

Uso de un lenguaje de programación para detección puntual del cambio climático de cada estación en México

Ramiro Chávez Mota^{1§}
Juan M. Enciso-Medina²

¹Departamento de Suelos-Universidad Autónoma. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. ²Department of Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M AgriLife Research, Weslaco, Texas, USA.

§Autor para correspondencia: chavezramiro@hotmail.com.

Resumen

El objetivo de este manuscrito fue, estudiar con exactitud el punto de cambio de la temperatura de en cada una de las estaciones meteorológicas del país, si es que existe, es sumamente importante para tomar las medidas de mitigación más adecuadas. En México existen diferentes estudios de los cambios de las temperaturas, sus tendencias y su relación con otras variables tales como la geografía, precipitación y vegetación.

Palabras clave: clima, programación, temperatura.

Recibido: octubre de 2020

Aceptado: noviembre de 2020

Para el estudio del cambio climático existen diversas bases de datos con gran cantidad de información para determinar las tendencias de las temperaturas por lo que se vuelve difícil su manejo. Por esta razón, en el presente estudio se usó programación usando el lenguaje de alto nivel visual basic para aplicaciones (VBA) para el manejo y análisis de la información. También se usaron técnicas estadísticas paramétricas como la *t* de Student (varianzas iguales) y *t* de Student modificada por Welch reportadas en Haan (2002) para establecer si la diferencia de las medias las temperaturas (máximas y mínimas) de dos periodos de tiempo formadas en cada estación es significativa o no.

En el presente estudio, para identificar el año exacto en que ocurrió la mayor diferencia entre los dos periodos (antes y después de este año) se usó programación en el lenguaje de alto nivel visual basic para aplicaciones (VBA) que viene integrado a Excel. Se usaron datos de temperaturas máximas y mínimas diarias de las aproximadamente 5 400 estaciones meteorológicas de la página del servicio meteorológico nacional (SMN) del año 1902 al año 2012. Se hicieron promedios mensuales de ambas temperaturas usando solo los meses que tuvieran 25 observaciones o más.

Se generó una base de datos con 12 tablas, una para cada mes, donde cada registro de cada tabla representa una estación meteorológica y los campos son la temperatura promedio mensual en cada uno de los 110 años analizados del mes respectivo. Los registros fueron depurados usando ciertos criterios de calidad seleccionando solo aquellos registros (estaciones meteorológicas) con promedio mensual en al menos 14 años. Quedando las 12 tablas con un número de estaciones que van de 3 800 a 3 900 según el mes en cada uno de los dos tipos de temperaturas.

Para cada estación se realizó un proceso interactivo para saber si en esa estación en particular las temperaturas tanto máximas como mínimas las temperaturas habían cambiado. Este proceso fue el siguiente para la primera interacción de una estación: las observaciones de temperatura cada se dividió en dos periodos, el primer periodo formado por las temperaturas de los primeros cinco años con datos y el segundo con el resto de los datos (al menos 9). De esta manera, se formaron dos muestras representativas de las temperaturas de cada uno de los periodos. Posteriormente, se calcularon las estadísticas necesarias para comparar ambas poblaciones (tamaño, media y varianza) a cada una de las muestras y se llevó a cabo, una prueba para saber si ambas muestras provenían de poblaciones con la misma varianza.

En el caso positivo se usó la metodología de la prueba *t* de Student para poblaciones con varianzas iguales y en el caso negativo se aplicó la metodología de Welch que es la misma prueba, pero usando la ecuación 1 para los grados de libertad y la ecuación 2 para obtener la estadística de prueba (t_c). Independientemente del caso de ambas pruebas se calculó el *p*-value, guardando este valor junto con las estadísticas de la prueba y el umbral (año de división de los dos periodos).

Para la segunda interacción las dos muestras se formaron de la siguiente manera: la muestra del primer periodo se incrementó con el dato del primer año de la muestra del segundo periodo, decrementándose el tamaño de la muestra del segundo periodo en una unidad. Así formadas las muestras se aplicó la misma metodología que se usó en la primera interacción, guardando nuevamente las estadísticas y el *p*-value. El proceso descrito se hizo interactivo donde la última interacción fue cuando el tamaño de la segunda muestra era de cinco datos, que es el mismo tamaño de la primera muestra en la primera interacción.

Al terminar el proceso interactivo se seleccionó la interacción con un menor p -value, que es la interacción en la cual las poblaciones que se están comparando presentan una mayor diferencia significativa, si es que existe. En algunas estaciones hubo varias interacciones en donde había una diferencia significativa, pero se seleccionó aquella donde la diferencia estadística es mayor entre las dos poblaciones (p -value menor).

Para saber si las poblaciones son diferentes se comparó el valor del p -value seleccionado con el

nivel de significancia ($\alpha= 0.1$); $g_l = \left[\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1-1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2-1}} \right]^{1/2}$ 1); donde: g_l = grados de libertad; S_1^2 =

varianza de la muestra 1; S_2^2 = varianza de la muestra 2; n_1 = tamaño de la muestra 1; n_2 = tamaño de la muestra 2 $T_c = \frac{X_{m1} + X_{m2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$ 2). Donde: t_c = estadística de prueba; X_{m1} = media aritmética de la

muestra 1; X_{m2} = media aritmética de la muestra 2; S_1^2 = ya definido; S_2^2 = ya definido.

En la Figura 1 se observa que la primera pantalla del sistema de cómputo que se elaboró para la realización del presente estudio hay tres opciones en el cual en su primera opción <por estación> se puede apreciar un listado de todas las casi 3 900 estaciones a las cuales se le hace el análisis estadístico mencionado. En la parte derecha, se pueden apreciar cuatro columnas. Las primeras dos columnas serían año y temperatura promedio mensual (del mes que corresponda) del primer período comparado. De la misma manera se tiene en la tercera (año) y cuarta (temperatura promedio mensual) columnas, pero para el segundo periodo comparado.

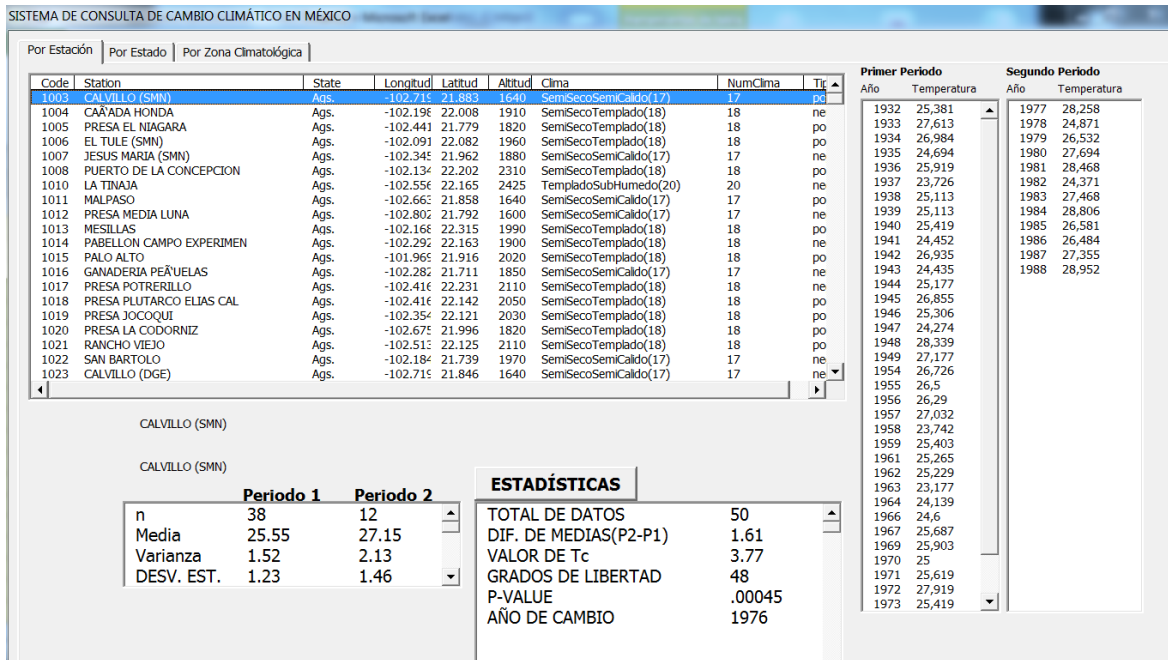


Figura 1. Primera pantalla del programa de cómputo elaborado para el presente estudio. Se presentan las estaciones de los dos periodos comparados y algunas estadísticas de cada uno de ellos. Además, de las estadísticas de la prueba con un menor p -value.

En la esquina inferior izquierda se presenta un cuadro en el cual se presentan algunas estadísticas de los datos de temperaturas promedio en la estación seleccionada de los dos periodos que se están comparando, tales como n (número de observaciones), media, varianza, desviación estándar de cada uno de los periodos comparados. En el último cuadro de esta pantalla se presentan las estadísticas de la prueba que se usó en la comparación como son el total de datos, DIF de medias (P2-P1) (diferencia de medias entre los dos periodos, valor de t_c (el valor de la estadística de prueba), grados de libertad, p -value, año de cambio (exactamente el año en que se presenta el cambio donde las media presentan la mayor diferencia estadística).

El programa también presenta la opción de analizar las temperaturas de las estaciones agrupadas por estado (Figura 2). En el menú de la derecha de la Figura 2 se presenta la lista de estados que componen México de la cual se puede seleccionar cualquiera de ellos. Al seleccionar el sistema presenta la lista de estaciones climatológicas con las que cuenta el estado que se pueden apreciar en el cuadro de en medio.

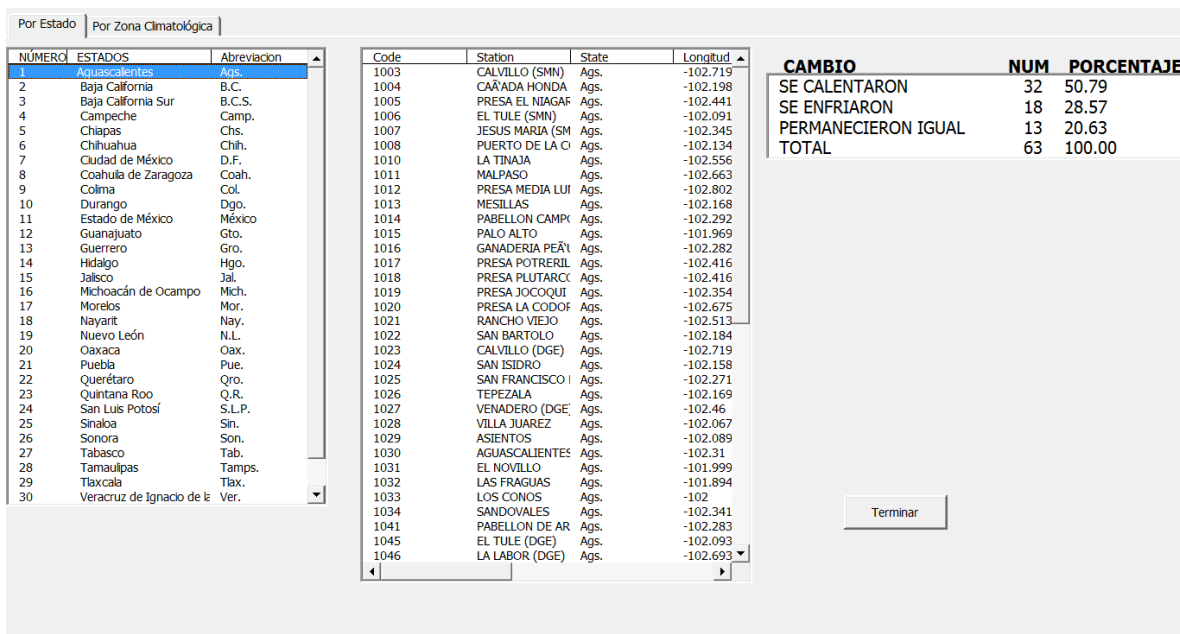


Figura 2. Segunda pantalla del programa de cómputo elaborado para el presente estudio. Se presenta un menú de la lista de estados que componen el país México del cual se puede seleccionar cualquiera de ellos y presenta la lista de estaciones del estado seleccionado (lista de en medio) y el número y porcentaje de estaciones que se calentaron, enfriaron y permanecieron igual, además de los totales.

En el cuadro de la derecha, se puede apreciar las estadísticas más importantes de todas las estaciones como son cuantas estaciones se calentaron y su porcentaje, cuantas se enfriaron y su porcentaje y cuantas permanecieron igual y su porcentaje, así como el total de cada uno de los anteriores. Se encontró que los dos estados donde hay un mayor porcentaje de estaciones que se calentaron son Michoacán de Ocampo (60.45%) y Quintana Roo (60.53%). En los dos estados donde hay un mayor porcentaje de estaciones que se enfriaron son Durango (46.9%) y Quintana Roo (47.62%).

Además, se tiene la opción de analizar las temperaturas de las estaciones por cada una de una de las zonas climatológicas existentes en México (Figura 3). Al elegir una de las zonas en el menú de la izquierda de la Figura 3 se despliega la lista de estaciones que pertenecen a dicha zona (en el cuadro de en medio). En el cuadro de la derecha se pueden ver las estadísticas que ya se explicaron para la Figura 2 pero por zona climatológica.

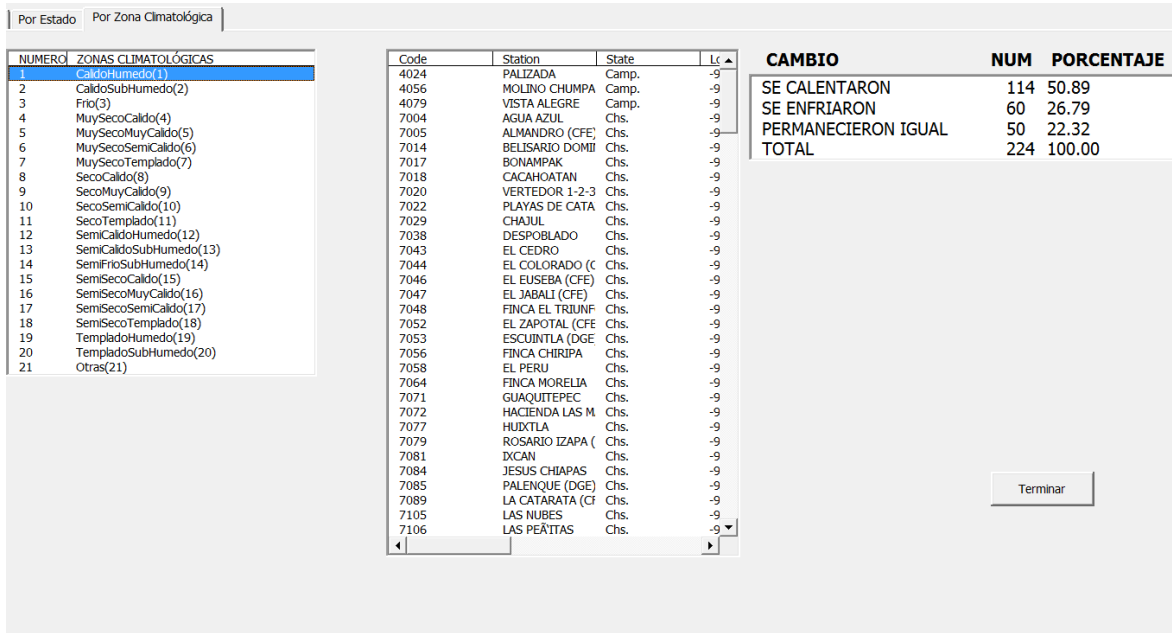


Figura 3. Tercera pantalla del programa de cómputo elaborado para el presente estudio. Se presenta un menú de la lista de zonas climatológicas que componen el país México del cual se puede seleccionar cualquiera de ellas y presenta la lista de estaciones de la zona seleccionada (lista de en medio) y el número y porcentaje de estaciones que se calentaron, enfriaron y permanecieron igual, además de los totales (lista de la derecha).

Se encontró que las dos zonas climatológicas donde hay un mayor porcentaje de estaciones que se calentaron son la zona fría (66.67%) aunque solo hay tres estaciones en esta zona y templado subhúmedo (53.65%). Y las dos zonas donde hay un mayor porcentaje de estaciones que se enfriaron son muy seco muy cálido (100%) aunque solo hay una estación en esta zona y semisecomuycálidoquintana (47.27%).

Refiriendo a las estadísticas globales 80% de las estaciones analizadas en todo México (entre 3 800 y 3 900 dependiendo del mes) hubo un cambio significativo en las temperaturas tanto máximas como mínimas. En el análisis de las temperaturas máximas, en todos los meses hubo una marcada predominancia de las estaciones donde hubo un incremento significativo sobre las que tuvieron un decremento. En el análisis de las temperaturas mínimas ocurrió lo contrario. En casi todos los meses (con excepción de enero y febrero) predominaron las estaciones donde hubo un decremento significativo de las temperaturas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de estaciones totales para cada mes en donde hubo un incremento, un decremento y donde no hubo cambio significativo en las temperaturas máximas y mínimas.

Meses	Temperaturas máximas				Temperaturas mínimas			
	Incremento	Decremento	Sin cambio	Total	Incremento	Decremento	Sin cambio	Total
Enero	1 805	1 229	792	3826	1 579	1 576	724	3879
Febrero	1 952	1 120	804	3876	1 665	1 367	842	3874
Marzo	1 954	1 167	764	3885	1 529	1 564	792	3885
Abril	1 895	1 182	805	3882	1 372	1 730	778	3880
Mayo	2 048	1 093	740	3881	1 491	1 710	681	3882
Junio	2 025	1 071	786	3882	1 488	1 713	682	3883
Julio	2 157	1 143	587	3887	1 539	1 664	682	3885
Agosto	2 098	1 163	622	3883	1 609	1 651	623	3883
Septiembre	1 962	1 170	758	3890	1 521	1 658	708	3887
Octubre	1 975	1 180	718	3873	1 443	1 551	881	3875
Noviembre	1 843	1 253	757	3853	1 273	1 687	890	3850
Diciembre	1 805	1 229	792	3826	1 142	1 888	794	3824

Conclusiones

Se logró identificar un cambio significativo en las temperaturas (máximas y mínimas) en aproximadamente 80% de las más 3 800 estaciones analizadas. En las temperaturas máximas son más las estaciones que tienen un incremento significativo que las que tienen un decremento, en todos los meses del año. Para las temperaturas mínimas hubo una tendencia contraria, ya que en casi todos los meses (con excepción de enero y febrero) fueron más las estaciones que sufrieron un decremento de temperatura.

Literatura citada

- Englehart, Phil J. and Arthur V. Douglas. 2004. Characterizing regional-scale variations in monthly and seasonal surface air temperature over Mexico. *Inter. J. Climatol.* 24(15):1897-1909.
- Haan, Ch. T. 2002. *Statistical methods in hydrology.* 2002.
- Pavia, E. G.; Graef, F. and Reyes, J. 2009. Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. *Inter. J. Climatol.* 29(9):1324-1329.
- Solomon, S. 2007. *Climate Change 2007-the physical science basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* Cambridge University Press. Vol. 4.
- Yue, S. and Ch, Y. W. 2002. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall Test. *Water Resources Res.* 38(6):41-47.