

Diferencias climáticas significativas en el periodo 1991-2020 y análisis de su representatividad para caracterización climática en la Región Centro de Jalisco

Significant climatic differences in the period 1991-2020 and analysis of its representativeness for climatic characterization in the Center Region of Jalisco

José Ariel Ruiz Corral

Universidad de Guadalajara. Departamento de Ciencias Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100. La Venta del Astillero, Zapopan, Jalisco, México. CP. 45110.
Autor para correspondencia: ariel.ruiz@academicos.udg.mx

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo comparar estadísticamente a escala mensual y anual, las climatologías 1961-1990 y 1991-2020 en la Región Centro de Jalisco, con la finalidad de determinar (en caso de existir) diferencias entre ambas climatologías y poder concluir sobre el periodo de datos adecuado para caracterizar la climatología actual de la región. Se analizó información climática de seis estaciones meteorológicas con datos para la serie 1961-2020, la cual se dividió en los periodos 1961-1990 y 1991-2020 para hacer un análisis estadístico comparativo que incluyó prueba de normalidad de datos, análisis de correlación y prueba de Tukey HSD. Tanto los resultados del análisis de correlación como de las pruebas de Tukey, muestran la presencia de numerosas evidencias de que el clima ha cambiado durante los últimos 30 años tanto a escala mensual como anual y en diversas zonas de la Región Centro. La temperatura máxima, así como la temperatura mínima media anual se están modificando significativamente con el transcurrir de los años. Los cambios encontrados en los patrones climáticos regionales, son más evidentes en el régimen de temperatura que en el de precipitación, ya que en más del 61% de los datos mensuales de temperatura máxima media y más del 55% de los datos mensuales de temperatura mínima media, se encontró un cambio significativo en la climatología 1991-2020. De acuerdo con los resultados obtenidos, la climatología actual en la región de estudio debe caracterizarse con una serie de tiempo de las últimas tres décadas o que no vaya más allá de los primeros años de la década de los 1980s, tiempo en el que el cambio climático comenzó a manifestarse de manera evidente. Las opciones que se sugieren son el periodo 1991-2020 y 1985-2020. Series climáticas mayores que 40 años se pueden seguir utilizando para caracterizar eventos climáticos raros ó extremos, y sus periodos de retorno.

Palabras clave: Cambio climático, Análisis retrospectivo, Caracterización climática representativa, Series de tiempo, Cambio térmico, Cambio pluvial.

Abstract

The objective of the current research was to compare statistically on a monthly and annual scale, the climatologies 1961-1990 and 1991-2020 in the Central Region of Jalisco, in order to determine (in case there are) differences between both climatologies and that way be able to conclude on the adequate data period to characterize the current climatology of the region. Climatic information from six meteorological stations with data for the period 1961-2020 was analyzed, which was divided into the sub-periods 1961-1990 and 1991-2020, and then carried out a comparative statistical analysis that included a data normality test, correlation analysis, and Tukey HSD test. The results of the correlation analysis but also the Tukey tests, show the presence of numerous evidence that the climate has changed during the last 30 years both on a monthly and annual scale and in diverse areas of the Central Region. The annual mean maximum and minimum temperatures are changing significantly over the years. The changes found in the regional climate patterns are more evident in the temperature regime than in the precipitation regime, since in more than 61% of the monthly data of mean maximum temperature and more than 55% of the monthly data of mean minimum temperature, a significant change was found in the 1991-2020 climatology. According to the results, the current climatology in the study region must be characterized by a time series of the last three decades or one that does not go beyond the first years of the 1980s, a period of time in which climate change began to manifest itself evidently. For that reason, the suggested options are the period 1991-2020 or 1985-2020. Climate series older than 40 years can be used to characterize extreme or irregular climatic events, and their return periods.

Keywords: Climate change, Retrospective analysis, Representative climatic characterization, Time Series, Thermal change, Pluvial change.

Introducción

La caracterización de las condiciones climáticas de un sitio o región, es una acción imprescindible cuando se tiene como finalidad armonizar las actividades productivas o de conservación de los recursos naturales con las condiciones ambientales prevalecientes. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se requiere un mínimo de 30 años de datos para realizar una caracterización climática representativa (OMM, 2018) y que pueda así utilizarse como base para la toma de decisiones en actividades de planeación. En México, el monitoreo meteorológico formal inició hace 145 años, en las instalaciones del Observatorio Nacional de Tacubaya en la Ciudad de México. Es desde entonces, el Servicio Meteorológico Nacional, la institución encargada de la principal Red de Monitoreo Meteorológico del país, y la que ha recabado la base de datos climáticos más antigua y robusta en todas las regiones de México. En Jalisco, la mayoría de las estaciones meteorológicas presentan un récord de datos consistente a partir de los años 1960s (Ruiz *et al.* 2012), esto es que se dispone de más de 60 años de datos para proceder con una caracterización climática de la Entidad. No obstante, existe un grupo de estaciones meteorológicas que comenzaron el monitoreo en años más recientes, esto es en las décadas de los años 1980s y 1990s.

Con la presencia del cambio climático, se reportan modificaciones en los patrones de diferentes variables, como temperatura y precipitación, tanto a escala nacional (Conde *et al.* 2011; Patiño-Gómez & Martínez-Austria, 2012; Barrera *et al.* 2020) como a escala estatal para el caso de Jalisco (Zarazúa *et al.* 2011; Álvarez-Pérez *et al.* 2020), lo cual ha fomentado un mayor dinamismo en la variación climática interanual e interdecadal; situación que impone mayores retos a la hora de cuantificar los recursos climáticos disponibles para la agricultura u otro tipo de aprovechamiento. Ante esta situación, se ha planteado la necesidad de identificar el periodo de tiempo que resulta representativo para la caracterización de la climatología actual, para efectos de una toma de decisiones sustentada en la realidad climática presente. Esto es, si resulta conveniente manejar el récord histórico de datos climáticos o enfocarse

sólo en la tri-década más reciente de información para representar de manera objetiva la climatología actual.

Con relación a este planteamiento, pocos o nulos reportes técnicos se tienen para la mayoría de las regiones del país. Al menos en el caso de Jalisco, no se cuenta a la fecha con reporte alguno. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue comparar estadísticamente a escala mensual y anual, las climatologías 1961-1990 y 1991-2020 en la región Centro del Estado, con la finalidad de determinar (en caso de existir) diferencias entre ambas climatologías y poder llegar a una recomendación sobre que periodo de datos utilizar para caracterizar la climatología actual de la Región Centro de Jalisco.

Manejar el récord histórico o serie completa de datos de las estaciones meteorológicas constituye el procedimiento más ortodoxo, el cual se ha utilizado hasta la fecha en renombradas fuentes globales de datos climáticos, tales como el sistema WorldClim desde su origen (Hijmans *et al.* 2005) y a través de sus diferentes actualizaciones (Harris *et al.* 2014; Fick y Hijmans, 2017). En el presente estudio, también se analiza la viabilidad de continuar utilizando esta alternativa de la serie histórica de datos, para caracterizar la climatología regional en el marco del desarrollo de aplicaciones de la información en el campo de climatología y de la agroclimatología.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se enfocó en la Región Centro de Jalisco (Figura 1) que está integrada por los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tonalá, San Pedro Tlaquepaque, Juanacatlán, Zapotlanejo, El Salto, Tlajomulco, Ixtlahuacán del Río, Ixtlahuacán de los Membrillos, San Cristóbal de la Barranca y Cuquío.

El clima predominante en la región es el (A)Ca(w₁), que tiene una cobertura territorial del 58.39% (Ruiz *et al.*, 2021) y que se describe como un clima semicálido derivado del clima templado C, con temperatura media anual entre 18 y 22°C, el mes más frío con una temperatura media <18°C y el mes más cálido con una temperatura media >22°C; su cociente precipitación media anual/temperatura media anual se ubica entre 43.2 y 55 (García, 2004).

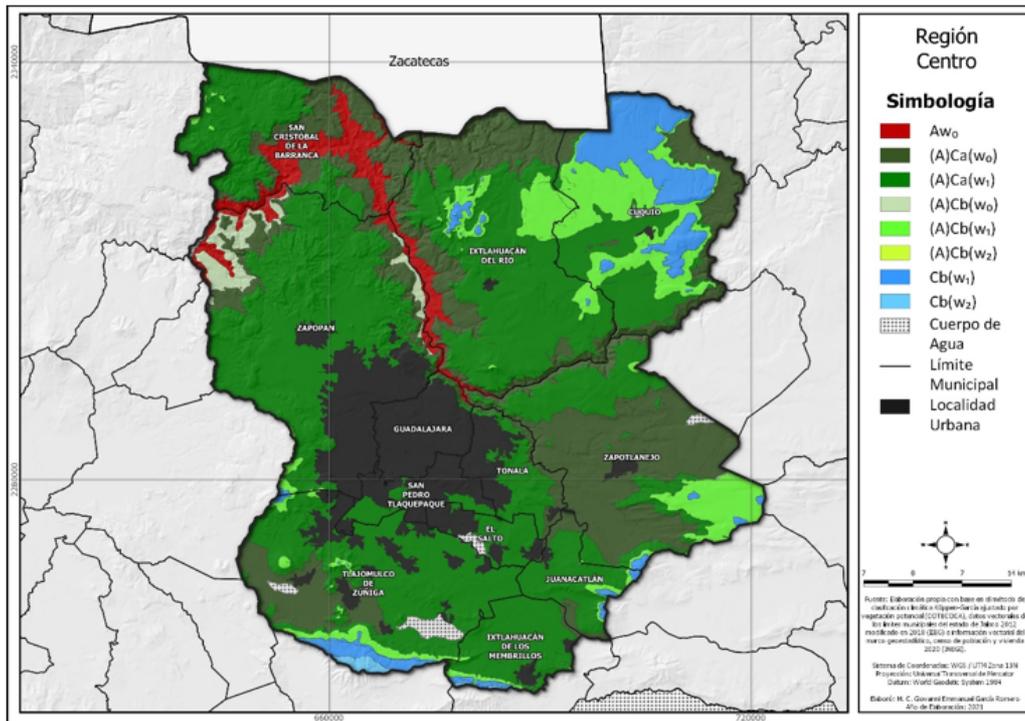


Figura 1. Municipios y tipos climáticos de la Región Centro de Jalisco (tomado de Ruiz *et al.* 2021).

Base de datos

Se utilizó información de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación a escala mensual y anual de seis estaciones meteorológicas con récord de datos entre 1960 y 2020 (Cuadro 1). Existen más estaciones ubicadas en la región Centro de Jalisco, pero su récord de datos es incompleto para este periodo de tiempo. Se consideraron las tres variables mencionadas porque son las que se monitorean directamente en las estaciones meteorológicas.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas consideradas en la investigación.

Estación	Municipio	Longitud (G-M-S)	Latitud (G-M-S)	Elevación (msnm)
Atequiza	Ixtlahuacán de los Membrillos	103°08'08"	20°23'43"	1520
Cuixtla	San Cristóbal de la Barranca	103°26'20"	21°03'07"	1000
Cuquío	Cuquío	103°01'24"	20°55'40"	1790
Chapala	Chapala	103°11'21"	20°17'24"	1530
Tlaquepaque	San Pedro Tlaquepaque	103°18'38"	20°38'18"	1540
Zapopan	Zapopan	103°23'31"	20°43'13"	1560

Metodología

La serie de tiempo 1961-2020 se trabajó bajo diferentes periodos para analizar el efecto de diferentes climatologías sobre el resultado del cálculo

de normales climáticas y de dos aplicaciones de la información: a) clasificación climática mediante el sistema Köppen-García (García, 2004) y, b) determinación de la estación de crecimiento de acuerdo con el método FAO (FAO, 1978).

Los periodos de tiempo bajo los cuales se calcularon normales climatológicas, clasificación climática y estación de crecimiento fueron: 1961-1990, 1991-2020 y 1961-2020. Los resultados obtenidos para cada periodo de tiempo, que de aquí en adelante se referirán como climatologías, se compararon mediante análisis estadístico, como posible sustento para concluir acerca de que climatología debería ser utilizada para representar la climatología actual en la Región Centro de Jalisco.

Análisis estadísticos

Previo al análisis de información, se aplicó la prueba de normalidad de datos de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965).

Con el propósito de identificar tendencias de cambio de los patrones climáticos al paso del tiempo, se realizó un análisis de correlación entre el transcurso de los años de 1961 a 2020 y los valores mensuales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Para ello se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson.

Finalmente se aplicó la Prueba de Tukey HSD (diferencia significativa de honestidad, Haynes, 2013) utilizando una probabilidad $p < 0.05$ para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores climáticos normales de las climatologías 1961-1990 y 1991-2020. Los análisis estadísticos de corrieron con los sistemas Past (Hammer, 2022) y SPSS v. 22.0 (SPSS, 1976). Con base en los resultados de las pruebas de Tukey se hizo un análisis de pertinencia de las climatologías analizadas para realizar caracterizaciones climáticas del área de estudio.

Resultados

La prueba de Shapiro-Wilk reportó que todas las series de datos climáticos consideradas presentan normalidad ($p < 0.05$), por lo que, a partir de este resultado, se procedió a la aplicación de estadísticos paramétricos (Little & Hills, 1989). En este sentido, el Cuadro 2 muestra los valores de

correlación de Pearson obtenidos para las tres variables climáticas analizadas al correlacionarse con el transcurso de los años en el periodo 1961 a 2020. De 234 casos totales analizados, se obtuvo una correlación significativa ($p < 0.05$) en 102, esto es en el 43.6%. Al desglosar este porcentaje, se tiene que en el 100% de los casos de temperatura mínima media anual (6 de 6) la correlación entre la serie de tiempo 1961-2020 y la temperatura mínima media anual resultó significativa, siendo cinco casos de incremento de temperatura y un caso de disminución de temperatura. En tanto para la temperatura máxima media se obtuvieron cinco casos de correlación significativa, tres de signo negativo y dos de signo positivo. Para datos de precipitación media anual sólo 1 de 6 casos (15.3%) mostró una correlación significativa, la cual fue positiva y correspondió a la localidad de Tlaquepaque. Con respecto a datos mensuales, del total de 72 analizados para temperatura máxima media anual, 44 fueron correlaciones significativas

Cuadro 2. Valores de coeficiente de correlación de Pearson para tres variables climáticas al correlacionarse con el transcurso del periodo 1961-2020.

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Guadalajara Tx	-0.36	-0.19	-0.44	-0.39	-0.49	-0.32	-0.23	-0.36	-0.45	-0.35	-0.49	-0.35	-0.62
Guadalajara Ti	0.68	0.70	0.65	0.60	0.57	0.02	-0.16	-0.06	-0.02	0.46	0.59	0.56	0.68
Guadalajara P	-0.07	0.14	0.05	-0.20	0.04	-0.04	0.04	0.07	0.32	-0.14	-0.09	-0.17	0.10
Cuquío Tx	0.50	0.54	0.50	0.43	0.39	0.22	0.47	0.52	0.51	0.57	0.36	0.46	0.73
Cuquío Ti	0.22	0.29	0.00	-0.06	0.07	0.38	0.45	0.47	0.44	0.21	0.20	0.05	0.26
Cuquío P	-0.14	0.14	-0.05	-0.23	-0.17	0.10	-0.10	-0.16	-0.21	-0.12	0.10	0.14	-0.19
Atequiza Tx	0.40	0.53	0.46	0.52	0.48	0.32	0.65	0.75	0.61	0.53	0.38	0.58	0.78
Atequiza Ti	-0.5	-0.2	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7
Atequiza P	-0.07	0.12	0.08	-0.22	0.09	0.13	-0.21	-0.17	-0.28	-0.14	0.07	-0.24	-0.22
Cuixtla Tx	0.13	0.22	0.09	0.10	0.14	0.06	0.00	0.14	0.01	0.16	0.09	0.22	0.20
Cuixtla Ti	-0.09	0.08	-0.29	-0.33	-0.25	-0.04	0.04	0.22	0.20	0.17	0.03	-0.29	0.48
Cuixtla P	0.01	0.14	-0.05	-0.35	-0.04	-0.04	-0.09	-0.18	0.08	-0.11	0.08	-0.09	-0.16
Zapopan Tx	-0.41	-0.30	-0.37	-0.36	-0.30	-0.14	-0.04	-0.01	-0.21	-0.15	-0.15	-0.20	-0.40
Zapopan Ti	0.13	0.27	0.33	0.48	0.33	0.09	0.09	0.23	0.01	0.36	0.32	0.10	0.38
Zapopan P	0.01	0.06	0.05	0.12	0.03	0.02	0.08	0.01	0.32	0.00	0.09	0.23	0.16
Tlaquepaque Tx	-0.34	-0.25	-0.42	-0.44	-0.44	-0.22	-0.08	-0.17	-0.18	-0.2	-0.39	-0.21	-0.37
Tlaquepaque Ti	0.34	0.46	0.32	0.41	0.39	0.09	-0.04	0.06	0.11	0.26	0.23	0.12	0.34
Tlaquepaque P	-0.17	0.02	0.00	-0.28	0.15	0.13	0.15	0.04	0.35	0.11	0.02	-0.15	0.25

Valores en negritas = coeficientes de correlación significativos ($p < 0.05$)

(61.1%), 23 positivas y 21 negativas, mientras que de los 72 casos de temperatura mínima media mensual, se registraron 40 correlaciones significativas (55.5%), 25 con signo positivo y 15 con signo negativo. En un análisis mes por mes, enero, marzo, abril y mayo fueron los meses con más correlaciones significativas (5 de 6 casos) en temperatura máxima media, mientras que para temperatura mínima media fueron marzo, abril y mayo también con 5 de 6 casos. Como puede verse, el mayor número de casos con correlación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para las variables de temperatura, ocurre en los meses de menor ocurrencia de lluvias (enero a mayo). Llama la atención el caso de Atequiza, en donde prácticamente se encontró una correlación significativa en todos los meses tanto para temperatura máxima como para temperatura mínima, con la particularidad de que en el caso de la temperatura máxima las correlaciones son positi-

vas (esto es un incremento de la temperatura al paso del tiempo), mientras que para la temperatura mínima las correlaciones son negativas en el transcurso de 1961 a 2020. Los Cuadros 3, 4 y 5, muestran los resultados de la aplicación de la prueba de Tukey para identificar diferencias estadísticamente significativas entre las normales mensuales y anuales de las climatologías 1961-1990 y 1991-2020.

El caso de la temperatura máxima media se describe en el Cuadro 3, donde es notoria la presencia de diferencias significativas tanto en el valor anual como en los valores mensuales de esta variable en Atequiza, Cuquío, Guadalajara y Tlaquepaque, donde en ese orden se obtuvieron 12, 9, 8 y 3 casos de significancia mensual, lo que hace diferente a una climatología de otra, o dicho de otra manera, los valores normales de temperatura máxima media mensual han cambiado en los últimos 30 años para los casos mencionados.

Cuadro 3. Valores de temperatura máxima media mensual para los periodos 1961-1990 (A) y 1991-2020 (B), y diferencia B-A.

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Guadalajara A	24.9	26.5	29.2	31.4	32.9	30.6	27.5	27.5	27.4	27.5	26.7	25.0	28.1
Guadalajara B	24.1	26.1	28.4	30.5	32.0	30.1	27.3	27.2	26.7	26.6	25.7	24.4	27.4
B-A	-0.8	-0.4	-0.8	-0.9	-0.9	-0.5	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0	-0.6	-0.7
Cuquío A	22.6	24.1	26.8	29.3	31.0	29.0	25.5	25.3	25.1	25.2	24.5	22.7	25.9
Cuquío B	23.8	25.6	27.9	30.3	31.6	29.5	26.5	26.4	26.1	26.2	25.3	24.1	27.0
B-A	1.24	1.56	1.16	1.02	0.59	0.48	1.02	1.19	0.94	1.01	0.84	1.4	1.04
Atequiza A	25.4	27.0	29.7	31.9	33.0	30.5	27.4	27.3	27.3	27.6	27.1	25.4	28.3
Atequiza B	26.3	28.5	31.0	33.3	34.2	31.4	28.7	28.7	28.3	28.4	27.7	26.7	29.4
B-A	0.93	1.50	1.31	1.34	1.23	0.91	1.32	1.37	0.98	0.88	0.64	1.29	1.14
Cuixtla A	30.7	32.7	35.9	38.4	39.7	37.2	33.2	33.0	33.1	33.5	32.7	30.5	34.2
Cuixtla B	31.2	33.5	36.3	38.7	40.2	37.4	33.3	33.3	33.0	33.6	32.9	31.1	34.5
B-A	0.44	0.73	0.45	0.33	0.50	0.27	0.07	0.33	0.13	0.11	0.21	0.63	0.33
Zapopan A	25.6	27.4	30.1	32.5	33.6	31.0	27.6	27.5	27.6	27.6	26.5	25.0	28.5
Zapopan B	24.6	27.0	30.0	32.0	33.3	31.0	27.9	27.9	27.2	27.3	26.4	24.9	28.3
B-A	-1.0	-0.5	-0.4	-0.5	-0.2	0.0	0.31	0.36	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.24
Tlaquepaque A	26.4	28.2	30.9	33.5	34.8	32.6	29.6	29.5	29.0	29.0	28.3	26.2	29.8
Tlaquepaque B	24.9	27.0	29.5	31.8	33.4	31.7	29.2	28.9	28.4	28.1	26.8	25.3	28.8
B-A	-1.5	-1.1	-1.4	-1.6	-1.4	-0.8	-0.4	-0.6	-0.6	-0.9	-1.4	-0.8	-1.1

Valores en negritas = diferencias significativas ($p < 0.05$) para la Prueba de Tukey

Para el caso de Atequiza y Cuquío estos cambios significan un incremento de temperatura tanto a nivel mensual como anual. En cambio, en Guadalajara y Tlaquepaque, los resultados muestran una tendencia a la inversa, esto es, una disminución de la temperatura máxima media en la tridécada más reciente, en los meses de enero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre para Guadalajara, y en los meses de marzo, abril y mayo para Tlaquepaque. En el resto de las localidades, con excepción del mes de enero para el caso de Zapopan, donde se encontró una diferencia significativa de -1.0°C , en estos dos sitios no se identificaron diferencias significativas en las climatologías 1961-1990 y 1991-2020. De acuerdo con el Cuadro 3, En Guadalajara, Cuquío, Atequiza y Tlaquepaque, la temperatura máxima media anual cambió en 1991-2020 en -0.7 , $+1.04$, $+1.14$ y -1.1°C , respectivamente, mientras que la temperatura media anual mostró un cambio

de $+1.03$, -1.2 , $+0.5$ y $+0.63^{\circ}\text{C}$ en Guadalajara, Atequiza, Zapopan y Tlaquepaque, respectivamente (Cuadro 4). Los cambios significativos de temperatura mínima media mensual se observaron en los meses de enero a mayo y octubre a diciembre para Guadalajara, con modificaciones de $+0.73^{\circ}\text{C}$ (octubre) a $+2.23^{\circ}\text{C}$ (febrero); de julio a septiembre y en abril para Cuquío, con cambio térmico de -1.1°C (abril) a $+0.74^{\circ}\text{C}$ (septiembre); de enero a diciembre para Atequiza, con valores extremos de -2.1°C (diciembre) a -0.8°C (febrero y septiembre); en abril, agosto, septiembre y diciembre para la localidad de Cuixtla, con -1.0°C en diciembre y $+0.41^{\circ}\text{C}$ en septiembre. Por su parte Zapopan registró cambio significativo en la temperatura mínima media de los meses de febrero a mayo, agosto, octubre y noviembre con valores de $+0.48^{\circ}\text{C}$ (agosto) a $+0.98^{\circ}\text{C}$ (abril). En tanto, para Tlaquepaque las alteraciones mensuales significativas en esta variable

Cuadro 4. Valores de temperatura mínima media mensual para los periodos 1961-1990 (A) y 1991-2020 (B), y diferencia B-A.

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Guadalajara A	8.9	9.7	11.8	14.2	16.1	17.1	16.4	16.4	16.5	14.7	11.6	9.8	13.6
Guadalajara B	10.8	11.9	13.5	15.7	17.4	17.3	16.4	16.4	16.5	15.4	13.0	11.2	14.6
B-A	1.9	2.23	1.71	1.51	1.25	0.2	0.00	0.06	0.00	0.73	1.41	1.46	1.03
Cuquío A	3.8	4.3	6.3	9.6	12.2	14.5	14.3	14.0	13.8	10.8	6.7	5.0	9.6
Cuquío B	3.1	4.6	5.5	8.5	11.8	15.1	14.9	14.7	14.5	11.3	6.8	4.5	9.7
B-A	-0.1	0.23	-0.8	-1.1	-0.4	0.65	0.58	0.69	0.74	0.42	0.14	-0.4	0.05
Atequiza A	7.0	7.8	10.2	12.9	15.9	17.3	16.6	16.4	16.0	13.4	9.6	7.9	12.6
Atequiza B	5.5	7.0	8.8	11.3	14.5	16.4	15.7	15.4	15.2	12.4	8.1	5.8	11.4
B-A	-1.4	-0.8	-1.4	-1.6	-1.3	-0.9	-1.0	-0.9	-0.8	-1.0	-1.4	-2.1	-1.2
Cuixtla A	9.2	10.4	13.1	16.2	19.5	21.2	19.9	19.5	19.3	16.2	11.8	10.3	16.0
Cuixtla B	9.0	10.5	12.5	15.4	19.1	21.3	20.0	19.8	19.7	16.8	11.9	9.3	16.0
B-A	-0.2	0.17	-0.6	-0.8	-0.4	0.06	0.11	0.33	0.41	0.66	0.11	-1.0	-0.02
Zapopan A	8.3	9.3	10.7	12.6	14.8	16.1	15.6	15.4	15.6	13.8	10.7	9.1	12.7
Zapopan B	8.7	10.1	11.3	13.6	15.5	16.3	15.8	15.9	15.7	14.4	11.4	9.4	13.2
B-A	0.37	0.76	0.63	0.98	0.70	0.24	0.21	0.48	0.07	0.54	0.71	0.29	0.50
Tlaquepaque A	8.8	9.3	11.6	13.9	16.0	17.0	16.3	16.3	16.0	14.3	11.3	9.5	13.4
Tlaquepaque B	9.5	10.8	12.5	15.0	17.0	17.2	16.3	16.4	16.3	15.0	12.0	10.0	14.0
B-A	0.68	1.50	0.93	1.04	1.00	0.19	0.00	0.06	0.35	0.74	0.69	0.46	0.63

Valores en negritas = diferencias significativas ($p < 0.05$) para la Prueba de Tukey

son en los meses de enero a mayo y octubre con un rango que va de +0.68°C en enero a +1.5°C en febrero (Cuadro 4).

En el Cuadro 5, se describe la comparación de la variable precipitación en las dos climatologías (1961-1990 y 1991-2020) a escala mensual y anual. Como puede observarse, prácticamente el único resultado significativo fue en el mes de septiembre en las localidades de la zona metropolitana de

Guadalajara, esto es, la ciudad de Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque. En este mes se aprecia un incremento de lluvia en el periodo 1991-2020, el cual repercute para que la precipitación anual también presente un incremento, el cual resultó significativo en la localidad de Tlaquepaque, donde se tiene un aumento de 142.9 mm anuales en el periodo 1991-2020, lo que equivale a un incremento del 15.8% de la lluvia anual.

Cuadro 5. Valores de precipitación acumulada promedio mensual para los periodos 1961-1990 (A) y 1991-2020 (B), y diferencia B-A.

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Guadalajara A	15.4	7.7	6.6	6.8	24.8	205	264	222	153	64.9	17.6	13.4	1001
Guadalajara B	16.2	10.8	7.9	3.8	26.7	188	272	226	196	59.5	10.7	7.5	1025
B-A	0.85	3.1	1.28	-3.0	1.95	17.0	8.31	4.18	43.2	-5.4	-6.9	-5.9	24.7
Cuquío A	15.1	9.4	5.6	6.1	25.6	145	217	194	170	48.4	14.0	10.0	860
Cuquío B	9.0	13.6	5.2	3.5	21.0	151	199	178	132	48.6	13.6	13.5	788
B-A	-6.1	4.3	-0.4	-2.5	-4.6	6.2	-17	-16	-39	0.2	-0.1	3.1	-71.8
Atequiza A	16.2	9.5	4.6	5.1	19.8	168	222	188	156	52.1	12.8	9.7	865
Atequiza B	16.0	11.7	7.0	3.1	24.1	192	215	172	132	53.2	11.2	3.1	841
B-A	-0.2	2.2	2.4	-2.0	4.3	23.8	-6.8	-16	-24	1.1	-1.6	-6.6	-23.9
Cuixtla A	13.2	8.4	5.8	6.2	22.4	167	243	215	142	47.6	11.6	14.9	896
Cuixtla B	20.8	12.3	6.1	1.9	22.8	156	218	193	153	49.4	11.3	10.4	856
B-A	7.7	4.0	0.3	-4.3	0.5	-10	-25	-22	11.6	1.8	-0.3	-4.4	-40.1
Zapopan A	13.1	10.7	6.4	5.1	22.5	202	260	210	154	52.7	18.1	17.6	972
Zapopan B	18.8	12.5	5.4	4.3	24.4	205	283	220	195	60.1	10.4	7.2	1047
B-A	5.7	1.8	-1.0	-0.8	1.9	2.9	23.3	10.4	41.7	7.4	-7.7	-10.4	75.1
Tlaquepaque A	20.9	8.8	5.5	6.6	22.0	183	241	200	138	49.6	16.0	12.8	903
Tlaquepaque B	14.8	8.2	5.2	3.2	31.3	207	276	218	195	67.1	13.4	7.9	1046
B-A	-6.1	-0.6	-0.4	-3.5	9.3	24.4	34.9	17.4	57.6	17.5	-2.6	-4.9	142.9

Valores en negritas = diferencias significativas ($p < 0.05$) para la Prueba de Tukey

Discusión

El hecho de que el 43.6% de 234 casos analizados mostró una correlación significativa entre el transcurrir del tiempo (de 1961 a 2020) y el valor de las variables temperatura máxima media, temperatura mínima media y precipitación, conduce a la necesidad de considerar cual debe ser la serie de tiempo a tomar en cuenta para caracterizar la climatología actual. Es innegable que la presencia del

cambio climático ha modificado los patrones mensuales y anuales sobre todo de temperatura en la Región Centro de Jalisco, de acuerdo con los resultados observados. Esto tiene implicaciones sobre otras variables climáticas, como la evapotranspiración (Topete *et al.* 2014), la cual a su vez influye en el balance de humedad y disponibilidades hídricas de la región para la realización de actividades productivas (Zarazúa *et al.* 2011).

Como puede observarse en los resultados de los análisis de correlación, el mayor número de casos con correlación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para las variables de temperatura, ocurre en los meses de menor ocurrencia de lluvias (enero a mayo), mientras que en los meses del temporal de lluvias, esto es de junio a octubre, ocurren menos casos de correlaciones significativas; esto señala que la mayor presencia de precipitaciones y humedad en la atmósfera durante esta temporada, tiene un efecto de regulación térmica (Martínez-Arroyo, 2007), el cual contribuye a atenuar los patrones de cambio térmico en estos meses. Esta es también la razón por la cual, el régimen de temperatura en la Región Centro de Jalisco es tipo “Ganges”, esto es que los meses más cálidos del año se presentan en la primavera y no en el verano, debido a que el verano es lluvioso (Ruiz *et al.*, 2012).

La obtención de incrementos y disminuciones de temperatura estadísticamente significativos en los sitios estudiados, denota la presencia de un carácter regional del cambio climático aún dentro de una misma región del Estado, lo cual habla de que el cambio global está afectando de manera distinta aún en áreas relativamente pequeñas de Jalisco. Este carácter regional del cambio climático ha sido reportado previamente en diversas investigaciones (Santillán-Espinoza *et al.* 2011; Ruiz-Álvarez *et al.* 2016).

Con relación al caso de la localidad de Atequiza, en el que se encontraron correlaciones significativas positivas para temperatura máxima media en todos los meses y correlaciones significativas negativas para temperatura mínima media en casi todos los meses del año, es decir una variación de temperaturas en sentido contrario, esto podría estar señalando que las temperaturas se han tornado más extremas en una región circundante a la zona del Lago de Chapala, la cual posiblemente ha estado perdiendo poder de regulación térmica, debido a la pérdida de agua tanto en cantidad como en calidad en el lago en las últimas décadas (Durán y Torres, 2003; Zarazúa *et al.* 2011).

De acuerdo con los resultados obtenidos para los datos de precipitación, prácticamente no existen cambios significativos en las cantidades de lluvia mensual y anual en la climatología 1991-2020 con relación a 1961-1990. Al respecto, existen diversos

reportes en los que se señala que el cambio climático actual se debe en mayor proporción a modificaciones del régimen de temperatura que del régimen de precipitación, incluso para escenarios futuros (Ruiz *et al.* 2016), por lo que, hasta cierto punto, estos resultados podrán catalogarse dentro de lo esperado.

El único caso significativo de cambio en la precipitación mensual identificado en este estudio, corresponde al mes de septiembre en las localidades de la zona conurbada de Guadalajara, donde esta modificación significa un incremento de la lluvia en este mes. Esto se explica debido a que la urbanización territorialmente relevante modifica la precipitación de centros urbanos y sus alrededores en porcentajes que pueden llegar a ser hasta de un 18%, dependiendo de la localización de sitios en este contexto (Liu y Niyogy, 2019). Las causas de incremento de la precipitación por influencia de centros urbanos incluyen el calentamiento y aerosoles de la superficie urbana, la disponibilidad de humedad en el área rural circundante y los gradientes flujo entre las ciudades y áreas a su alrededor (Pielke *et al.* 2011). El crecimiento de la mancha urbana en estas localidades y otras cercanas a Guadalajara, podría contribuir a la constitución de una mega urbe, donde los efectos de incremento de la precipitación se hicieran aún más relevantes.

De acuerdo con la discusión anterior, existen evidencias suficientes para determinar que la climatología actual contiene numerosos componentes del cambio climático global y muy probablemente de cambio climático regional/local. Por tanto, la climatología actual en la región de estudio debe caracterizarse con una serie de tiempo de las últimas tres décadas o que no vaya más allá de los años 1980s del siglo pasado, ya que existe evidencia de que el cambio climático global se empezó a acentuar y ser más evidente a partir de los primeros años de la década de los 1980s (Wolf *et al.*, 2020), por lo tanto, la climatología actual debería ser caracterizada con estas tres o cuatro últimas décadas de datos. Las opciones que se sugieren son el periodo 1991-2020 y 1985-2020. La serie histórica de datos mayor a 40 años deberá seguir siendo considerada útil pero más para la toma de decisiones en cuanto a la ocurrencia de eventos climáticos raros o extremos y el cálculo de

sus periodos de retorno y otras aplicaciones, pero en cuanto a la toma de decisiones en planeación agrícola o clasificación climática, lo recomendable es considerar una serie de datos reciente como las mencionadas palabras arriba.

Conclusiones

Tanto los resultados del análisis de correlación como de las pruebas de Tukey, muestran la presencia de numerosas evidencias de que el clima ha cambiado durante los últimos 30 años tanto a escala mensual como anual y en diversas zonas de la Región Centro. Tanto la temperatura máxima como la temperatura mínima media anual se están modificando significativamente con el transcurrir de los años.

Los cambios encontrados en los patrones climáticos regionales, son más evidentes en el régimen de temperatura que en el de precipitación, ya que en más del 61% de los datos mensuales de temperatura máxima media y más del 55% de los datos mensuales de temperatura mínima media, se encontró un cambio significativo en la climatología 1991-2020.

Aunque los cambios térmicos se presentan en todos los meses del año, su mayor frecuencia e intensidad ocurre en los meses de invierno-primavera.

La precipitación presenta pocos cambios estadísticamente significativos, entre ellos un incremento de entre 40 y 60 mm en el mes de septiembre en la zona del área conurbada de Guadalajara (Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque) y un aumento de 15.8% de la precipitación anual media de Tlaquepaque en la climatología 1991-2020, con relación a la climatología 1961-1990.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la climatología actual en la región de estudio debe caracterizarse con una serie de tiempo de las últimas tres décadas o que no vaya más allá de los primeros años de la década de los 1980s del siglo pasado, tiempo en el que el cambio climático comenzó a manifestarse de manera evidente con relación a estadísticas climáticas. Las opciones que se sugieren son el periodo 1991-2020 y 1985-2020.

Literatura citada

- Álvarez P., A., R. Villavicencio G., J.A. Ruiz C. & A.L. Santiago P. 2020. Efecto del cambio climático a partir de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 del año 2050 en el balance hídrico del Área Natural Protegida La Primavera, Jalisco, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 6(1): 53-74.
- Barrera S., C.F., J.A. Ruiz C., P. Zarazúa V., R. Lépiz I. y D.R. González E. 2020. Cambio climático y distribución potencial de frijol lima en Mesoamérica y Aridoamérica. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 11(6): 1361-1375. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2412>.
- Conde, C., F. Estrada, B. Martínez, O. Sánchez & C. Gay. 2011. Regional climate change scenarios for México. *Atmósfera*. 24(1):125-140.
- Durán J., J.M. & A. Torres R. 2003. Crisis ambiental en el Lago de Chapala y el abastecimiento para Guadalajara. *e-Gnosis*, Vol. 1, Art. 6: 13 p.
- FAO. 1978. Agroecological zones project. Volume 1: Methodology and resources for Africa. Food and Agricultural Organization. Geneva, Switzerland. 169 p.
- Fick, S. E. & R.J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 37(12): 4302-4315. Doi: 10.1002/joc.5086.
- García, E. 2004. Carta de climas Jalisco. *Climatología de la República Mexicana. Proyecto CONABIO-Estadigrafía*. México, D.F. 90 p.
- Hammer, O. 2022. *Paleontological statistics V. 4.10, reference manual*. University of Oslo, 300 p.
- Harris, I., P.D. Jones, T.J. Osborn & D.H. Lister. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34: 623-642.
- Haynes, W. 2013. Tukey's test. In: Dubitzky, W., O. Wolkenhauer, K.H. Cho & H. Yokota (eds.). *Encyclopedia of systems biology*. Springer. New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_1212.
- Hijmans, R. J., S.E Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25(15):1965-1978.
- Little, T.M. & F.J. Hills. 1989. *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. 2da. Ed. Trillas. ISBN: 968243629X. México, D.F. 270 p.
- Liu, J. & D. Niyogi. 2019. Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. *Sci. Rep.*, 9, 7301. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42494-2>.
- Martínez-Arroyo, A. 2007. El agua en la atmósfera. *Ciencia*, julio-septiembre: 36-44.
- Patiño-Gómez, C. & P.F. Martínez-Austria. 2012. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1): 5-20. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531976001>.
- Pielke, R.A., A. Pitman, D. Niyogi, R. Mahmood, C. McAlpine, F. Hossain, K.K. Goldewijk, U. Nair, R. Betts, S. Fall, M. Reichstein, P. Kabat & N. de Noblet. 2011. Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. *Wiley Interdisciplinary Reviews*, 2(6): 828-850.
- OMM. 2018. *Guía de prácticas climatológicas*. Organización Meteorológica Mundial. OMM No. 100. Ginebra, Suiza. 155 p.
- Ruiz-Álvarez, O., D. Espejel T., R.E. Ontiveros C., J.M. Enciso, M.A. Galindo R., M.L. Quesada P., J. Grageda G., R. Ramos R. & J.A. Ruiz C. 2016. Tendencias de temperaturas máximas y mínimas mensuales en Aguascalientes, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc., Pub. Esp. Núm. 13: 2535-2549*.
- Ruiz C., J.A. H.E. Flores L., J.R. Regalado R. & G. Ramírez O. 2012. *Estadísticas climáticas normales del Estado de Jalisco*. Libro Técnico Núm. 2. ISBN 978-607-425-875-2. INIFAP-CIRPAC-Campo Exp. Centro Altos de Jalisco, Tepatlán de Morelos, Jalisco. 350 p.
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., V.M. Rodríguez M., J.J. Sánchez G., R. Villavicencio G., N. Durán P., J. Grageda G. & G.E. García R. 2016. Regionalización del cambio climático en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 13: 2451-2464.

- Ruiz C., J.A., S.H. Contreras R., G.E. García R. & R. Villavicencio G. 2021. Climas de Jalisco según el sistema Köppen-García con ajuste por vegetación potencial. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 12(5): 805-821. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2988>.
- Santillán-Espinoza, L.E., F. Blanco M., R. Magallanes Q., J.L. García H., J. Cerano P., O. Delgadillo R., R.D. Valdez C. 2011. Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, Pub. Esp. Núm. 2: 207-219.
- Shapiro, S.S. & M.B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4): 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.
- SPSS. 1976. Statistical package for the social sciences. Chicago, IL, USA.
- Topete A., J.P., J.A. Ruiz C., J. Ron P., D.R. González E., G. Ramírez O. & N. Durán P. 2014. Utilizando el modelo Newhall para representar el impacto real del cambio climático en la humedad de suelo en Jalisco, México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.*, 10: 1859-1870.
- Zarazúa V., P., J.A. Ruiz C., D.R. González E., H.E. Flores L. y J. Ron P. 2011. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco. *Rev. Mex. de Cienc. Agríc.*, 3(2): 351-363.