95).
R99pTOT	Suma de la precipitación en días extremadamente húmedos (supera el percentil 99).



Índice	Descripción técnica
TXx	Temperatura máxima diaria más alta del mes.
TNn	Temperatura mínima diaria más baja del mes.
Tx90p	Porcentaje de días con $T_{\text{max}} >$ percentil 90 del período base.
TN10p	Porcentaje de días con $T_{\text{min}} <$ percentil 10 del período base.

Anomalías estandarizadas

“Una anomalía es la desviación de una medición con respecto al promedio del período de referencia (normalmente un periodo de 30 años)”.

OMM

$$\text{Anomalía} = X_{\text{obs}} - \overline{X}_{\text{clim}}$$

Donde X_{obs} es el valor observado y X_{clim} es el promedio climatológico para ese mismo mes o día, calculado en un periodo común (ej. 1991–2020).

**Indicador
Climático**

Estandarizar las
anomalías

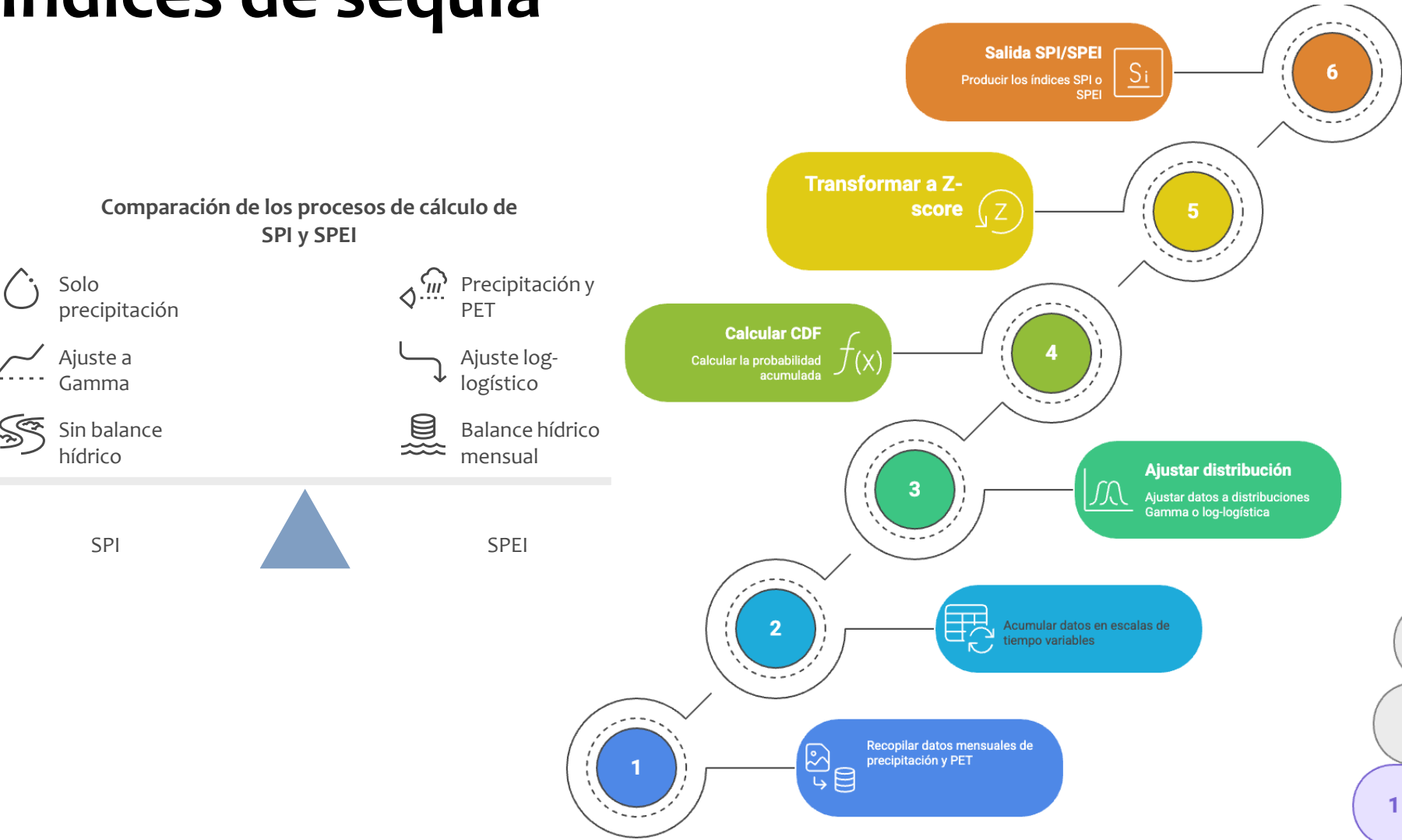
$$Z = \frac{X_{\text{obs}} - \mu}{\sigma}$$

Media = 0
Desviación estándar = 1

Donde X_{obs} es el valor observado
 μ es la media climatológica
 σ es la desviación estándar

Este procedimiento convierte la anomalía en una **medida comparable entre regiones, estaciones y variables**, es decir, un **Índice**.

Índices de sequía



Made with Napkin

Relación entre Índices de sequía y ONI

Correlación puntual y espacial

Correlación de Pearson

Relación lineal entre ONI y SPI/SPEI (sin desfase)

**Correlación cruzada
(lagged)**

Se aplicaron desfases de ONI de 0 a +6 meses para analizar rezagos y respuestas climáticas retardadas



xarray



scikit
learn



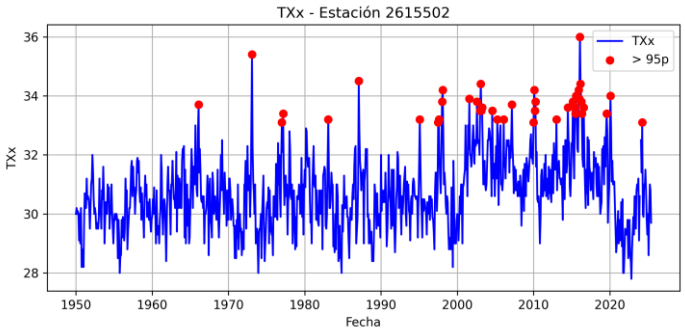
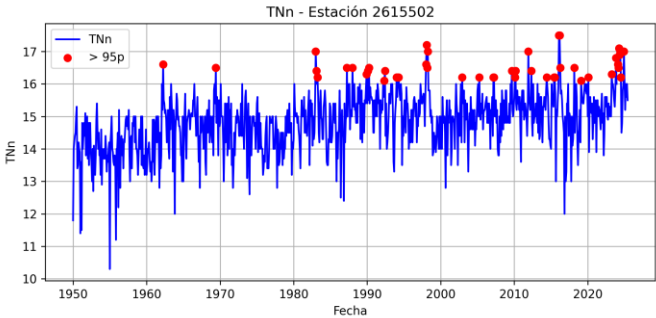
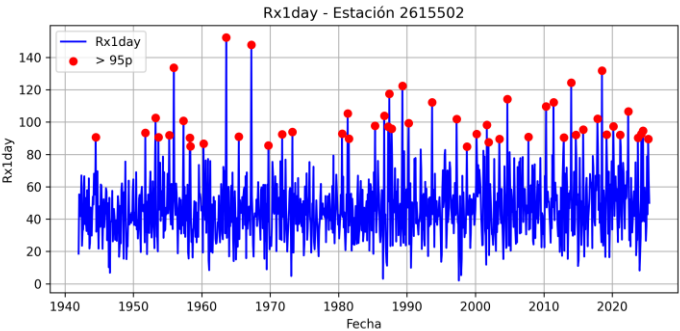
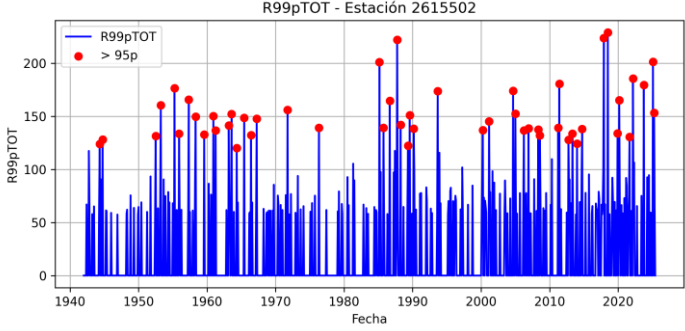
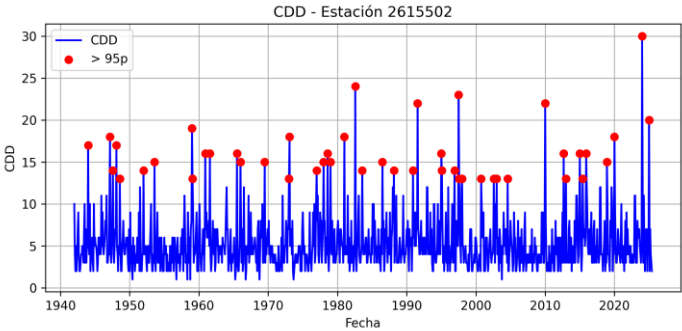
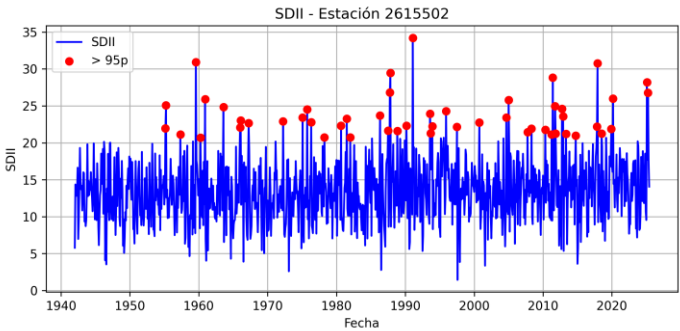


Resultados

Índices climáticos extremos

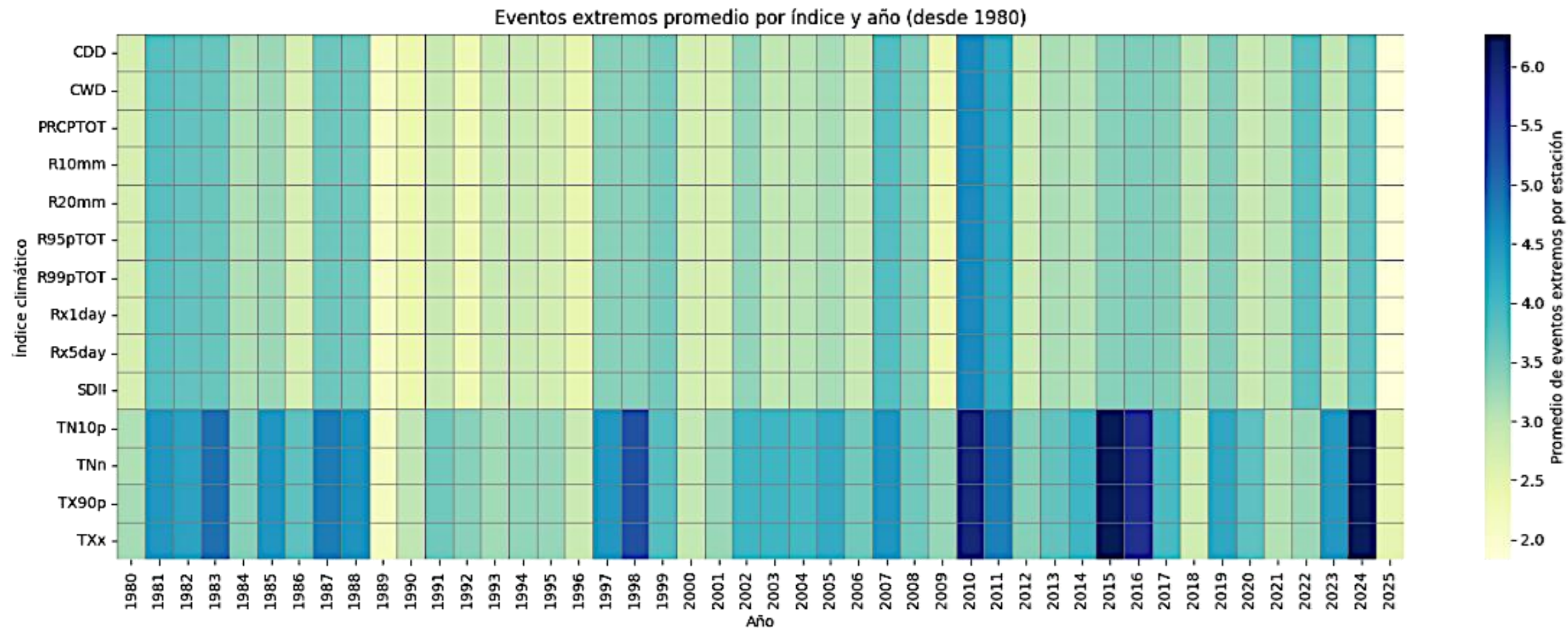
Estación Cenicafé – 2615502
Municipio: Chinchiná
Departamento: Caldas

Índice	Descripción
SDII	Intensidad media de lluvia: razón entre PRCPTOT y número de días con lluvia (≥ 1 mm).
Rx1day	Máxima precipitación en un solo día del mes.
CDD	Número máximo de días secos consecutivos ($P < 1$ mm).
R99pTOT	Suma de la precipitación en días extremadamente húmedos (supera el percentil 99).



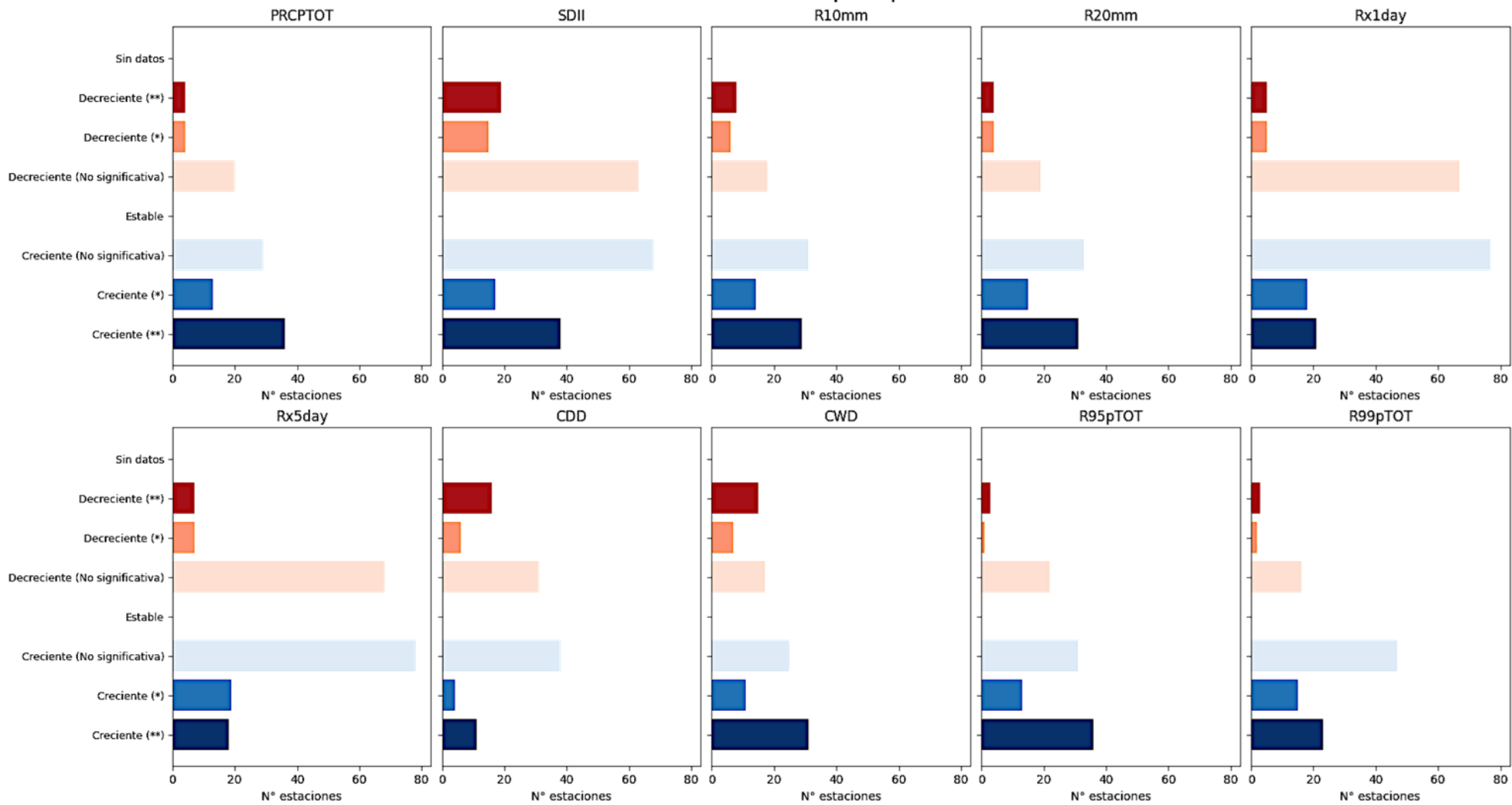
Índice	Descripción
TXx	Temperatura máxima diaria más alta del mes.
TNn	Temperatura mínima diaria más baja del mes.

Índices climáticos extremos



Índices climáticos extremos

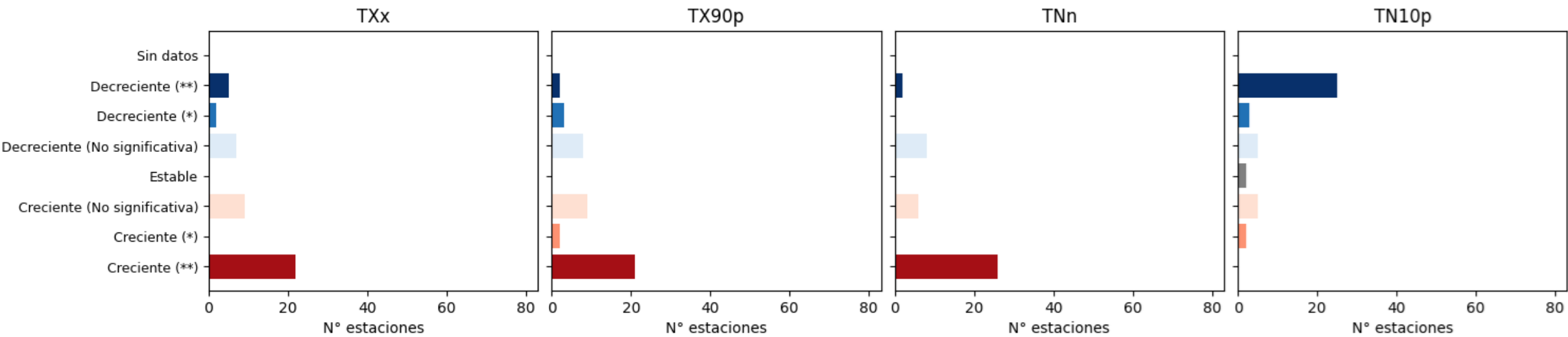
Tendencias en índices de precipitación



Índice	Descripción
PRCPTOT	Suma total de precipitación diaria (≥1 mm) en un mes.
SDII	Intensidad media de lluvia: razón entre PRCPTOT y número de días con lluvia (≥1 mm).
R10mm	Número de días con precipitación ≥10 mm.
R20mm	Número de días con precipitación ≥20 mm.
Rx1day	Máxima precipitación en un solo día del mes.
Rx5day	Máxima precipitación acumulada en un período móvil de 5 días.
CDD	Número máximo de días secos consecutivos (P < 1 mm).
CWD	Número máximo de días húmedos consecutivos (P ≥ 1 mm).
R95pTOT	Suma de la precipitación en días muy húmedos (supera el percentil 95).
R99pTOT	Suma de la precipitación en días extremadamente húmedos (supera el percentil 99).

Índices climáticos extremos

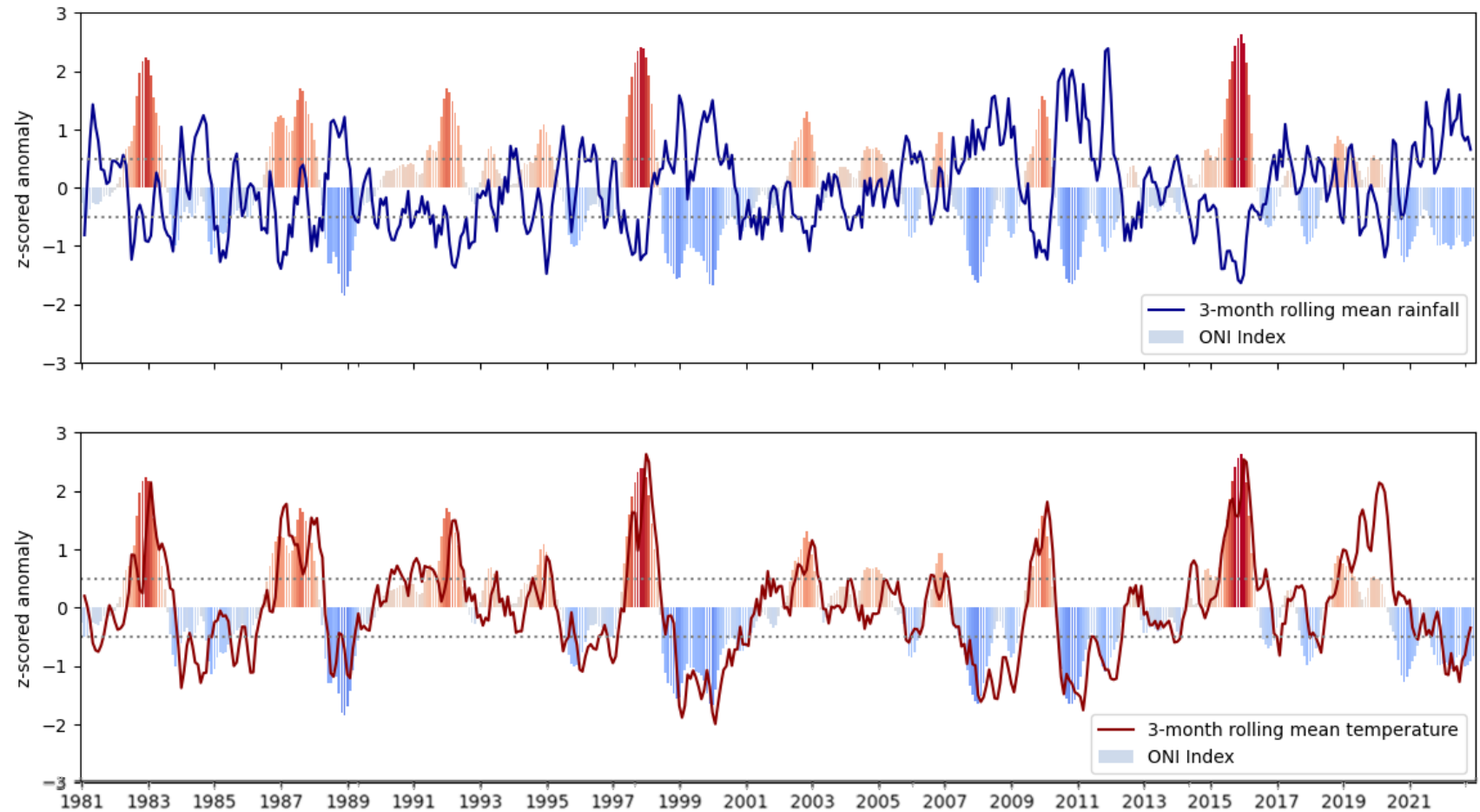
Tendencias en índices de temperatura



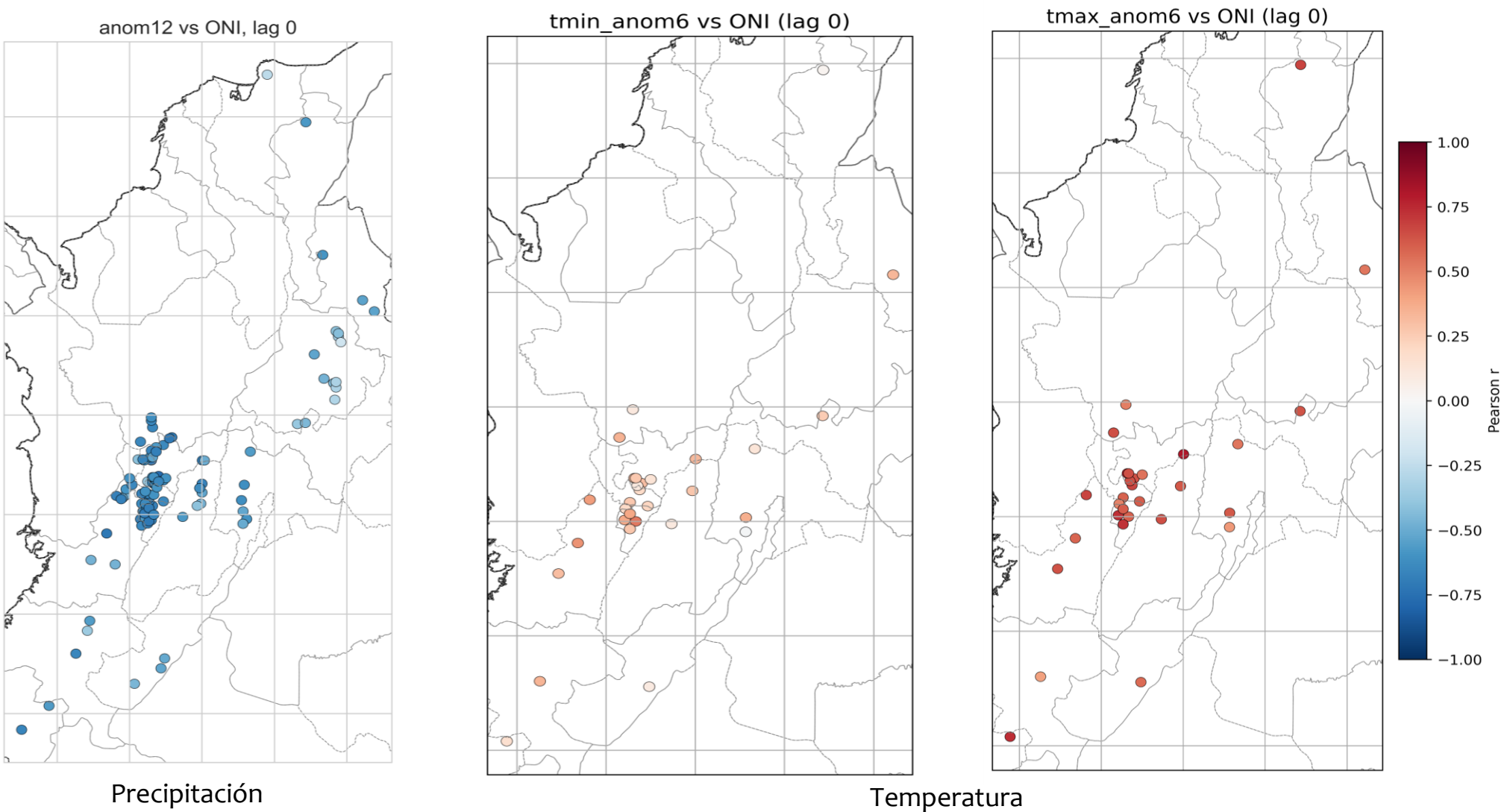
Índice	Descripción técnica
TXx	Temperatura máxima diaria más alta del mes.
TNn	Temperatura mínima diaria más baja del mes.
Tx90p	Porcentaje de días con $T_{max} >$ percentil 90 del período base.
TN10p	Porcentaje de días con $T_{min} <$ percentil 10 del período base.

Anomalías estandarizadas de Temperatura y Precipitación

Promedio
Zona Cafetera
Colombiana



Relación anomalías de precipitación y temperatura y ONI

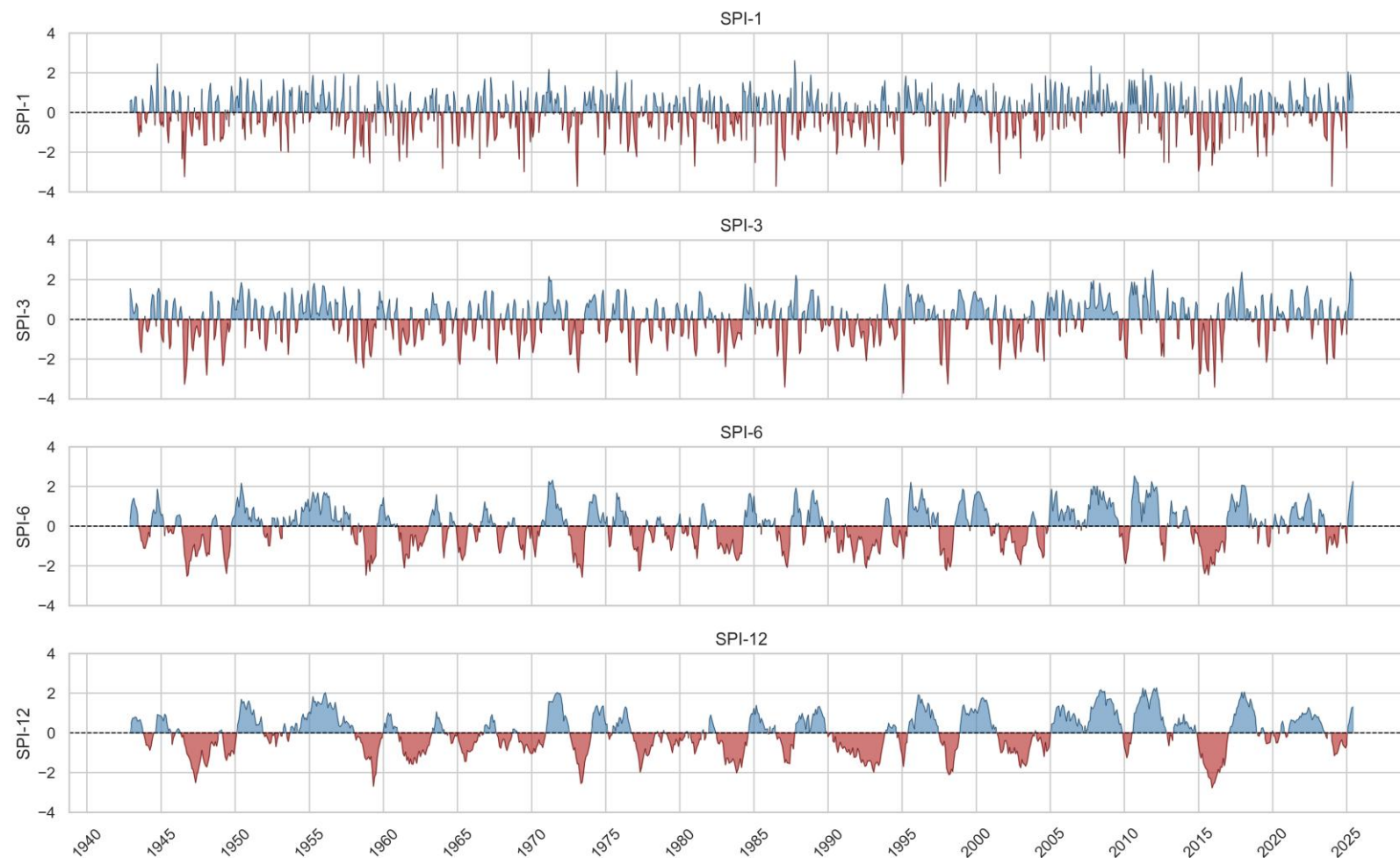


Índice estandarizado de precipitación - SPI

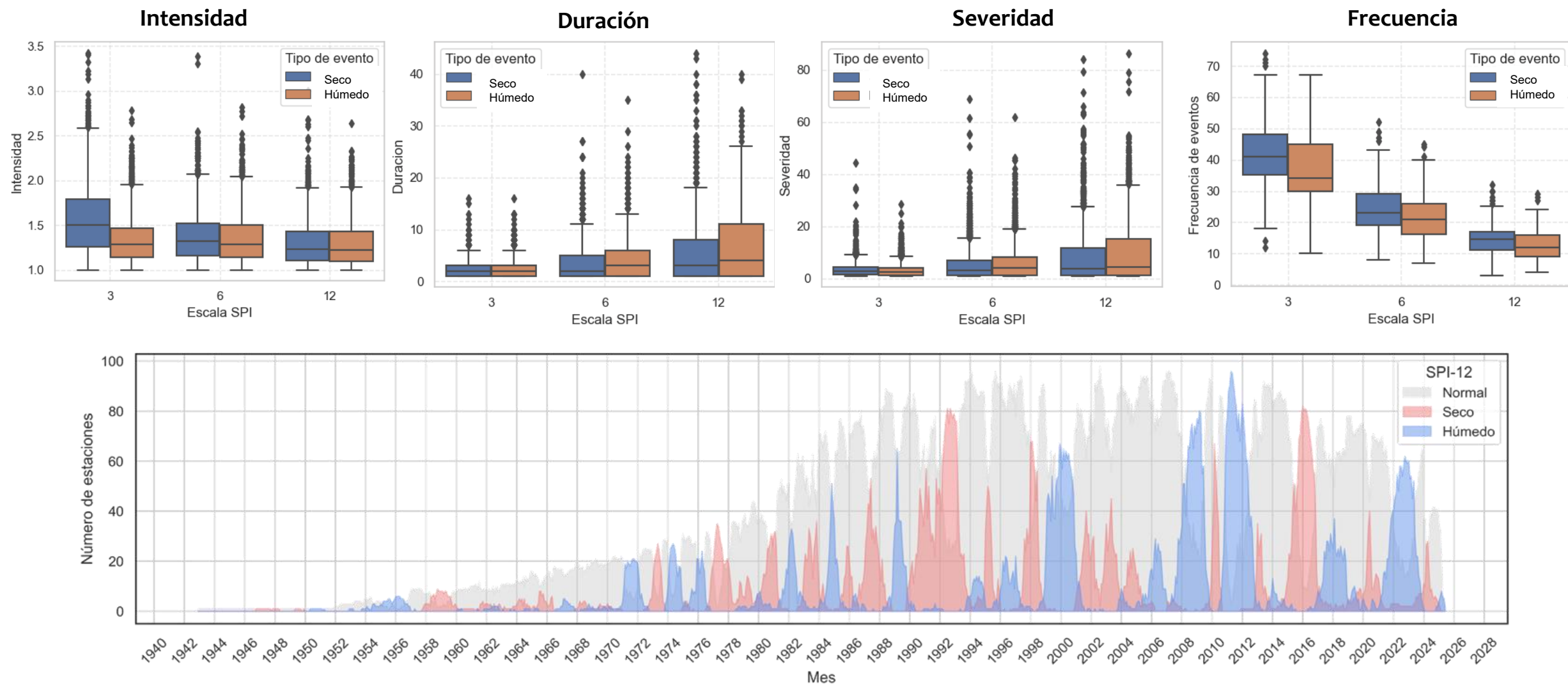
Estación Cenicafé – 2615502

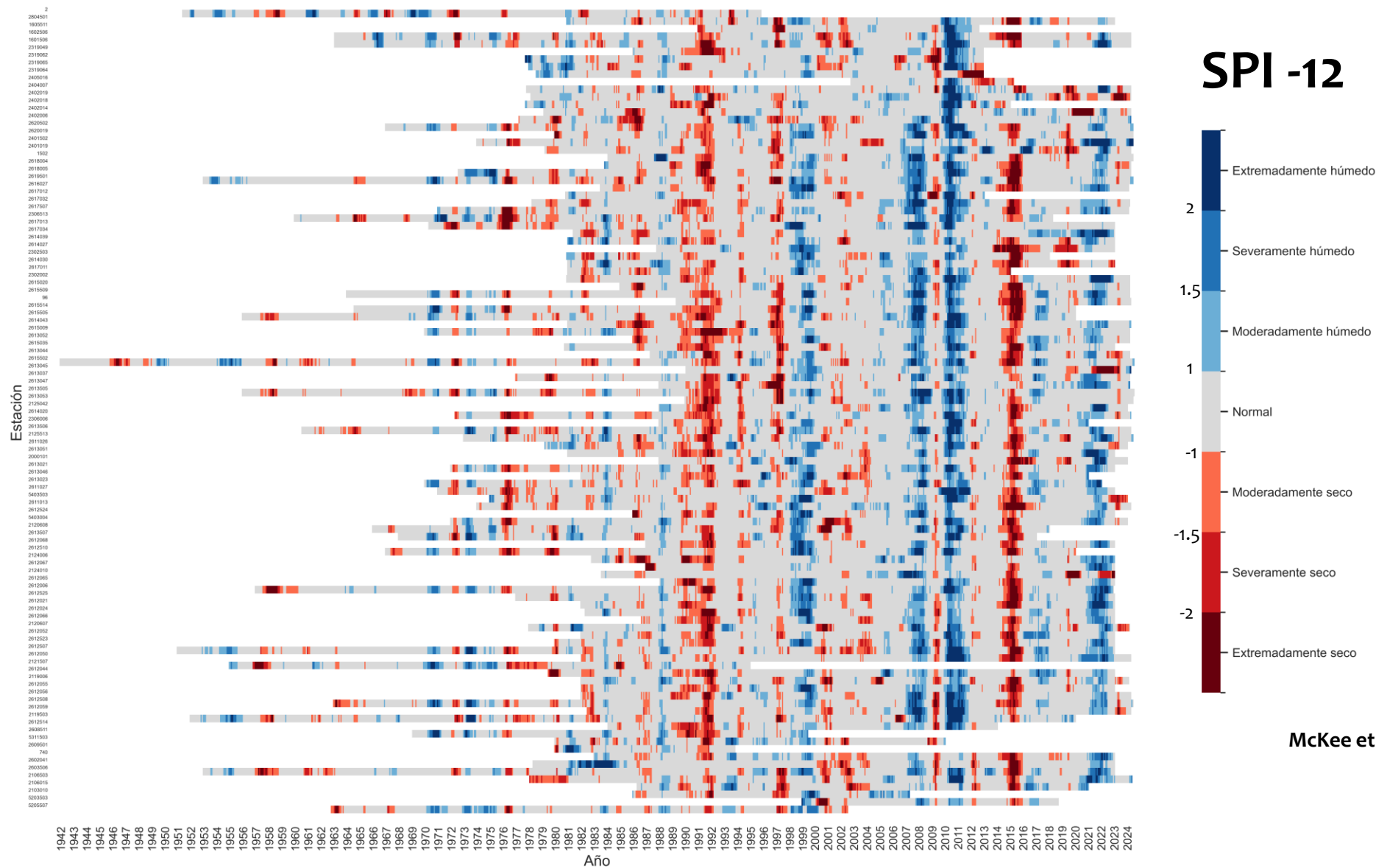
Municipio: Chinchiná

Departamento: Caldas



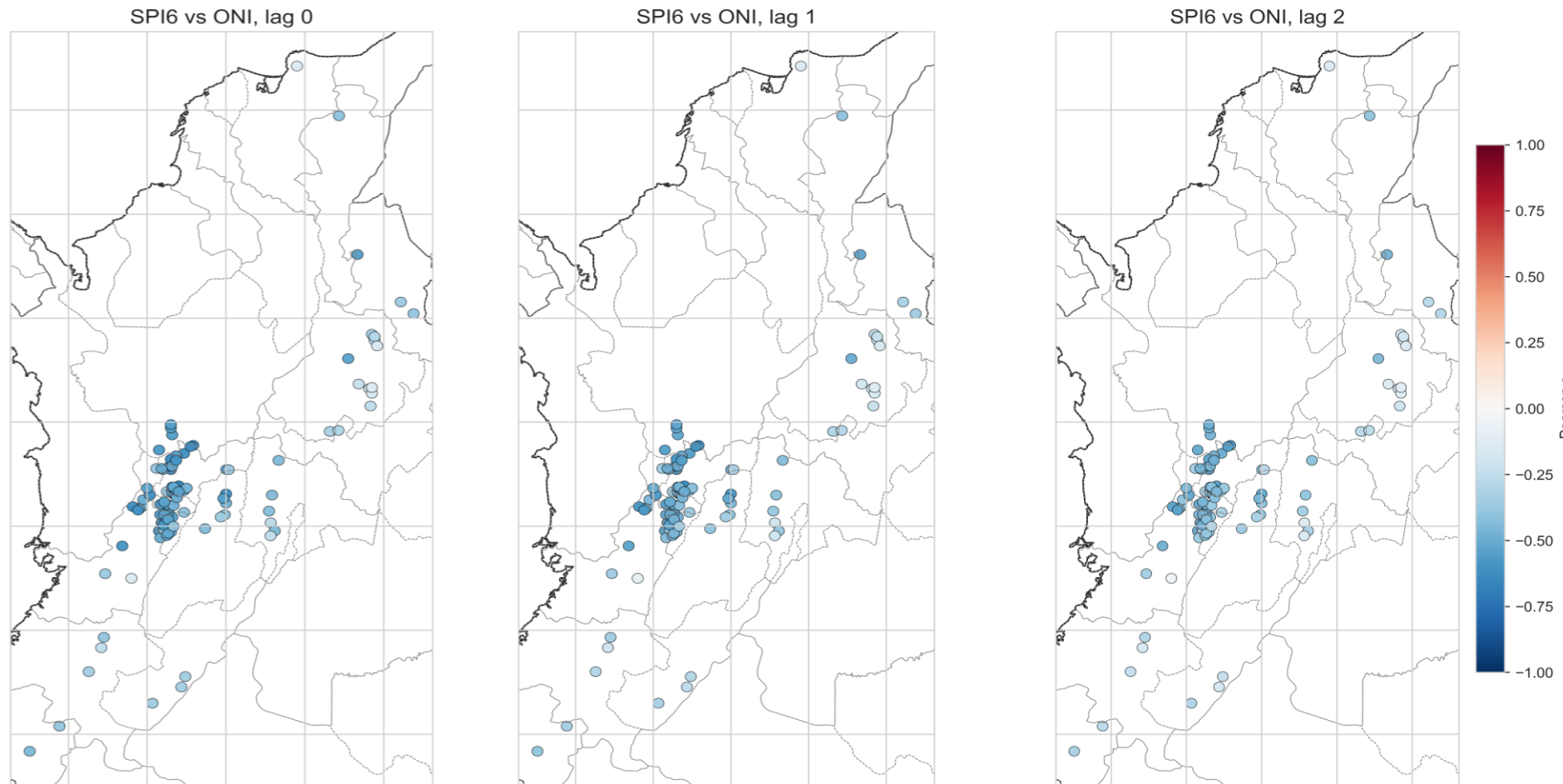
Índice estandarizado de precipitación - SPI





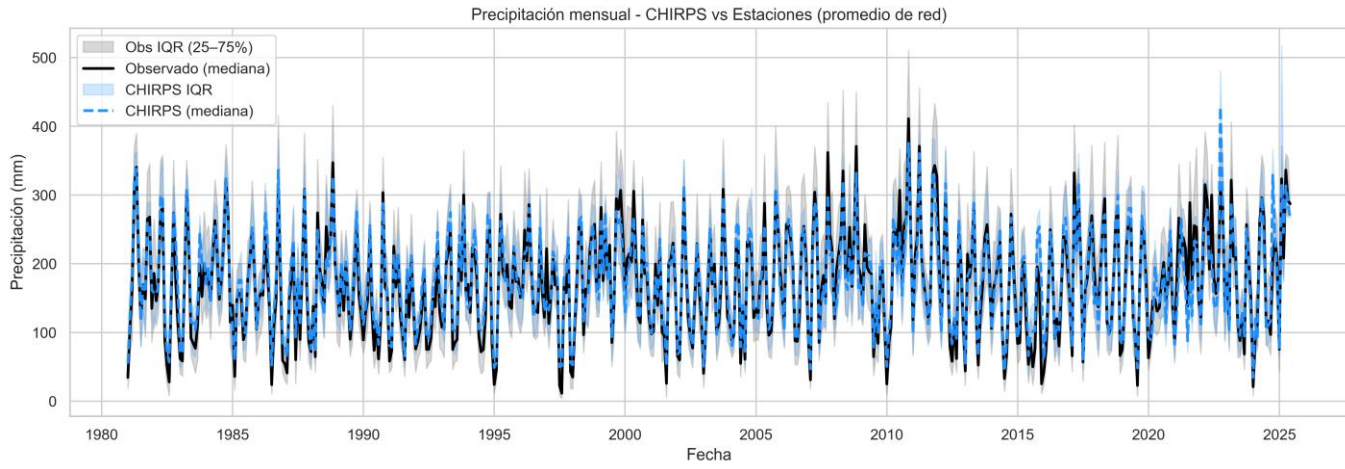
Relación entre el SPI y ONI

Índice estandarizado de precipitación - SPI



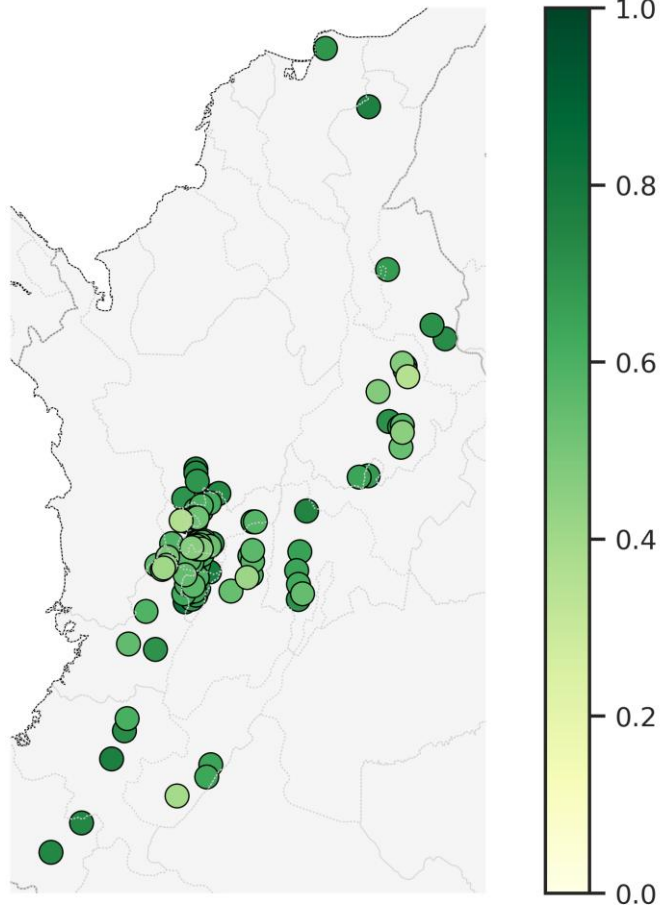
Validación de bases de datos satelitales: CHIRPS

		Número de estaciones	
		TOTAL	106
Métrica de desempeño	Coeficiente de determinación	$R^2 > 0.8$	1
		$0.7 < R^2 \leq 0.8$	15
		$0.5 < R^2 \leq 0.7$	75
		$R^2 \leq 0.5$	15
	Índice de Concordancia	$d > 0.9$	12
		$0.8 < d \leq 0.9$	75
		$0.7 < d \leq 0.8$	17
		$d \leq 0.7$	2
	Error medio de sesgo	$MBE < -30$	13
		$-30 \leq MBE < -10$	33
		$-10 \leq MBE \leq 10$	35
		$10 < MBE \leq 30$	13
		$MBE > 30$	12

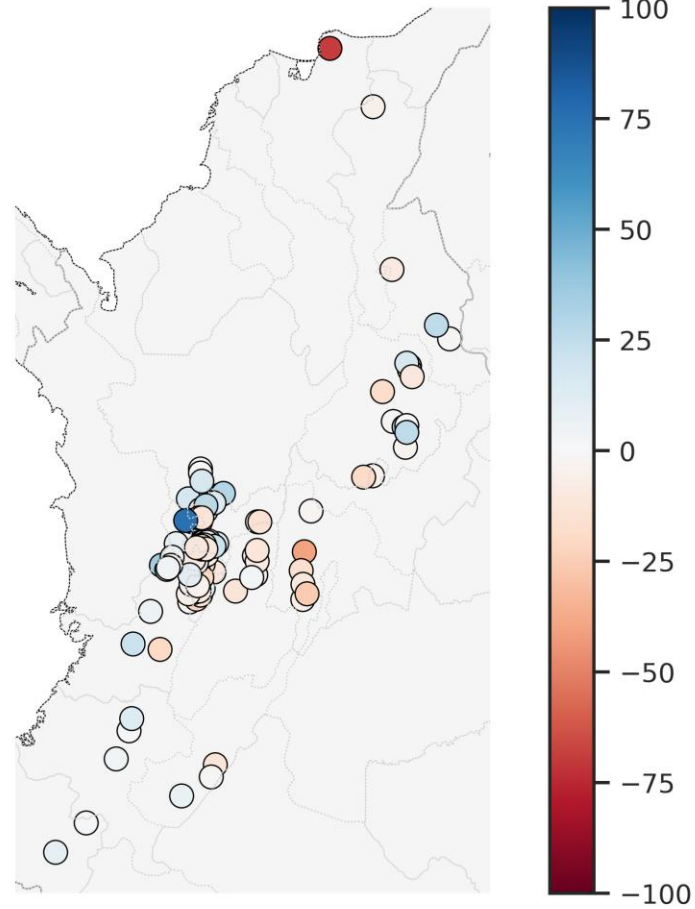


Validación de bases de datos satelitales: CHIRPS

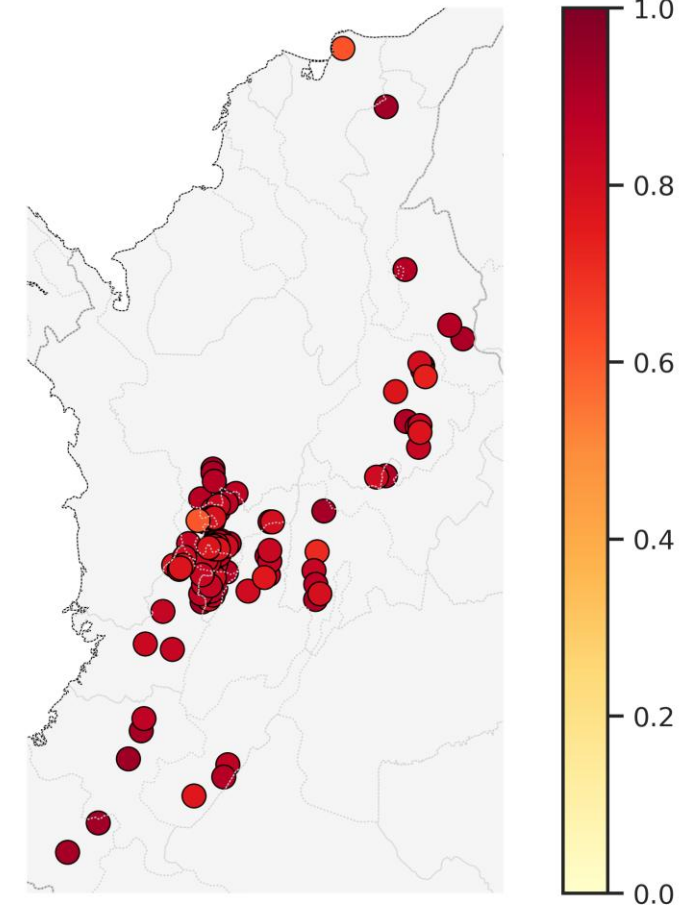
Coeficiente de determinación R^2



PBias (%)

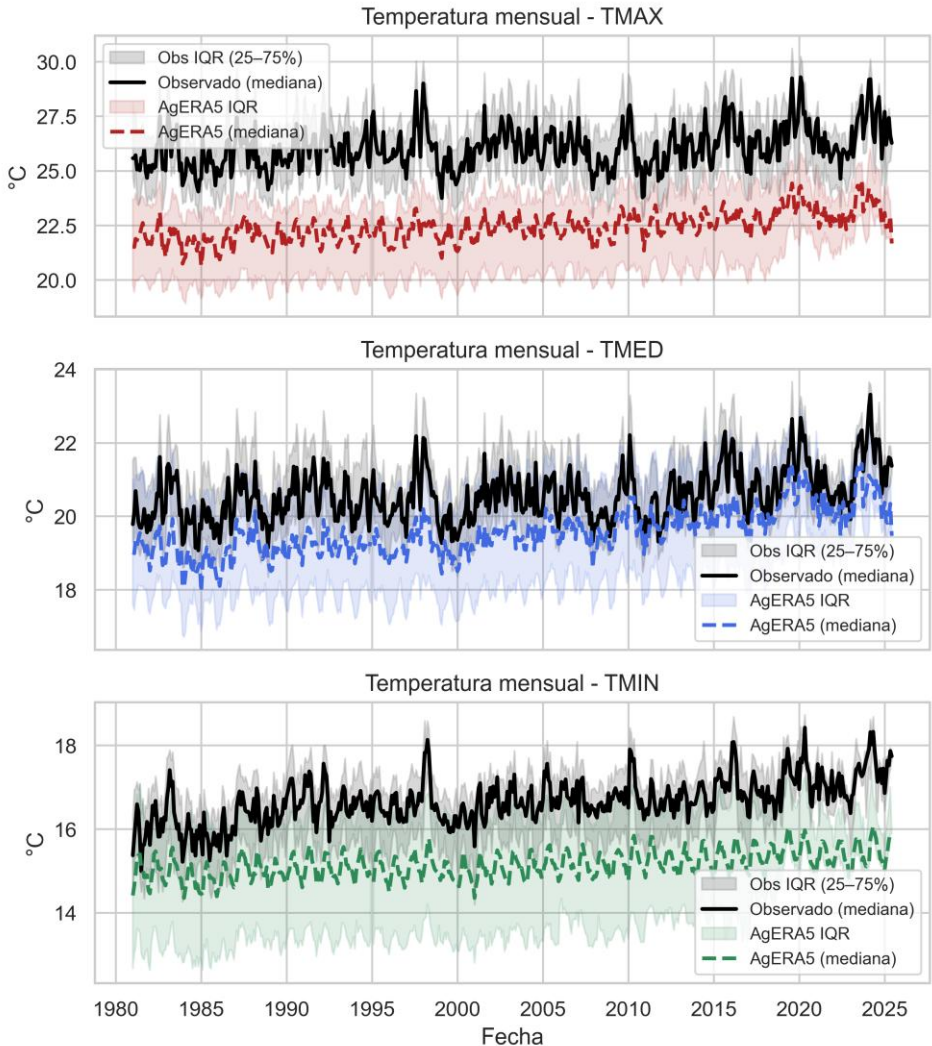


Índice de concordancia de Willmott



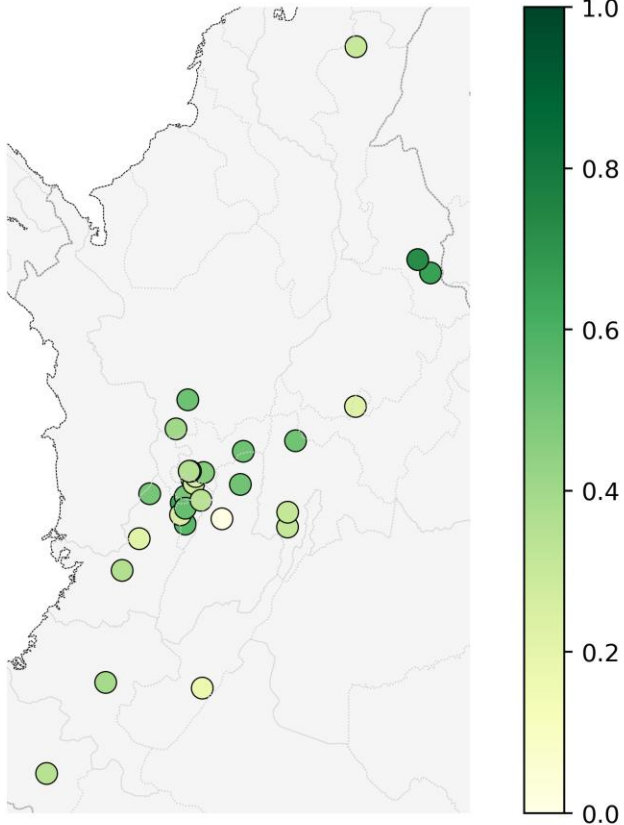
Validación de bases de datos satelitales: Temperatura - AgERA5

		Número de estaciones		
		TMAX	TMED	TMIN
Métrica de desempeño	TOTAL	30	30	30
	Coeficiente de determinación	$R^2 > 0.8$	0	0
		$0.7 < R^2 \leq 0.8$	1	0
		$0.5 < R^2 \leq 0.7$	6	9
		$R^2 \leq 0.5$	23	20
	Índice de Concordancia	$d > 0.9$	0	0
		$0.8 < d \leq 0.9$	0	3
		$0.7 < d \leq 0.8$	2	2
		$d \leq 0.7$	28	25
	Error medio de sesgo	$MBE < -30$	28	18
		$-30 \leq MBE < -10$	0	2
		$-10 \leq MBE \leq 10$	2	7
		$10 < MBE \leq 30$	0	1
		$MBE > 30$	0	2

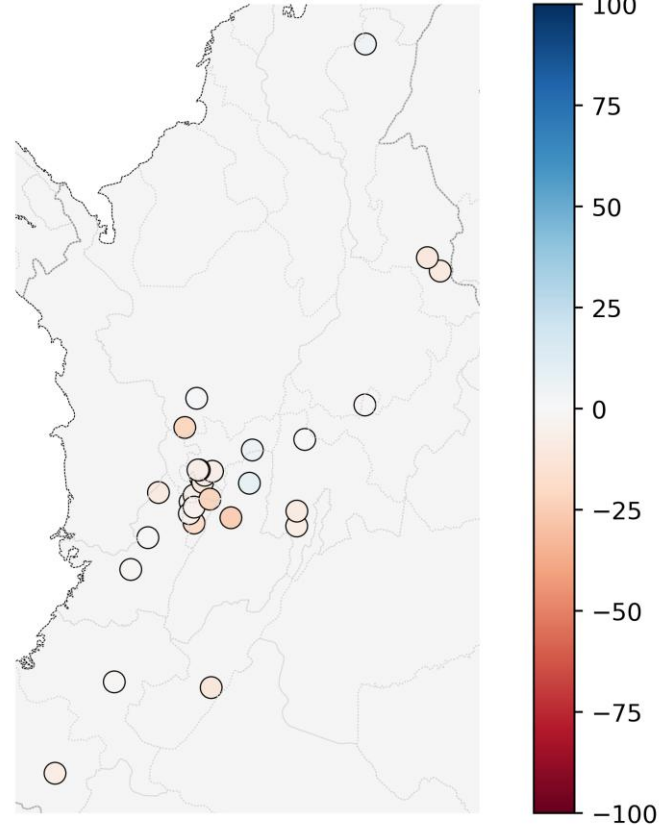


Validación de bases de datos satelitales: Temperatura - AgERA5

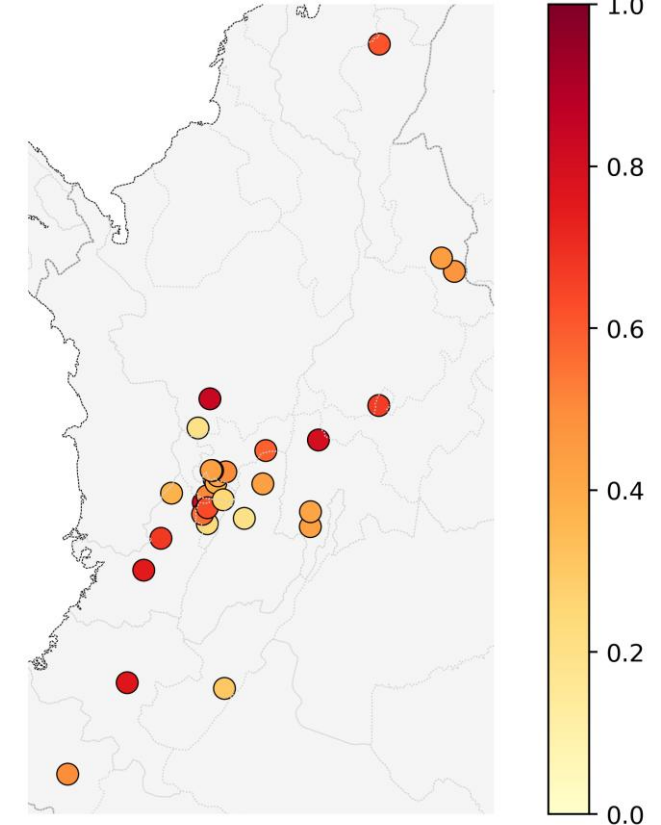
Coeficiente de determinación R^2 - TMED

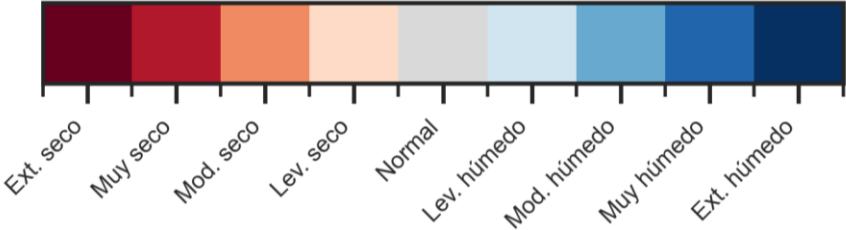
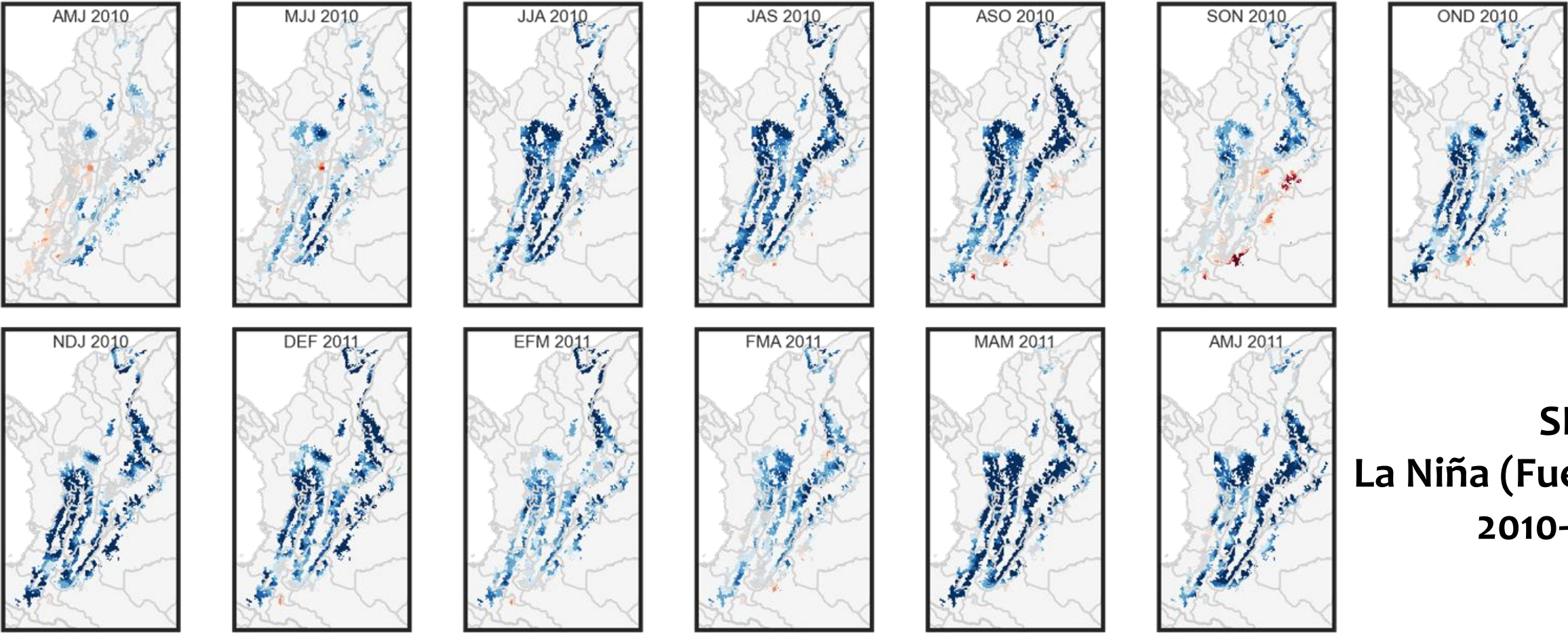


PBias (%) - TMED



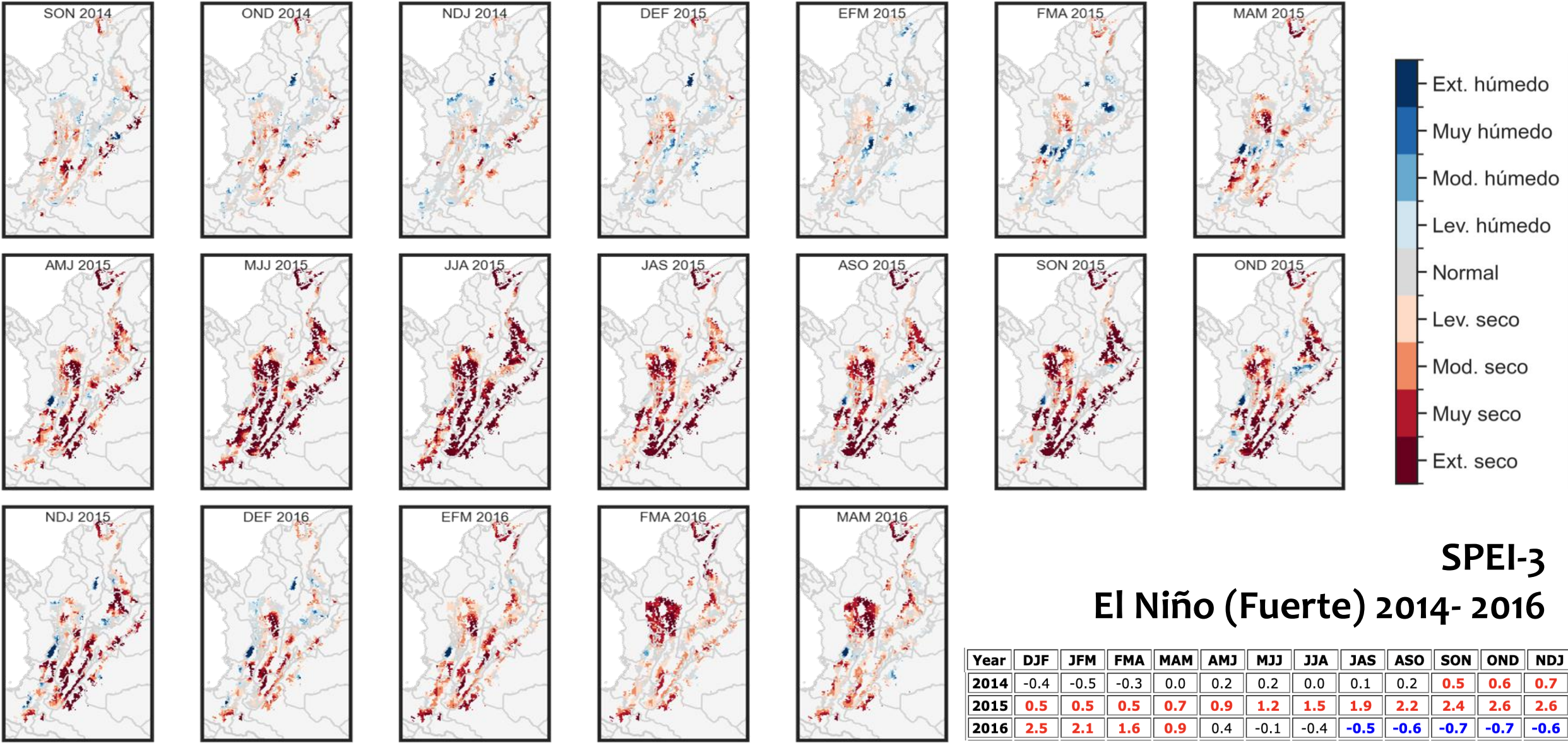
Índice de concordancia de Willmott - TMED

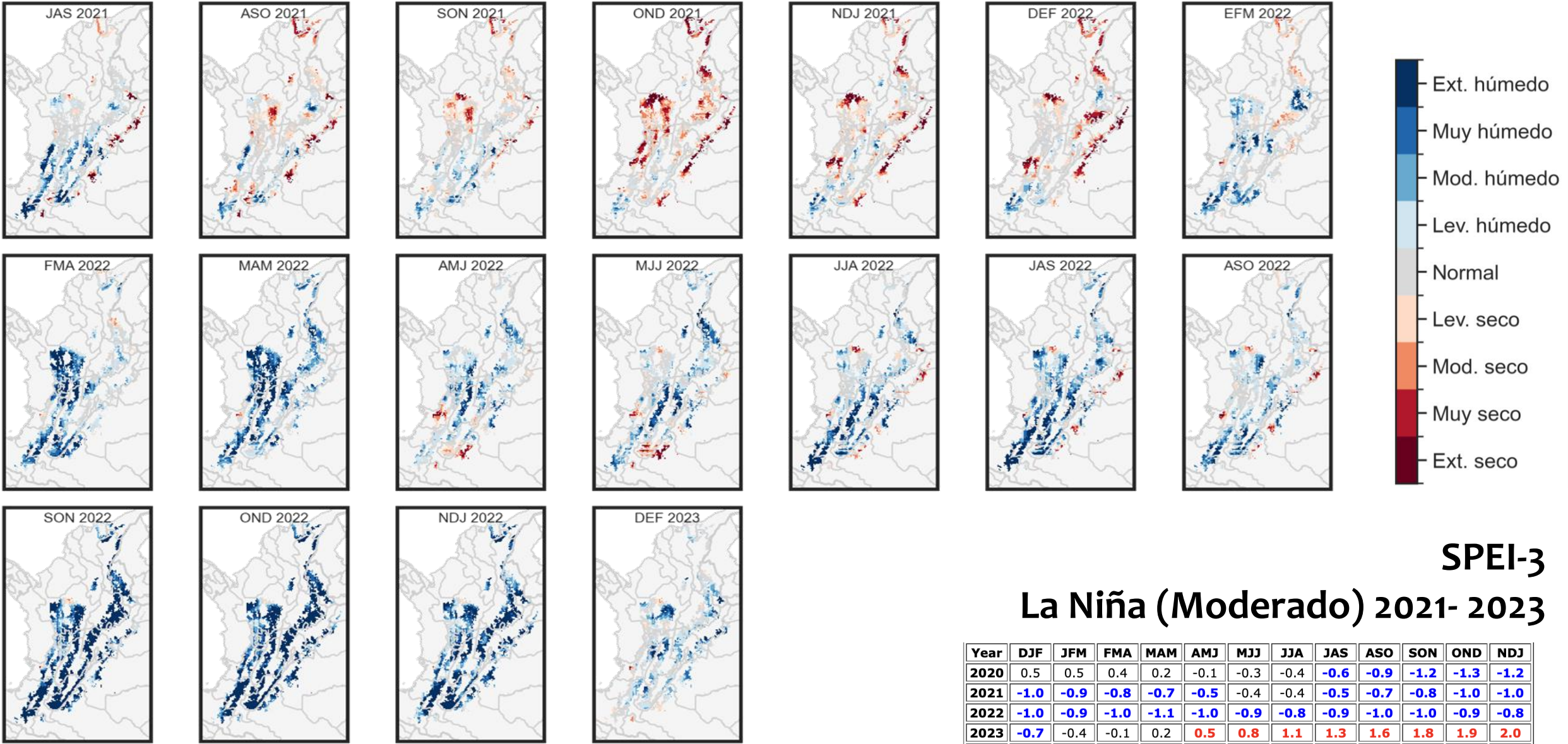




Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0

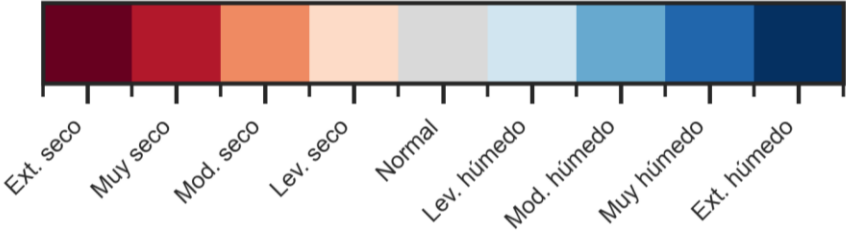
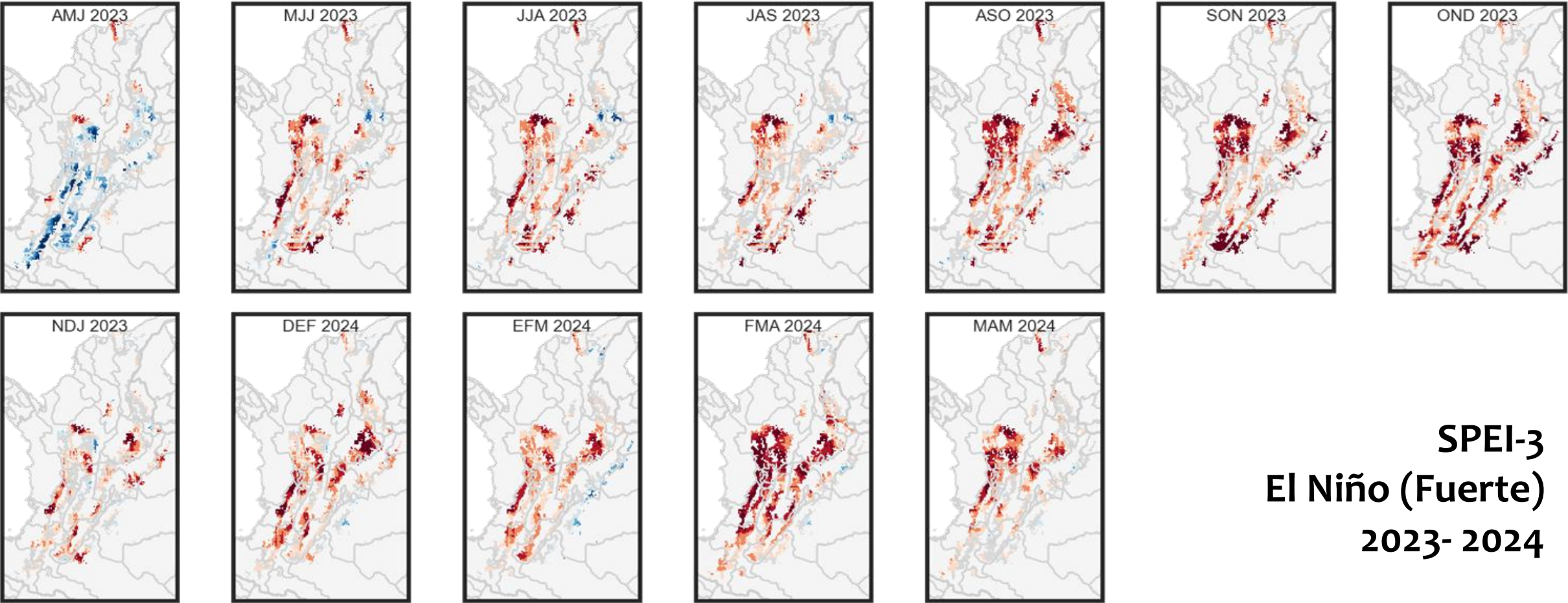
SPEI-3
La Niña (Fuerte)
2010- 2011





SPEI-3
La Niña (Moderado) 2021- 2023

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0



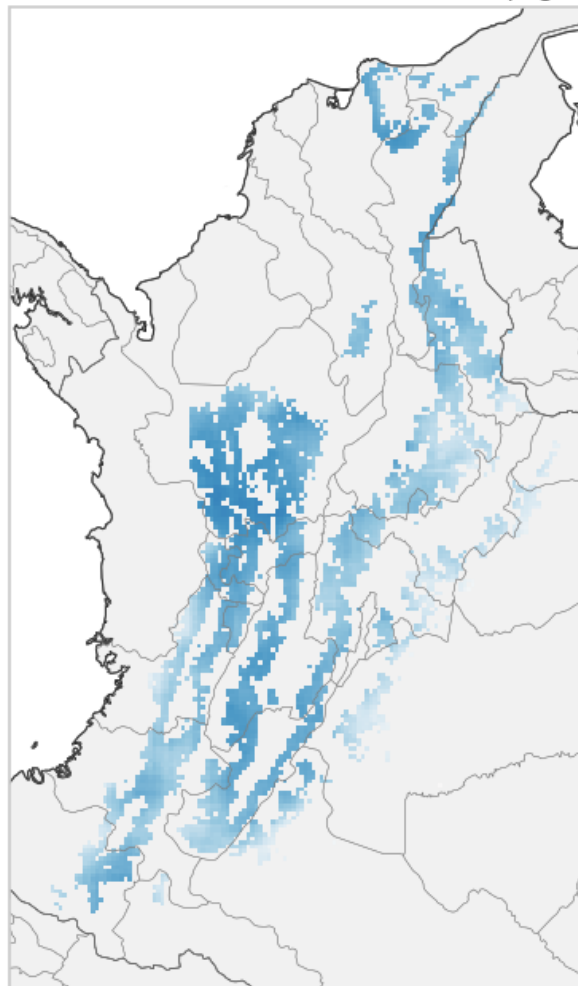
SPEI-3
El Niño (Fuerte)
2023- 2024

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0
2024	1.8	1.5	1.1	0.7	0.4	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5

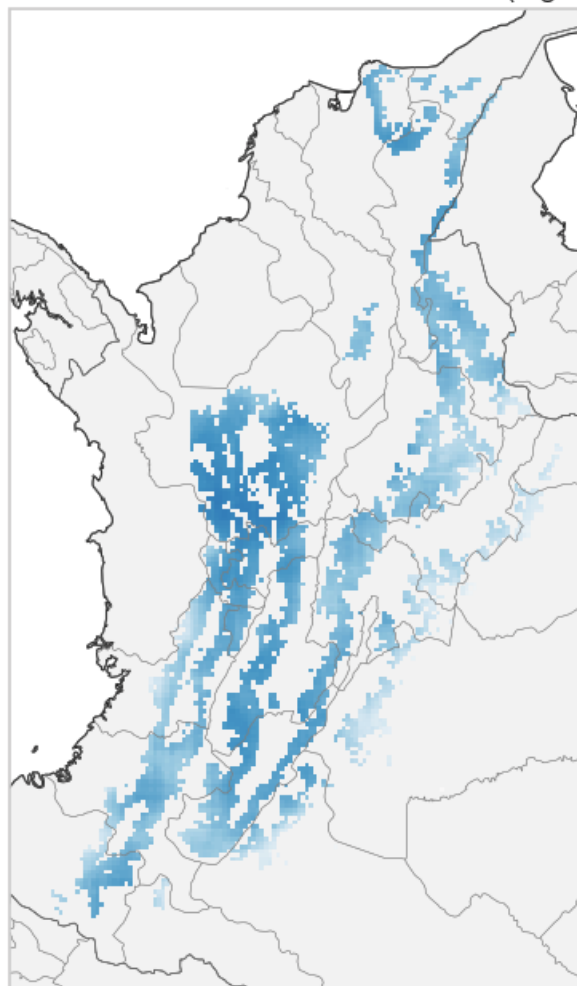
Relación entre el SPEI y ONI

Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración

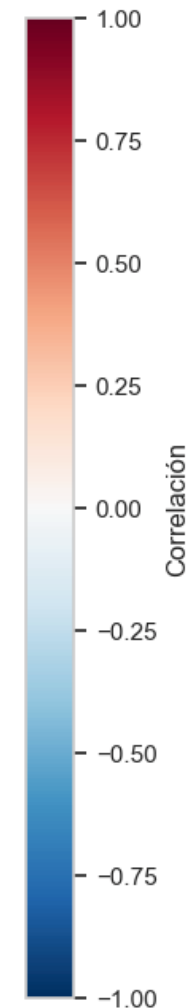
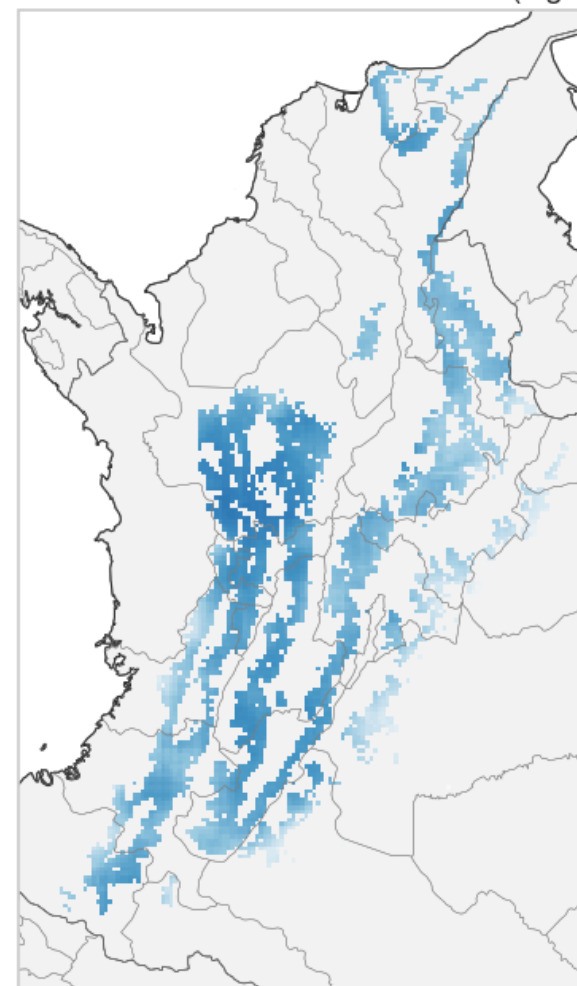
Correlación Pearson ONI vs SPEI-6 (lag 0)



Correlación Pearson ONI vs SPEI-6 (lag 1)



Correlación Pearson ONI vs SPEI-6 (lag 2)



Relación entre Índices climáticos y ONI

Índice	Fuente	Correlación de Pearson			
		Rezago 0	Rezago 1 mes	Rezago 2 meses	Rezago 3 meses
SPI_3	Estaciones	-0,35	-0,34	-0,32	-0,29
SPI_6		-0,46	-0,42	-0,37	-0,32
SPI_12		-0,40	-0,35	-0,29	-0,23
SPEI_3	Bases de datos satelitales	-0,51	-0,53	-0,54	-0,52
SPEI_6		-0,55	-0,59	-0,62	-0,62
SPEI_12		-0,41	-0,50	-0,55	-0,61
anom3	Estaciones	-0,45	-0,44	-0,42	-0,40
anom6		-0,54	-0,52	-0,49	-0,46
anom12		-0,58	-0,57	-0,55	-0,51
tmin_anom3		0,27	0,22	0,17	0,12
tmin_anom6		0,25	0,21	0,16	0,11
tmed_anom3		0,57	0,52	0,45	0,38
tmed_anom6		0,57	0,51	0,44	0,37
tmax_anom3		0,60	0,56	0,50	0,44
tmax_anom6		0,62	0,57	0,50	0,43

Consideraciones finales

- La variabilidad climática en la zona cafetera es alta, multiescalar y está fuertemente modulada por el fenómeno El Niño Oscilación del Sur
- Los índices climáticos permiten caracterizar las condiciones globales, regionales y locales e identificar patrones y tendencias.
- El análisis de correlación con el índice ONI muestra teleconexiones en diferentes escalas con las condiciones de la zona cafetera.
- Las bases de datos satelitales (CHIRPS y AgERA5) son un insumo de gran utilidad para estudios de caracterización climática y en especial en regiones con escasa cobertura





Agradecimientos

Disciplina de Agroclimatología
Observadores Meteorológicos
Bienes Servicios Mantenimiento
Disciplina de TIC
Unidad Administrativa y Financiera

Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café

Reserva Forestal Protectora Planalto

www.cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc



MÁS FEDERACIÓN