



Autora:
Catherine Preciado Santa
Docente

XIV SEMINARIO INTERNACIONAL LA SOSTENIBILIDAD UN PUNTO DE ENCUENTRO

¿Cómo estamos enfrentando el cambio climático?



Acreditados
ALTA CALIDAD



Alcaldía de Medellín
Centro de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Relación entre rendimiento de maíz y frijol, índices de cambio climático y teleconexiones climáticas en Guatemala



Dr. Paris Rivera

Universidad Mariano Gálvez de Guatemala

Octubre 2023

Introducción

- Guatemala es un país con una población rural con tradición agrícola de subsistencia, actualmente se enfrentan a desafíos cada vez mayores debido a la variabilidad climática, lo que plantea interrogantes cruciales sobre la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de la agricultura. En este estudio, exploraremos la influencia del clima en la producción anual de maíz y frijol, las teleconexiones climáticas y los índices de cambio climático como factores clave.

Objetivos del estudio

Objetivos General:

- **Evaluar la Influencia del Clima:** Analizar cómo las variaciones climáticas, incluyendo la temperatura y la precipitación, afectan la producción de maíz y frijol en Guatemala.

Específicos

- **Identificar Teleconexiones Climáticas:** Investigar las teleconexiones climáticas a larga distancia, como la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) y el Índice del Atlántico Norte Tropical (TNA), y su posible influencia en los cultivos.
- **Reducir la Dimensionalidad de los Datos:** Utilizar un análisis de componentes principales (PCA) para reducir la complejidad de los datos climáticos y revelar patrones subyacentes en las variables climáticas.
- **Desarrollar Modelos Predictivos:** Construir modelos de regresión logística multinomial para predecir las categorías de rendimiento de maíz y frijol (alta, media, baja) en función de variables climáticas representativas y componentes principales.

Contexto de la Agricultura en Guatemala

- Guatemala, conocida por su rica biodiversidad y herencia agrícola ancestral, depende en gran medida de la agricultura como uno de los pilares fundamentales de su economía y seguridad alimentaria.
- La agricultura representa una parte significativa del Producto Interno Bruto (PIB) de Guatemala y es una fuente crucial de empleo para su población.



El país alberga una amplia gama de cultivos, pero el maíz y el frijol se destacan como dos de los más importantes y arraigados en su cultura alimentaria, es decir los para los agricultores de subsistencia.

<https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/maiz-y-frijol-con-precio-normal-y-a-la-baja-respectivamente/>

- El maíz y el frijol son componentes esenciales de la dieta guatemalteca y desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria del país.
- A pesar de su importancia, la agricultura guatemalteca enfrenta desafíos persistentes, incluyendo la variabilidad climática, que puede amenazar la producción de estos cultivos vitales.



La variabilidad en las condiciones climáticas puede tener un impacto profundo en la producción de maíz y frijol, lo que hace que la comprensión de esta relación sea de suma importancia.

<https://www.enalimentos.lat/noticias/1867-guatemala-importara-2-500-toneladas-de-frijol.html>



GUATEMALA *tierra que alimenta* PROGRAMA DE AGRICULTURA FAMILIAR

RUTA PAÍS 2032

¡Construyamos Nuestra Nación!

GUATEMALA
MINISTERIO DE AGRICULTURA,
GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN

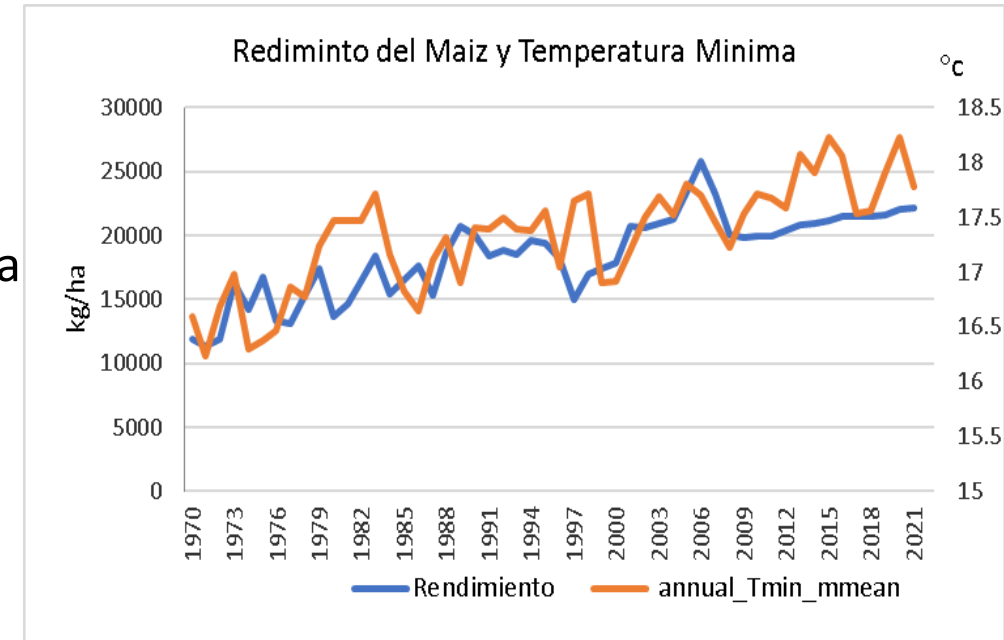
Las publicaciones utilizadas son exclusivas del MAGA, no nos responsabilizamos por el uso que le den terceras personas.

En agricultura, el rendimiento (también conocido como "productividad agrícola" o "producción agrícola") es una medida de la cantidad de un cultivo cultivado, por unidad de superficie de tierra. Kg/ha kilogramos por hectárea

<https://www.maga.gob.gt/maga-fortalece-la-seguridad-alimentaria-y-desarrollo-rural/>

Metodología y Datos

- **Recopilación de Datos:** Se recopilieron datos de rendimiento agrícola de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y datos climáticos de precipitación y temperaturas de 48 estaciones locales en Guatemala además de los registros de teleconexiones climáticas como la NAO, AMO, TNA entre otras . Periodo de 1970 a 2022.
- **Cálculo de índices de cambio climático con Rclimdex,** en donde las temperaturas extremas fueron las utilizadas y la precipitación anual.
- **Análisis de Componentes Principales (PCA):** Utilizamos un análisis de componentes principales para reducir la dimensionalidad de los datos climáticos. Esto nos ayudó a identificar patrones subyacentes en las variables climáticas.
- **Análisis de Correlación:** Realizamos análisis de correlación para identificar relaciones significativas a larga distancia entre las variables climáticas y los rendimientos de maíz y frijol.



Índices de cambio climático

- Índice de CC: Señales de cambio climático regional, específicamente en lo referente a los extremos meteorológicos desde el punto de vista climático.
- Los índices son basados en la temperatura diaria y la precipitación como entrada de dato.
- Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), WMO



<https://acmad.net/rcc/procedure/RCLimDexUserManual.pdf>

Resumen de los 27 índices básicos de cambio climático del ETCCDI

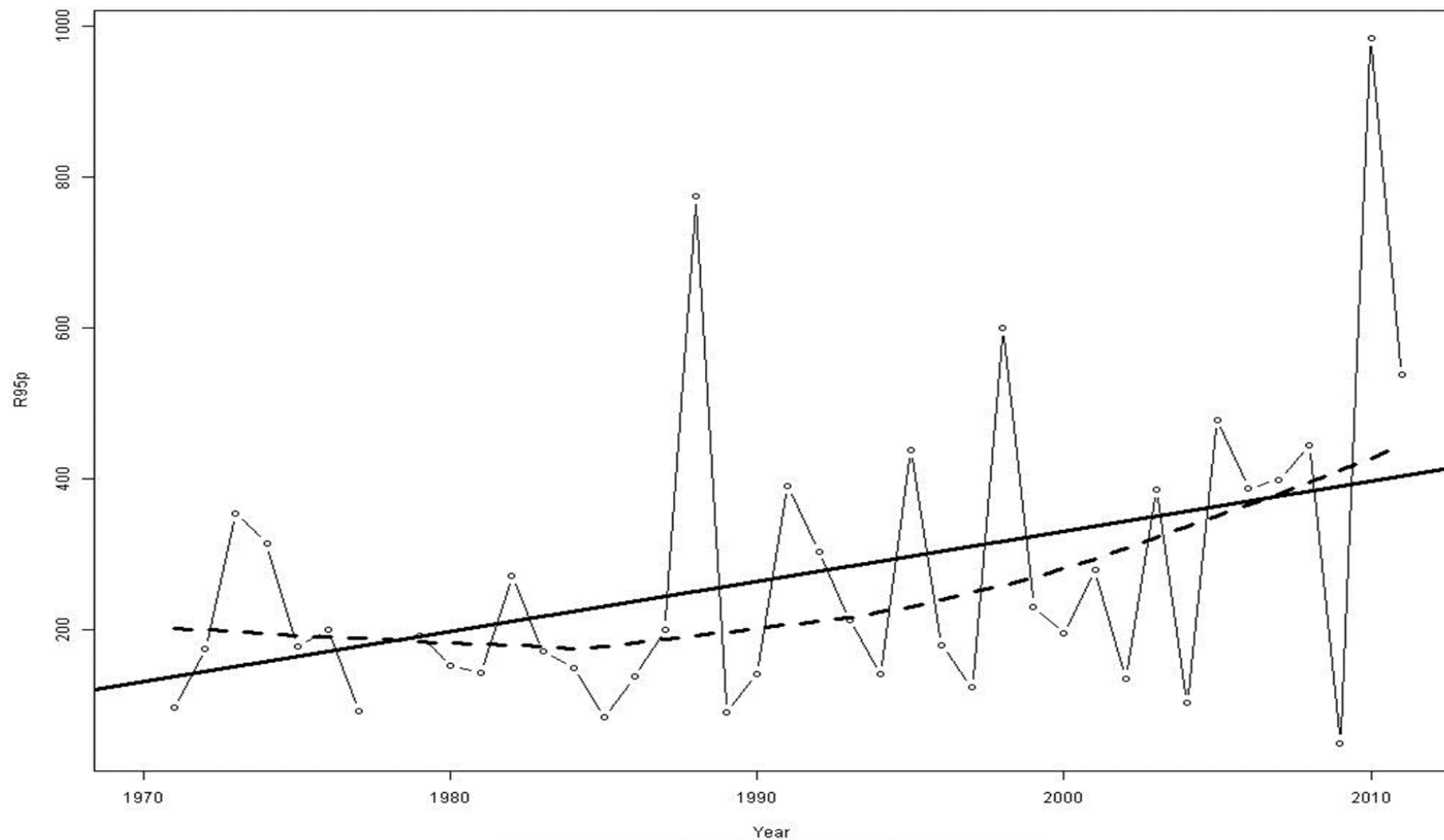
Índice	Descripción del índice
CDD	Días secos consecutivos
CSDI	Duración de los períodos fríos
CWD	Días húmedos consecutivos
DTR	Rango diario de temperatura
FD	Días con helada
GSL	Estación de crecimiento
ID	Días con hielo
PRCPTOT	Precipitación total anual
R10mm	Días con lluvia mayor a 10 mm
R20mm	Días con lluvia mayor a 20 mm
R95p	Días muy húmedos
R99p	Días extremadamente húmedos
Rnnmm	Días con lluvia mayor a nn
RX1day	Precipitación máxima en 1 día

Índice	Descripción del índice
RX5day	Precipitación máxima en 5 días
SDII	Índice simple de intensidad diaria
SU	Días de verano
TN10p	Noches frías
TN90p	Noches cálidas
TNn	Temperatura mínima extrema
TNx	Temperatura mínima más alta
TR	Noches tropicales
TX10p	Días frescos
TX90p	Días calurosos
TXn	Temperatura máxima más baja
TXx	Temperatura máxima extrema
WSDI	Duración de los períodos cálidos

Un ejemplo del tipo de gráficas producidas por Rclimdex en formato .jpg, en este caso para el índice de días muy húmedos (R95p). (mm)

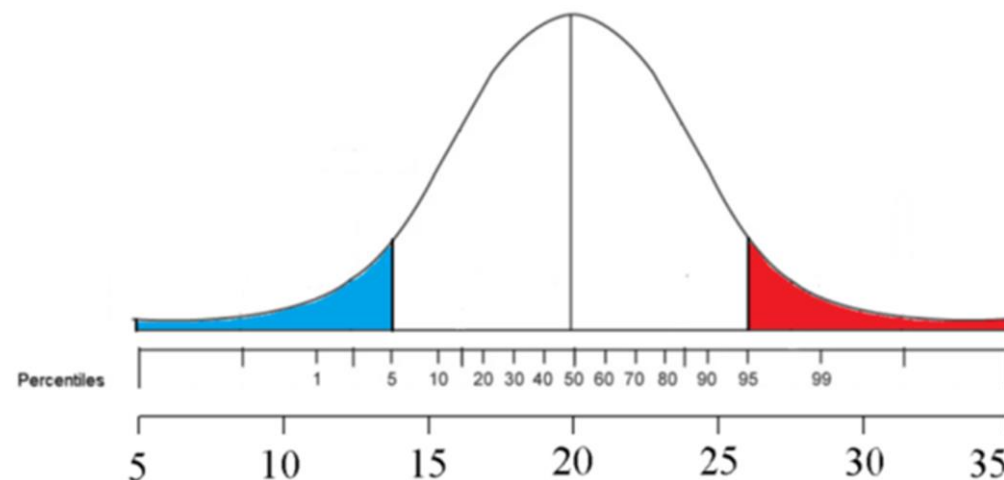
- La línea unida por pequeños círculos corresponde al índice anual de días muy húmedos,
- la línea recta continua es un ajuste de tendencia por mínimos cuadrados y
- la línea punteada un ajuste de regresión lineal localmente ponderada.

R95p INSIVUMEH



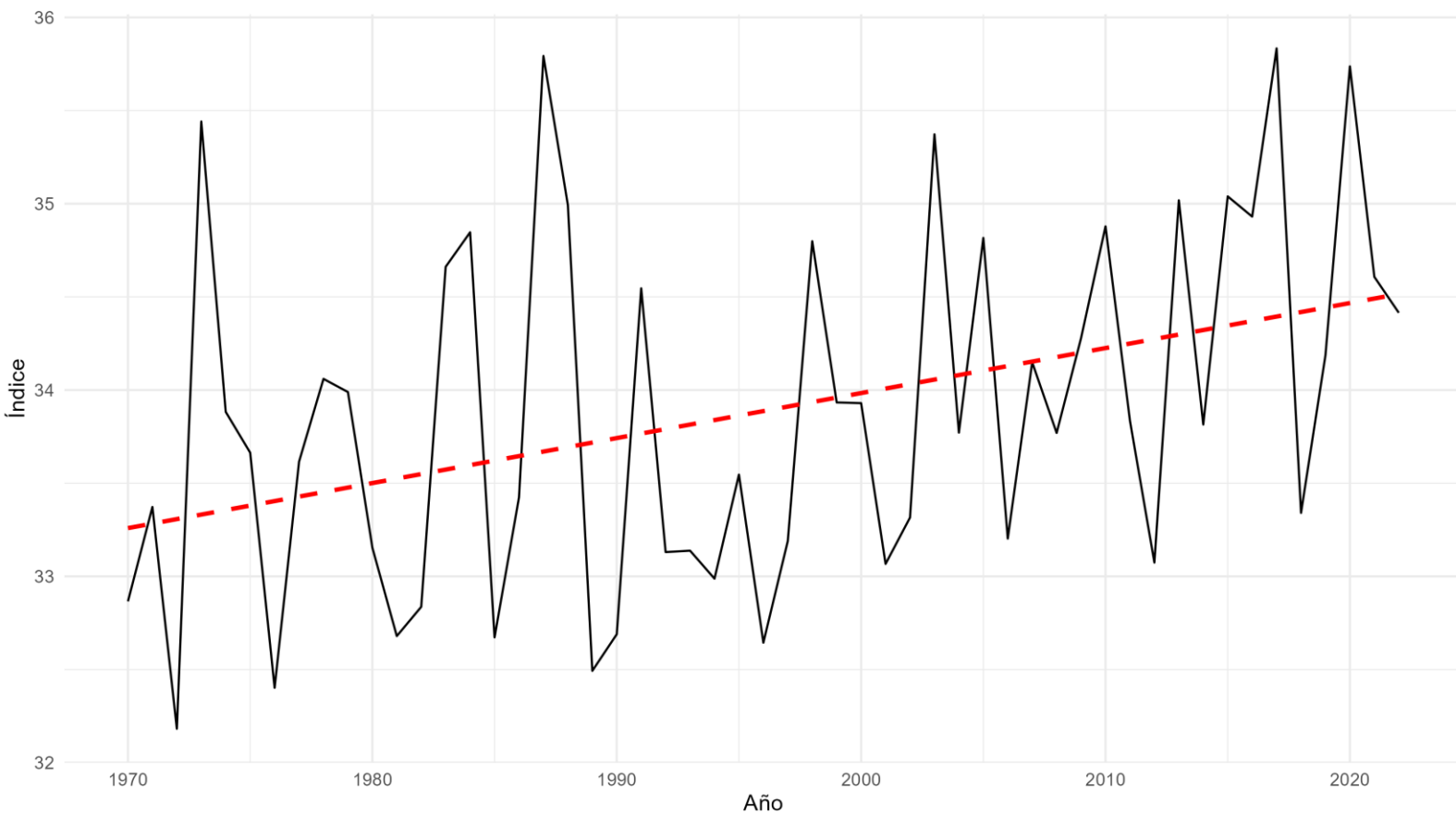
Índices utilizados

- TXX Valor máximo de temperatura en el año
- TNn Valor mínimo de temperatura en el año
- Tn10p Percentil 10 de temperatura mínima
- Tn90p Percentil 90 de temperatura mínima
- Tmax_mean Promedio de temperatura máximas
- Tmin_mean Promedio de temperatura mínimas
- R5day Precipitación máxima en 5 días consecutivos
- Prcptot Precipitación total anual



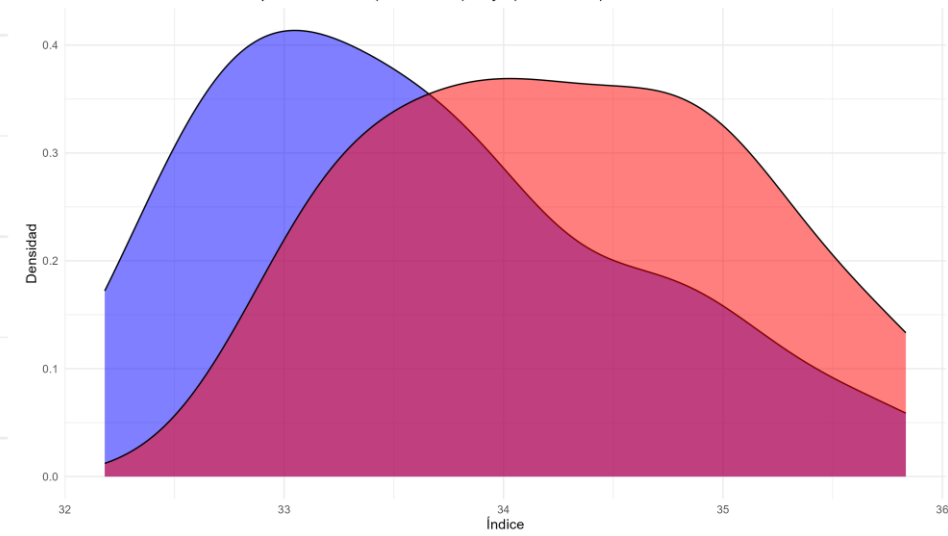
TXX Valor máximo de temperatura en el año

Índice de Cambio Climático: País - TXx



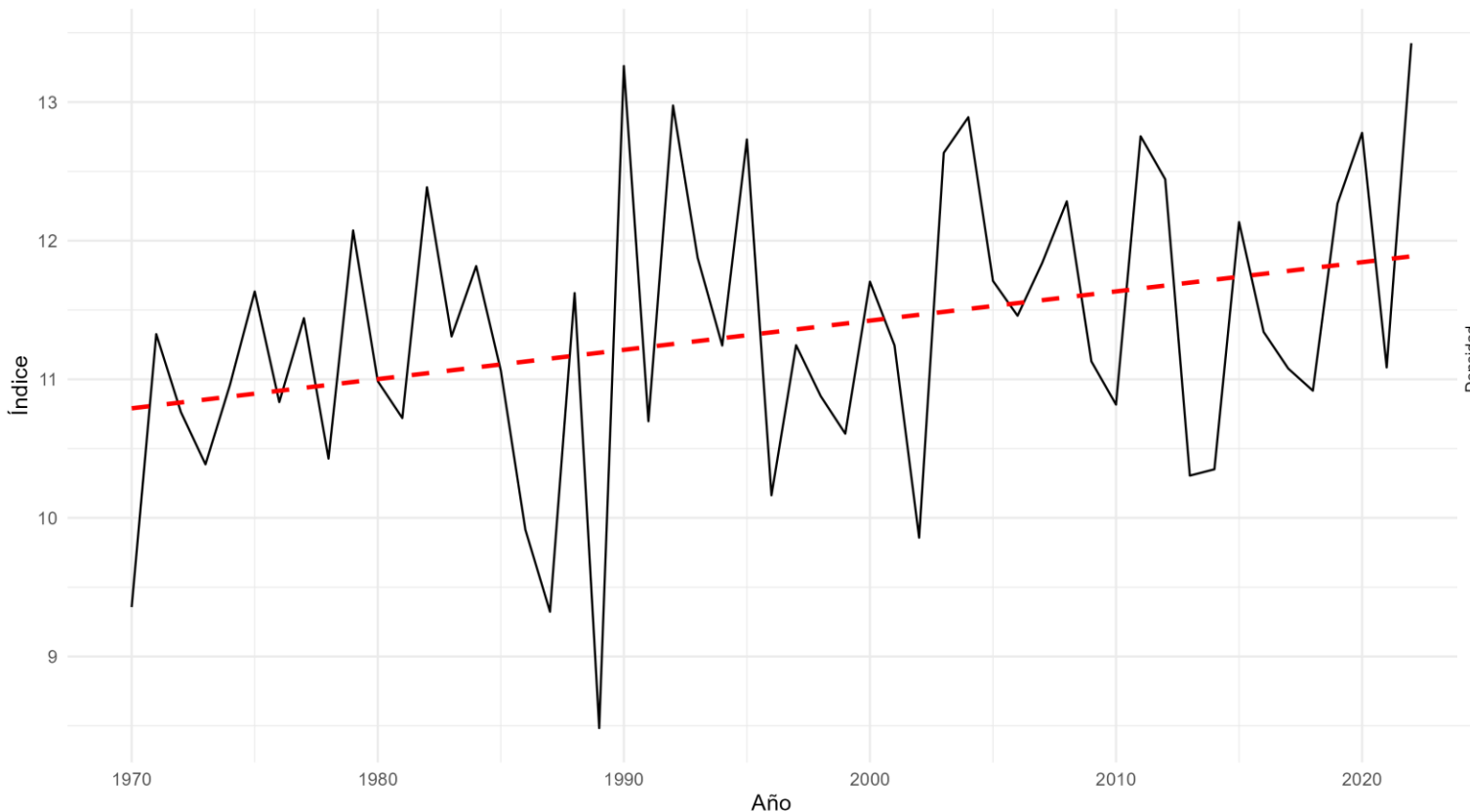
Línea de tendencia: rojo punteado

Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) País - TXx



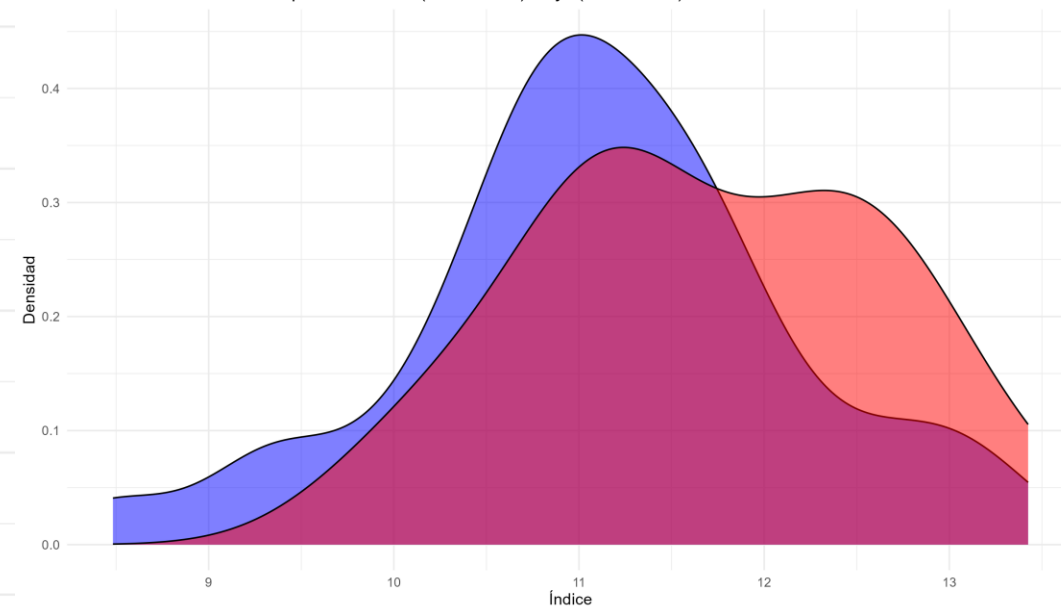
TNn Valor mínimo de temperatura en el año

Índice de Cambio Climático: País - TNn



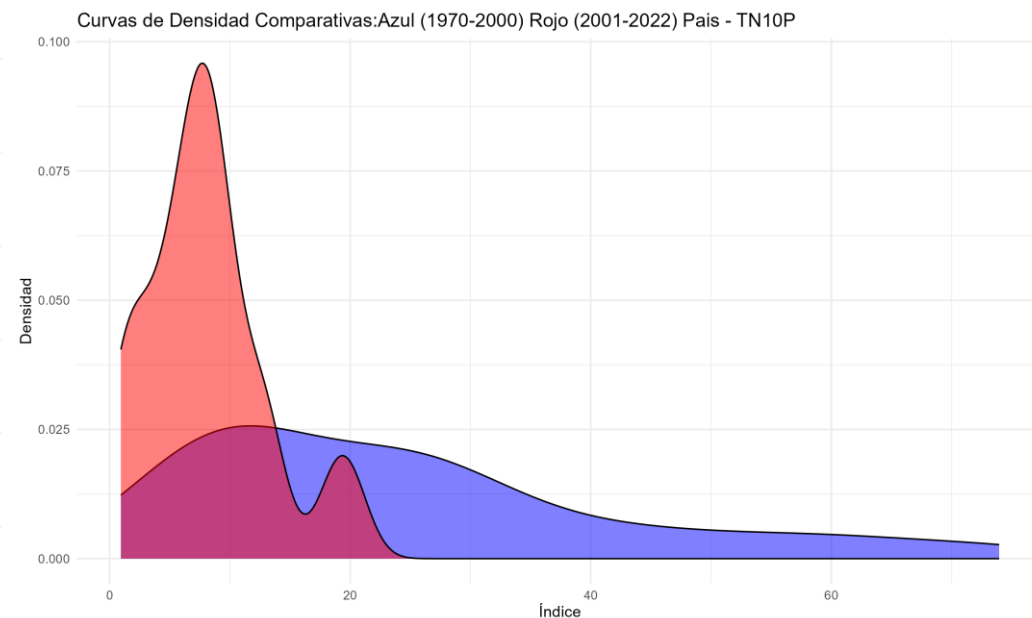
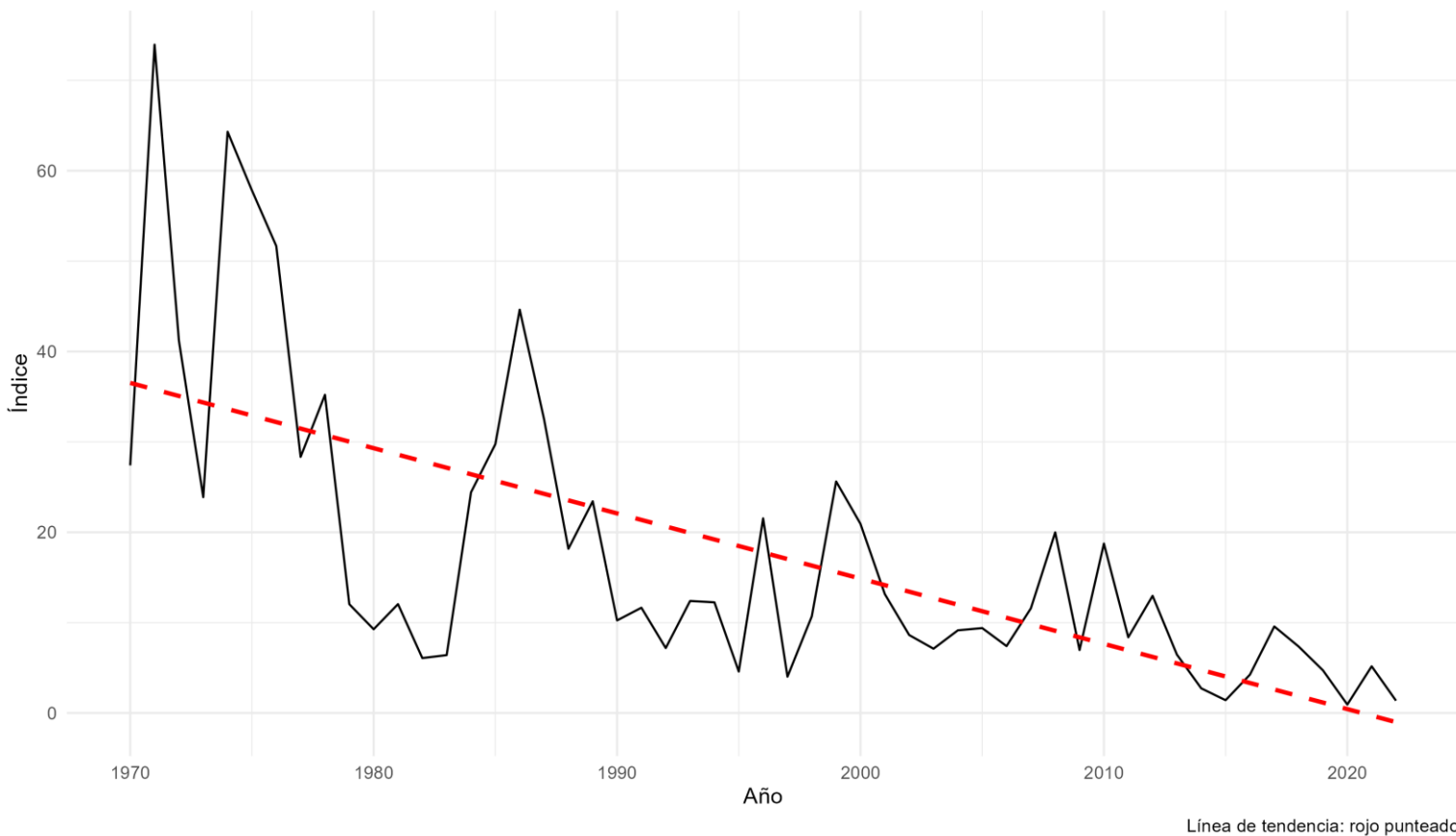
Línea de tendencia: rojo punteado

Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) País - TNn

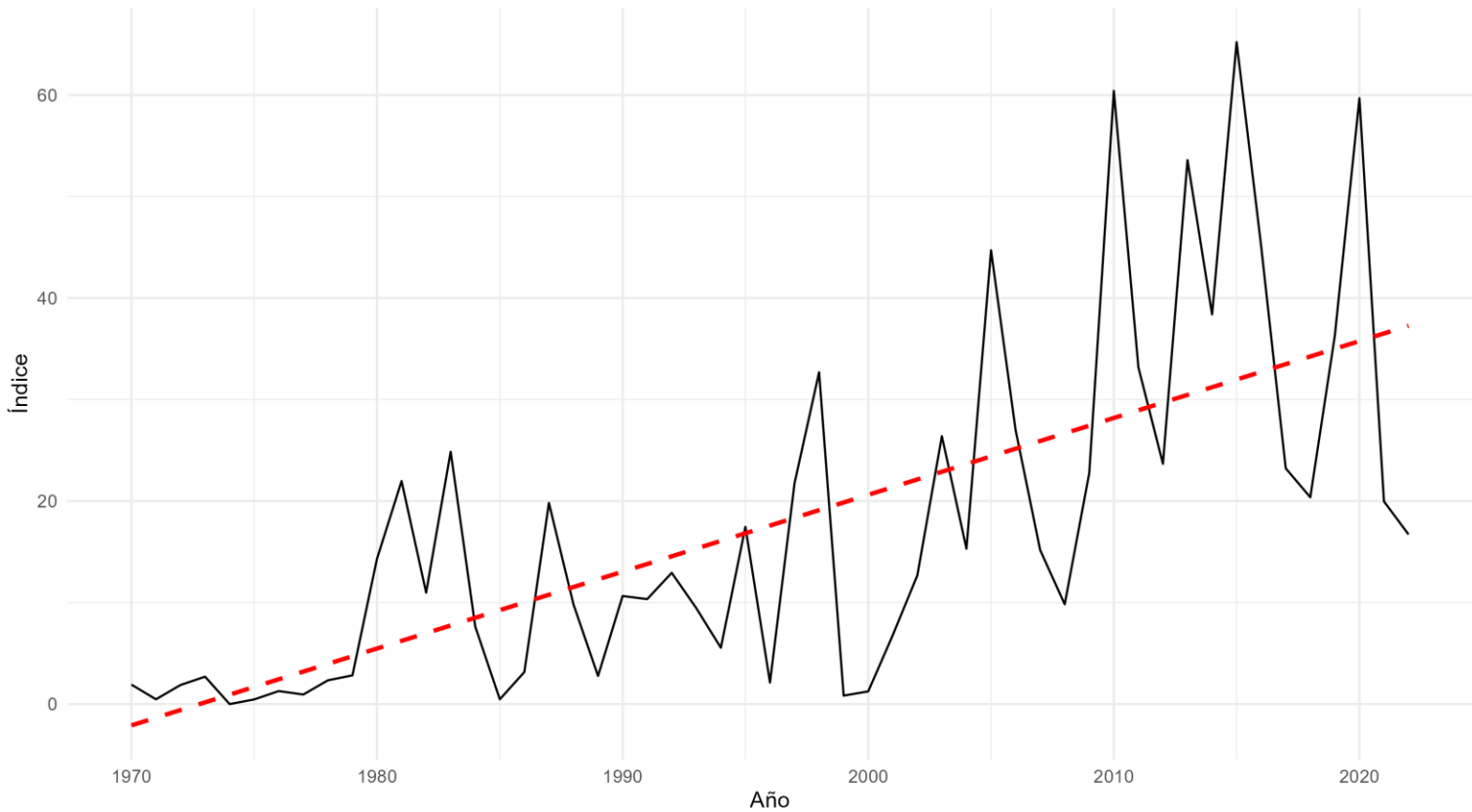


Tn10p Percentil 10 de temperatura mínima

Índice de Cambio Climático: País - TN10P

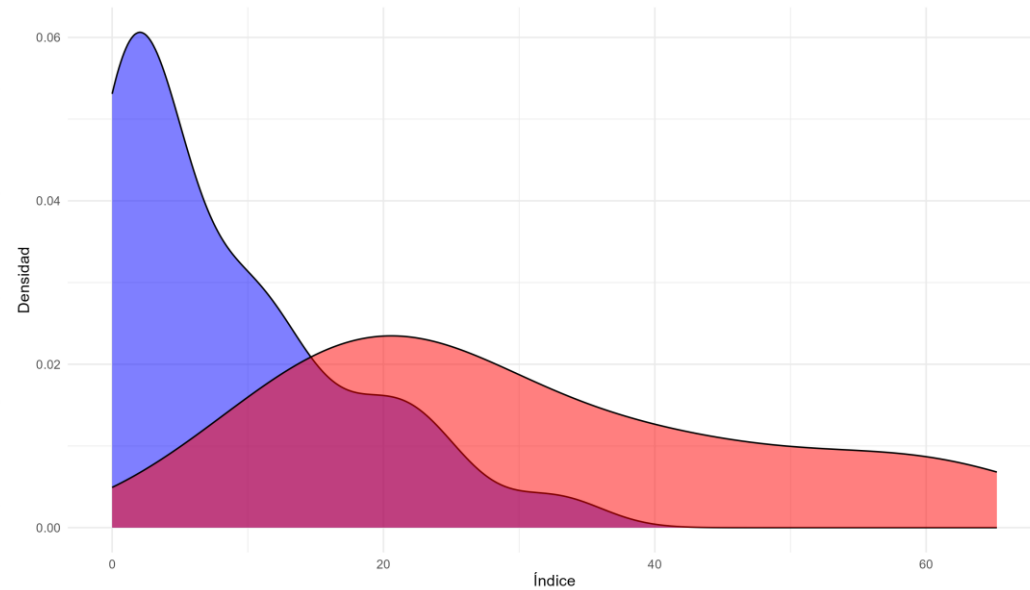


Índice de Cambio Climático: País - TN90P



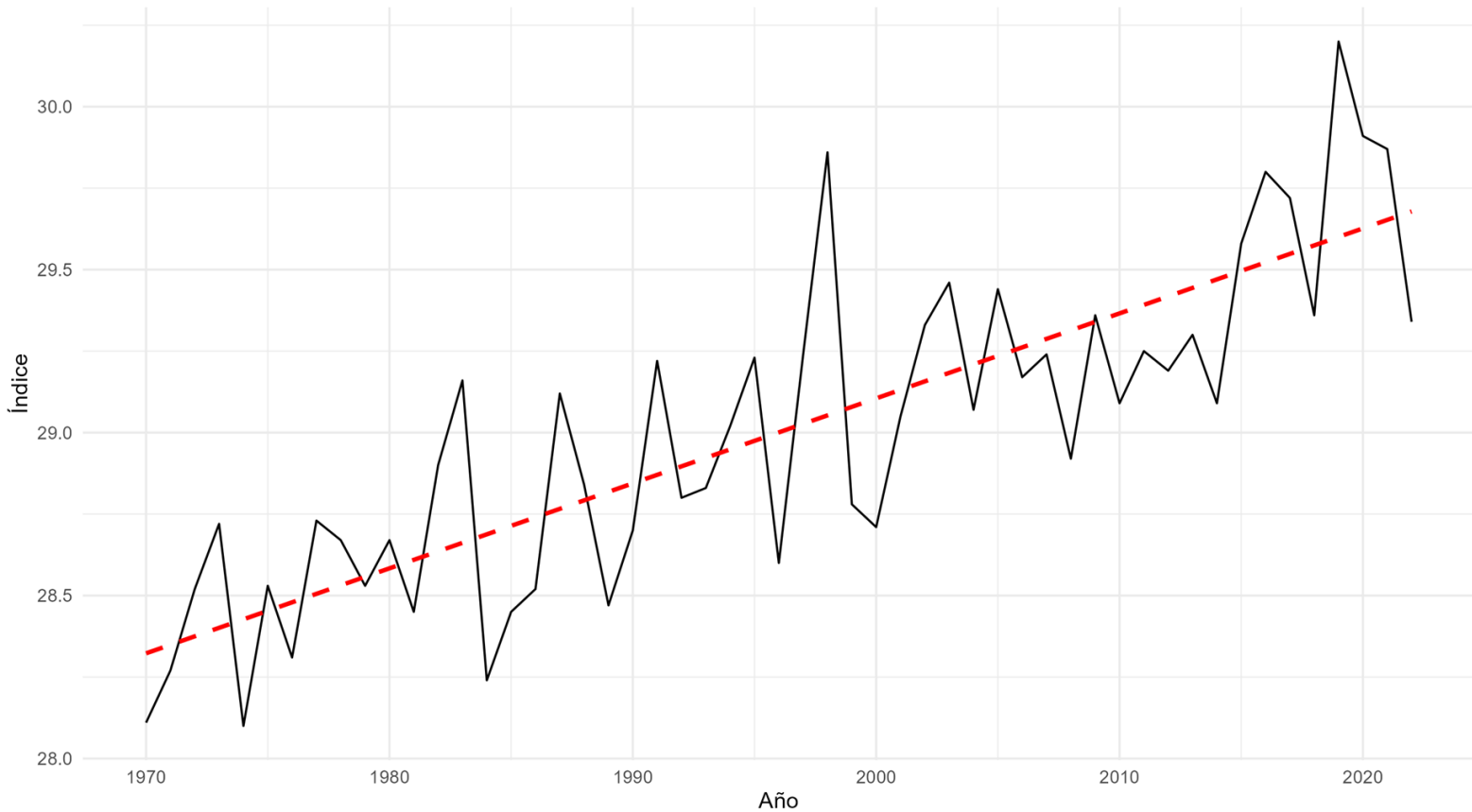
Línea de tendencia: rojo punteado

Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) País - TN90P



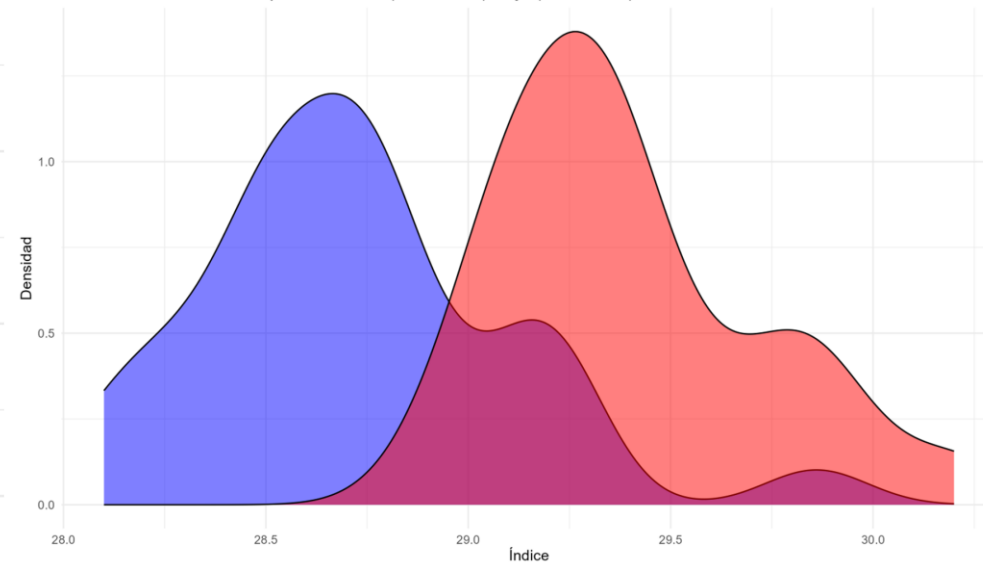
Tmax_mean Promedio de temperatura máximas

Índice de Cambio Climático: País - TMAXmean



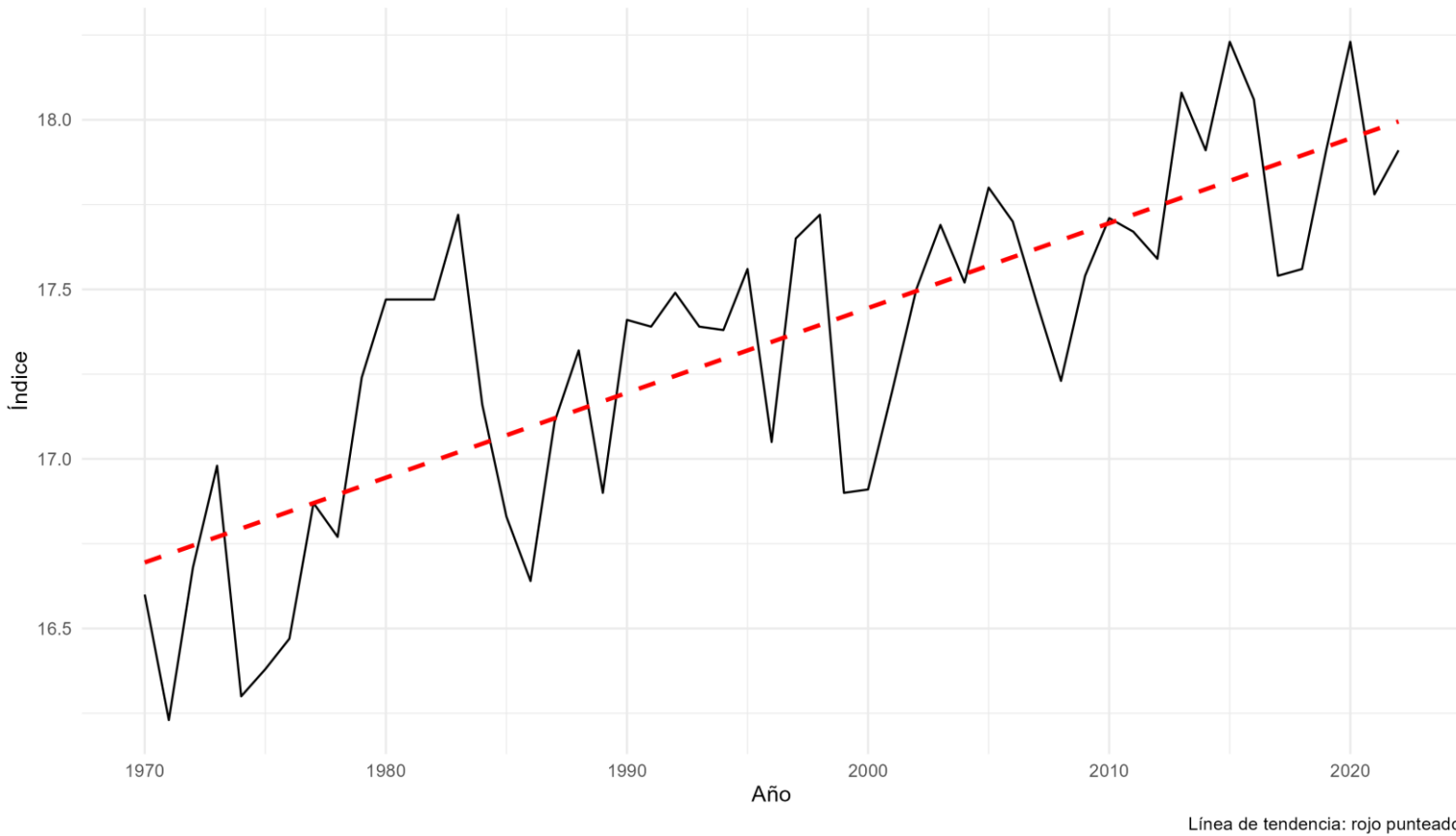
Línea de tendencia: rojo punteado

Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) País - TMAXmean

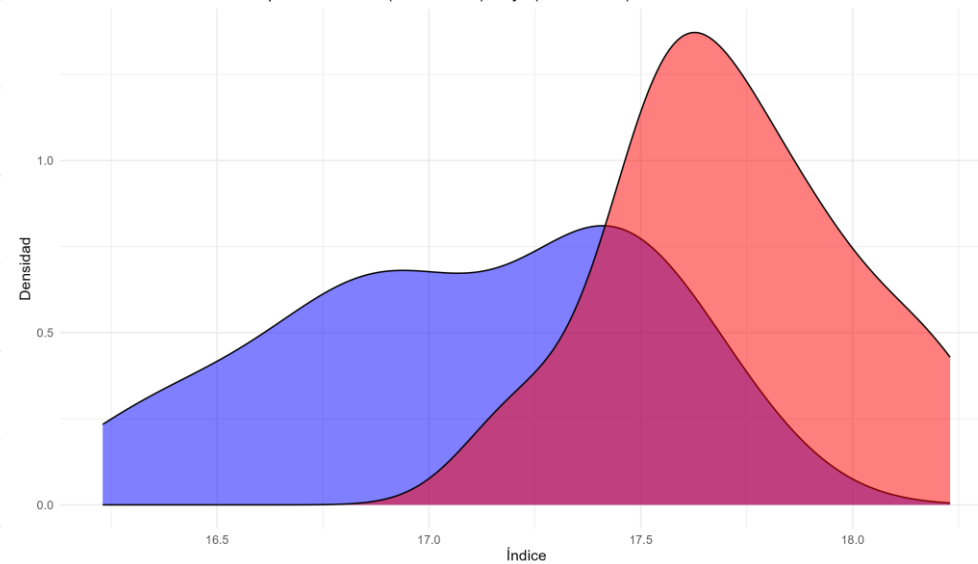


Tmin_mean Promedio de temperatura mínimas

Índice de Cambio Climático: Pais - TMINmean

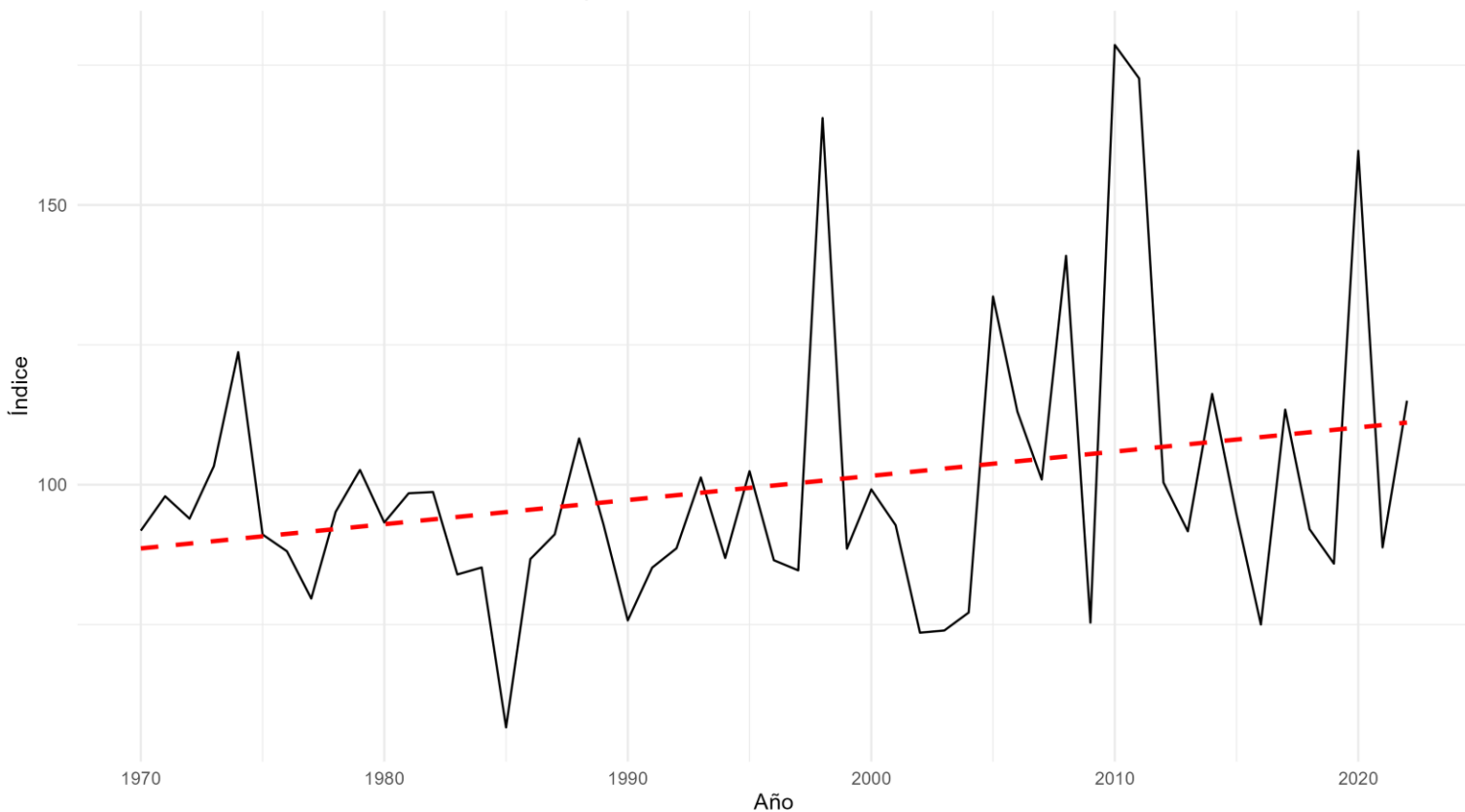


Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) Pais - TMINmean



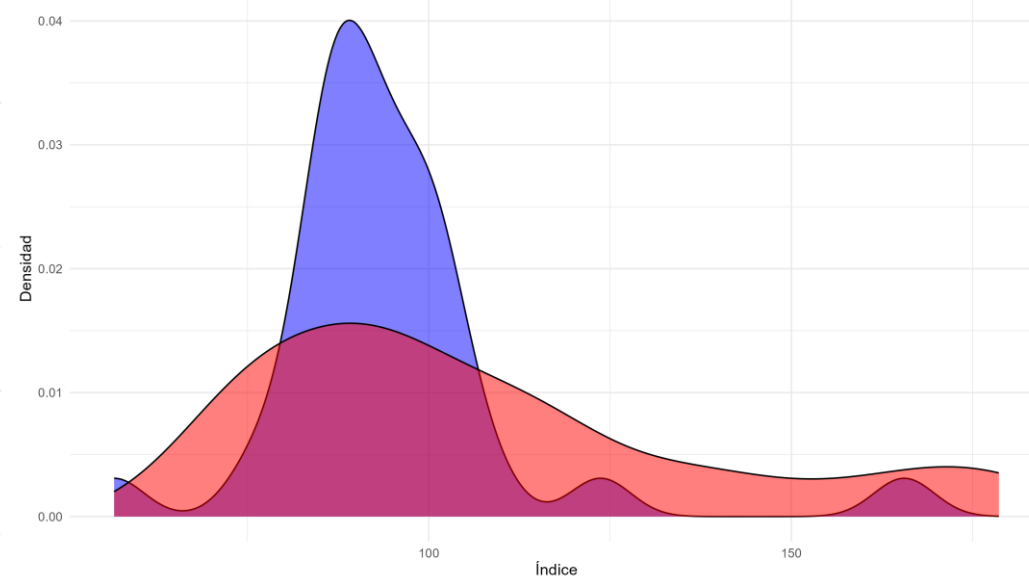
R5day Precipitación máxima en 5 días consecutivos

Índice de Cambio Climático: Pais - RX5day



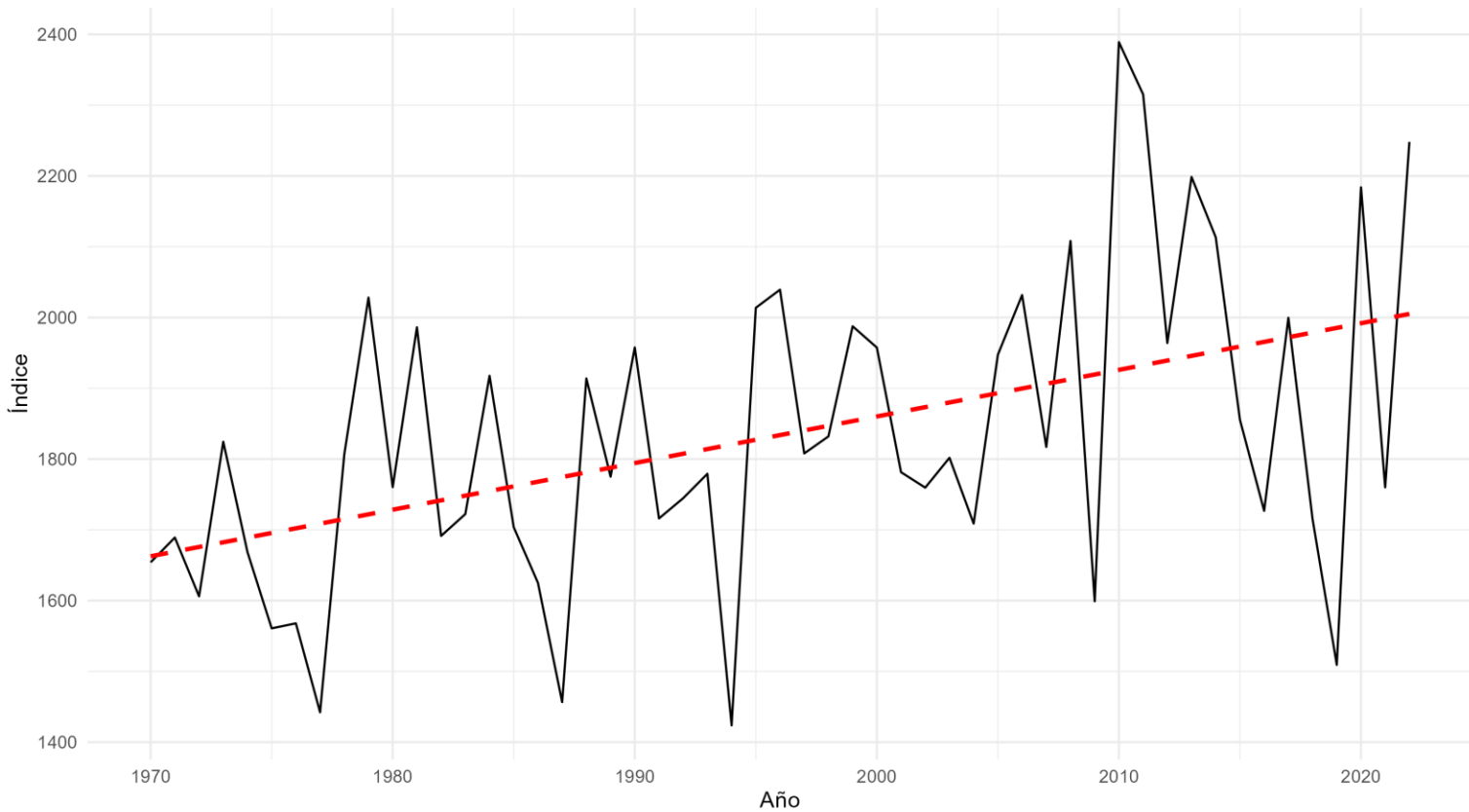
Línea de tendencia: rojo punteado

Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) Pais - RX5day



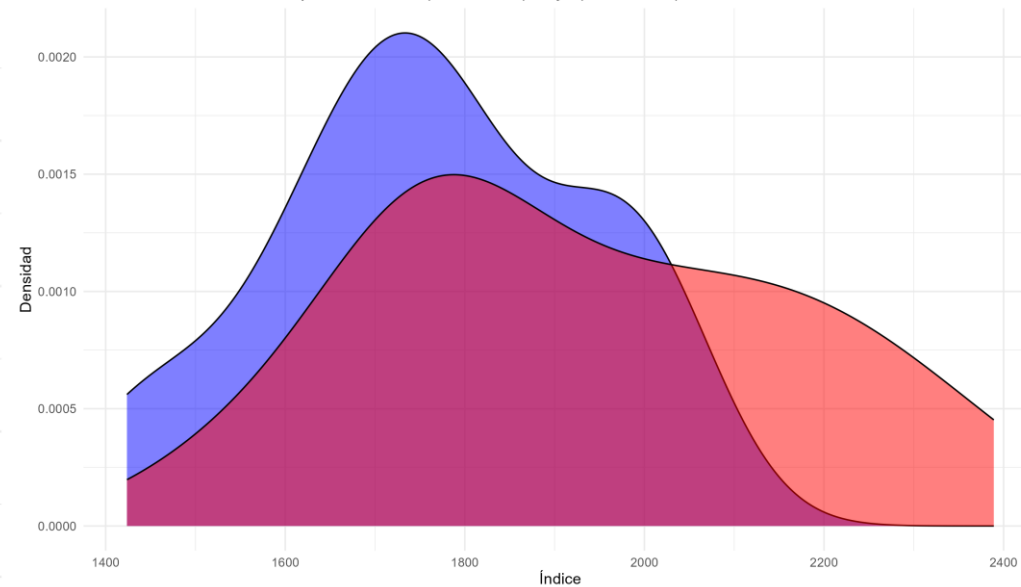
Prcptot Precipitación total anual

Índice de Cambio Climático: Pais - PRCPTOT



Línea de tendencia: rojo punteado

Curvas de Densidad Comparativas:Azul (1970-2000) Rojo (2001-2022) Pais - PRCPTOT



Algunas conclusiones preliminares

- En general, se obtiene señal de un incremento en el número periodos cálidos para todas las regiones; sur y central, norte, este y oeste.
- Ligero decremento para el número de días fríos para todas las regiones.
- Frecuencia de días calurosos ha ido en aumento en los últimos años.
- Cantidad máxima de precipitación en 5 días en aumento.
- Se indica un incremento de la precipitación total anual.

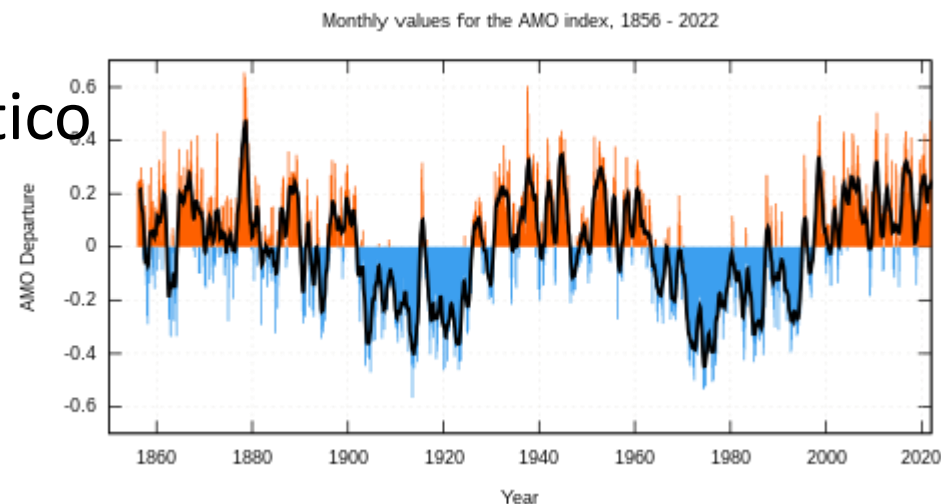
Índices climáticos: series temporales atmosféricas y oceánicas mensuales

- Los índices climáticos son medidas numéricas que resumen y representan varios aspectos del sistema climático de la Tierra.
- Estos índices generalmente se derivan de conjuntos de datos a largo plazo de variables atmosféricas y oceánicas, como temperatura, presión, temperatura de la superficie del mar y más.
- Algunos de estos índices climáticos están asociados con fenómenos climáticos específicos, como los eventos de El Niño y La Niña, mientras que otros capturan tendencias climáticas más amplias.

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

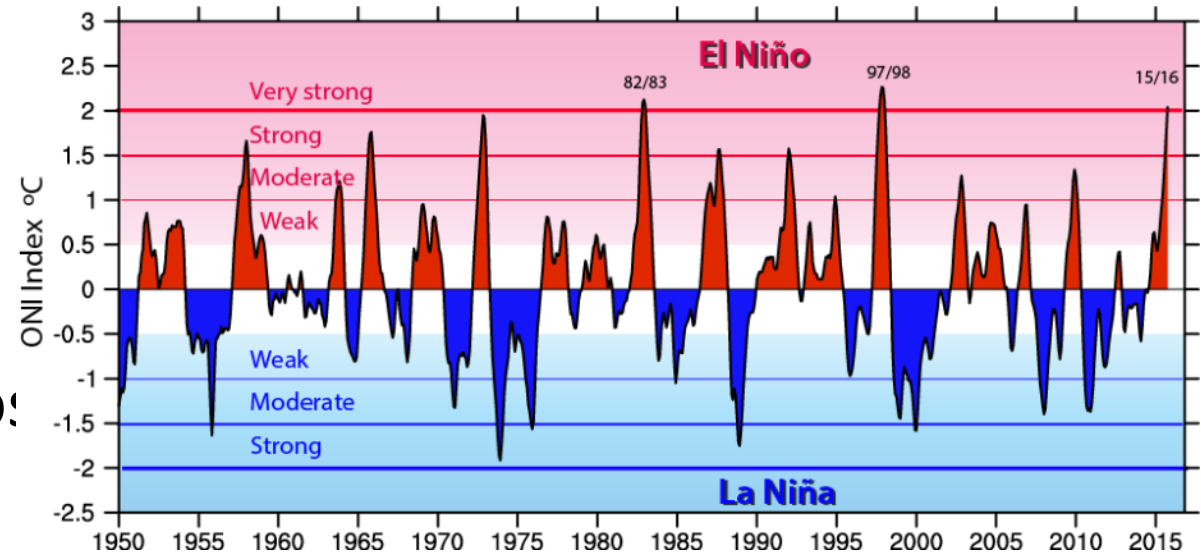
Índices Climático utilizados (Teleconexiones Climáticas)

- AMO (Índice de Oscilación Multidecadal del Atlántico): representa las variaciones en las temperaturas superficiales del océano Atlántico Norte en escalas Multidecadal.
- TNA (Anomalía de la Temperatura de la Superficie del Mar en el Atlántico Tropical): mide las anomalías de temperatura en la superficie del mar en la región tropical del océano Atlántico.
- TSA (Temperatura de la Superficie del Mar): Temperatura de la Superficie del Mar, que es la temperatura del agua en la capa superior del océano.

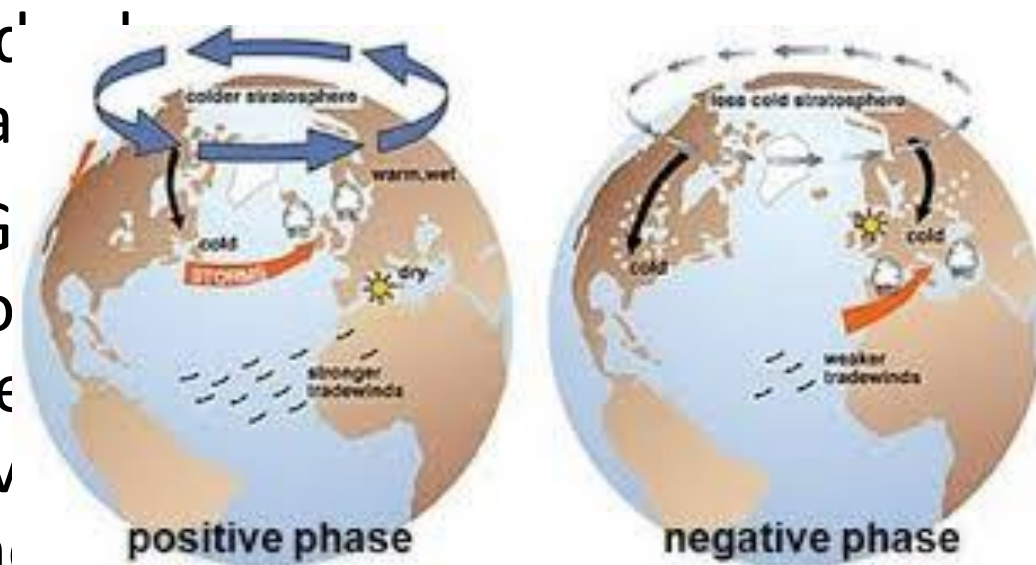


https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation#/media/File:Atlantic_Multidecadal_Oscillation.svg

- ONI (Índice de Niño Oscilación del Sur): Este índice representa la variación en la temperatura de la superficie del mar en la región tropical del Pacífico ecuatorial.
- QBO (Oscilación Cuasi-Bienal): La QBO es una oscilación en los vientos en la estratosfera tropical que cambian de dirección aproximadamente cada dos años
- ESPI (Índice de Patrón de Oscilación de El Niño): El ESPI es un índice que mide la fase y la amplitud de los eventos de El Niño y La Niña en el océano Pacífico ecuatorial.



- Índice Solar: relacionado con la actividad del número de manchas solares o la radiación solar.
- GML/OT (Índice de Masa de Aire Libre G/Temperatura del Océano): Este índice combina mediciones de la temperatura de la superficie del océano y la temperatura del aire para evaluar condiciones climáticas globales y las tendencias.

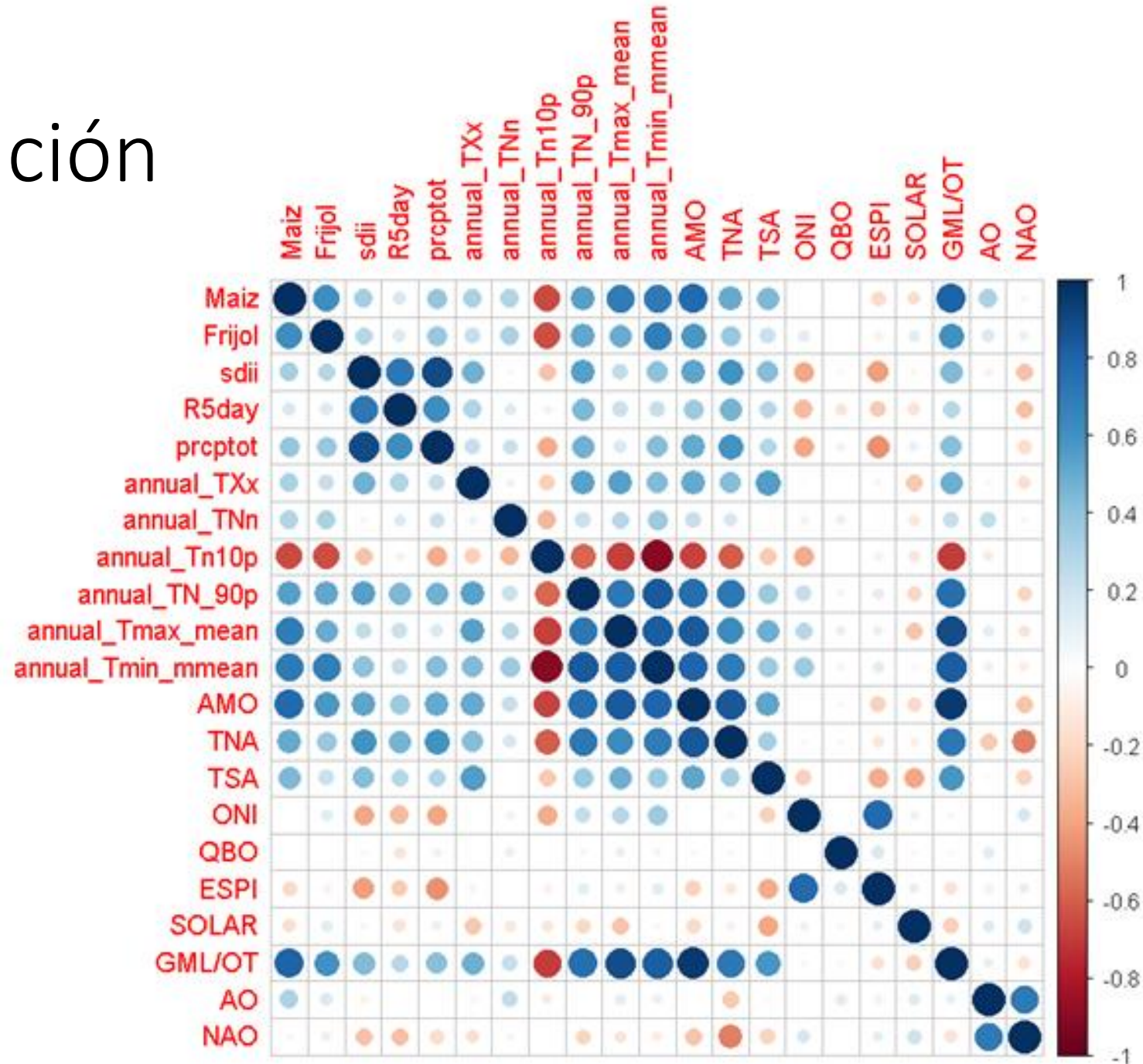


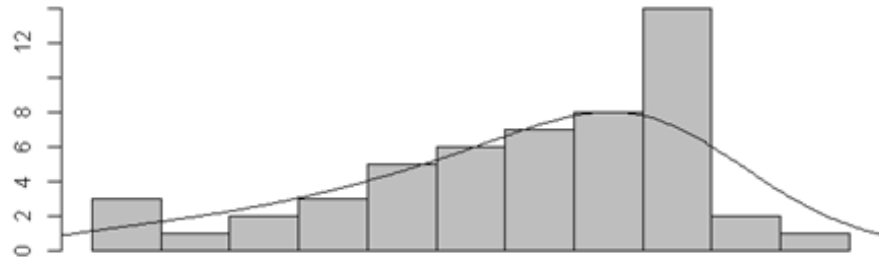
http://appinsys.com/globalwarming/ao_nao.htm

- AO (Índice de Oscilación del Ártico): La AO representa la variabilidad en la presión atmosférica en el Ártico y puede afectar los patrones climáticos en las latitudes medias del hemisferio norte.
- NAO (Índice de Oscilación del Atlántico Norte): La NAO mide las diferencias en la presión atmosférica entre el área subtropical y el área polar del Atlántico Norte.

Análisis de Correlación

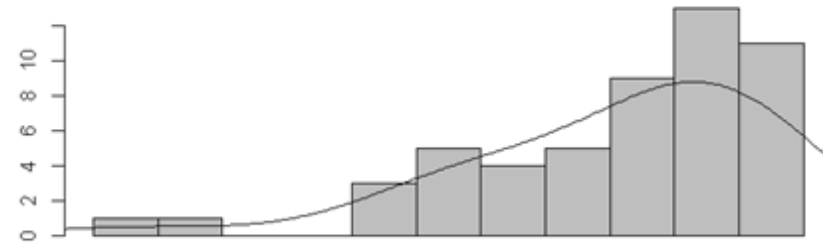
- Representación gráfica de las correlaciones entre variables climáticas y rendimientos de maíz y frijol.



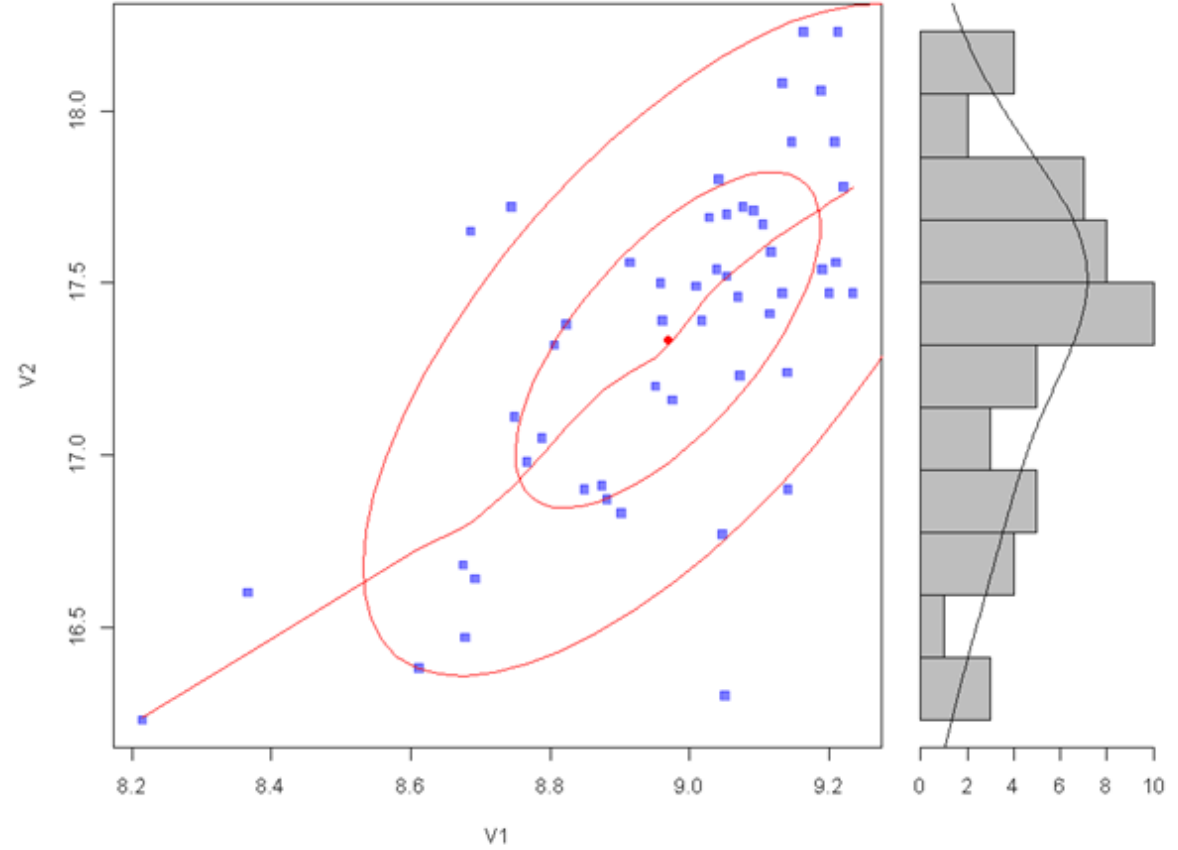
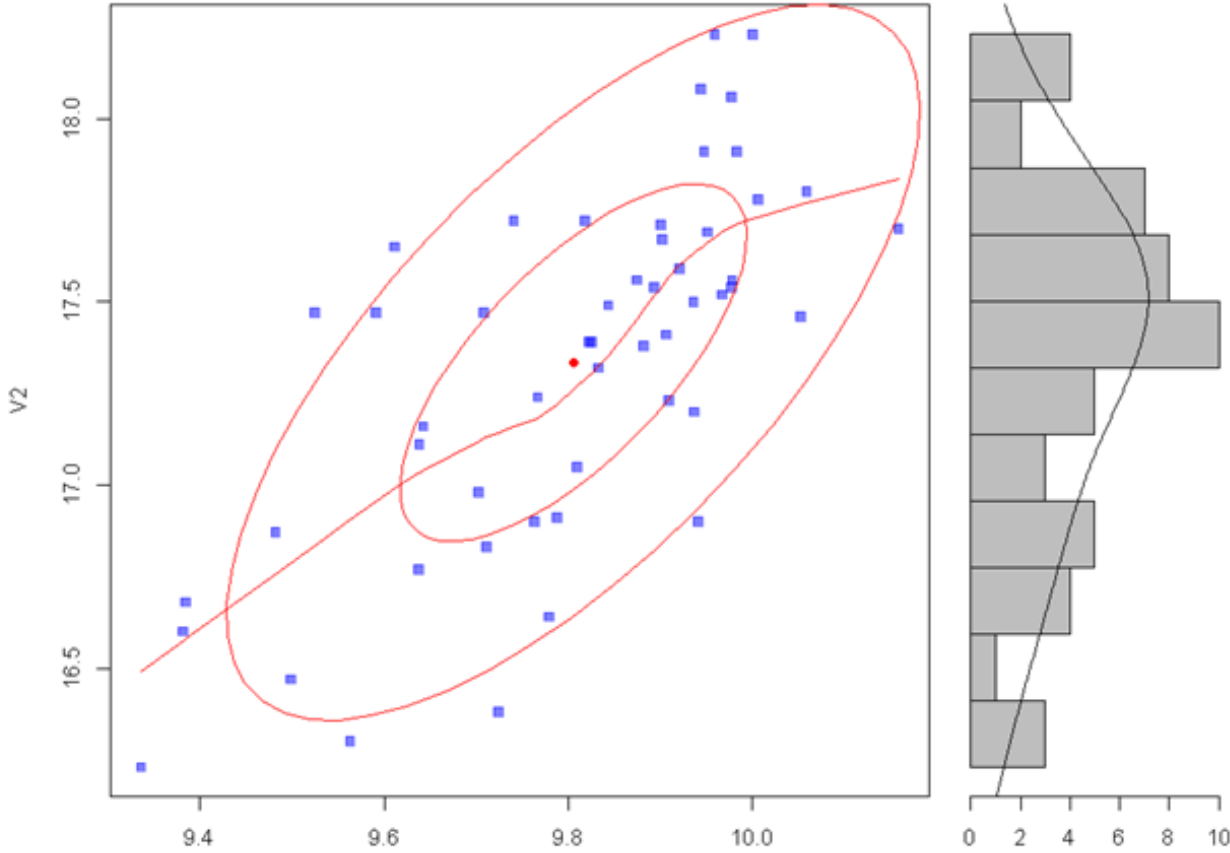


$r = 0.71$

Existe una correlación de 0.71 entre el maíz y la temperatura mínima promedio.

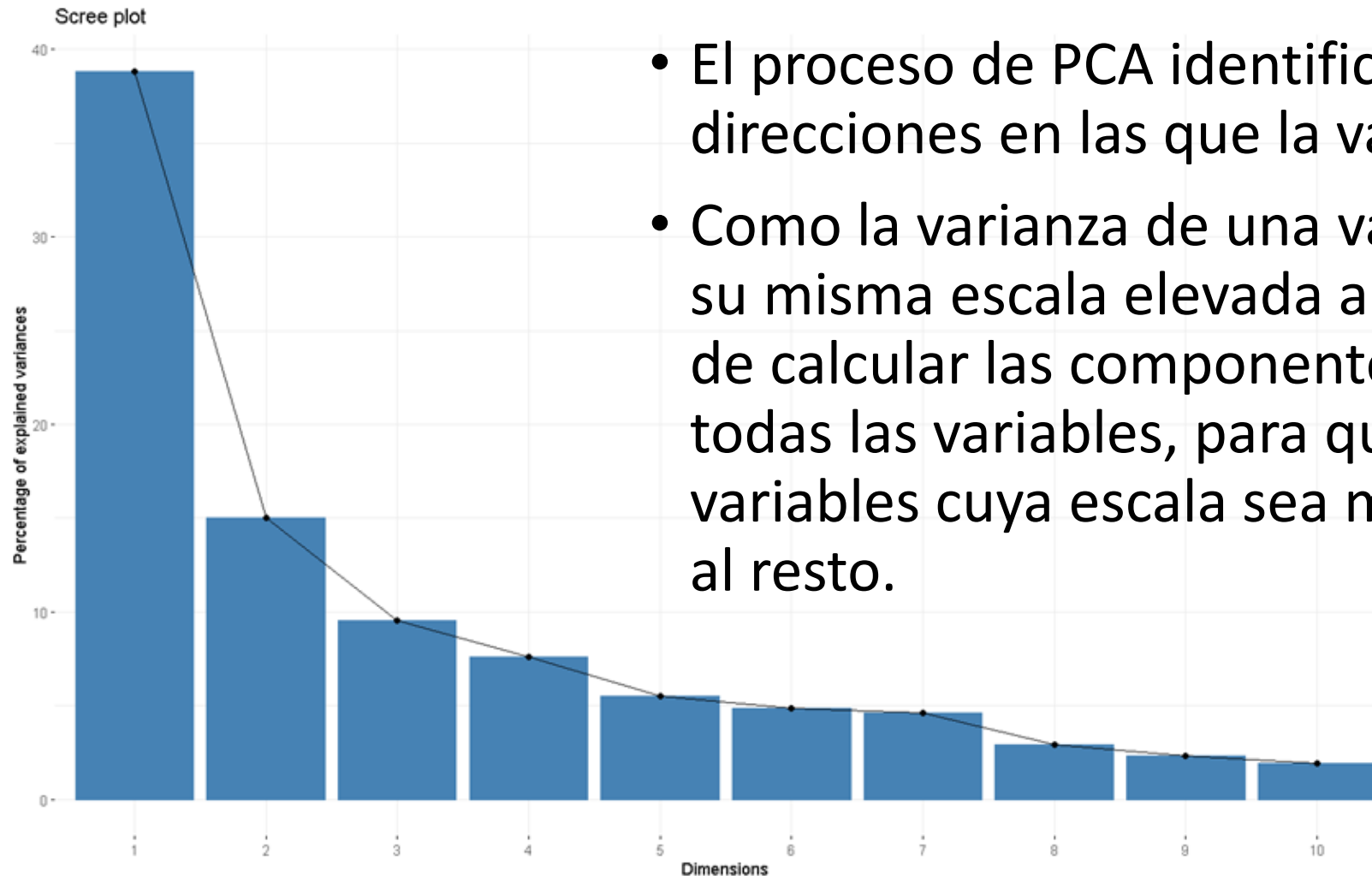


$r = 0.68$



0.68 entre el frijol y la temperatura mínima promedio.

Análisis de Componentes Principales (PCA)



- El proceso de PCA identifica aquellas direcciones en las que la varianza es mayor.
- Como la varianza de una variable se mide en su misma escala elevada al cuadrado, antes de calcular las componentes se estandarizan todas las variables, para que aquellas variables cuya escala sea mayor no dominen al resto.

Valores de las dimensiones

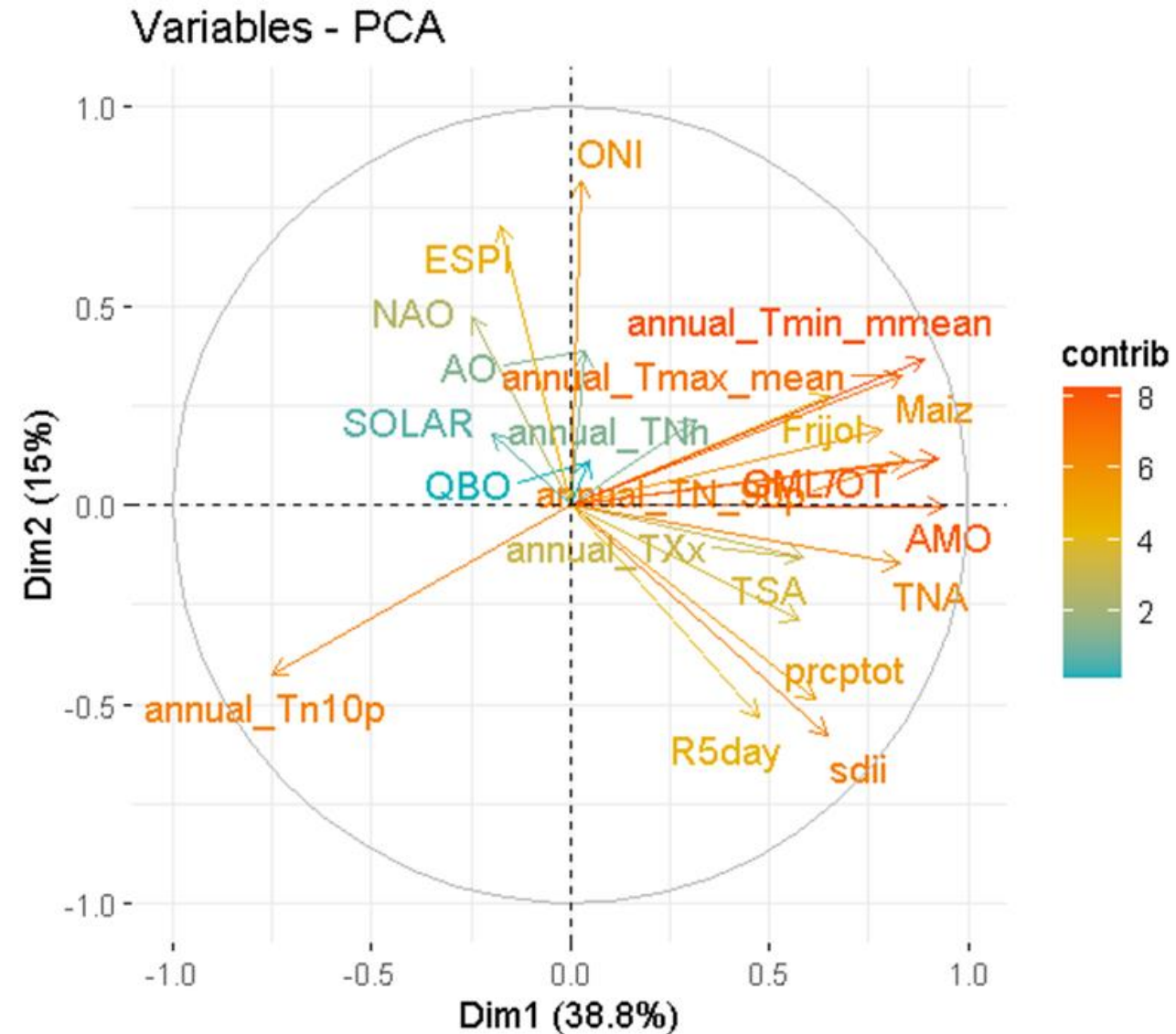
	eigenvalue	variance.percent	cumulative.variance.percent
Dim.1	8.15639282	38.8399658	38.83997
Dim.2	3.15745276	15.0354893	53.87546
Dim.3	1.99997161	9.52367433	63.39913
Dim.4	1.59709695	7.60522357	71.00435
Dim.5	1.15552891	5.50251863	76.50687
Dim.6	1.02572406	4.88440028	81.39127
Dim.7	0.97255584	4.63121827	86.02249
Dim.8	0.60813774	2.89589398	88.91838
Dim.9	0.48997804	2.33322877	91.25161
Dim.10	0.4068236	1.93725523	93.18887

Los eigenvalores se calculan a partir de la matriz de covarianza o la matriz de correlación de las variables .

Los eigenvalores en el análisis de componentes principales son números que indican la cantidad de varianza explicada por cada componente principal, lo que ayuda a seleccionar cuántas de estas componentes retener para reducir la dimensionalidad de los datos manteniendo la información más relevante.

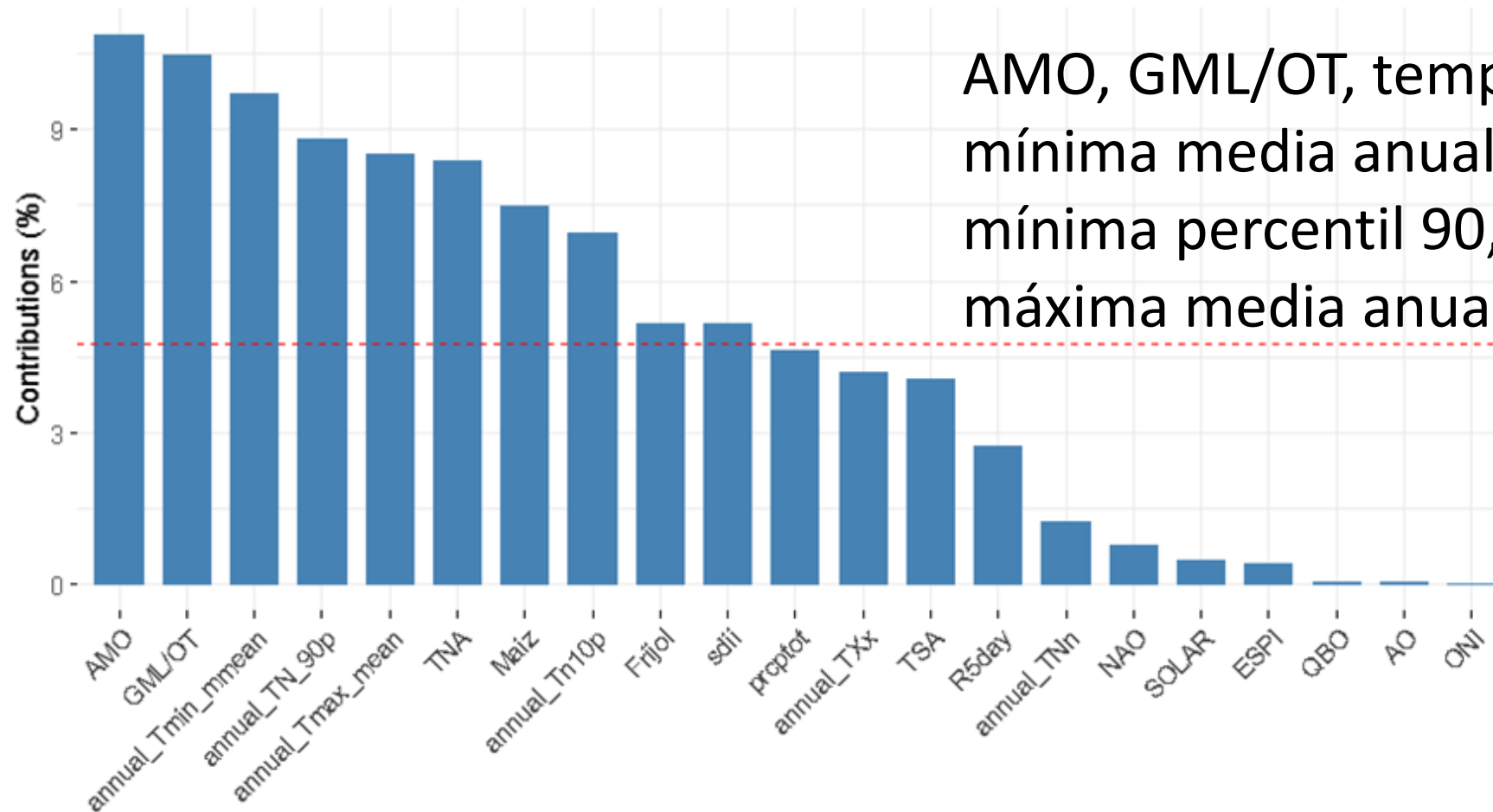
Círculo de correlación

- Gráfico de correlación de variables.
- Muestra las relaciones entre todas las variables.
- Las variables correlacionadas positivamente se agrupan. Las variables con correlación negativa se sitúan en lados opuestos del origen del gráfico (cuadrantes opuestos). La distancia entre las variables y el origen mide la calidad de las variables en el mapa de factores. Las variables que se alejan del origen están bien representadas en el mapa factorial.



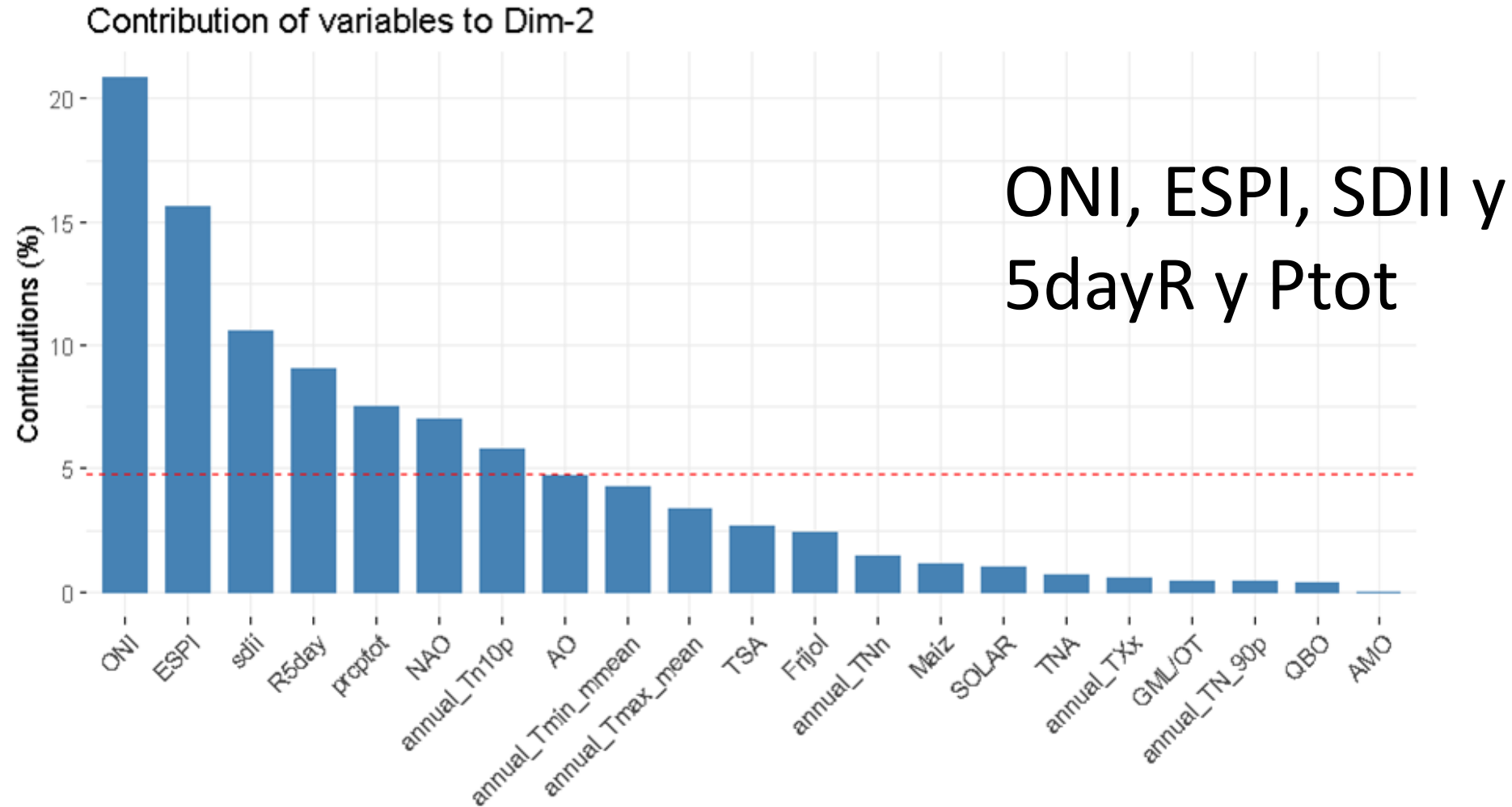
Contribución de variables en dimensión 1

Contribution of variables to Dim-1



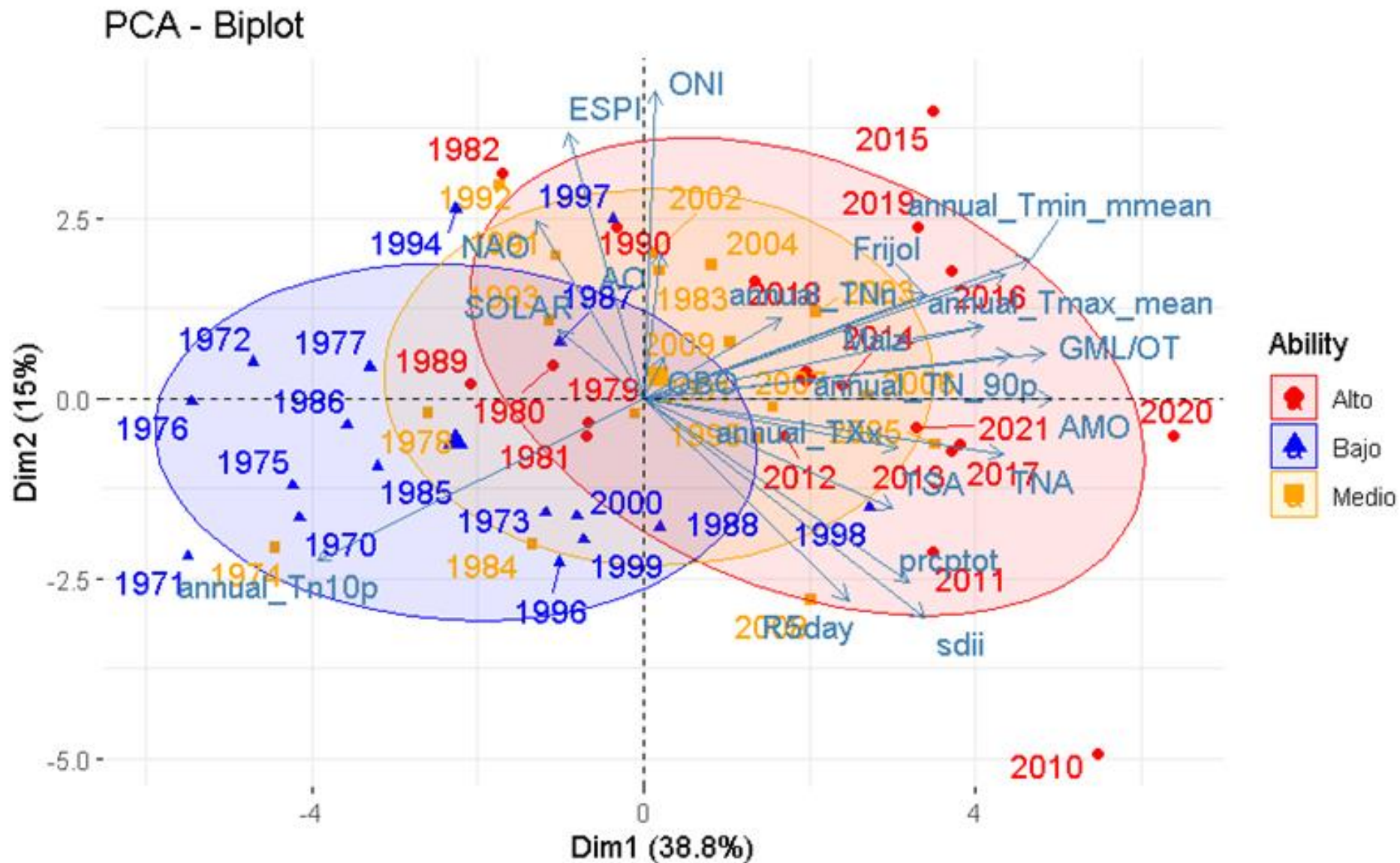
AMO, GML/OT, temperatura mínima media anual, Temperatura mínima percentil 90, Temperatura máxima media anual y TNA.

Contribución de variables en dimensión 2



Agrupación/Clúster

- La clasificación se desarrolla principalmente como un método para organizar grandes cantidades de datos y describir patrones de similaridad y disimilaridad.
- Método de K-means; este algoritmo de clasificación no supervisada agrupa objetos en k grupos basándose en la mínima suma de distancias entre cada objeto y el centroide de su grupo o cluster.
- El número óptimo de clústeres fue de 2 a 4 grupos.



Modelos de Regresión

- Con el propósito de predecir las categorías de rendimiento de cultivos (alta, media, baja), se implementaron modelos de regresión logística multinomial. Se utilizaron tanto variables climáticas representativas como las primeras componentes principales como predictores. El ajuste y rendimiento de los modelos se evaluaron utilizando métricas estadísticas como la desviación residual y la comparación mediante análisis de varianza (ANOVA).

Modelos con la Temperatura mínima

TN_Mean

- El resultado del modelo de regresión logística multinomial para predecir la categoría de Frijol o Maiz (Alto, Medio o Bajo) basado en la variable `annual_Tmin_mmean` (temperatura mínima promedio anual).:
- El modelo trata de predecir la categoría de Frijol o Maíz basándose en la temperatura mínima promedio anual.
- Los coeficientes negativos sugieren que a medida que aumenta la temperatura mínima promedio anual, la probabilidad de pertenecer a las categorías "Bajo" y "Medio" en lugar de "Alto" tiende a disminuir.
- Entre más valor de Temperatura mínima anual promedio menos probabilidad de que sea bajo o medio.
- #En R usar paquete `nnet`.
- `ml <- multinom(Categoria_Frijol ~ annual_Tmin_mmean, data = Dat)`

Modelo con la PC1

- Los resultados del modelo de regresión logística multinomial indican cómo las categorías "Bajo" y "Medio" de la variable de respuesta "Categoria_Frijol o Maiz" se relacionan con la primera componente principal (pc1) del modelo de Análisis de Componentes Principales.
- Los coeficientes y errores estándar indican cómo los log-odds de pertenecer a cada categoría cambian en función de los valores de pc1. Entre más valor del PC1 menos probabilidad de que sea bajo o medio.
- `multinom(Categoria_Frijol~pc1, data=Dat)`

Prueba anova entre modelos

- Compara el modelo m_1 que usa la temperatura mínima promedio anual y m_1 que usa la primera componente principal: $> \text{anova}(m_1, m_1)$.
- La estadística de razón de verosimilitud y el valor p indican que no hay una diferencia significativa entre los dos modelos en términos de ajuste a los datos.
- Esto significa que ambos modelos proporcionan un ajuste similar a los datos, y no hay suficiente evidencia para preferir uno sobre el otro en función de esta prueba.

Impacto del Clima en Frijol

- Resultados para el Frijol:
- Correlación Mixta: Para el frijol, observamos una correlación mixta con el clima. La temperatura mínima del percentil 10 se relaciona negativamente, mientras que otras medidas de temperatura y la AMO están positivamente correlacionadas.
- Sensibilidad a la Temperatura: El frijol parece ser sensible a la temperatura mínima en el extremo inferior, lo que podría tener implicaciones para su producción.

Impacto del Clima en Maíz

- Resultados para el Maíz:
- Correlación Positiva: Hemos encontrado una correlación positiva entre el rendimiento del maíz y variables climáticas como la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) y diversas medidas de temperatura.
- Influencia de la Temperatura: En particular, temperaturas más altas se asocian con mayores rendimientos de maíz en ciertos casos.

Conclusiones Preliminares

- Impacto del Clima: Vemos señales que el clima, incluyendo la temperatura y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO), influye significativamente en el rendimiento de maíz y frijol en Guatemala.
- Sensibilidad Diferencial: Maíz y frijol muestran diferentes patrones de sensibilidad al clima. El maíz tiende a beneficiarse de temperaturas más altas, mientras que el frijol es sensible a temperaturas mínimas más bajas.
- Teleconexiones Climáticas: Identificamos la importancia de las teleconexiones climáticas, como la AMO y el Índice del Atlántico Norte Tropical (TNA), en la producción de cultivos.
- Reducción de Dimensionalidad: El uso del análisis de componentes principales (PCA) nos permitió reducir la complejidad de los datos climáticos y encontrar patrones subyacentes.
- Modelos Predictivos: Los modelos de regresión logística multinomial basados en variables climáticas y componentes principales proporcionaron una visión más clara de cómo el clima afecta a las categorías de rendimiento.

Bibliográfica

- Agyekum, J., Annor, T., Quansah, E., Lamptey, B., & Okafor, G. (2022). Extreme precipitation indices over the Volta Basin: CMIP6 model evaluation. *Scientific African*, 16, e01181. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01181>
- Anderson, W., Muñoz, Á. G., Goddard, L., Baethgen, W., & Chourio, X. (2020). MJO teleconnections to crop growing seasons. *Climate Dynamics*, December 2019. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-05109-0>
- Carmona, F. (2014). Un ejemplo de ACP paso a paso. Departamento de Estadística, 1–7.
- Ines, A. V. M., & Hansen, J. W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1–4), 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.009>
- Wenden, A. L. (1981). Analisis De Componentes Principales. 3(September), 1–40.
- <https://www.fao.org/statistics/es/>
- <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>
- <https://www.fao.org/publications/home/about-fao-publishing/es>
- <https://github.com/ECCC-CDAS/RClmDex>