



VIII Congreso Nacional y
I Congreso Internacional
de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila
4 al 6 octubre 2023



ANÁLISIS ESTADÍSTICO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA ZONA SEMIDESÉRTICA DEL ESTADO DE ZACATECAS, MÉXICO

ERICK DANTE MATTOS VILLARROEL
CARLOS FRANCISCO BAUTISTA CAPETILLO
CRUZ ERNESTO AGUILAR RODRÍGUEZ
JAVIER MARTÍNEZ REYES



Fecha de presentación: 04 de octubre 2023

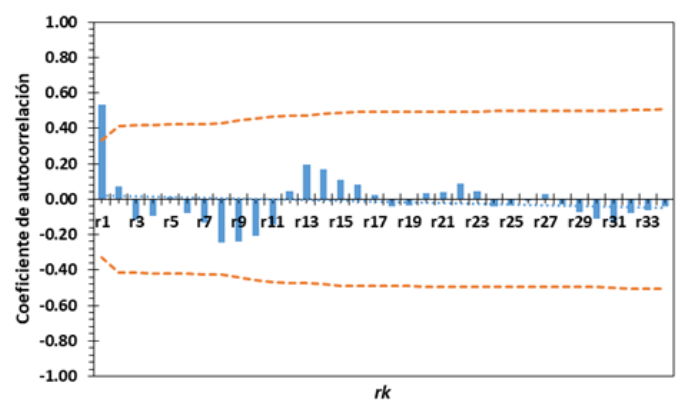
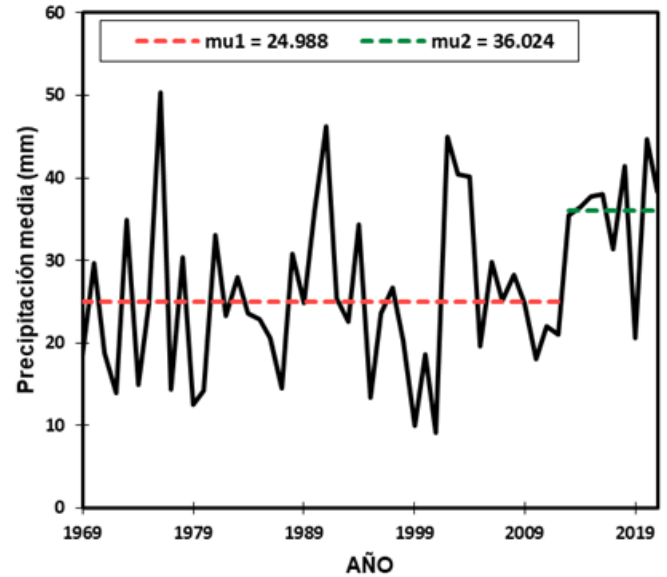


AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



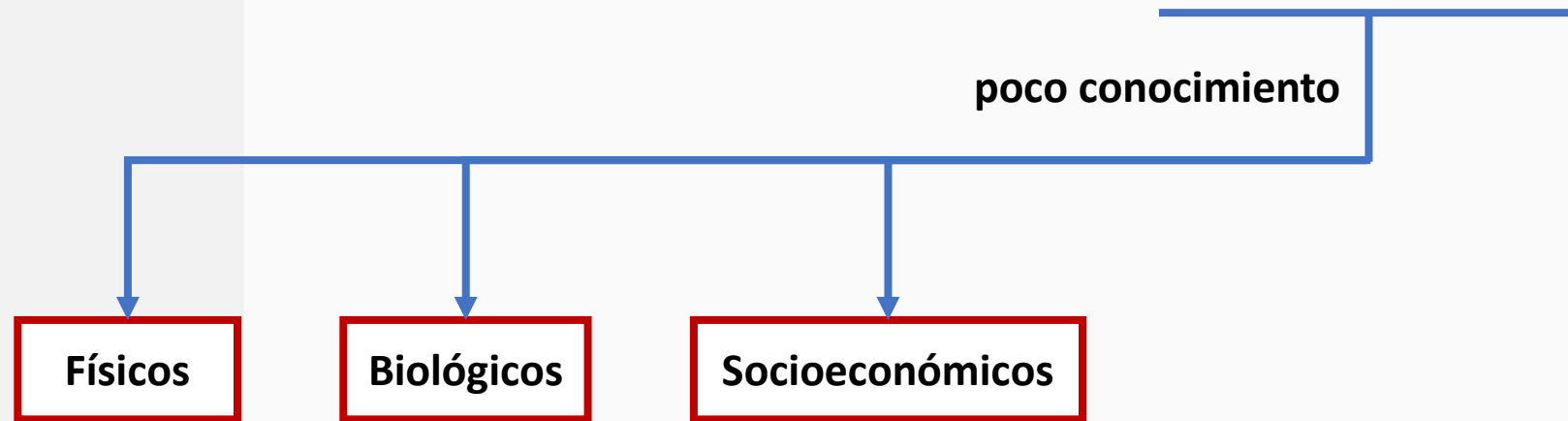
CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVO
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES



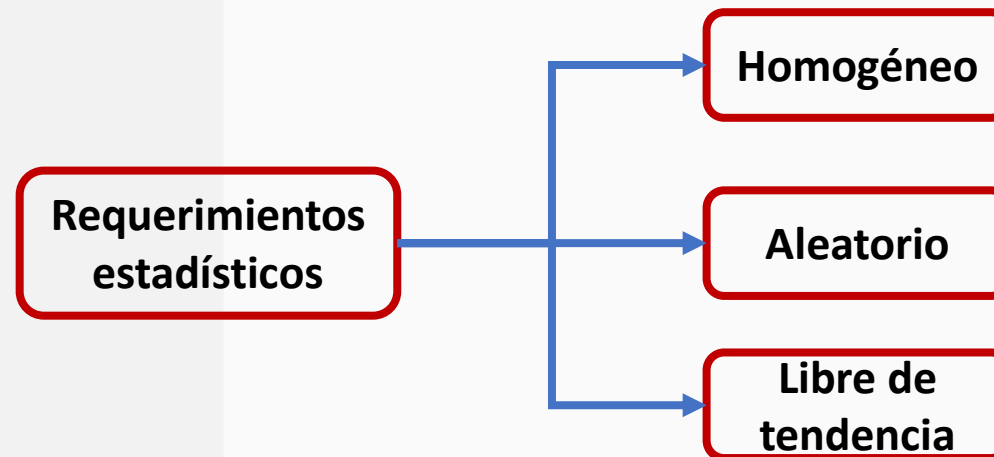
INTRODUCCIÓN

- El estudio del cambio climático (CC) y su impacto sobre la disponibilidad del agua y la vida humana es un tema que se trata de comprender y resolver para adaptarse a sus efectos.
- Proyecciones del impacto del CC son caracterizadas por incertidumbres



- Dificultad de anticipación y adaptación a los efectos del CC.

- Los eventos extremos atmosféricos son cada vez más severos y frecuentes. Estas aseveraciones requieren que los análisis estadísticos orientados a su predicción y pronóstico estén basados en series de datos meteorológicos de calidad (Campos-Aranda, 2020).



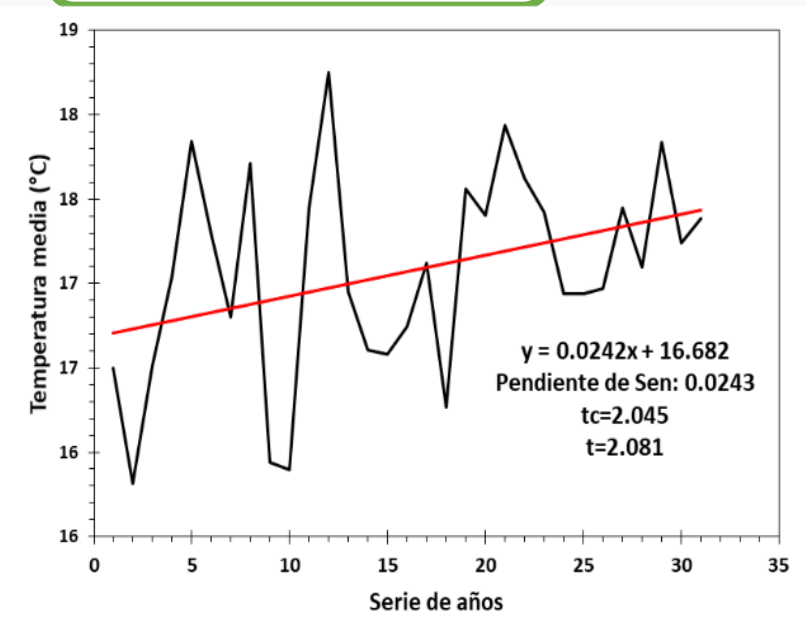
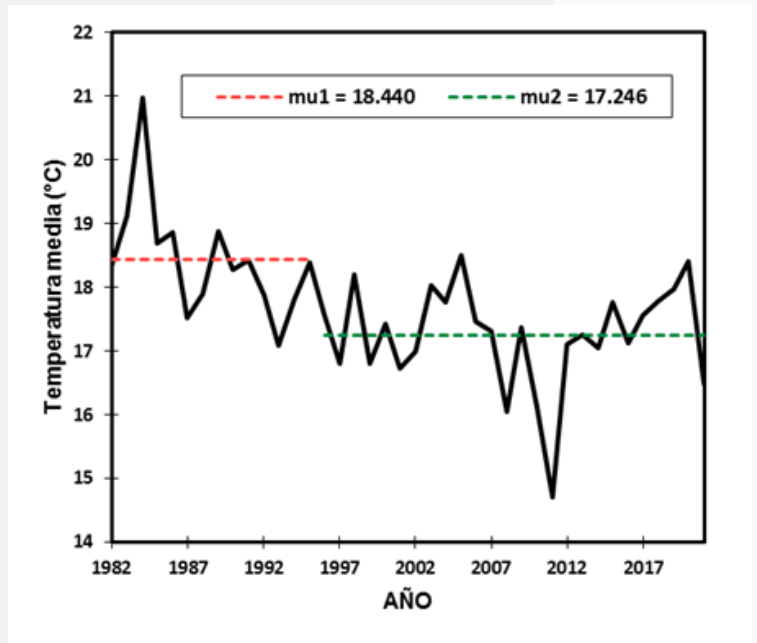
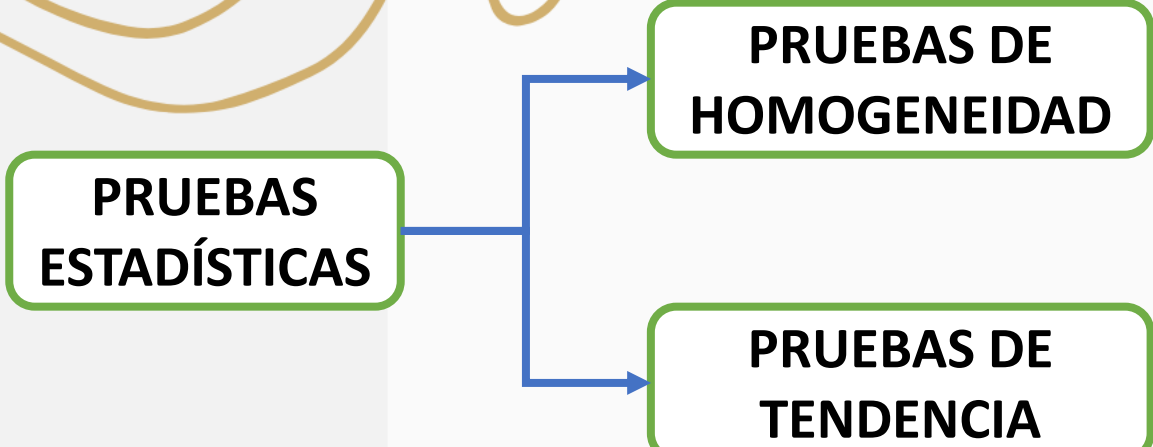


Fig. Prueba de homogeneidad y de tendencia de la temperatura media.

• Estimación de datos faltantes

- ✓ Con frecuencia, la información de las series de datos de una estación climatológica no está completa.
- ✓ El método más adecuado debe tener en consideración:
 - ❖ Densidad y distribución espacial (función de la zona geográfica).
 - ❖ Distribución temporal.

AAA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	CUMULAD	MEDIA	MESES
1945			24.43	22.3	25.35	27.37	25.42	25.19	25.866	23.1	28.83	17.81	234.8	23.4	18
1946	16	18.43	24.24	24.431	26.36	26.34	23.84	25.6	25.584	24.26	24.48	28.58	277.8	23.1	12
1947	15.3	17.36	28.4	23.416	24.84	27.85	26.65	24.73	23.15	23.27	24.33	16.73	266.5	22.2	12
1948	15	18.37	24.66	24.45	26.57	27.2	24.84	26.4	24.966	24.37	19.87	18.83	278.2	22.5	12
1949	17.18	18.63	24.76	22.45	26.19	27.25	27.41	25.27	26.883	26.48	26.35	26.73	234.3	24.3	12
1950	26.53	22.18		25.747	26.53	26.4	25.23	25.83	25.15	18.32	16.38	17.24	255.3	23.3	14
1951	16.1	18.82	28.84	23.816	25.63	27.63	26.42	26.61	24.583	22.35	28.8	13.4	274.5	22.6	12
1952	13.16	18.83	28.64	23.844	26.3	26.3	25.82	26.53	25.783		22.82	24.26	255.5	23.2	14
1953	28.25	13.63	22.65	23.563	25.87	28.32		26.4		23.74	18.62		283.8	23.2	3
1954	16.66	16.27	28.46	13.885	13.74	13.68	28.83	28.31	28.683	28.14	17.23	12.66	223.8	18.6	12
1955	18.3	14.24	12.34	12.833	13.58	28.55	28.85	13.84	28.833	18.58	15.3	13.53	135.3	16.3	12
1956	12.85	12	15.38		18.32	18.22	28.23	18.5	18.166	17.33	16.33	14.48	183.1	16.6	14
1957	18.37	14.23	12.87	17.833	24.4	23.78	13.24	13.66	13.333	13.65	17.67	11.66	285.3	17.2	12
1958	18.83	18.32	14.32	18.416	28.23	28.53	15.37	15.74	15.483	15.52	15.83	12.18	182.4	15.2	12
1959	14.45	12.32	18.73	16.583	16.83	17.82	16.45	17.88	16.6	15.74	15.77	12.52	173.3	15.8	12
1960	13.23	3.787	14.56	16.383	17.55	18.87	17.84	17.16	17.866	16.73	16.47	16.23	183.5	15.8	12
1961	12.76	14.18	16.48	16.3	16.76	16.42	16.82	24.82	24.133	28.77	18.45	15.24	288.8	16.7	12
1962	5.383	3.333	16.32	24.8	25.73	24.33	22.32	22.44	24.583	17.56	14.47	13.1	245.5	18.8	12
1963	12	14.84	16.61	18.883	25.65	26.85	25.34	26.24	22.3	17.81	16.33	15.85	235.3	13.7	12
1964	16.42	16.74	13.18	28.833	22.1	25.27	26.27	25.73	24.883	22.42	13.38	16.18	255.4	24.3	12
1965	16.84	15.85	28.35	28.733	25.44	26.85	25.81	23.16	22.183	18.27	16.43	13.35	244.3	28.4	12
1966	12.18	12.41	18.35	24.333	24.33	25.88	25.85	24.38	25.383	13.33	17.88	15.23	242.8	28.2	12
1967	13.34	13.35	17.37	24.833	22.84	24.67	22.48	23.61	22.466	18.44	17.65	12.37	234.2	13.3	12
1968	18.14	18.1	12.83	17.8	24.76	22.62	23.24						148.5	16.3	7
1969	18.74	18.73	13.83	13.383	28.82	24.45	24.42	24.32	22.366	24.61	24.12	13.85	238.3	13.3	12
1970	18.84	13.36	14.34	28.866	28.85	28.27	13.53	13.34	13.833	13.23	14.33	14.53	282.8	16.8	12
1971	14.63	3.536	12.33	14.85	22.45	22.7	24.55	28	24	28.34	13.53	11.66	287.3	17.3	12
1972	18.56	18.37	14.73	18.733	23.4	23.33	22.46	24.82	28.166	18.55	16.23	12.27	283.2	17.4	12
1973	14.58	16.3	17.64	13.833	23.45	23.32	22.47	18.66		17.24	14.3	14.26	136.3	17.8	14
1974	13.66	13.74	17.33	28.85	23.45	23.45	22.5	24.82	28.333	16.76	14.73	14.73	243.3	18.3	12
1975	14.87	13.38	17.63	24.8	24.84	22.33	28.42	28.82	13.416	17.5	14.47	14.6	242.6	17.7	12
1976	14.6	13.44	17.73	13.45	24.85	23.3	13.34	28.65	13.266	16.74	12.33	13.3	286.6	17.2	12
1977	12.4	13.43	17.73	18.733	22.55	22.35	24.74	22.35	24.3	13.13	14.58	13.15	245.5	18.3	12
1978	12.5	12.64	16.68	28.8	23.86	23.63	22.74	24.11	18.45	16.34	15.18	12.35	246.1	18.8	12
1979	12.77	13.38	17.34	28.85	23	22.57	23.82	24.88	13.746	13.82	13.58	13.23	228.4	18.4	12
1980	12.37	14.12	18.3	13.416	23.34	24.37	22.4	24.35	28.333	18.1	13	14.35	224.4	18.5	12
1981	3.634	14.16	17.23	13.483	22.33	22.35	22.4	24.53	13.8	18.73	13.85	12.56	244.8	17.3	12
1982	12.74	14.35	28.18	22.4	23.16	25.13	24.42	24.5	24.133	18.56	15.27	14.26	226.8	18.8	12
1983	18.77	13.18	16.13	13.55	22.33	23.32	24.82	28.85	13.533	17.58	14.45	12.68	218.7	17.6	12
1984	14.13	12.26	16.48	28.45	24.74	24.77	13.34	13.37	18.633	18.53	13.37	13.34	287.6	17.3	12
1985	14.63	14.52	18.13	13.383	23.32	22.4	28.45	28.37	28.646	18.61	15.1	14.53	246.4	18.8	12
1986	14.18	14.74	16.73	24.833	24.35	24.82	28.6	24.4	13.446	16.87	16.45	12.13	243.1	17.8	12
1987	8.887	14.2	17.32	28.383	24.85	22.82	24.85	24.23	13.85	17.85	14.52	14.18	243.3	17.8	12
1988	13.23	15.83	16.83	13.883	23.65	22.18	28	13.87	28.35		16.62		188.5	18.8	18
1989	14.77	15.43	16.14	28.8	24.61	25.53	22.65	24.85	13	13.37	14.3	13.48	223.7	18.6	12
1990	13.65	14.2	18.23	13.3	24.24	23.88	13.87	18.45	17.6	17.32	17.68	13.48	243.2	18.3	12
1991	12.47	15.8	16.14	13.883	24.6	23.72	13.87	18.45	17.6	17.83	17.72	13.56	247.7	18.1	12
1992	13.6	15.36	18.23	13.883	23.65	22.23	22.66	24.74	28	13.85	14.83	13.48	224.8	18.7	12
1993	13.23	14.55	18.23			22.88	22.42	22.23	13.566	17.33	15.14	13.83	178.5	17.8	18
1994	14.16	14.38	16.25	17.375	22.84	22.23	22.44	22.84	13.146	17.85	16.74	14.86	247.8	18.1	12
1995	14.25	14.24		17.888	23.87	23.45	24.36		28.666	17.23			143.7	18.7	8
1996	14.44	14.73	14.24	16.325	22.85	22.46	22.7	28.73	13.375	16.47	13.23	14.83	287.1	17.3	12
1997	18.22	12.77	13.83	16.833	13.63	22.85	24.3	24.13	13.833	17.13	14.64	8.5	133.8	16.6	12

Fig. Datos faltantes de la precipitación media.

OBJETIVO

Evaluar estadísticamente el cambio climático en la zona semidesértica del estado de Zacatecas por medio de las series de datos de las precipitaciones y temperaturas registradas en las estaciones climatológicas en la zona de estudio.



Fig. 35.5% del territorio zacatecano está en sequía moderada (Fuente: Líder empresarial, 2022)

METODOLOGÍA

- **Zona de estudio y selección de estaciones climatológicas**
 - Clima semiárido. Temperaturas medias mensuales mínimas y máximas de 6.5 °C y 29.6 °C, y precipitación media anual de 550 mm.
 - Superficie zona semidesértica de Zacatecas: 25 833 km².
 - Comprende las cuencas hidrológicas de Camacho-Gruñidora, Laguna de Mayrán y Viesca, Sierra de Rodríguez, parte de las cuencas de San Pablo y Río Aguanaval y la región norte de las cuencas de Matehuala y Frenillo-Yesca.

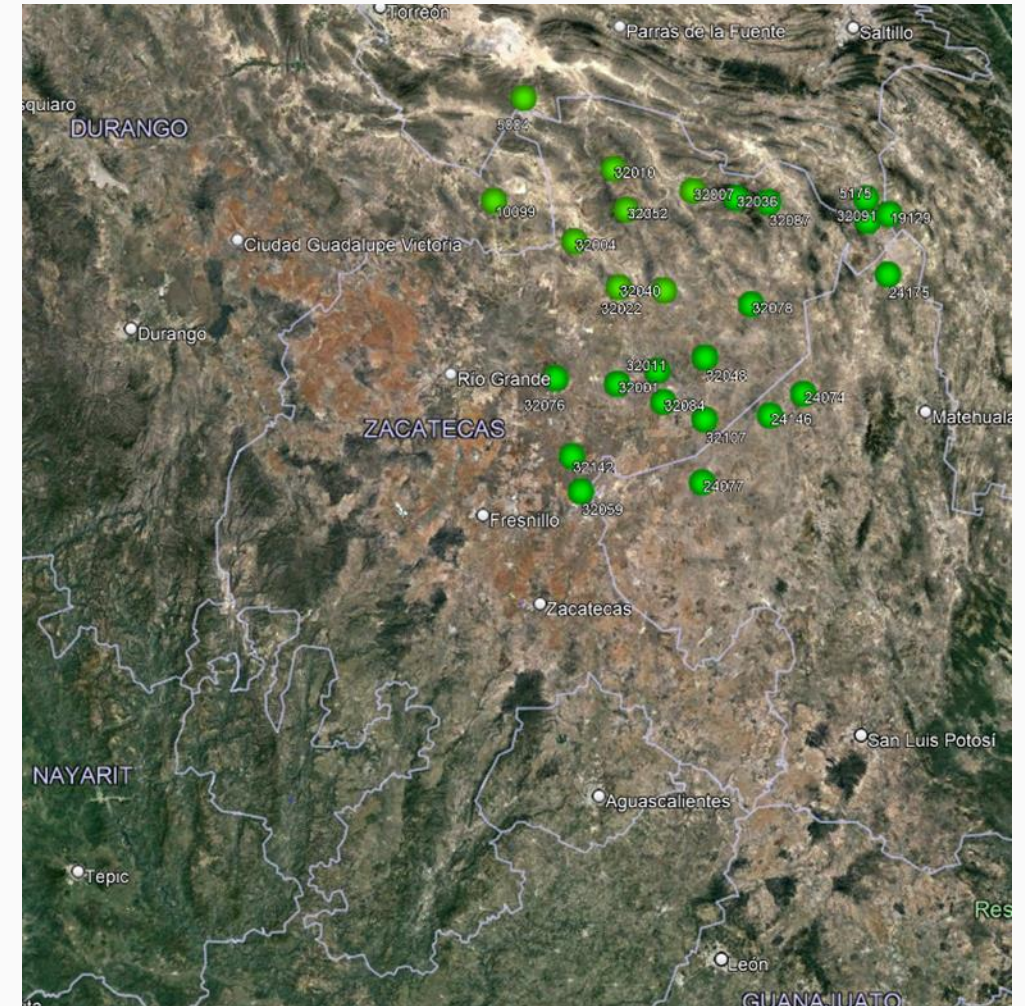


Fig. Ubicación de las estaciones climatológicas en la zona semidesértica de Zacatecas.

- Se seleccionó 26 estaciones climatológicas de al menos 30 años de registro de las series de datos de: precipitaciones medias, precipitaciones máximas de 24 horas, temperaturas media, mínimas y máximas que datan desde el año 1940.

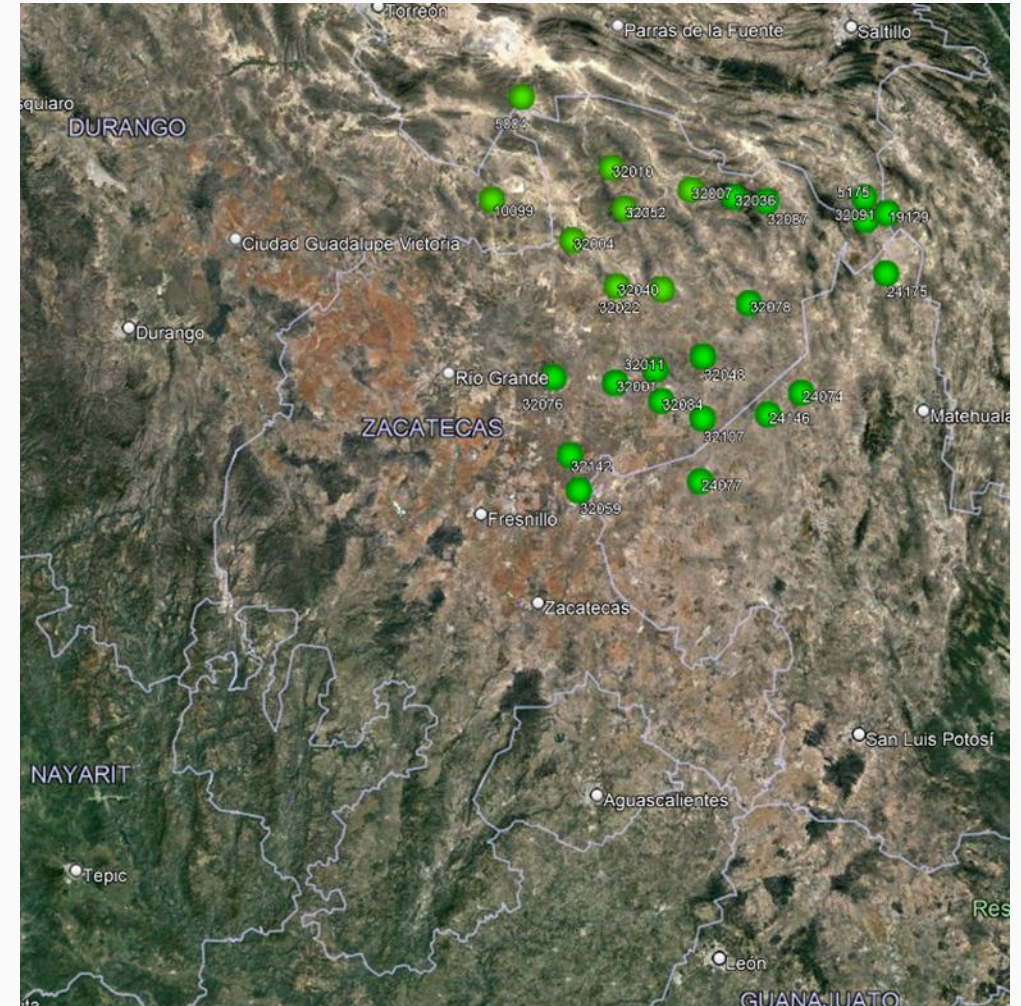


Fig. Ubicación de las estaciones climatológicas en la zona semidesértica de Zacatecas.

- **Estimación de datos faltantes**

Método de la U.S National Weather Service. Considera que el dato faltante en una cierta estación A, puede estimarse con base en los datos observados en las estaciones circundantes (Campos-Aranda, 1998).

$$P_x = \frac{\sum \left(P_i - 1/D_i^2 \right)}{\sum 1/D_i^2}$$

Dónde: P_x es la precipitación faltante, P_i la precipitación observada y D_i es la distancia entre “x” e “i”.

- **Prueba de homogeneidad: Test de Homogeneidad Normal Estándar (SNTH)**
Desarrollada por Alexandersson (1986) y posteriormente modificada por Alexandersson y Moberg (1997). La prueba del SNTH compara la media estandarizada de los primeros k años del registro contra los últimos n-k años y obtiene el valor estadístico TK a partir las ecuaciones siguientes:

$$T_K = k * \bar{z}_1^2 + (n - k) * \bar{z}_2^2 \quad ; k = 1, 2, \dots, n$$
$$\bar{z}_1 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})}{k * \sigma_x}$$
$$\bar{z}_2 = \frac{\sum_{i=k+1}^n (x_i - \bar{x})}{(n - k) * \sigma_x}$$

Si el valor máximo de TK se encuentra por encima del valor crítico de un determinado nivel crítico, entonces la hipótesis nula de homogeneidad puede ser rechazada y la serie debe clasificarse como no homogénea.

- **Prueba de tendencia: Test de Mann-Kendall (M-K) y pendiente de Sen**

- El test de Mann-Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945) es una prueba no paramétrica que busca tendencia en la serie sin importar si es lineal o no lineal.
- La hipótesis nula indica la existencia de no tendencia en la serie de tiempo, mientras que la hipótesis alternativa establece la existencia de tendencia.
- Bajo la existencia de una autocorrelación, incrementa la posibilidad de detectar tendencias cuando no existen y viceversa (Hamed y Rao, 1998). Una versión modificada de la prueba de Mann-Kendall que es robusta en la presencia de autocorrelación es propuesta por Hamed y Rao (1998), la cual se basa en la varianza modificada de Mann-Kendall.

- La pendiente de Sen (1968) es un índice que permite cuantificar la tendencia monótona en la serie de datos.

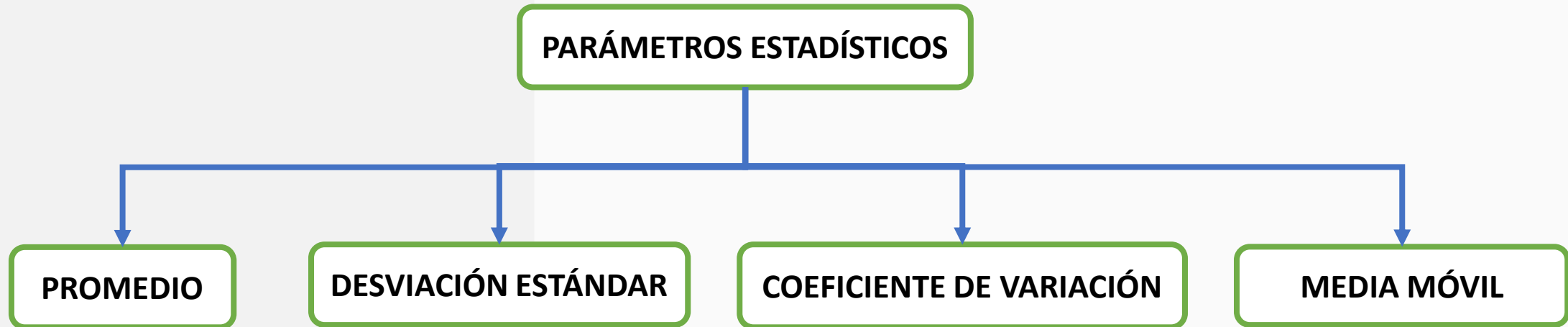
$$\beta = \text{Mediana} \frac{x_i - x_j}{i - j} \text{ para } i < j$$

Dónde β es la pendiente entre los puntos de los datos x_i y x_j , x_i son los datos medidos en el tiempo i , x_j son los datos medidos en el tiempo j y j es el tiempo después del tiempo i .

Valor positivo de β indica una pendiente positiva y un valor negativo connota una pendiente negativa de la serie de datos.

- **Parámetros estadísticos**

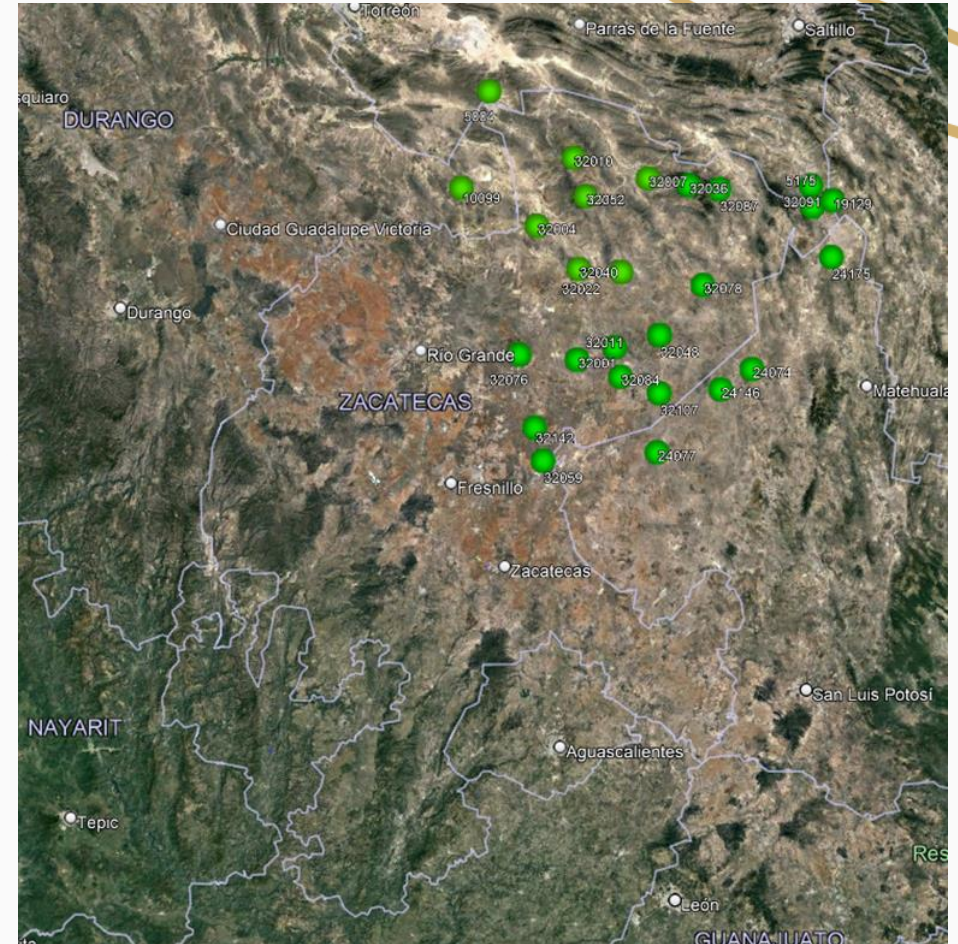
- Con el propósito de identificar valores atípicos, cada serie temporal es sometido a un análisis de calidad de la información.
- Brindan información de lo que se puede esperar del fenómeno natural.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Parámetros estadísticos**

- Se realizó un balance entre los meses húmedos y secos. El 72.92% de la precipitación anual se produce durante la temporada húmeda.
- La precipitación promedio anual disminuye de sur a norte. El coeficiente de variación en la zona de estudio varía de 0.29 y 0.57, lo que indica que la lluvia es errática.



- La temperatura promedio anual es de 17.2°C , incrementándose desde el sur hacia el norte con temperaturas promedio de 16.9°C y 17.3°C , respectivamente.

Las desviaciones incrementa en el mismo sentido. La estación climatológica ubicada más al sur (Tierra y Libertad) reporta una desviación estándar promedio de 3.64°C . La estación climatológica localizada más al norte (Bajío de Ahuichila) posee una desviación estándar promedio de 5.40°C .

El coeficiente de variación se encuentra entre 0.22 y 0.29, lo que indica que la temperatura media dentro de la región se encuentra estable.

- Estudios estadísticos de homogeneidad y tendencia



Fig. Selección de estaciones climatológicas representativas y espacialmente distribuidas

- Pruebas de homogeneidad

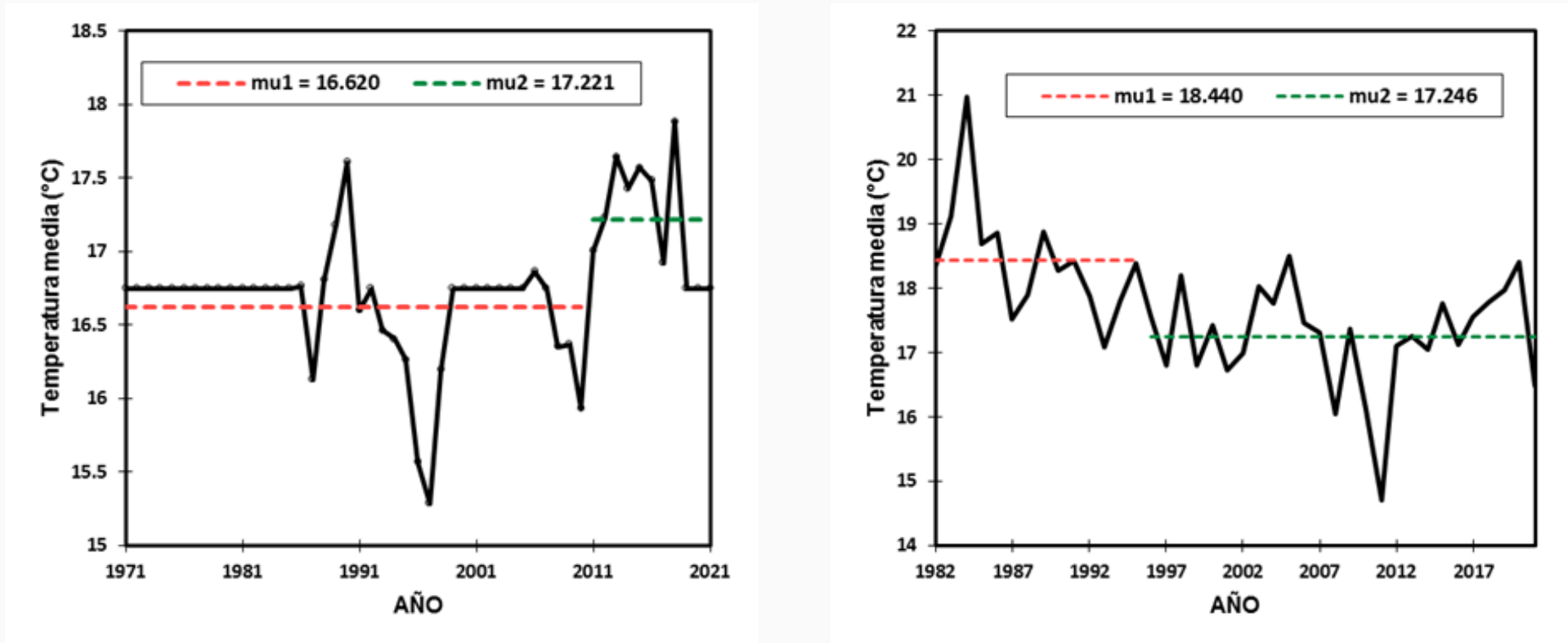


Fig. Heterogeneidad de la temperatura media de la estación Grever La Colorada (izq.) y de la estación La Ventura.

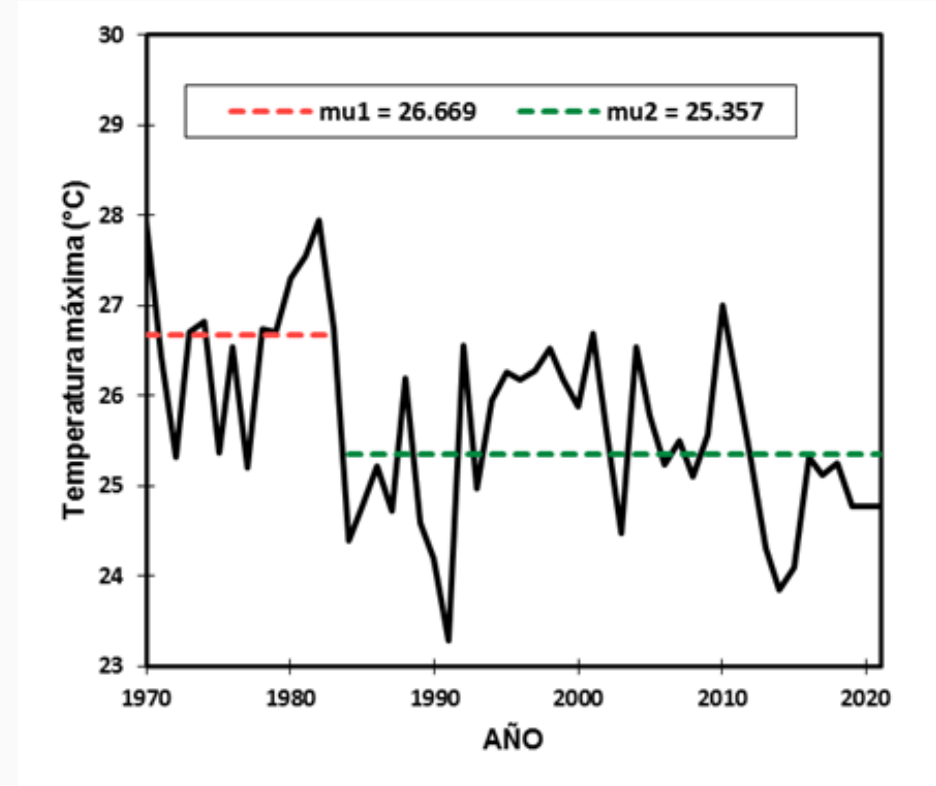
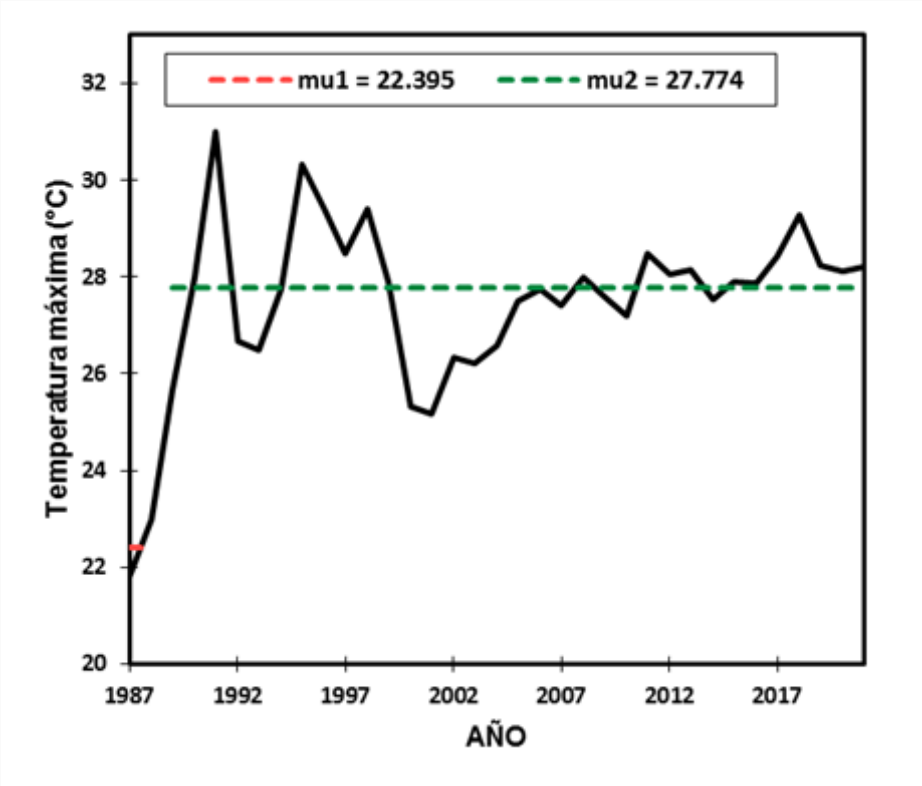


Fig. Pérdida de homogeneidad de la temperatura máxima de la estación Mazapil (izq.) y de la estación Caopas (der.)

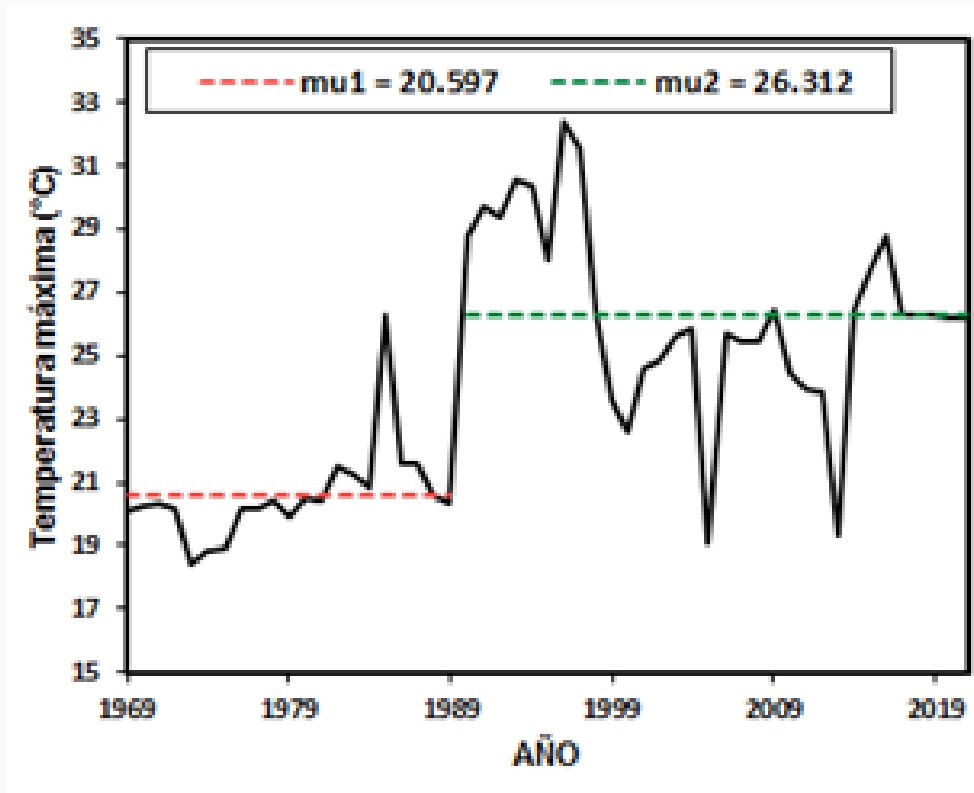
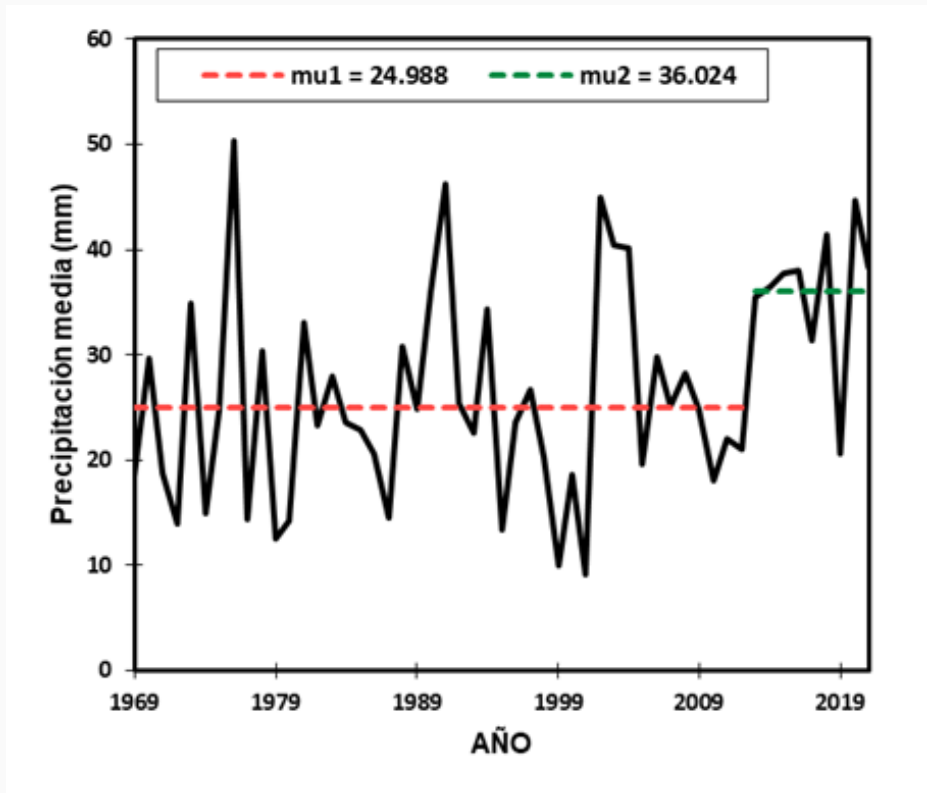


Fig. Heterogeneidad de la serie de datos de la precipitación media (izq.) y temperatura media (der.) de la estación Nuevo Mercurio

- Pruebas de tendencia

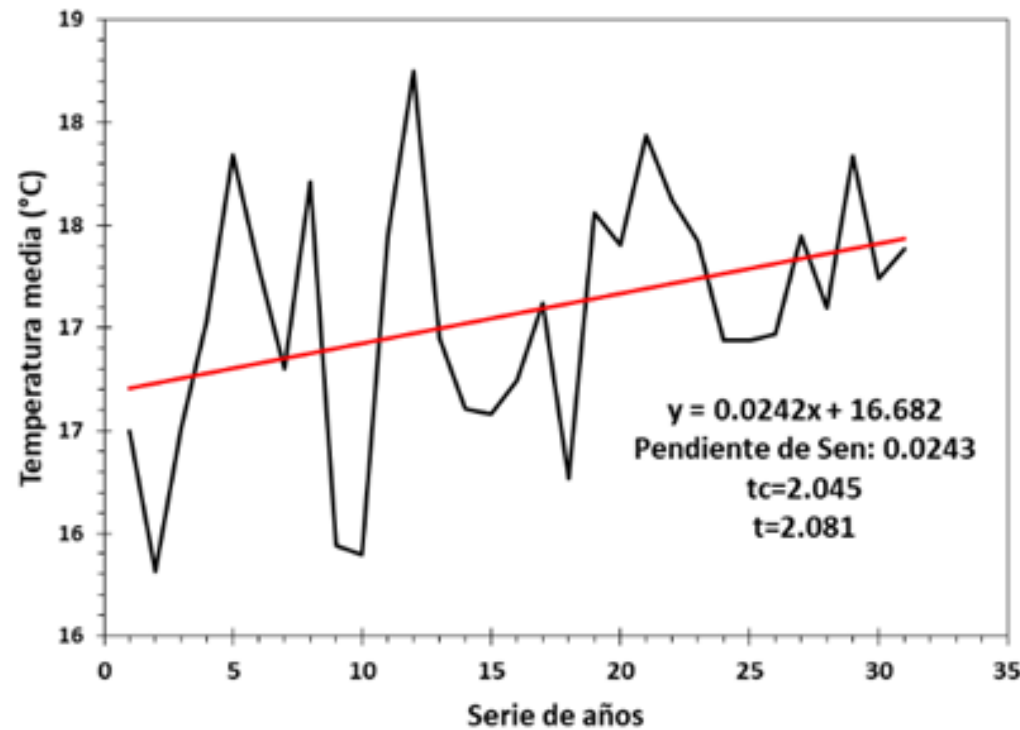
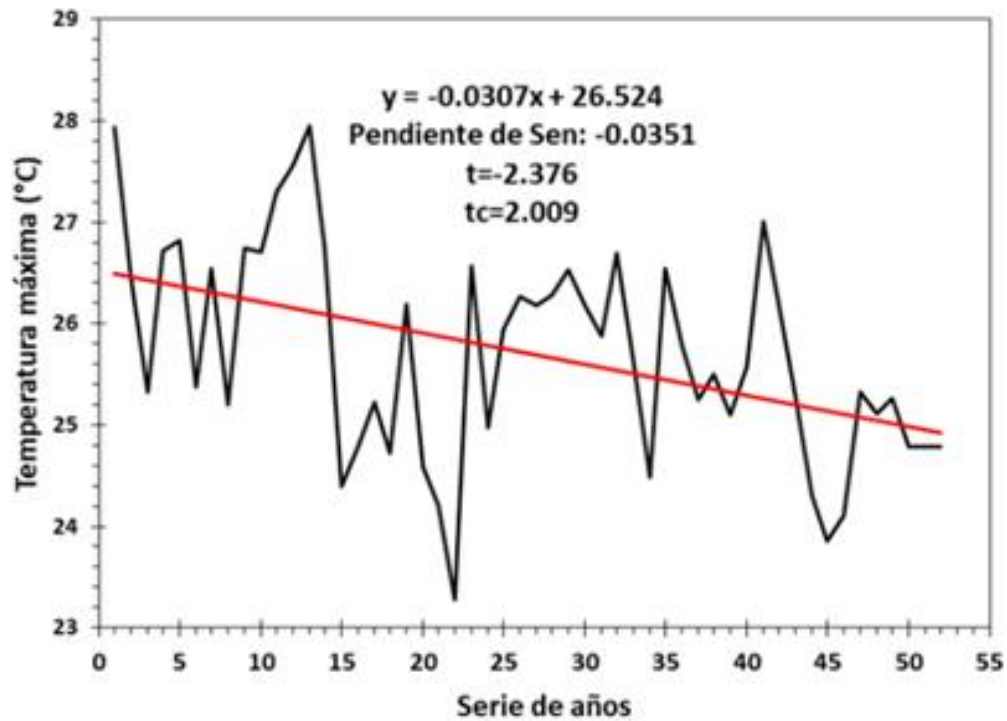


Fig. Serie cronológica de la temperatura máxima de la estación Caopas (izq) y de la temperatura media de la estación Concepción de la Norma (der).

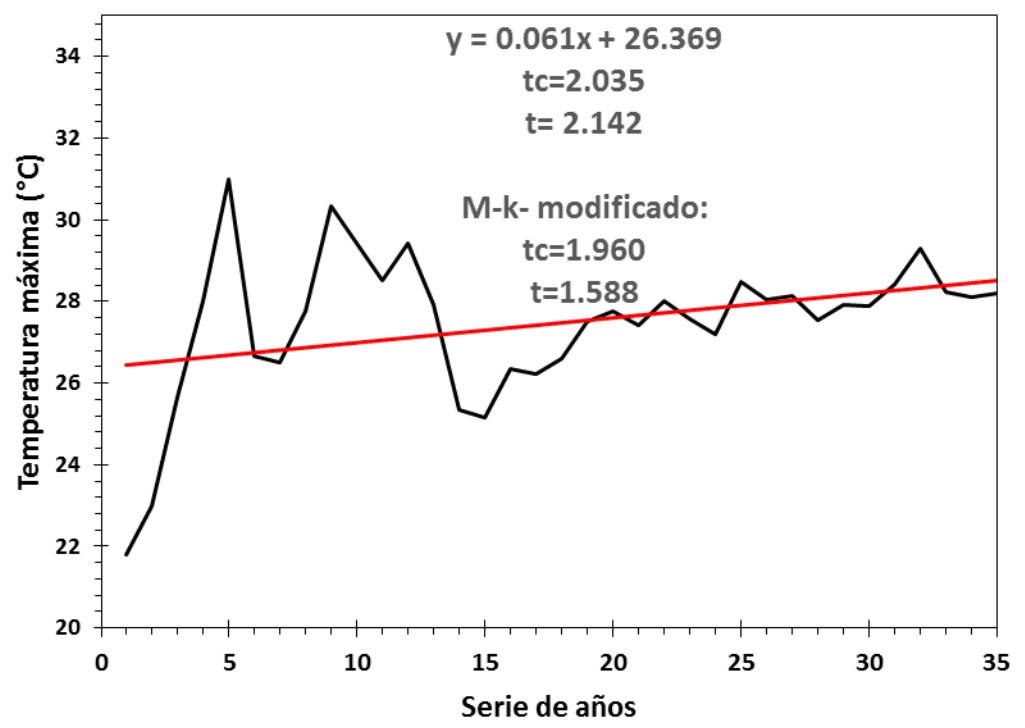
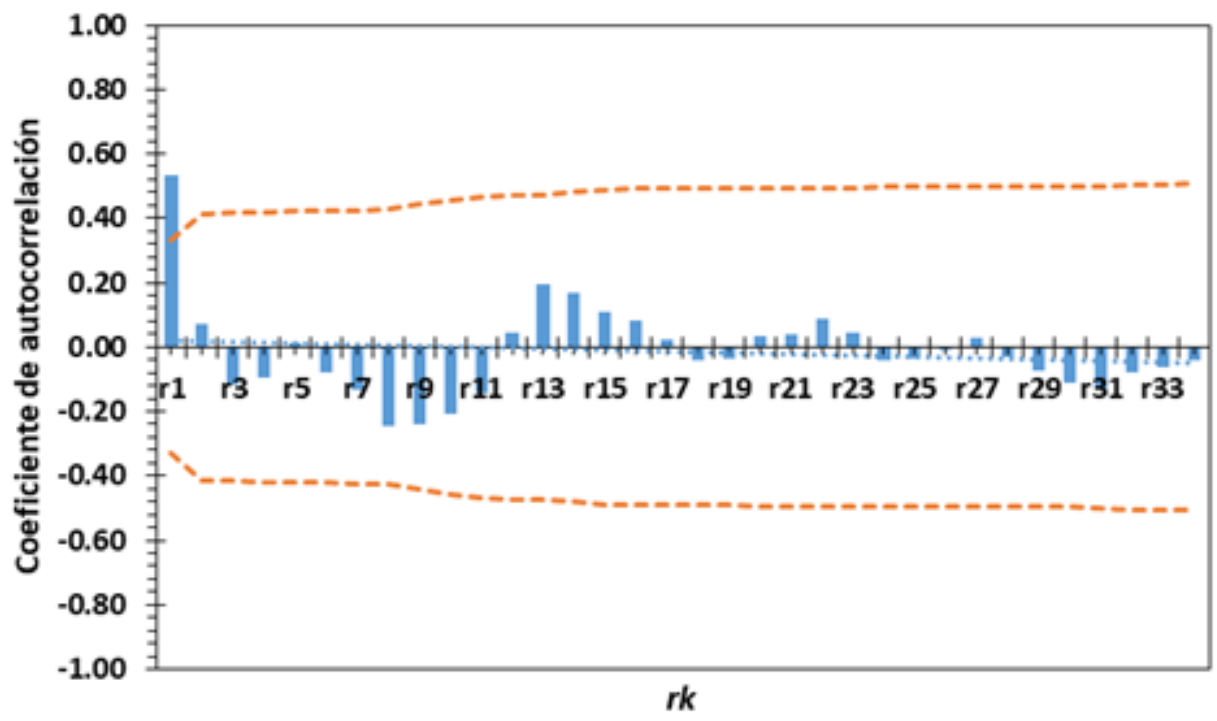


Fig. Correlograma de la serie de datos de la temperatura máxima (izq). Serie cronológica de la temperatura máxima (der.) de la estación Mazapil.

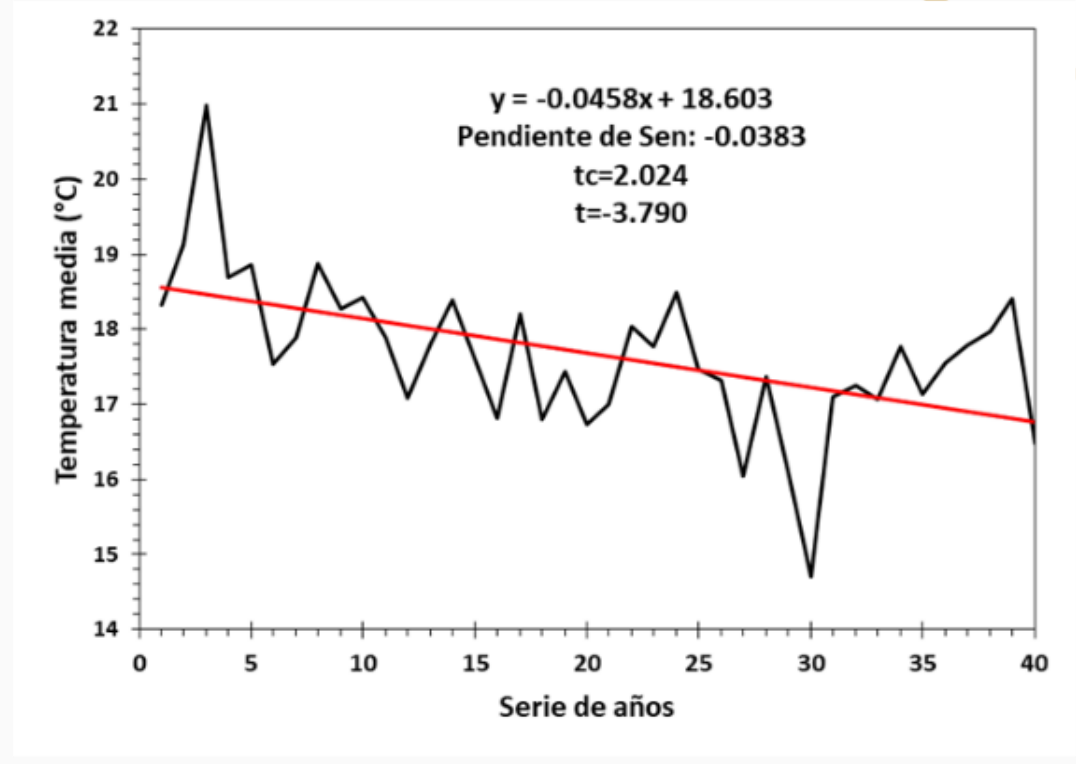
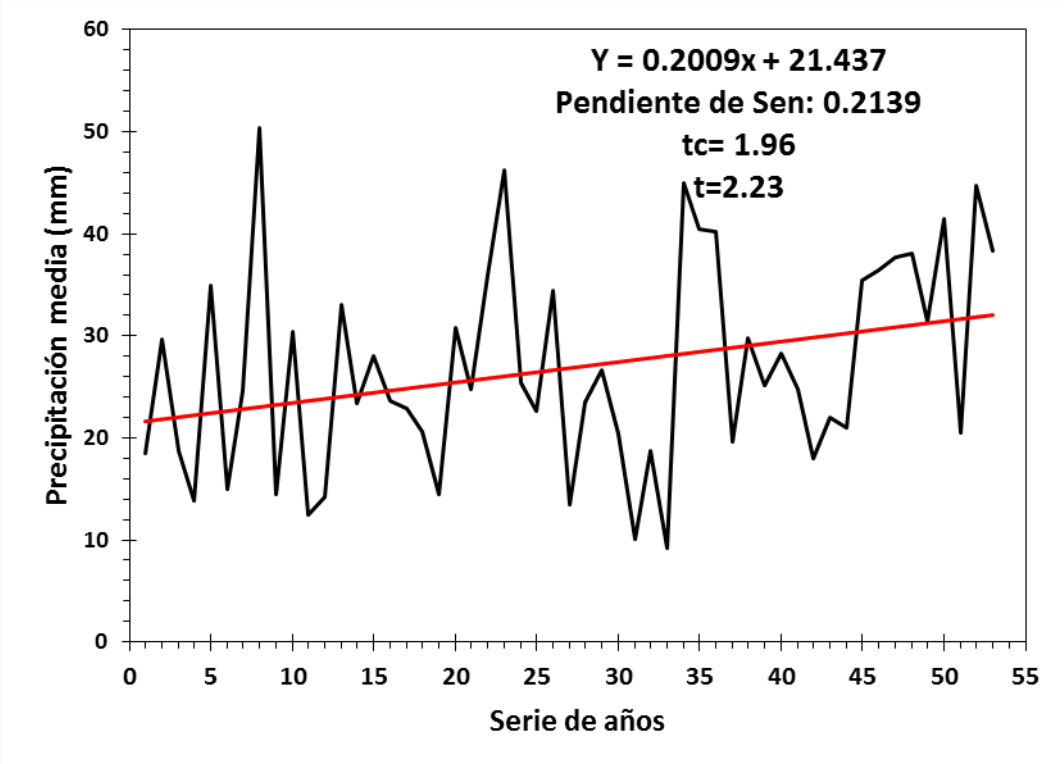


Fig. Tendencia positiva de la precipitación media de la estación Nuevo Mercurio (izq.) y tendencia negativa de la temperatura media de la estación La Ventura (der.).

- **Estudio de variabilidad**
- **Precipitación media.**

- ✓ En los meses secos se presentan déficit de la precipitación media de 15.43%.
- ✓ En los meses húmedos existe un superávit del 22% en la región sur y 7% en la región norte de la zona de estudio.
- ✓ Superávit anual de hasta 27% al sur (Villa de Cos) y disminuye a un déficit anual de hasta al 33% hacia al norte (Caopas).

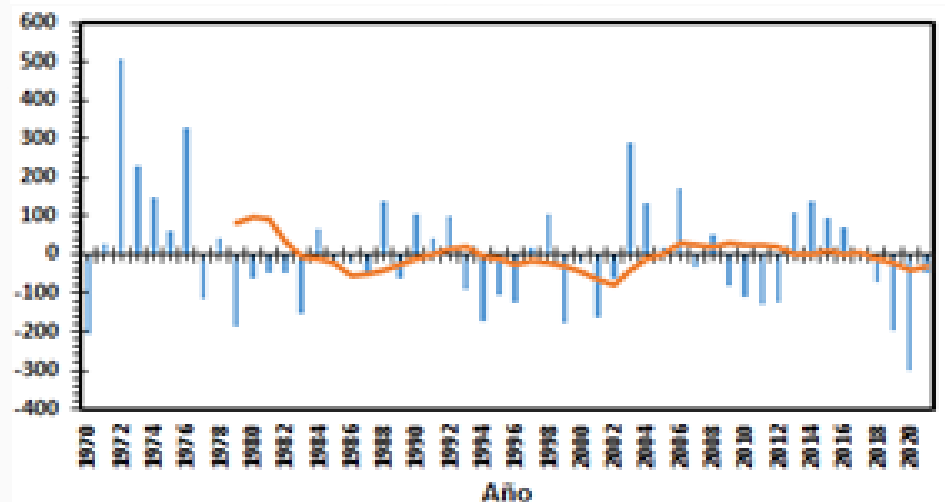
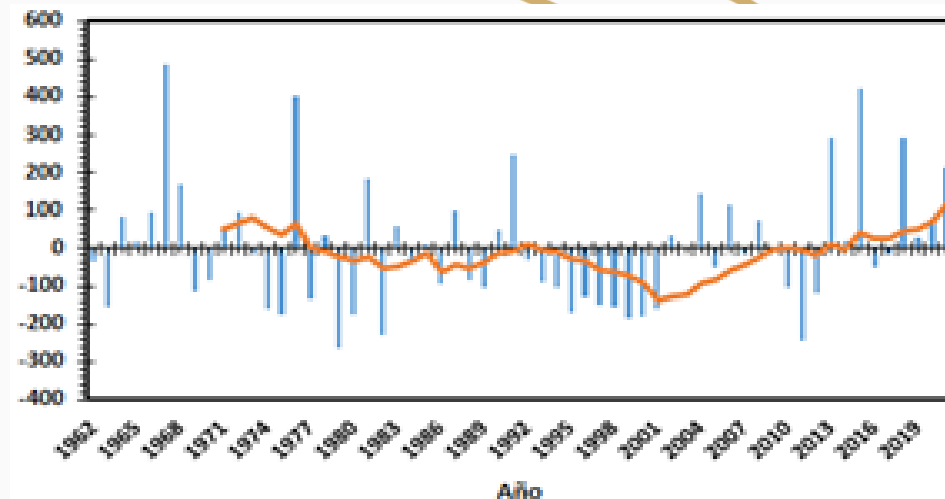


Fig. Variabilidad anual de la precipitación media. Estación villa de Cos (arriba), estación Caopas (abajo).

➤ Temperatura media.

- ✓ La temperatura anual incrementa 1.7%.
- ✓ En meses de invierno se presenta mayor incremento de la temperatura de hasta 12% en la región norte y de hasta 6% en la zona sur.

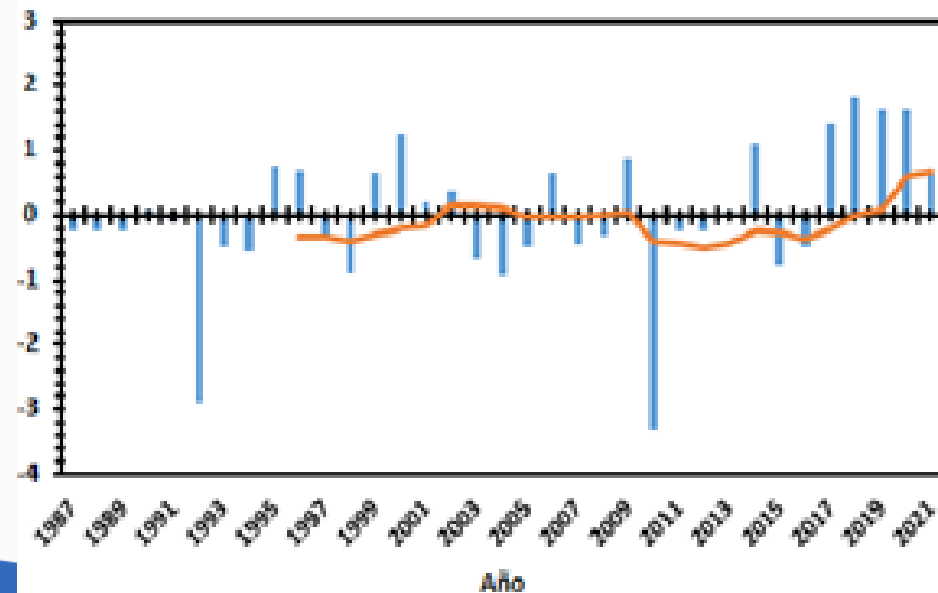
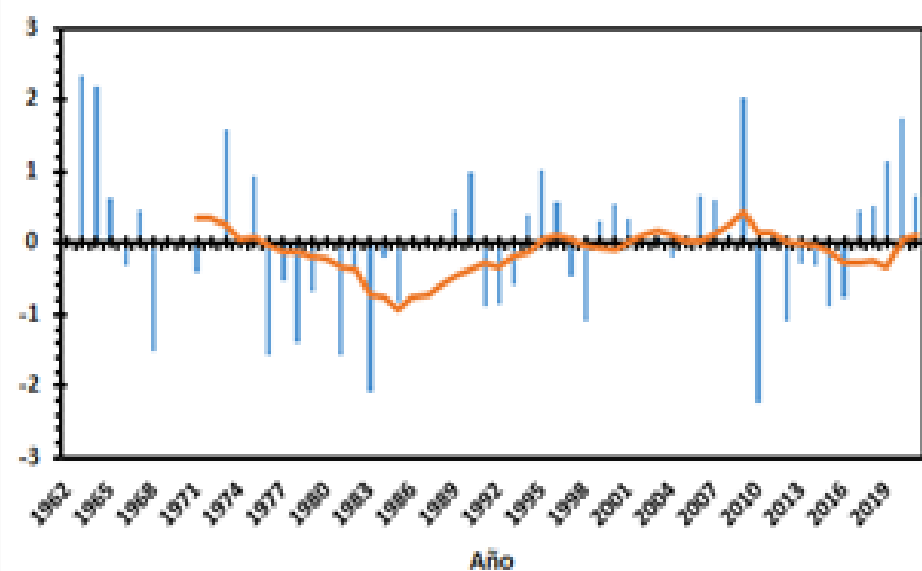


Fig. Variabilidad de la temperatura media. Estación Villa de Cos (izq.), estación Caopas (der.).

CONCLUSIONES

- Los resultados reafirman el cambio climático que se presenta y su posible efecto negativo que ésta pueda tener en la disponibilidad del recurso hídrico para el riego de cultivos, el consumo humano y del ganado en la zona semiárida de Zacatecas.
- El 72.92% de la precipitación anual, se presenta durante la temporada húmeda y disminuye de sur a norte 8.98%.
- La temperatura media anual incrementa desde el sur hacia el norte con temperaturas promedio de 16.9°C y 17.3°C.

- El test de la SNHT permite identificar el año donde ocurre la heterogeneidad. Para la precipitación máxima de 24 horas y precipitación media, 7 estaciones pierden homogeneidad. 14 estaciones presentan heterogeneidad para las temperaturas media, mínima y máxima.
- En el caso del estudio de tendencia, las precipitaciones máximas de 24 horas y precipitaciones medias no presentan tendencia significativa. Para el caso de la temperatura máxima, 10 estaciones poseen tendencia, en menor proporción ocurre con la temperatura media y con la temperatura mínima.
- Los estudios de variabilidad constata la disminución de la precipitación media anual de sur a norte, con un superávit del 27% en el sur y un déficit del 33% en el norte, así mismo, en el caso de la temperatura media anual aumenta 1.7% con respecto a la media.



VIII Congreso Nacional y
I Congreso Internacional
de Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila
4 al 6 octubre 2023



GRACIAS!

Erick Dante Mattos Villarroel
Universidad Autónoma de Zacatecas
e_mattos_@outlook.com

Fecha de presentación: 04 de octubre 2023

