

DOI: 10.24850/j-tyca-2022-04-02

Artículos

Tendencias de precipitación y temperatura en el altiplano potosino, México (1975-2015)

Rainfall and temperature trends in the Altiplano Potosino Region, Mexico (1975-2015)

Hermann Rocha-Escalante¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0437-5734>

Araceli Jaimes-Arredondo², ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2223-0072>

Antonio Cardona-Benavides³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8121-4657>

Clemente Rodríguez-Cuevas⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4213-4552>

Germán Giácoman-Vallejos⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9792-6904>

Jorge Aceves-de Alba⁶, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2420-2048>

María Elena García-Arreola⁷, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0437-5734>



Rodolfo Cisneros-Almazán⁸, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2129-9868>

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
hermann.escalante@uaslp.mx

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
A227512@alumnos.uaslp.mx

³Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
acardona@uaslp.mx

⁴Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
clemente.rodriguez@uaslp.mx

⁵Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México,
giacomano@correo.uady.mx

⁶Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
jaceves@uaslp.mx

⁷Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
maria.garcia@uaslp.mx

⁸Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México,
cisnerro@uaslp.mx



Autor para correspondencia: Hermann Rocha-Escalante,
hermann.escalante@uaslp.mx

Resumen

Los cambios observados en el clima durante las últimas décadas han generado una creciente inquietud popular, especialmente en el mundo científico, lo que ha propiciado una serie de investigaciones sobre las causas y posibles consecuencias del cambio climático. Éste es un tema de gran interés a nivel mundial, incluyendo México. La región denominada altiplano potosino se localiza en la parte noroccidental del estado de San Luis Potosí, México, con un área de 29 119.80 km²; tiene una precipitación anual inferior a los 400 mm y temperatura media anual de 17.5 °C. El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento, ya que las escorrentías superficiales son limitadas. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de series de tiempo de los registros históricos de la precipitación y la temperatura en las estaciones meteorológicas ubicadas en la región de estudio en el periodo 1975-2015, para identificar tendencias y patrones espaciales y temporales. Para ello, se utilizó la prueba estadística no-paramétrica de Mann-Kendall. Los resultados indican tanto incrementos como decrementos en las tendencias anuales y mensuales para las variables analizadas. Dichas tendencias sugieren comportamientos locales. Con respecto a la precipitación, se presentan



incrementos en primavera y verano mientras que tienden a disminuir en otoño. Con respecto a la temperatura, se detectó una mayor variabilidad en las tendencias (anuales y mensuales); hay un mayor reflejo en la variabilidad anual, sustentada por los cambios mensuales; o en su caso, existen variaciones mensuales que aún no se ven reflejadas en una tendencia anual.

Palabras clave: precipitación, temperatura, altiplano potosino, series de tiempo, análisis de tendencias, tasa de incremento o decremento, cambio climático.

Abstract

The observed changes in the climate system during the last decades have generated a growing popular concern, especially in the scientific world, which has led to a series of research on the causes and possible consequences of climate change. This is a topic of great interest worldwide, including in Mexico. The Altiplano Potosino Region, Mexico, is located in the northwestern part of the state of San Luis Potosi, Mexico, with an approximate area of 29 119 km², with an annual rainfall lower than 400 mm and an annual average temperature of 17.5 °C. Groundwater is the main source of supply because surface runoff is limited. The objective of this study was to perform a time series analysis of the historical records of rainfall and temperature, at the meteorological



stations located in the study region from the period 1975 to 2015, to identify spatial and temporal trends and patterns. For this, the non-parametric Mann-Kendall test was used. The results indicate both increased and decrease trends in the annual and monthly periods for the variables analyzed. Trends suggest local behaviors. Monthly precipitation trends show increases in spring and summer, while they tend to decrease in autumn. Annual and monthly temperature trends show a greater variability spatial and temporal, where there are important annual variations because of the monthly changes; or there are monthly variations that are not yet reflected in an annual trend.

Keywords: Rainfall, temperature, Altiplano Potosino Region, time series, trend analysis, climate change, rate of increase or decrease.

Recibido: 23/03/2020

Aceptado: 11/05/2021

Introducción



Los cambios observados en el clima durante las últimas décadas han generado una creciente inquietud popular, especialmente en el mundo científico, lo que ha propiciado una serie de investigaciones sobre las causas y posibles consecuencias de un cambio climático. El clima de la Tierra no ha sido siempre el mismo; hay que recordar las glaciaciones del Cenozoico superior y las épocas interglaciares por las que ha atravesado el planeta, que en algunos periodos llevaron a los mares a un nivel de tres metros superior al presente y a temperaturas mayores de 2 a 3 °C de la media actual. Estos cambios climáticos pueden atribuirse a causas naturales y los más recientes como consecuencia de las actividades humanas (Ayllón, 2003).

Hay evidencias contundentes de un cambio climático a escala global, por lo que éste es un tema de gran interés a nivel mundial, incluyendo México (Méndez, Návar, & González, 2008). En este sentido, desde finales del siglo XIX a la fecha, se han realizado estudios para detectar cambio climático en diversas partes del mundo a través de análisis de las tendencias de precipitación realizadas por Bradley *et al.* (1987) en el hemisferio norte; Hurrell (1995) en el Atlántico norte; Brunetti, Buffoni, Maugeri y Nanni (2000) en Italia; Haylock y Nicholls (2000) en Australia; Kruger (2006) en Sudáfrica; Reiter, Weidinger y Mauser (2012) en la cuenca alta del río Danubio (Austria, Alemania y República Checa); y



Carlón y Mendoza (2007), Méndez *et al.*, (2008), Montero y Pérez (2008), Algara (2009), Campos (2015), y Tello (2019) recientemente en México. Independientemente de la ubicación geográfica, los resultados evidencian la presencia de cambios significativos en las tendencias de precipitación y temperatura, lo cual podría repercutir en efectos de vulnerabilidad ante cambios en los fenómenos meteorológicos en diversas regiones.

El cambio climático global es uno de los problemas ambientales más severos que se enfrenta en el presente siglo debido al aumento de los gases de efecto invernadero, atribuido a las actividades humanas sin descartar la variabilidad natural, por arriba de los niveles históricos (Magaña, 2004; IPCC, 2001). Tiene el enorme potencial de producir cambios significativos en el estado medio del sistema tierra-océano-atmósfera, lo que resultaría en cambios en los patrones de circulación de la atmósfera y del océano, lo que producirá un aumento en la temperatura media global, y afectará fuertemente los patrones de precipitación actuales (IPCC, 2001).

Los expertos en la materia han señalado que para evidenciar la existencia de un cambio climático es necesario analizar las tendencias de variables climáticas, considerando diferentes escalas de tiempo y espacio (Méndez *et al.*, 2008).

Entre otros muchos factores, la información actualizada sobre el cambio climático resulta clave para que México logre integrar una



estrategia que combine acciones propias, regionales y multilaterales, a efecto de ubicarlas en torno a la seguridad y bienestar de sus habitantes. El interés actual por comprender las causas de la variabilidad climática impone la necesidad de analizar tendencias de series de variables meteorológicas (Miklos, 2018).

Si se tiene claro que México es altamente vulnerable a condiciones extremas de tiempo y clima sería deseable contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como con diagnósticos precisos de la vulnerabilidad que permitan construir valoraciones dinámicas de riesgo para diseñar estrategias preventivas ante el pronóstico de condiciones hidrometeorológicas extremas, al igual que esquemas de acción que den respuesta eficiente y efectiva a posibles desastres (Magaña, Landa, & Neri, 2008).

El estado de San Luis Potosí, por sus condiciones geográficas únicas, resulta un escenario complejo, de importancia nacional, que permite entender los procesos, presentes en todo el territorio, asociados con el cambio climático. Una particularidad interesante del territorio potosino es su extraordinaria diversidad física, climática, ecológica y cultural, la cual se manifiesta en una gran variedad de ecosistemas, sistemas de producción agrícola y pecuaria, biodiversidad y tecnologías. Esta gran diversidad es resultado natural de la variabilidad geográfica y climática del estado, y es considerada una de las más importantes del mundo (Blanco, Vázquez, Reyes, & Guzmán, 2015).



La región denominada altiplano potosino (AP) se localiza en la parte noroccidental del estado de San Luis Potosí, México, con un área aproximada de 29 119.80 km² (Figura 1); tiene una precipitación anual inferior a los 400 mm y temperatura media anual de 17.5 °C; es una región árida y semiárida (Sedeco, 2013). Su hidrografía está formada por un conjunto de cuencas endorreicas, por corrientes de temporal, mantos subterráneos y algunos manantiales (INEGI, 2007). Por su ubicación geográfica, fusiona paisajes desérticos con boscosos, y combina la vegetación xerófila con bosque tropical caducifolio, de coníferas y de latifoliadas, lo que le proporciona una gran diversidad natural (Inafed, 2010).



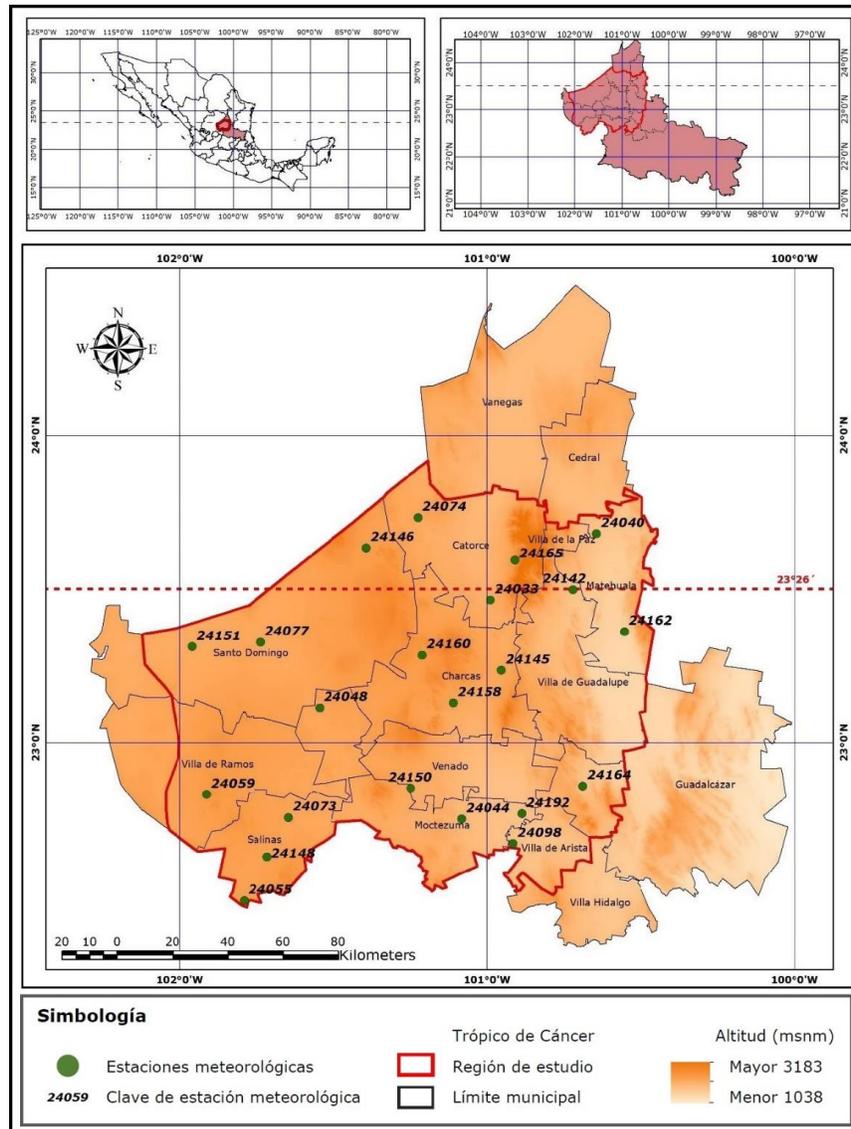


Figura 1. Localización del altiplano potosino y delimitación del área de estudio.

De manera reciente se ha acumulado evidencia de que el clima en México exhibe fluctuaciones distintas a las registradas históricamente. La evaluación de un posible cambio en el régimen pluviométrico es de gran importancia, pues ello conlleva el manejo y control de las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, económicas y sociales (Méndez *et al.*, 2008; Corte-Real, Qian, & Xu, 1998). Estudiar la variabilidad del clima regional es de fundamental importancia, ya que así se puede planificar el manejo de recursos naturales de un país; sin embargo, evaluar la variabilidad climática y los mecanismos que producen los cambios es complicado. Una de las formas de analizar e interpretar el clima promedio de una región es a través de medias anuales o estacionales de temperatura y/o precipitación (Ayllón, 2003).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de las series de tiempo de los registros históricos de la precipitación y la temperatura en las estaciones meteorológicas ubicadas en el AP, México, en el periodo 1975-2015, para identificar tendencias y patrones espaciales y temporales.

Área de estudio



Localización

La región denominada AP se localiza (Figura 1) en la parte noroccidental del estado de San Luis Potosí, México, ubicada entre los 22° 16' y 23° 08' de latitud norte y entre los 100° 05' y 101° 10' de longitud oeste; comprende 15 de los 58 municipios de la entidad y un área aproximada de 29 119.80 km²; es una región árida y semiárida, que forma parte del desierto chihuahuense (Sedeco, 2013). La mayor parte de su territorio está situado a la altura del trópico de Cáncer. En el AP se encuentra el grupo orográfico más importante del estado después de la Sierra Madre Oriental: al norte, las sierras de Charcas, Catorce, Guadalcázar, Coro e Ypoa y San Pedro Naola; en el sur, las sierras del Peñón Blanco, Ahualulco y San Miguelito. En la parte occidental están las sierras del Sabino y de la Ballena, esta última en los límites con el estado de Zacatecas (INEGI, 2007).

Clima



De acuerdo con la Conabio (1998), el clima del AP está catalogado en la mayor parte del territorio como seco semiárido con lluvias repartidas todo el año (BSok(x')), con temperaturas entre 12 y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, y temperatura del mes más caliente menor de 22 °C y con un porcentaje de lluvia invernal mayor al 18 % del total anual. Al norte hay una extensión con clima seco árido con lluvias en verano (BWkw) y al oriente una pequeña extensión con clima templado, subhúmedo, con precipitación menor a 40 mm en el mes más seco C(wo); ambos climas con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 % del total anual. La forma que le confieren al país sus litorales, junto con la alineación la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental y el Eje Volcánico Transversal, influyen de manera decisiva en la distribución de la humedad y de la temperatura, siendo factores importantes de la aridez del AP y de algunas otras partes de México (García, 1986).

Hidrología



La hidrografía del AP se encuentra en la región hidrológica denominada “El Salado”, está formada por un conjunto de cuencas endorreicas, por corrientes de temporal, mantos subterráneos y algunos manantiales (INEGI, 2007). Carece casi por completo de elevaciones importantes que, aunado a las condiciones climatológicas de la región, hace que no haya grandes corrientes superficiales.

El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento, a pesar de su relativa potencialidad, debido a que las corrientes superficiales por lo general son limitadas y transitorias. En la zona norte del estado hay amplios valles rellenos por sedimentos terciarios y recientes, encontrándose estructuras aisladas de calizas productoras. Las aguas de los aluviones son de buena calidad tanto para riego como para uso doméstico. Los rellenos aluviales son someros y tienen buena posibilidad de producción acuífera. Existen otros sedimentos terciarios conglomeráticos y arenosos, y su agua es abundante y de buena calidad (Blanco *et al.*, 2015; Inafed, 2010).

Materiales y métodos



Para el desarrollo de esta investigación se realizó un análisis de tendencias de las series de tiempo de la precipitación y temperatura medias anuales y medias mensuales de la región del AP. Para ello, en una primera etapa, se obtuvieron los registros históricos mensuales de 53 estaciones meteorológicas que se localizan dentro del AP. Sin embargo, al analizar y verificar la información de cada una de las estaciones, se optó por trabajar con 22 de ellas, debido a que éstas contaban con el mayor número de registros en común en los 41 años de análisis que comprendió el periodo de estudio (1975-2015), y además cumplieron con los análisis de homogeneidad mediante la aplicación de la prueba de Helmert, que es una prueba no paramétrica basada en secuencias y cambios respecto a la media (Mather, 1977; Campos, 1998). Algunas estaciones presentaban datos faltantes en algunos meses, por lo que se aplicaron diversos métodos, como el racional deductivo, para las precipitaciones faltantes, y promedio aritmético de estaciones vecinas (mismo mes y año) para la temperatura (Campos, 1998). Los registros históricos se obtuvieron mediante solicitud directa a la Dirección Estatal de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) en el estado de San Luis Potosí, México.

Para cada una de las estaciones meteorológicas se obtuvo la precipitación total mensual (PrTM), precipitación total anual (PrTA),



temperatura media mensual (TMM) y temperatura media anual (TMA) de cada uno de los 41 años del periodo de estudio (1975-2015), con el objetivo de tener las series completas para el análisis de series de tiempo.

En la segunda etapa de la investigación se evaluaron las tendencias temporales y espaciales de las precipitaciones y temperaturas de manera anual y mensual; primero, toda la región de estudio en conjunto y, posteriormente, por cada una de las estaciones meteorológicas. Para esto, se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945); Hoeffding (1948); Kendall (1975); Dietz y Killen (1981) con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$; esta prueba ha sido utilizada en las ciencias ambientales, ya que puede analizar registros sin importar la distribución, datos perdidos y estacionales (Méndez *et al.*, 2008). Además, esta prueba ha sido ampliamente recomendada y utilizada en todo el mundo para identificar tendencias en parámetros climáticos (IPCC, 2001) debido a la consistencia y rigidez que presenta (Méndez *et al.*, 2008). Como parte de la evaluación de la tendencia se determinó la magnitud de la misma, a la cual se le denominó "tasa de incremento" o "tasa de decremento", y se obtuvo con la determinación de la pendiente de la línea de tendencia. Mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se realizaron las interpolaciones de las tasas de incremento y/o decremento anual y mensual de precipitación y temperatura para determinar la temporalidad y espacialidad de los fenómenos analizados; a las estaciones que no mostraron tendencia



estadísticamente significativa se les asignó un valor de “0” (cero). La interpolación de las tasas de incremento y decremento anual se realizó utilizando el método de la distancia inversa ponderada (IDW, por sus siglas en inglés), mismo que asume que cada punto posee una influencia local, la cual va disminuyendo con la distancia (Juárez, 2015).

La prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Kendall, 1938) ha sido ampliamente utilizada para probar aleatoriedad contra tendencias en los datos climáticos de las series de tiempo (Zhang, Harvey, Hogg, & Yuzyk, 2001). Este es un procedimiento lineal especialmente conveniente para los datos con distribución no normal, para los datos que contienen valores extremos y tendencias no lineales. La hipótesis nula H_0 de la prueba no paramétrica de Mann-Kendall consiste en que los datos (x_1, x_2, \dots, x_n) son una muestra independiente e idénticamente distribuida de variables aleatorias. La hipótesis alterna H_1 consiste en que la distribución de x_k y x_j no son idénticas para todos los $k, j \leq n$ con $k \neq j$. El análisis estadístico de la tendencia S se define como (Hirsch, Hesel, Cohn, & Gilroy, 1993):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

donde $\text{sgn}()$ es la función de muestra.



De acuerdo con H_0 , la distribución S es normal en el límite cuando $n \rightarrow \infty$. La media de la varianza de S , considerando que puede haber nodos en las series x , es:

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$Var[S] = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_p t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \div 18 \quad (3)$$

donde t_p es el número de valores de datos idénticos en los valores observado y n es el número de valores en la serie de datos analizados. Los valores de S y $Var[S]$ se utilizan para calcular el estadístico de prueba Z , que es una medida del grado de significancia de las tendencias para probar la hipótesis (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$Z = \frac{[S-1]}{\sqrt{Var(S)}} \quad \text{si } S > 0 \quad (4)$$

$$Z = 0 \quad \text{si } S = 0 \quad (5)$$



$$Z = \frac{[S+1]}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{si } S < 0 \quad (6)$$

En una prueba de dos lados para tendencias, la hipótesis nula es rechazada en un nivel de significancia de α si $|Z| > Z_{(1-\alpha/2)}$, donde $Z_{(1-\alpha/2)}$ es el valor de la distribución normal que excede $\alpha/2$. Un valor positivo de Z indica una tendencia ascendente; un valor negativo indica una tendencia descendente en la serie de tiempo evaluada. En este trabajo, las tendencias son identificadas a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con un valor crítico de 1.96. La prueba estadística de tendencias Z es utilizada para indicar la tendencia significativa, pero no es una cuantificación de la magnitud de la tendencia (Molnár & Ramírez, 2001; Carlón & Mendoza, 2007).

Con la identificación de las variaciones de las tendencias meteorológicas se graficaron los datos de las estaciones identificadas utilizando en el "eje x " los años, y en el "eje y ", los valores de temperatura y precipitación. Posteriormente, se obtuvo la ecuación de la recta, en la cual la pendiente (m) es considerada como la tasa de cambio y la cual indica en los valores negativos el decrecimiento y en valores positivos el incremento (Nieto, Martínez, Regalado, & Hernández, 2002).



Para el análisis de los resultados se hizo una interpretación espacial y temporal, donde esta última fue anual, mensual y agrupada por estaciones del año: invierno (enero, febrero y marzo); primavera (abril, mayo y junio); verano (julio, agosto y septiembre), y otoño (octubre, noviembre y diciembre).

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los resultados completos del análisis de homogeneidad mediante la prueba de Helmert realizada a las 53 estaciones meteorológicas de la región de estudio, donde se puede observar que las estaciones utilizadas (EU) en esta investigación fueron las 22 que cumplieron de manera positiva con la prueba de homogeneidad, en conjunto con el periodo de análisis 1975-2015. El resultado de la prueba de homogeneidad se presenta como "homogénea" (H) o "no homogénea" (NH); las 31 estaciones restantes se presentan cada una como "estación no utilizada" (ENU).



Tabla 1. Resultados de la prueba de homogeneidad y periodos con registro de las estaciones meteorológicas en el altiplano potosino.

Estación meteorológica		Número de años con registro	Periodo	Prueba de Helmert	Estaciones analizadas
Clave	Nombre				
24007	Cedral	41	1975-2015	NH	ENU
24010	Charcas (DGE)	23	1975-1997	H	ENU
24019	El Estribo	41	1975-2015	NH	ENU
24021	El Grito	39	1975-2013	H	ENU
24022	El Huizache	15	2001-2015	NH	ENU
24033	La Maroma	41	1975-2015	H	EU
24038	Los Pilares	34	1975-2008	H	ENU
24040	Matehuala (SMN)	41	1975-2015	H	EU
24041	Matehuala (DGE)	26	1975-2000	NH	ENU
24044	Moctezuma (DGE)	41	1975-2015	H	EU
24048	Vallejo	41	1975-2015	H	EU
24055	Peñón Blanco	41	1975-2015	H	EU
24057	Presa de Guadalupe	39	1975-2013	NH	ENU
24059	Villa de Ramos	41	1975-2015	H	EU
24062	Rincón del Porvenir	26	1990-2015	H	ENU
24073	Reforma	41	1975-2015	H	EU

Estación meteorológica		Número de años con registro	Periodo	Prueba de Helmert	Estaciones analizadas
Clave	Nombre				
24074	Sta. María del Refugio	41	1975-2015	H	EU
24077	Santo Domingo	41	1975-2015	H	EU
24078	Santiago	38	1975-2012	H	ENU
24094	Vanegas	34	1975-2008	H	ENU
24096	Venado	38	1975-2012	NH	ENU
24097	El Tule	19	1979-1997	H	ENU
24098	El Mezquite	41	1975-2015	H	EU
24099	Arista	32	1975-2007	H	ENU
24102	Villa Hidalgo	12	1975-1986	NH	ENU
24142	La Presa	41	1975-2015	H	EU
24144	La Cardoncita	41	1975-2015	NH	ENU
24145	Laguna Seca	41	1975-2015	H	EU
24146	La Victoria	41	1975-2015	H	EU
24148	Salinas	41	1975-2015	H	EU
24150	Guanamé	41	1975-2015	H	EU
24151	San Juan del Salado	41	1975-2015	H	EU
24152	Sauz de la Calera	30	1977-2006	H	ENU
24154	San Francisco	41	1975-2015	NH	ENU



Estación meteorológica		Número de años con registro	Periodo	Prueba de Helmert	Estaciones analizadas
Clave	Nombre				
24157	Ojo de Agua	15	2001-2015	H	ENU
24158	Charcas	41	1975-2015	H	EU
24159	El Barril	37	1975-2011	H	ENU
24160	Coyotillos	41	1975-2015	H	EU
24161	La Herradura	37	1979-2015	NH	ENU
24162	El Carmen	41	1975-2015	H	EU
24164	Llanos del Carmen	41	1975-2015	H	EU
24165	San José de Coronado	41	1975-2015	H	EU
24169	Buena Vista	35	1981-2015	NH	ENU
24175	El Salado	36	1980-2015	NH	ENU
24176	San Juan del Tuzal	36	1980-2015	H	ENU
24180	Cañada Verde	32	1979-2010	H	ENU
24188	Coronado	31	1982-2012	H	ENU
24189	El Hospital	33	1982-2015	H	ENU
24191	San Antonio del Mezquite	33	1982-2015	NH	ENU
24192	San Francisco	41	1975-2015	H	EU
24194	San Rafael	33	1982-2015	H	ENU
24196	El Toro	15	2001-2015	NH	ENU



Estación meteorológica		Número de años con registro	Periodo	Prueba de Helmert	Estaciones analizadas
Clave	Nombre				
24197	El Terrero	33	1983-2015	H	ENU

Precipitación

El análisis de tendencia de la serie de tiempo de los datos anuales de precipitación para el periodo 1975-2015 presenta que hay incrementos en el sureste (municipio de Villa de Arista) y norte (municipio de Catorce, al norte del trópico de Cáncer) del AP, con tasas de cambio de 2 a 8 mm·año⁻¹; mientras que existe una tendencia de decremento en el sureste (municipio de Moctezuma) del AP con una tasa de cambio de hasta -2 mm·año⁻¹ (Figura 2). Esto indica tendencias de incremento y decremento de precipitación total anual locales, que aún no se reflejan en efectos regionales, y que podrían propiciar láminas de precipitaciones mayores y menores a las registradas de manera histórica, respectivamente, para cada una de las zonas.



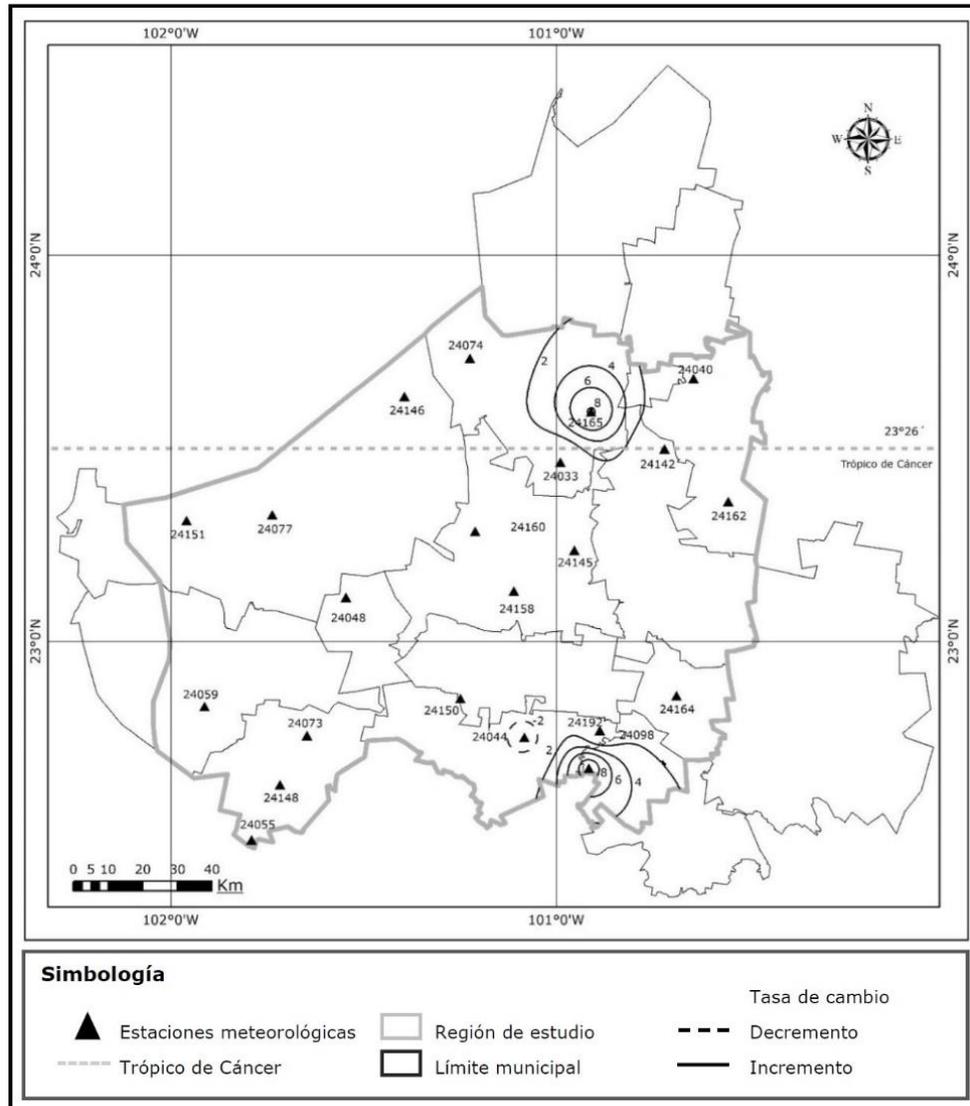


Figura 2. Resultado del análisis de tendencia anual para precipitación (1975-2015).

El análisis de tendencias de las series de tiempo de los datos mensuales de precipitación para el periodo 1975-2015 presenta que hay incrementos y decrementos principalmente en primavera, verano y otoño. Los cambios de mayor magnitud, en espacio y tiempo, se dan en los meses de septiembre (verano) y diciembre (otoño).

Para el mes de septiembre (1975-2015), como se observa en la Figura 2, hay una tendencia al incremento en el sureste (municipios de Villa de Arista y Moctezuma) y norte (municipios de Catorce, Villa de Guadalupe y Charcas), con tasas de cambio de 0.5 a 2 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$, con mayores magnitudes de incremento al norte del trópico de Cáncer, en comparación con la zona sur de esa misma zona. También se presenta una tendencia de incremento en el suroeste del AP, principalmente en el municipio de Salinas de Hidalgo, con una tasa de cambio de entre 0.5 y 1 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$. Al igual que en el resultado de tendencias de precipitaciones totales anuales, los resultados para el mes de septiembre indican tendencias (en este caso sólo de incremento) con un comportamiento local, que aún no se reflejan en efectos regionales y que coinciden espacialmente con los resultados obtenidos en el análisis anual.

En diciembre (1975-2015) se presentan tendencias de decrementos en un área extensa del AP, incluyendo municipios del norte (Catorce, Charcas y Villa de Guadalupe), sur (Venado y Moctezuma), sureste (Villa de Arista y Villa Hidalgo) y suroeste (Salinas de Hidalgo y Villa de Ramos), con tasas de cambio que van -0.1 a -0.5 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$, siendo las mayores



tasas de cambio ($-0.5 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$) al centro del AP en los municipios de Catorce, Charcas y Moctezuma (Figura 4). Este resultado sugiere ya una tendencia regional. Se puede observar que las zonas con tendencia de decremento en el norte (municipios de Catorce, Charcas y Villa de Guadalupe) y en el sureste (municipio de Villa de Arista) presentan también tendencia al incremento como se muestra en la Figura 3, lo cual indica una variación en la temporalidad de la precipitación, incrementando en verano y disminuyendo en otoño.

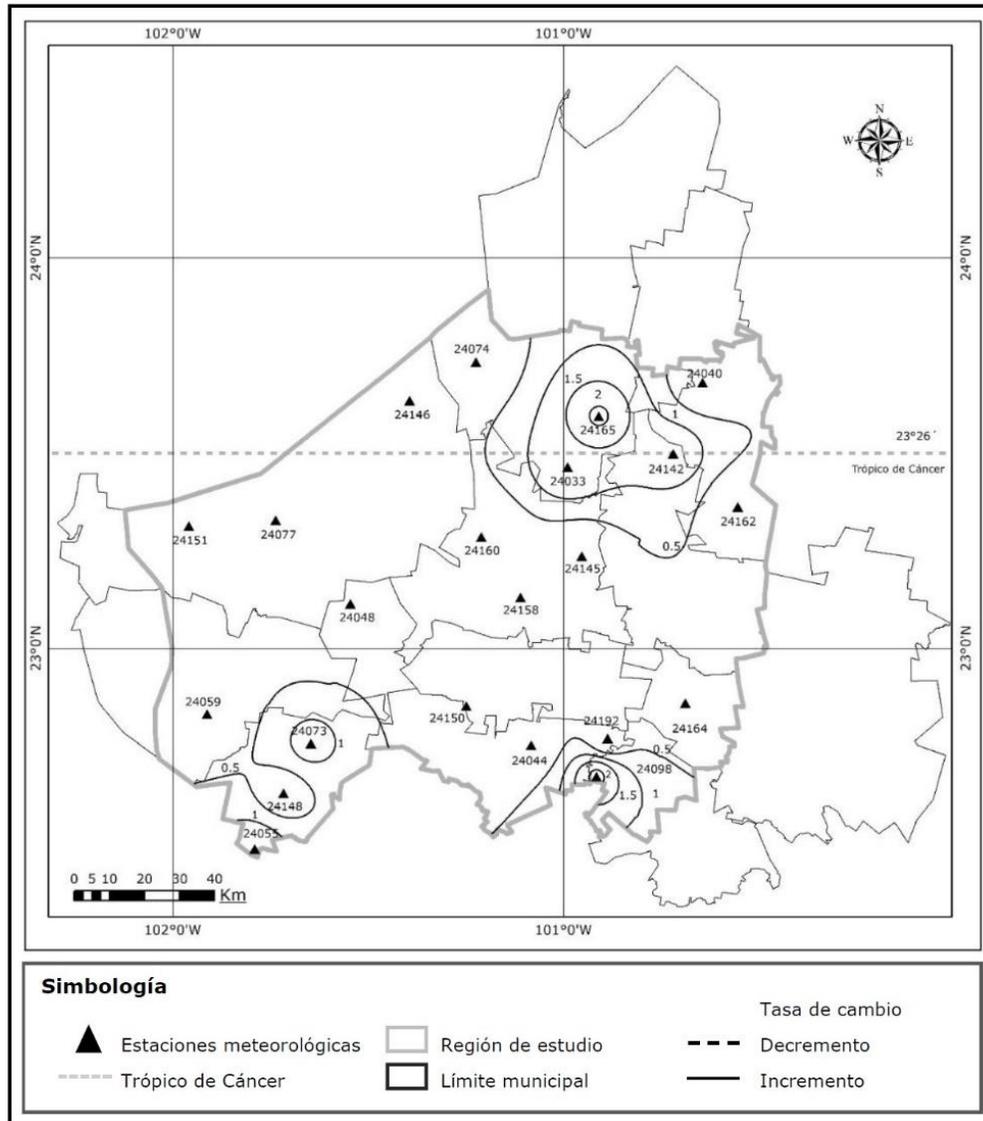


Figura 3. Resultado del análisis de tendencia mensual para precipitación (septiembre, 1975-2015).

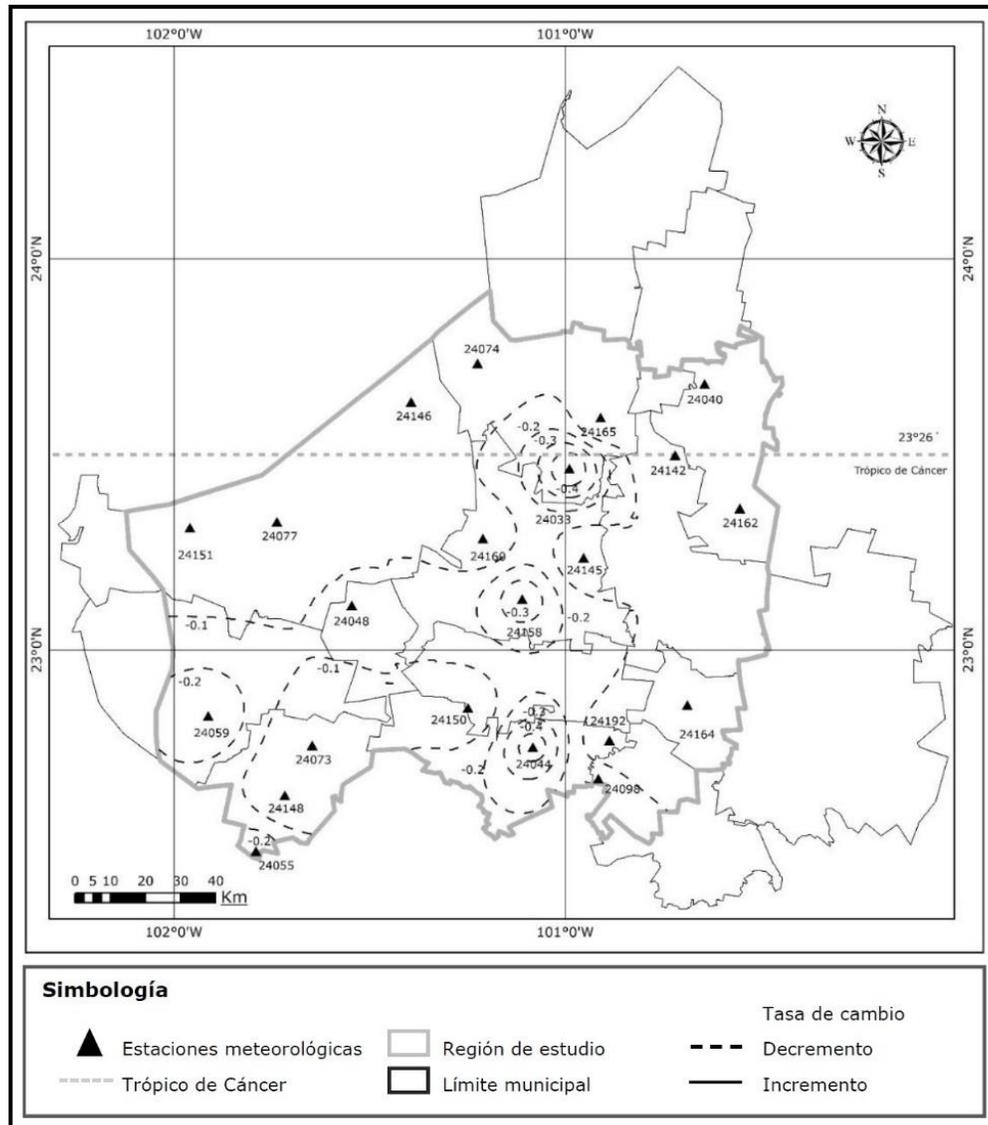


Figura 4. Resultado del análisis de tendencia mensual para precipitación (diciembre, 1975-2015).

Con base en los incrementos detectados en verano y los decrementos en otoño, y en que prácticamente no existen tendencias en las precipitaciones totales anuales, se sugiere que hay un cambio temporal en el comportamiento de la precipitación, presentándose una “compensación temporal” que mantiene la precipitación total anual sin una tendencia al incremento o decremento.

En la Tabla 2 se presentan los resultados completos del análisis de tendencias para precipitaciones totales anuales y precipitaciones totales mensuales. Se observa, como ya se mencionó, que tres estaciones presentaron cambio en el análisis de las precipitaciones totales anuales. Por ejemplo, la estación 24044, localizada en el municipio de Moctezuma, en la parte sur del AP, presenta una tasa de decremento anual de $-2.75 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, con decrementos, en el análisis mensual en primavera (junio) y otoño (diciembre), con tasas de decremento de -0.07 y $-0.45 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente, en el periodo analizado. La estación 24098, localizada al sureste del AP, en el municipio de Villa de Arista, presenta una tasa de incremento anual de $8.92 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, con tasas de incremento mensual en primavera (junio) y verano (julio y septiembre) de 0.99 , 2.23 y $2.12 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente, y una tasa de decremento en otoño (diciembre) de $-0.13 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, es decir, se observa una componente temporal de cambio de tendencia, además de la componente espacial, debido a que las tasas de incremento superan a la de decremento, por lo que se sugiere que al incrementarse la precipitación en primavera y

verano debe haber otra zona donde esté existiendo un decremento en la precipitación que compense las precipitaciones totales anuales, que como se observó no tienen tendencia en el periodo de estudio. Para la estación 24165, localizada en el municipio de Catorce, al norte del AP, se observa una tasa de cambio anual de $8.10 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, con tendencias de incremento en la precipitación mensual en los meses de verano. En algunas estaciones (p. ej., la 24040) no se presentaron cambios en las tendencias de precipitación total anual y total mensual; mientras que para otras estaciones (p. ej., la 25055) se observan cambios temporales en la precipitación total mensual, que no se reflejan en las tasas de cambio anuales. Aunque de manera general en términos espaciales, se registran pocos casos de cambios en las tendencias de precipitación en las estaciones del AP; predominan los incrementos en la precipitación en primavera y verano; mientras que en otoño hay una tendencia al decremento de la misma. Las celdas en blanco indican que no existe tendencia al incremento o decremento de precipitación.

Tabla 2. Resultados del análisis de tendencias de precipitación en el altiplano potosino (1975-2015).

Estación	Anual	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
24040													

Temperatura

El análisis de tendencia de la serie de tiempo de los datos anuales de temperatura media presenta que hay incrementos en el centro (municipio de Charcas) con tasas de 0.2 a 0.8 °C·año⁻¹; al sureste (municipios de Moctezuma, Venado, Villa de Arista y Villa Hidalgo) y noroeste (Municipio de Catorce) del AP, con tasas de incremento de 0.2 a 0.6 °C·año⁻¹ y 0.2 a 0.4 °C·año⁻¹, respectivamente; mientras que se presentan decrementos en el centro (municipio de Charcas) y oeste (municipio de Santo Domingo) del AP con tasas de -0.2 a -0.4 °C·año⁻¹ (Figura 5). Esto indica tendencias de incremento en una amplia extensión al centro y sureste (por lo que podría considerarse como un efecto a nivel regional), y de incremento y decremento puntuales en el norte y centro, respectivamente, del AP.

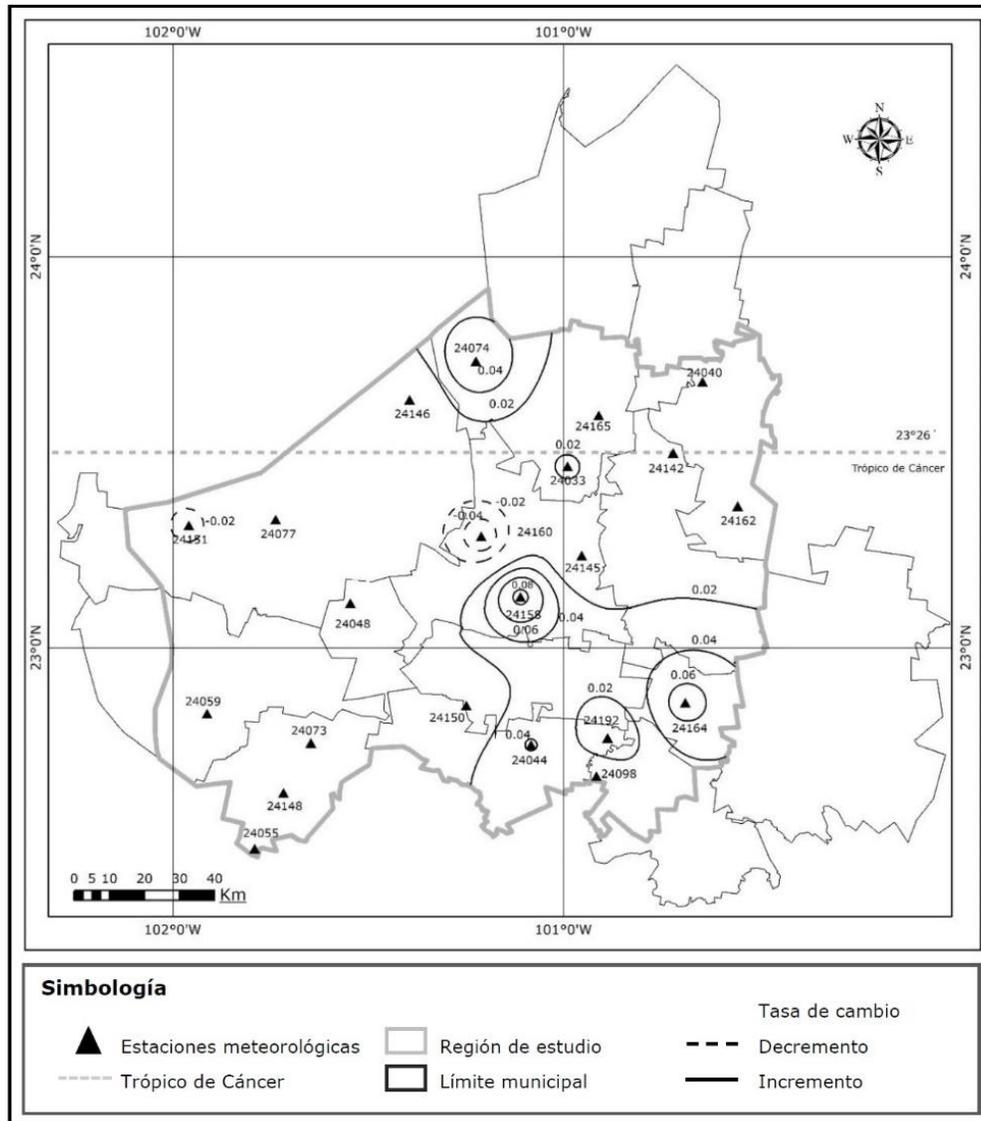


Figura 5. Resultado del análisis de tendencia anual para temperatura (1975-2015).

El análisis de tendencias para el mes de junio (1975-2015), presenta que hay incrementos en noreste (Matehuala y Villa de la Paz) y noroeste (Catorce), con tasas de cambio de 0.02 a 0.04 °C·año⁻¹; centro (Charcas, Villa de Guadalupe y Venado) y sureste (Villa de Arista y Villa Hidalgo) con tasas de cambio de 0.02 a 0.10 °C·año⁻¹, y oeste (Santo Domingo) y suroeste (Villa de Ramos) del AP, con tasas de cambio de 0.02 a 0.08 °C·año⁻¹. También se presenta una tendencia de decremento en el centro del AP, principalmente al norte del municipio de Salinas de Hidalgo y al oeste del municipio de Charcas, con una tasa de cambio de entre -0.02 y -0.04 °C·año⁻¹ (Figura 6

Figura 6). Con base en estos resultados, se pueden identificar como puntuales las tendencias de incremento presentadas en el noreste y noroeste, mientras que en el centro y sureste parece indicar una tendencia con comportamiento regional.

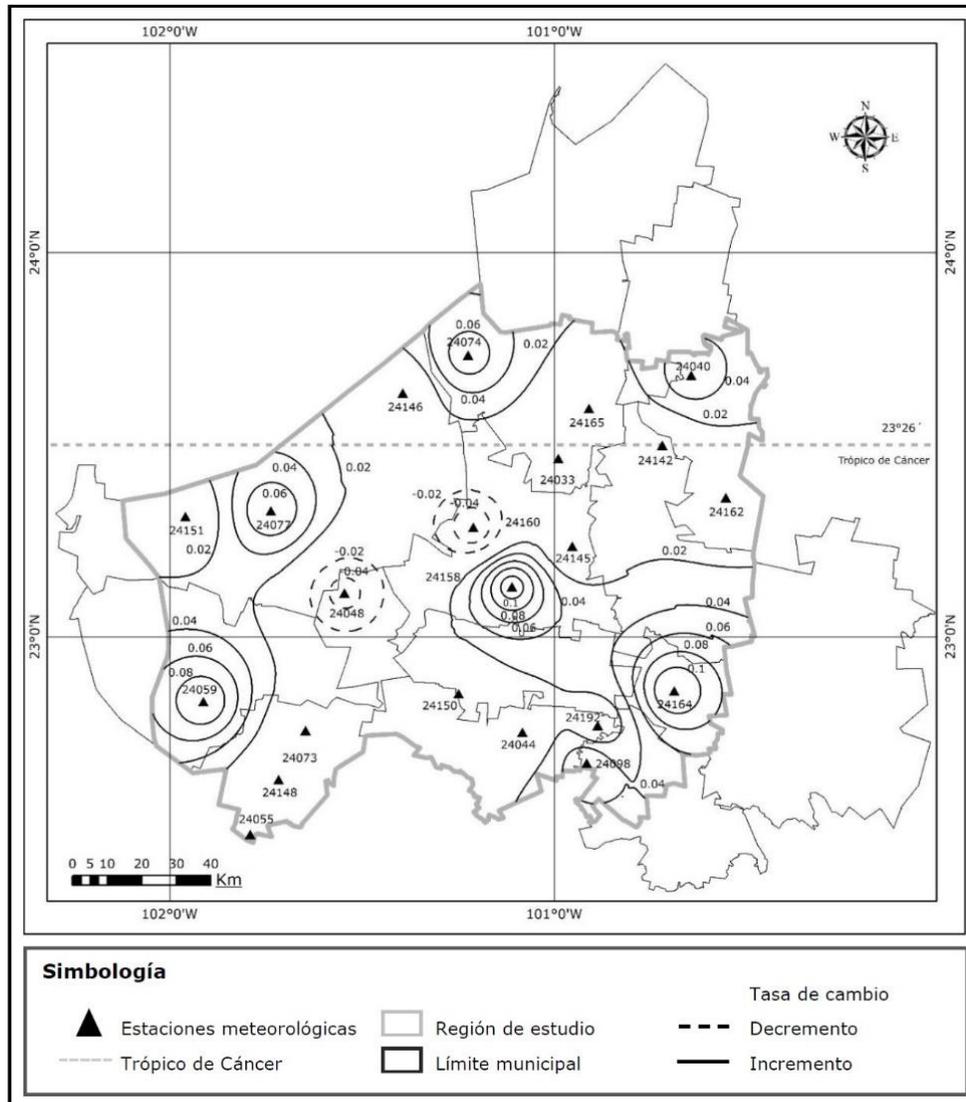


Figura 6. Resultado del análisis de tendencia mensual para temperatura media (junio, 1975-2015).

Las tendencias con decremento, ubicadas en la zona centro del AP (Charcas), sugieren efectos locales que se relacionan con la tendencia de decremento en el análisis anual, lo cual indicaría que los cambios mensuales se están reflejando de manera anual.

El análisis de tendencias para el mes de diciembre (1975-2015), presenta que hay incrementos puntuales al sur (Moctezuma) y suroeste (Salinas de Hidalgo) con tasas de cambio de 0.02 a 0.04 °C·año⁻¹. También se presentan tendencias de decrementos puntuales en el centro (Charcas) y oeste (Santo Domingo) del AP, con una tasa de cambio de entre -0.02 y -0.04 °C·año⁻¹ (Figura 7). Estos comportamientos puntuales, sugieren que los cambios en las tendencias de la temperatura mensual pueden deberse a efectos locales. El resultado de este mes es el más representativo en cuanto a la tendencia de decremento de temperatura. Como ya se mencionó, las tendencias con decremento en la zona centro del AP (Charcas) sugieren efectos locales que se están reflejando de manera anual.



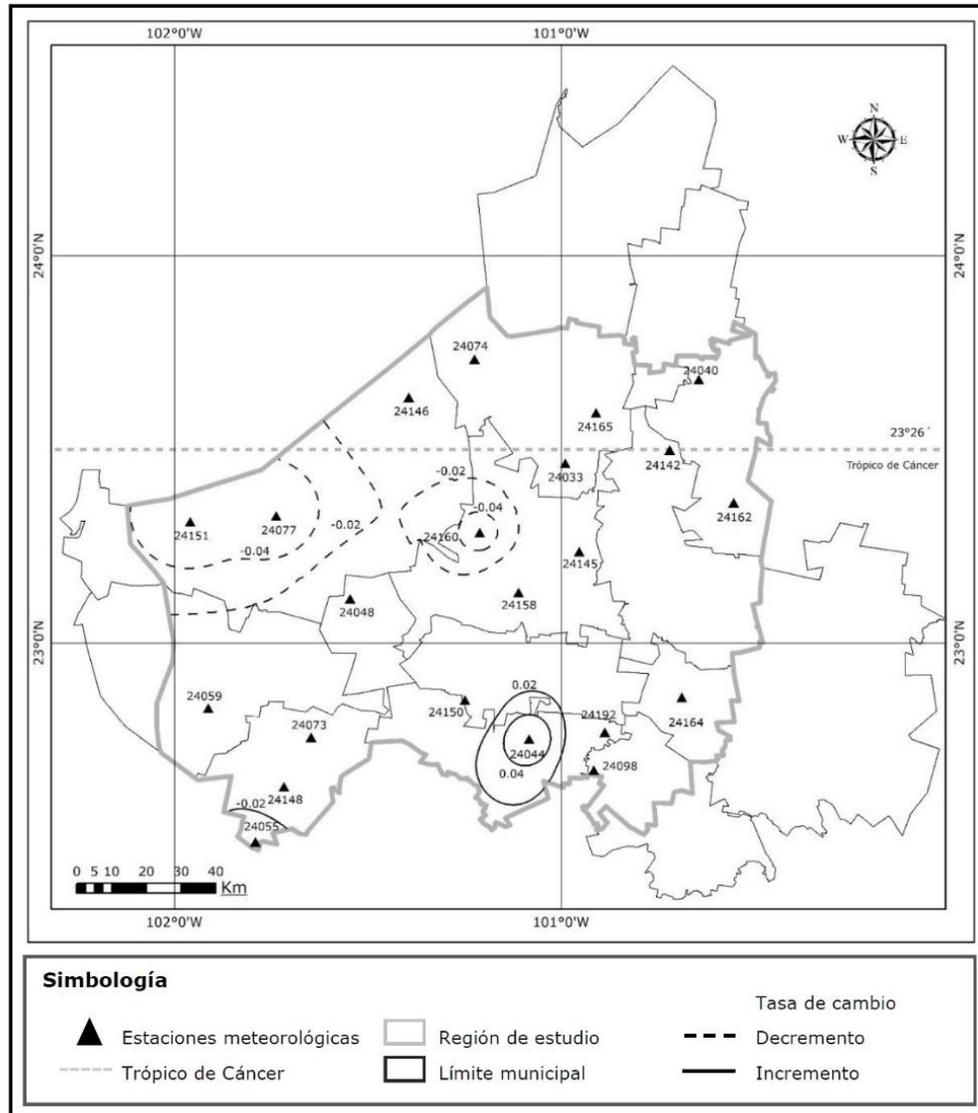


Figura 7. Resultado del análisis de tendencia mensual para temperatura media (diciembre, 1975-2015).



A diferencia del comportamiento observado en las tendencias de precipitación mensual en las estaciones analizadas, los cambios en las tendencias de las temperaturas medias anuales y mensuales fueron más comunes. En la Tabla 3 se presentan los resultados completos del análisis de tendencias para temperaturas medias anuales y medias mensuales. Se observa que en 8 de las 22 estaciones analizadas se presentan cambios en las tendencias de temperatura media anual, seis de ellas con tendencia de incremento (de 0.02 a 0.08 °C·año⁻¹) y dos de decremento (de -0.02 a -0.05 °C·año⁻¹), ambos casos sin una tendencia espacial. En todos los meses del año existen tendencias al incremento o decremento en la mayoría de las estaciones meteorológicas. Sólo dos estaciones, la 24142, localizada al noreste del AP en el municipio de Villa de Guadalupe, y la 24150, localizada al sur en el municipio de Venado, no presentan tendencia temporal alguna. La mayoría de las estaciones meteorológicas presentan tendencia al incremento en las temperaturas medias mensuales, lo que argumenta los cambios en las temperaturas medias anuales reportadas en la Figura 5. Las celdas en blanco indican que no hubo tendencia al incremento o decremento de temperatura.

Tabla 3. Resultados del análisis de tendencias de temperatura en el altiplano potosino (1975-2015).



Estación	Anual	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
24040						0.06	0.05				0.05		
24044	0.04	0.06	0.07						0.04				0.06
24048						-0.06	-0.05						
24055		0.08	0.05										0.04
24059							0.10	0.09	0.08		0.10		
24073									0.03	0.03			
24074	0.06		0.09			0.08	0.07	0.11	0.09	0.05			
24077		-0.07			0.08	0.08	0.08	0.00	0.08	0.06		-0.06	-0.06
24098	0.04					0.02	0.06	0.06	0.06	0.03			
24142													
24145									0.04				
24146									0.03				
24148		-0.04		-0.06									
24150													
24158	0.08				0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.08	0.10	0.08	
24160	-0.05			-0.05	-0.06	-0.08	-0.06	-0.06	-0.07	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05
24033	0.02		0.04						0.03	0.02			
24151	-0.02					-0.02		-0.03			-0.04	-0.06	-0.05
24162		-0.07	0.08	-0.08								-0.08	

Estación	Anual	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
24164	0.07				0.12		0.12		0.09				
24165			0.09		0.11								
24192						0.07				0.04			

Precipitación y temperatura

Al observar los resultados de las tendencias de las dos variables analizadas, sólo en dos estaciones en las que se presentó tendencia de incremento y decremento de precipitación anual también mostraron tendencia en el cambio de temperatura. En el caso de la estación meteorológica 24044, se presentó una tendencia de decremento en la precipitación anual de $-2.75 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y para temperatura media anual un incremento de $0.04 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{año}^{-1}$. En la estación meteorológica 24098 se presentó una tendencia de incremento en la precipitación anual de $8.92 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y para temperatura media anual un incremento de $0.04 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{año}^{-1}$.



Todas las estaciones meteorológicas presentaron para alguna de las variables analizadas, ya sea anual o mensual, un cambio de tendencia en algún mes del año, a excepción de la estación meteorológica 24150, ubicada en el municipio de Venado, la cual no mostró ningún cambio en las tendencias analizadas.

En los resultados se puede observar que en los meses de enero, febrero (invierno), mayo (primavera), octubre y noviembre (otoño) hay tendencias al incremento o decremento en la temperatura en algunas estaciones, mientras que no se identificaron tendencias en la variable de precipitación para ninguna estación meteorológica analizada, lo cual indica que los cambios en temperatura no han tenido influencia en el comportamiento de la precipitación para los meses mencionados. En los meses de marzo (invierno) y agosto (verano) se presentan cambios en las tendencias de incremento y decremento de temperatura, y cambios de tendencia al incremento en precipitación en una sola estación para cada uno de los meses mencionados, pero que no coinciden con las estaciones donde se presentan cambios de tendencia en la variable de temperatura, es decir, se infiere que no existe relación espacial en el comportamiento de las tendencias de ambas variables. Para los meses de abril, junio (primavera), julio, septiembre (verano), y diciembre (otoño) hay cambios de incremento y decremento en las variables de precipitación y temperatura coincidiendo en al menos una misma estación en sus diferentes combinaciones de tendencias; por ejemplo, en el mes de abril,



la estación 24160 presenta una tendencia al decremento de temperatura y precipitación con $-0.06 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{año}^{-1}$ y $-0.55 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente; mientras que para el mes de diciembre se presentan incrementos de temperatura de 0.06 y $0.04 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{año}^{-1}$, y decrementos de precipitación de -0.55 y $-0.25 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ para las estaciones 24044 y 25055, respectivamente, entre otros casos.

Para los cambios de tendencia en las precipitaciones mensuales, se observa que no existe un patrón espacial. En términos de temporalidad, las tendencias de incremento se dan sobre todo en primavera y verano, en específico en los meses de junio y septiembre, respectivamente; las tendencias de decremento se presentan en otoño, exclusivamente en el mes de diciembre.

En los resultados del análisis de tendencias en las temperaturas mensuales se observa que no existe un patrón espacial; en todos los meses hay incrementos y/o decrementos significativos en al menos tres estaciones meteorológicas. En términos de temporalidad, las tendencias de incremento se presentan sobre todo en primavera y verano; las tendencias de decremento se tienen principalmente en los meses de otoño e invierno. Se debe resaltar que en particular en la estación 24160, localizada en Charcas, existe una tendencia muy marcada en el decremento (en todas las estaciones del año, excepto en los meses de enero y febrero), lo cual puede interpretarse como un efecto local. Las tendencias de incremento de temperatura predominan en el AP, lo que



concuera con lo reportado por Martínez (2007), quien menciona que con base en resultados de modelos de cambio climático se prevén en México incrementos significativos de temperatura durante el presente siglo.

Conclusiones

Una vez evaluados estadísticamente 41 años de información correspondiente a precipitaciones y temperaturas anuales y mensuales en las estaciones meteorológicas localizadas en la región del AP, se detectaron cambios en las tendencias anuales de precipitación de manera local en tres estaciones (24044, 24098 y 24165); mientras que en el análisis de las precipitaciones mensuales existió mayor variabilidad en las tendencias sin que se haya detectado algún patrón espacial. De manera temporal se detectó que en los meses de primavera y verano existe una tendencia de incremento de las precipitaciones mensuales, mientras que en otoño, específicamente en el mes de diciembre, existe una clara tendencia de decremento de la precipitación. Se sugiere que entre los periodos de incremento y decremento existe una compensación, de tal



manera que aún no se refleja y, por lo tanto, no se detecta de manera significativa un incremento y/o decremento en la temporalidad anual, a excepción de las estaciones anteriormente mencionadas.

Con respecto a la evaluación de la temperatura, ya sea de forma anual o mensual, se detectó una mayor variabilidad en las tendencias. Hay un mayor reflejo en la variabilidad anual, sustentada por los cambios mensuales, o en su caso existen variaciones mensuales que aún no se ven reflejadas en una tendencia anual. Este variable sugiere mayor sensibilidad con respecto de la variable de precipitación y en su momento deberán evaluarse las posibles repercusiones futuras en el comportamiento de la precipitación. Con respecto a los resultados obtenidos, se observa una tendencia de incremento de la temperatura media anual en la zona sureste del AP, y que aparentemente es consecuencia también de un mismo comportamiento observado en incrementos en las tendencias de las temperaturas medias mensuales en la misma región para los meses de junio y septiembre. Con respecto a los decrementos detectados en los análisis anuales y mensuales, los resultados sugieren comportamientos puntuales.

Por otra parte, la información histórica disponible es una gran limitante para este tipo de análisis, pues si se contara con mayor cantidad y calidad de información histórica de manera continua se podría realizar un análisis con mayor grado de resolución espacial y temporal.



El análisis de tendencias de series de tiempo de precipitación y temperatura constituye un primer paso para identificar las causas que estén involucradas en los cambios de temporalidad y espacialidad en los fenómenos meteorológicos analizados.

Agradecimientos

Se agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), en la convocatoria de Apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento del Año 2018. Proyecto “Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica del Acuífero Administrativo de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí”, número de oficio de la carta de liberación 511-6/18-8708.

Referencias

- Algara, M. (2009). *Propuesta metodológica para medir el impacto de la sequía en la huasteca potosina y propuesta general de manejo*. (tesis de doctorado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Ayllón, T. (2003). *Elementos de meteorología y climatología* (2da ed.). México, DF, México: Trillas.



- Blanco, P., Vázquez, V., Reyes, J., & Guzmán, M. (2015). Inventario de recursos turísticos como base para la planificación territorial en la zona Altiplano de San Luis Potosí, México. *Cuadernos de Turismo*, (35), 17-42. Recuperado de <https://doi.org/10.6018/turismo>
- Bradley, R., Diaz, H., Eischeid, J., Jones, P., Kelly, P., & Goodess., C. (1987). Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, 237, 171-175.
- Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M., & Nanni, T. (2000). Precipitation intensity trends in Northern Italy. *International Journal of Climatology*, 20, 1017-1031.
- Campos, D. F. (2015). Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas; en 30 registros con más de 50 años. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 355-368.
- Campos, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico* (tercera reimpression). San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- Carlón, T., & Mendoza, M. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto Geográfico, UNAM*, (63), 56-76.
- Corte-Real, J., Qian, B., & Xu, H. (1998). Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale

- atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 18, 619-635.
- Dietz, E., & Killeen, T. (1981). A nonparametric multivariate test for monotone trend with pharmaceutical applications. *Journal American Statistical Association*, (76), 169-174.
- García, E. (1986). *Apuntes de climatología* (2da ed). México, DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Conabio, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (1998). *Climas Escala 1: 250,000*. Recuperado de <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/clima1mgw>
- Haylock, M., & Nicholls, N. (2000). Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998. *International Journal of Climatology*, (20), 1533-1541.
- Hirsch, R., Hesel, D., Cohn, T., & Gilroy, E. (1993). Statistical analysis of hydrologic data. In: Maidment, D. R. (ed.). *Handbook of Hydrology*. New York, USA: McGraw Hill.
- Hoeffding, W. (1948). A class of statistics with asymptotically normal distribution. *Annals of Mathematical Statistics*, (19), 293-325.
- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation. *Science*, (296), 676-679.



- Inafed, Instituto Nacional para Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Medio físico*. Recuperado de <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM15mexico/index.html>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Censo agropecuario*. San Luis Potosí, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2001). *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Recuperado de <https://archive.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Juárez, A. (2015). *Adaptación del modelo IDW mediante series de tiempo para el análisis de tendencias de precipitación pluvial* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., México.
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods* (4th ed.). London, UK: Charles Griffin.
- Kendall, M. (1938). A new measure of Rank correlation. *Biometrika*, 30, 81-93.
- Kruger, A. (2006). Observed trends in daily precipitation indices in South Africa: 1910-2004. *International Journal of Climatology*, 26(15), 2275-2285.

- Martínez, P. (2007). Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen I. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Magaña, V. (2004). El cambio climático global: comprender el problema. En: Martínez, J., & Fernández, A. (comps.). *Cambio climático: una visión desde México* (pp. 17-20). México, DF, México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Magaña, V., Landa, R., & Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático* (edición 2008). México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Mann, H. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
- Mather, J. R. (1977). Workbook in Applied Climatology. Exercise II: Skewness, homogeneity and correlation. In: *Publications in Climatology*, 30(1) (pp. 9-14). New Jersey, USA: Laboratory of Climatology.
- Méndez, J., Návar, J., & González, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto Geográfico, UNAM*, (65), 38-55.

- Miklos, T. (2018). *Cambio climático y seguridad nacional: perspectiva, escenarios y estrategias*. Ciudad de México, México: Siglo XXI Editores.
- Molnár, P., & Ramírez, J. (2001). Recent trends in precipitation and streamflow in the Rio Puerco Basin. *Journal of Climate*, 14(10), 2317-2328.
- Montero, M., & Perez, J. (2008). Regionalización de proyecciones de precipitación y temperatura en superficie aplicando el método REA para México. En: Martínez, P., & Aguilar, A. (eds.). *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. Volumen II (pp. 11-22). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Nieto, J., Martínez, R., Regalado, J., & Hernández, F. (2002). Análisis de tendencia de series de tiempo oceanográficas y meteorológicas para determinar evidencias de Cambio Climático en la costa de Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 11(1), 17-21. Recuperado de <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/2246/An%20a1lisis%20de%20tendencia%20de%20series%20de%20tiempo%20oceanogr%20fic%20y%20meteorol%20gicas....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Reiter, A., Weidinger, R., & Mauser, W. (2012). Recent climate change at the Upper Danube-A temporal and spatial analysis of temperature and precipitation time series. *Climatic Change*, 111, 665-696.
- Sedeco, Secretaría de Desarrollo Económico. (2013). *Estudios: el Estado de San Luis Potosí*. Recuperado de <http://www.sdeslp.gob.mx/estudios/perfiles/Estado%20de%20slp.pdf>.
- Tello, D. (2019). *Análisis espacial y temporal de las tendencias de precipitación y temperatura, en el acuífero administrativo de San Luís Potosí 2411* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de San Luís Potosí, San Luis Potosí, México.
- Zhang, X., Harvey, K. D., Hogg, W. D., & Yuzyk, T. R. (2001). Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research*, 37(3), 987-998.

