

ANÁLISIS DE TENDENCIAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CUENCA DEL RÍO COLORADO, EUA-MÉXICO

Leopoldo Isaac Alaniz Ceja, Fernando Jorge González Villarreal y Jorge Alberto Arriaga Medina

Instituto de Ingeniería, UNAM, Circuito Escolar S/N, Edificio 5 Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510.

Número de contacto: 5540363924

E-mail: fgv@pumas.iingen.unam.mx, LAlanizC@iingen.unam.mx, jarriagam@iingen.unam.mx

Introducción

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2008), el aumento de temperaturas observado durante las últimas décadas ha impactado de manera negativa en el ciclo hidrológico y se prevé que sus efectos se agravarían si ninguna acción es implementada. En particular, las proyecciones indican que la escorrentía fluvial promedio anual y la disponibilidad de agua disminuirían en algunas regiones secas de latitudes medias. Dicha disminución afectaría la función y utilización de las infraestructuras hídricas existentes, así como al sistema de gestión y gobernanza hídrica en diferentes niveles.

Ante el incremento de los efectos de la variabilidad climática y del cambio climático global, los esfuerzos académicos para determinar su impacto en cada una de las cuencas han ido en aumento. Dada su complejidad, resulta de especial interés analizar el caso de las cuencas transfronterizas, pues en ellas en la gestión de los recursos hídricos intervienen una multiplicidad de actores y sus decisiones afectan otros ámbitos además del hidrológico, como el político, la seguridad alimentaria, la conservación del medio ambiente, entre otros.

Considerando lo anterior, el presente artículo busca determinar la variabilidad climática en las variables de temperatura y precipitación en la cuenca del río Colorado, cuenca compartida entre los países de México y Estados Unidos y la cual, se encuentra sometida a una compleja regulación sobre el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos.

Localización y características de la cuenca

La cuenca del río Colorado tiene una extensión aproximada de 630,000 km², abarcando 7 estados de la Unión Americana (Figura 1). Adicionalmente, los últimos 160 km del cauce del río Colorado se encuentran al sur de la frontera internacional México-Estados Unidos, entre los estados de Baja California y Sonora, teniendo un área aproximada de 5 923.16 km².



Figura 1.- Localización de la cuenca transfronteriza del río Colorado.

El tipo de suelo predominante en la cuenca es árido y desértico de color rojo, el cual es incapaz de soportar vegetación. Hidrológicamente, la región de la Cuenca alta presenta una alta permeabilidad asociada a sus rocas metamórficas superficiales, es decir, que gran parte de la precipitación que se haya en la zona de la cuenca alta, escurre; por otro lado, en la región de la Cuenca baja se tiene una permeabilidad moderada, el cual permite una infiltración a considerar.

Metodología

Para integrar la base de datos climatológicos se recopiló información sobre precipitación y temperaturas de la cuenca tomando como base los registros de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). En particular, se consideraron las estaciones climatológicas con un periodo mínimo de 50 años continuos, distribuidas a lo largo de la cuenca.

El análisis de los datos se realizó con base en los registros anuales de las estaciones climatológicas seleccionadas. Se utilizaron pruebas de hipótesis no paramétricas para analizar la media de las muestras. Los cambios bruscos dentro de la serie temporal fueron considerados mediante la utilización de la prueba de PETTITT y para obtener las posibles tendencias de las series se utilizó la prueba Mann-Kendall (Khaled H. Hamed, 2007). Una vez obtenida la posible tendencia, se obtuvo la variación de cambio por medio de la pendiente sen.

Teniendo lo anterior, se realizarán los análisis de resultados y conclusiones.

Mann-Kendall

Su desarrollo se resume como:

1. Se listan los valores de las variables (precipitación por ejemplo), de forma ordenada (x_1, x_2, \dots, x_n)
2. Se obtiene el signo de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes ($x_j - x_k$) con ($j > k$) de acuerdo con:

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad [1]$$

3. Obtención del estadístico S de Mann Kendall, mediante la ecuación:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k) \quad [2]$$

Si S es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando S es negativo se infiere que hay tendencia decreciente.

4. Con base a los indicadores se estima una varianza para el estadístico S de Mann Kendall, que considera el caso de los empates $\text{signo}(x_j - x_k) = 0$ obtenidos en el paso 2, mediante la ecuación:

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{q=1}^g t_q(t_q-1)(2t_q+5)] \quad [3]$$

5. Cálculo del estadístico Z_{MK} mediante:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad [4]$$

6. A partir del estadístico Z se evalúa la hipótesis de interés, que puede ser:

- a). H0: No hay tendencia vs. H1: Hay tendencia decreciente
- b). H0: No hay tendencia vs. H1: Hay tendencia creciente

Resultados

Con el fin de enfatizar los cambios que se presentan en la cuenca resultado de los análisis de tendencias, se realizó un mapa mostrando cada variable analizada. Ello permitió obtener la localización de las estaciones que presentan una tendencia significativa, su valor de cambio, así como la distribución que tienen a lo largo de la cuenca.

PRECIPITACIONES: Se analizaron 197 estaciones de las cuales 20 presentaron una tendencia significativa. En la figura 2 se observa la distribución de las estaciones. Las estaciones que se presentan con el símbolo de punto de menor tamaño no presentan tendencia, mientras que las que poseen un triángulo, presentan un decremento en la precipitación; por último, las del símbolo de círculo de color blanco presentan un incremento.



Figura 2.- Estaciones con tendencia para los datos de precipitación.

Como se puede observar en la figura 2, la mayoría de los cambios se presentan en la parte alta de la cuenca, predominando una tendencia de decremento en la precipitación.

TEMPERATURAS MÁXIMAS: Se analizaron 181 estaciones de las cuales el 51% presentaron una tendencia significativa. En la figura 3 se observa la distribución de las estaciones. Las estaciones que se presentan con el símbolo de punto de menor tamaño no presentan tendencia, mientras que las que se muestran con un triángulo refieren un decremento en la precipitación; por último, las del símbolo de círculo de color blanco presentan un incremento.

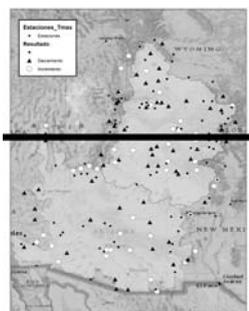


Figura 3.- Estaciones con tendencia para los datos de temp. máximas.

Para el caso de las temperaturas máximas se observaron mayor número de tendencias significativas. Ello indica que existen mayores cambios en la temperatura en comparación con las precipitaciones.

Se observan mayor número de estaciones con tendencias significativas dentro de la parte alta de la cuenca, lo cual nos indicaría que se debe de tomar mayor atención en la cuenca alta en los análisis regionales para poder observar la magnitud de cambio y si en verdad es significativo a futuro.

TEMPERATURAS MÍNIMAS: Se analizaron 181 estaciones de las cuales el 41% presentaron una tendencia significativa. La figura 4 muestra la distribución de las estaciones. Las estaciones que se presentan con el símbolo de punto de menor tamaño no presentan tendencia, mientras que las del símbolo de círculo de color blanco presentan un incremento.



Figura 4.- Estaciones con tendencia para los datos de temp.mínimas.

En el análisis de las temperaturas mínimas, las estaciones que presentaron una tendencia significativa tuvieron un incremento en su serie, lo que indica que las temperaturas mínimas en la región están incrementando. En el análisis regional se obtendrá la magnitud de ese cambio con respecto a la región de estudio.

Los resultados de temperaturas antes expuestos, concuerdan con el reporte que realiza la USBR acerca de los posibles cambios dentro de la cuenca del río Colorado (USBR,2011).

ANÁLISIS REGIONAL: Con base en los registros anuales, la distribución de las estaciones y la ponderación de las mismas, se realizó un análisis regional, tomando como parámetro la cuenca alta y baja del río Colorado. Se obtuvieron tendencias en las variables de temperaturas y precipitaciones, las cuales mostraron una tendencia significativa como se muestra a continuación:

PRECIPITACIÓN: En la figura 5, se pueden observar los análisis de las series temporales divididos por regiones: Cuenca Alta y Cuenca Baja.

Se pueden observar que existe una variabilidad climática a lo largo de los años, sin embargo, con base en los análisis correspondientes, no muestran una tendencia significativa para poder predecir la magnitud del cambio a futuro.

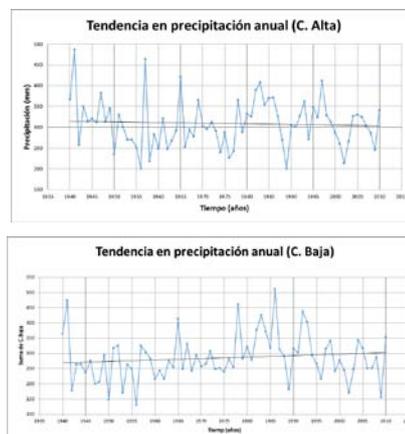


Figura 5.- Análisis regional tendencias en la Cuenca del R. Colorado, EE.UU.

En la cuenca alta, muestran ligeros cambios hacia un decremento en las precipitaciones, lo cual nos lleva a pensar en una menor disponibilidad. Por otro lado, en la cuenca baja se incrementan los

TEMPERATURAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS

**Se mostrarán en el artículo completo*

Referencias bibliográficas

- IPCC (2008) El cambio climático y el agua. *Doc Téc.VI del IPCC.*
- Khaled H. Hamed (2007) Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrologic*
- USBR (2011), Reclamation Climate Change and Water Section 2. *Basin Report: Colorado.*