

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**TENDENCIAS LINEALES DE EPISODIOS EXTREMOS DE TEMPERATURAS
MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN MÉXICO (1940- 2005)**

POR:

ALEJANDRA REYES CARRILLO

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**TENDENCIAS LINEALES DE EPISODIOS EXTREMOS DE TEMPERATURAS
MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN MÉXICO (1940- 2005)**

POR:

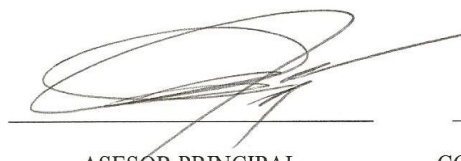
ALEJANDRA REYES CARRILLO

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA



ASESOR PRINCIPAL
DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
AGRONOMÍA
DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADIÑO

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

**TENDENCIAS LINEALES DE EPISODIOS EXTREMOS DE
TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN MÉXICO (1940- 2005)**


TESIS PROFESIONAL

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE TESIS COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL


APROBADA

ASESOR PRINCIPAL



DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ

ASESOR



DR. ALEJANDRO ZARATE LUPERCIO

ASESOR



M.C. JULIAN CERANO PAREDES

DEDICATORIA

A MIS PADRES, Sr. Juan Reyes Barragán y Sra. Mercedes Carrillo Carrera por creer en mí, brindarme amor, apoyo moral y económico, por sus sabios consejos y largas platicas mostrándome el camino correcto, enseñarme los valores y esas pequeñas cosas que no se aprenden en un salón de clases, pero sin embargo son indispensables en la vida.

A MIS HERMANOS, Roque, Cirilo, Pánfilo, Lucia, Hugo, Antonia y Salvador, que son un ejemplo a seguir, por todo lo bueno que me han enseñado, por las experiencias que vivimos juntos y sueños que tuvieron para conmigo.

Sr. Erasmo Rodríguez y Doña Mari, por brindarme su confianza, amistad, cariño y compañía, cuando recién llegue, por construir ese ambiente familiar y arrullador que me ayudo a sobre llevar la ausencia de mis padres.

A MIS AMIGOS DE ADOLESCENCIA, que no mencionare nombre por no olvidarme de alguno, gracias porque creyeron en mi, fueron y aun son parte de mi inspiración y los motivos por los que me mantengo lejos de casa y de ellos mismos.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por la grandiosa familia y grandes amigos que me ha dado, por permitirme cumplir una meta propuesta y concluir un episodio más de mi vida, por darme la lucidez, la conciencia y esperanza, para así mantenerme en este ámbito con mis metas y sueños hasta finalizar mi carrera.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por ser el recinto donde contribuyeron a mi formación profesional y las facilidades al formar parte de “la gran familia Narro”, muchas gracias mi *alma terra mater*.

AL Dr. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ, por darme la oportunidad de colaborar con el en esta investigación, por ser tan paciente y comprensivo, mostrar gran interés a lo largo de toda la investigación, y tener el tacto en su enseñanza como maestro y como asesor de la presente.

AL DR. ALEJANDRO ZÁRATE LUPERCIO, Por su apoyo como asesor de tesis y desde luego por ser un maestro que me compartió sus conocimientos, por la motivación brindada, sin solapar mis obligaciones y responsabilidades y enseñarme no el miedo, sino el respeto.

AL M.C. JULIAN CERANO PAREDES, por su apoyo en la revisión de esta investigación y gran disponibilidad de tiempo e interés para terminar este documento.

AL M.C. Salvador Valencia Manzo, por sus consejos y palabras alentadoras que me ayudaron y mantuvieron viva la esperanza, hacerme ver que las situaciones siempre mejoran aunque no pareciera a mi manera de asimilarlo y por escucharme cuando lo necesite. Muchas gracias por sus consejos y moralejas que nunca los olvidare.

A LOS DEMAS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO FORESTAL, por colaborar en mi crecimiento profesional y algunas veces personal.

A MIS COMPAÑEROS DE GENERACION, principalmente la Ing. María de Jesús Arellanos Ramos, María de los Ángeles García Ojeda, Ing. Karen Dorantes Ramírez, Ing. Marisol Butrón Hernández, Ing. Osvaldo Augusto Turlan Medina, Ing. Moisés Alegría Noricumbo, Ing. Raúl López Pereznegron, Ing. Manuel R. Felipe Cárdenas, Edwin Verdugo Morales, con los que compartí momentos de alegría, estudio, trabajo, sueño y desesperación, por el apoyo que me brindaron tanto académico, emocional y personal.

ÍNDICE

RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y METODOS	3
Descripción físico- climática del área de estudio	3
Procedimiento y análisis estadístico	4
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	5
Tendencias espaciales de eventos extremos de temperaturas máximas y mínimas.....	5
Magnitud de pendientes entre TM y Tm	10
Registro histórico de temperaturas máximas y mínimas (1940-2005).	14
CONCLUSIONES	17
REFERENCIAS	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de eventos extremos de temperatura máxima (TM_e) y eventos extremos de temperatura mínima (Tm_e) evaluados en esta investigación. Líneas indican la tendencia lineal de los extremos.	3
Figura 2. Porcentaje de estaciones climatológicas que representaron tendencias significativas ($P < 0.05$) de eventos extremos de temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm) en México 1940- 2005.	6
Figura 3. Patrones geográficos de tendencias de episodios extremos de temperaturas máximas (TM) en México 1940- 2005.	8
Figura 4. Patrones geográficos de tendencias de episodios extremos de temperaturas mínimas (Tm) en México 1940- 2005.	9
Figura 5. Magnitud de la pendientes (positivas/negativas) de eventos extremos de temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm) en México 1940-2005 (intervalos de confianza a un 95 %).	10

Figura 6. Histograma de frecuencia de la pendiente (B_I) positiva y negativa de temperatura máxima (TM) y temperaturas mínimas (Tm) en México (1950- 2008), de todos los diferentes meses del año. 14

Figura 7. Registro histórico de eventos extremos de temperatura máxima (a y b) y mínimas (c y d) en México (1940- 2005). 15

Figura 8. Muestra representativa del 48 % de estaciones climatológicas registradas por década durante 1900 al 2008 en México. 16

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadísticos de análisis de varianza realizados a las medias de la pendiente (B_I) de temperaturas máximas (TM) y temperaturas mínimas (Tm) en México (1940 -2005)..... 12

RESUMEN

En la presente investigación se analizaron 776 estaciones climatológicas distribuidas en la República Mexicana, con datos de temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm) durante 1940-2005, se realizaron regresiones lineales con un nivel de significancia del 95%. Los resultados muestran que las temperaturas máximas positivas sufren los cambios importantes (42.5%) y pero en magnitud es más baja ($0.0680^{\circ}\text{C año}^{-1}$) que las mínimas (36.28%), con incrementos de $0.0704^{\circ}\text{C año}^{-1}$. Las temperaturas máximas se distribuyen principalmente al noroeste, centro y sur del país a escala regional y local, mientras que las mínimas al noroeste y sur del país con escalas regionales y locales. El registro de las temperaturas extremas (altas/baja) se presentó principalmente en la década de 1970, posteriormente se presentó un (periodo con temperaturas moderadas) descenso de temperaturas máximas y mínimas a finales de 1980 y principios de 1990, presentándose nuevamente las temperaturas más altas en el 2000.

Palabras Clave. Temperaturas, máximas, mínimas, extremas y México.

INTRODUCCIÓN

La detección y atribución del cambio climático global como resultado de actividades antropogénicas es uno de los temas principales de investigación actual (Bonsal *et al.*, 2001; Luterbacher *et al.*, 2004; Jáuregui, 2009). Estudios realizados en latitudes medias del hemisferio norte, muestran que las tendencias en los índices de temperatura, aumentan tanto en las temperaturas máximas y mínimas (Alexander *et al.*, 2006); la intensidad de las temperaturas extremas aumenta más rápidamente que la intensidad de las temperaturas medias (Beniston *et al.*, 2007).

El IPCC (2007) pone de manifiesto los impactos del cambio climático que tienen lugar en las regiones terrestres, ya que se han calentado más rápido que los océanos. Los análisis de las tendencias de la temperatura diaria y/o extremo y la variabilidad en las distintas regiones del mundo, revelaron una disminución significativa en días con temperaturas bajas extremas del día, pero no un aumento en el número de días de calor extremo (Bonsal *et al.*, 2001; Degaetano y Allen, 2002), resultando complejo caracterizar estas tendencias a nivel nacional o regional.

Los eventos extremos pueden ser definidos por el impacto que tienen en la sociedad, puede implicar la pérdida excesiva de la vida, económica o ambos (Easterling *et al.*, 2000). Históricamente la variabilidad climática y los eventos extremos han tenido impactos negativos sobre la población, incrementando la mortalidad humana, pérdida de especies y baja producción agrícola en las áreas afectadas (Justus y Fletcher 2006, IPCC, 2007; Beniston *et al.*, 2007; Luber y McGeehin, 2008); sin embargo, es probable que la presencia de eventos extremos ocurran con mayor frecuencia y magnitud en el futuro, teniendo grandes consecuencias ecológicas, económicas y sociológicas (Diffenbaugh *et al.*, 2005; IPCC, 2007), identificándose las tendencias y la variabilidad de las temperaturas extremas como factores críticos hacia una mejor comprensión del pasado y del potencial de cambio global en el futuro (Bonsal *et al.*, 2001; Rusticucci, 2004). A pesar del interés en la variación de la temperatura de los episodios extremos, la falta de disponibilidad de datos diarios de alta calidad ha dado lugar a incoherencias en la descripción de los cambios dependientes del tiempo (Degaetano y Allen, 2002).

El interés en conocer las tendencias de las temperaturas extremas se debe principalmente a que la temperatura es uno de los factores importantes que ejerce control crítico en el sistema humano y natural, causando daños catastróficos en ambos sistemas (Beniston *et al.*, 2007; Diffenbaugh *et al.*, 2005) y como consecuencia pérdidas económicas. En Estados Unidos la presencia de olas de calor en el verano de 1995 demandó 1100 vidas (Diffenbaugh *et al.*, 2005) a finales del siglo XX se ha mostrado tendencia positiva en la frecuencia de temperaturas extremas máximas. En Europa central durante el verano de 2003, las olas de calor pusieron de manifiesto la importancia sobre la salud pública (Díaz *et al.*, 2005).

El ENSO (El niño Oscilación del Sur) tiene un efecto importante sobre la variabilidad del clima en todo el mundo, específicamente en la temperatura, y sus efectos dependen de la intensidad y duración (Méndez *et al.*, 2009); de igual forma, la influencia de La Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) ha sido descrito como de larga duración, y como una mezcla de los dos modos (Mantua y Steven, 2001); estudios realizados en México indican que existe importante relación entre los periodos cálidos de la PDO y húmedos del país (Méndez *et al.*, 2009).

En México se han realizado estudios de las tendencias de episodios de temperaturas máximas y mínimas de manera muy puntual por ejemplo (Jáuregui, 2009; Herrera *et al.*, 2007). Los resultados reflejan un incremento en la presencia de olas de calor de 6 a 16 eventos en los años noventa, esto marca una relación con el crecimiento de la población de 8.5 a 16.5 millones de habitantes (Jáuregui, 2009). Por lo expuesto anteriormente, es importante conocer la tendencia de episodios extremos de temperaturas, tanto máximas (TM), como mínimas (Tm), así como las regiones en las que se distribuyen tales cambios. En esta investigación se analizaron tendencias lineales de eventos extremos de temperaturas diarias de 776 estaciones climatológicas distribuidas en gran parte del territorio mexicano.

MATERIALES Y METODOS

Descripción físico- climática del área de estudio

El presente estudio se realizó en la República Mexicana, la cual posee una extensión territorial de 1 964 375 Km², ubicado geográficamente (latitudes extremas) al Norte Monumento 206, límite México - Estados Unidos de América 32° 43' 06", al Sur Desembocadura del río Suchiate 14° 32' 27"; longitudes extremas (oriente) Isla Mujeres 86° 42' 36" (Occidente) Isla Guadalupe 118° 22' 00". Cuenta con 33 cumbres que van desde los 3060 msnm hasta 5610 msnm repartidas en diferentes entidades federativas; los climas son seco (51.08%), templado (23.01%), cálido (25.9 %) y frío (0.01%); la población total registrada es de 112 336 538 en el 2010 (INEGI, 2010).

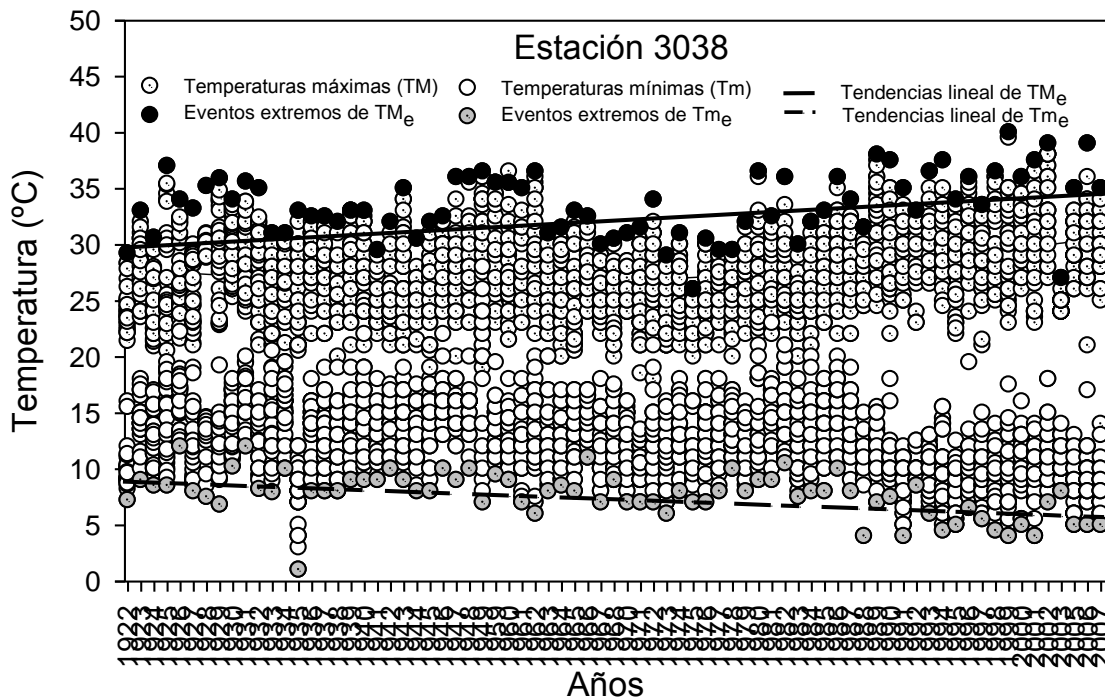


Figura 1. Representación gráfica de eventos extremos de temperatura máxima (TM_e) y eventos extremos de temperatura mínima (Tm_e) evaluados en esta investigación. Líneas indican la tendencia lineal de los extremos.

Fuente de datos

Los datos evaluados corresponden a datos diarios TM , Tm , de 776 estaciones climatológicas distribuidas en todo el territorio Mexicano, mismo que fueron otorgados por el Servicio Meteorológico Nacional Mexicano (SMN), los registros comprenden desde 1940 hasta el 2005. La selección de estaciones climatológicas, consideró los siguientes criterios: tener mínimo de 30 años de antigüedad de observaciones; contener mínimo en 80 % de la información, consistencia anual e interanual en los datos y homogeneidad de los datos (Méndez *et al.*, 2009).

Procedimiento y análisis estadístico

Obtención de eventos extremos de de temperaturas máximas (TM) y temperaturas mínimas (Tm)

Las tendencias de eventos extremos de TM y Tm se evaluaron mediante regresión lineal de la forma $Y=B_0+B_1x$ usando cuadrados mínimos utilizando el paquete estadístico SAS V. 9.0 (Statistical Analysis System) a escalas mensuales, donde B_0 representa la intercepción, B_1 (positivo/negativo) magnitud de la tendencia, probando la hipótesis nula de $B_1=0$ a un nivel de confiabilidad del 95 % (Herrera *et al.*, 2007; Méndez *et al.*, 2009). Los resultados se integraron a un sistema de información geográfica (SIG) ArcView 3.2, para la elaboración de mapas e identificación de patrones geográficos de las tendencias de TM y Tm .

Obtención de incrementos en temperaturas máximas (TM) y temperaturas mínimas (Tm)

De los resultados obtenidos de las regresiones en SAS SAS V. 9.0 (Statistical Analysis System), se obtuvieron los incrementos (B_1) promedio, así como los intervalos de confianza por mes de las estaciones climatológica. Debido a la no normalidad de B_1 fue necesario realizar transformaciones de la forma \sqrt{X} ; donde X denota B_1 de cada mes. En este estudio se comparan las medias de las tendencias de TM y Tm , usando pruebas de t de estudent (95 %) para evaluar tendencias entre temperaturas máximas positivas y negativas

(TM^+ vs TM^-), y tendencias de temperaturas mínimas positivas/negativas (Tm^+ vs Tm^-), (TM^+ vs Tm^+), (TM^- vs Tm^-), (TM^+ vs Tm^-), se usaron pruebas de F (95%) para evaluar las tendencias entre meses de TM^+ , TM^- , Tm^+ y Tm^- (tabla 1).

Determinación de registro de temperaturas máximas (TM) y temperaturas mínimas (Tm)

Se considero una muestra de 380 estaciones (48%) de temperaturas (TM / Tm), se registraron los años en que presentaron las temperaturas extremas (altas/bajas); posteriormente se obtuvo el porcentaje de estaciones con registro de datos por década a partir del periodo 1900-2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tendencias espaciales de eventos extremos de temperaturas máximas y mínimas

Se analizaron 776 estaciones climatológicas, las TM muestran tendencias estadísticamente significativas (positivas y negativa) las cuales representan un 42.5 % del total (63.9 % positivas y 36.0 % negativas). En TM^+ los resultados indican que julio registra mayor cantidad de estaciones con 32.86 %, con tendencias significativas positivas ($P \leq 0.05$); seguido de septiembre con 30.54% y octubre con 27.71% distribuidas en casi todo el país, con una consistencia escala regional (figura 3). Los meses que registraron menos estaciones con tendencia significativa ($P \leq 0.05$) fueron diciembre y enero con 23.58 % y 24.23 % respectivamente (figura 2), coincidiendo con Méndez et al. (2009) quien registro una disminución de TM durante el invierno boreal (nov-abr) a escalares regionales y consistentes al norte de México.

En el caso de tendencia negativas de (TM^-) los meses que han registrado el mayor porcentaje de estaciones significativas ($P \leq 0.05$) fueron agosto con 17.53 %, distribuidas al norte y centro del país, con consistencia a escala regional; septiembre 17.27 % y diciembre con el 16.88 %, distribuidas en el norte del país (figura 3). Los meses que registraron menos estaciones fueron julio y junio con 11.21% y 13.02 % respectivamente (figura 2a).

Esto puede ser a la fase positiva de la PDO, Gedalof *et al.* (2002), indican que la PDO no era un modo importante de la variabilidad climática antes del siglo XIV, y probablemente ahora sí. Méndez *et al.* (2009) encontró evidencias innegables de la teleconectividad de la PDO sobre la temperatura del país, en T_M una correlación de 24.1% estadísticamente significativa ($p \leq 0.10$) y con las T_m un 24.8%.

Méndez *et al.* (2009), Encontraron una teleconectividad significativa del ENSO (MEI) con el clima de México, del 35 al 50 % de la variabilidad climática puede ser explicada por el ENSO a escalas regionales y locales, resultados del análisis de series del MEI indican que el ENSO podría intensificarse en años próximos, ocurriendo episodios cálidos principalmente, estos podrían influir en la variabilidad climática de México.

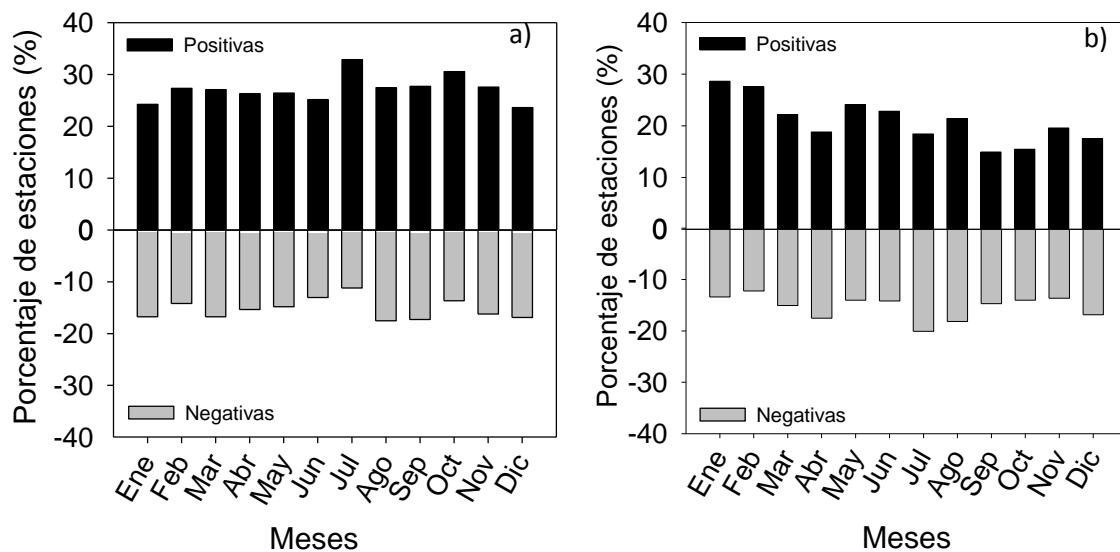


Figura 2. Porcentaje de estaciones climatológicas que representaron tendencias significativas ($P \leq 0.05$) de eventos extremos de temperaturas máximas (T_M) y mínimas (T_m) en México 1940- 2005.

En temperaturas mínimas se registro el 36.28 % de las estaciones (57.74% positivas y 42.26% negativas) los resultados indican que las tendencias de T_m^+ se registraron principalmente en enero (28.61 %), febrero (27.58 %), y mayo (24.10 %), distribuidas en casi todo el país; los meses que registran menos estaciones con tendencias significativas fueron septiembre con 14.95% y octubre con 15.46 %. En T_m_- los cambios más

importantes julio 20.10%, con tendencias distribuidas en el norte y centro del país, agosto con 18.17 %, distribuidas en casi todo el país, y abril 17.53 %, distribuidas en grandes regiones el noreste, centro y sur de México. Los meses que han registrado menos estaciones climatológicas fueron febrero y enero con 12.24% y 13.40% respectivamente (Figuras 2b y 4), en Canadá, Bonsal *et al.* (2001) encontraron que en el periodo de invierno hay un aumento de temperaturas asociado con la disminución de temperaturas mínimas extremas y poca consistencia espacial de las temperaturas mínimas bajas.

En este estudio es claro que las temperaturas muestran un aumento significativo en las temperaturas mínimas positivas en forma general coinciden con Kruger y Shongwe (2004) quienes muestran una reducción de días con temperaturas bajas y aumentado días con temperaturas altas. IPCC, (2007) reporta cambios en los eventos extremos que concuerdan con un calentamiento generalizado, como tendencias positivas en la ocurrencia de noches cálidas. Liu *et al* (2006), muestran que el número de días con heladas disminuyeron a una tasa de 4.1 días, década⁻¹ significativa estadísticamente ($P \leq 0,001$), y el número de días cálidos ha aumentado a de 2,1 días, década⁻¹ ($P \leq 0,05$).

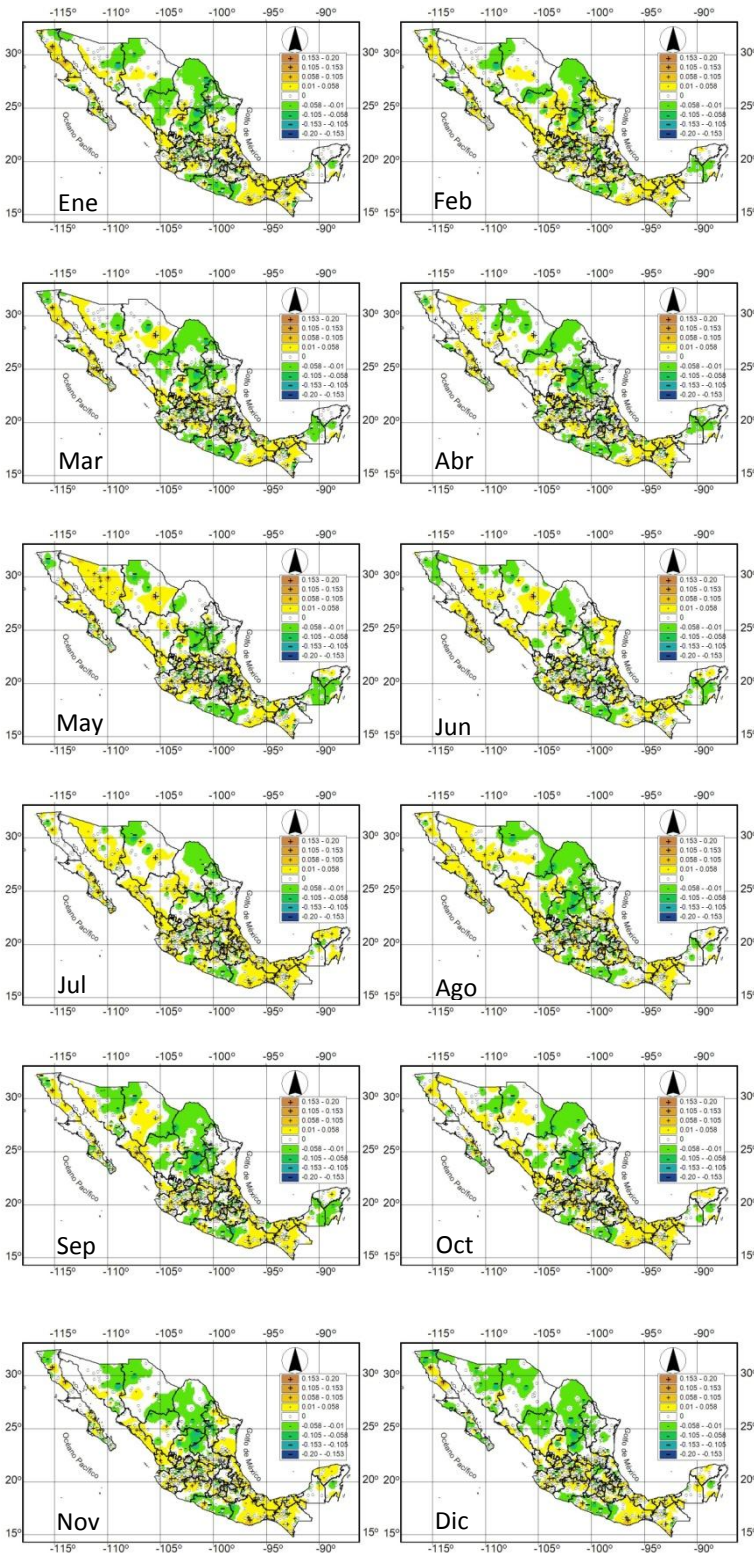


Figura 3. Patrones geográficos de tendencias de episodios extremos de temperaturas máximas (TM) en México 1940-2005.

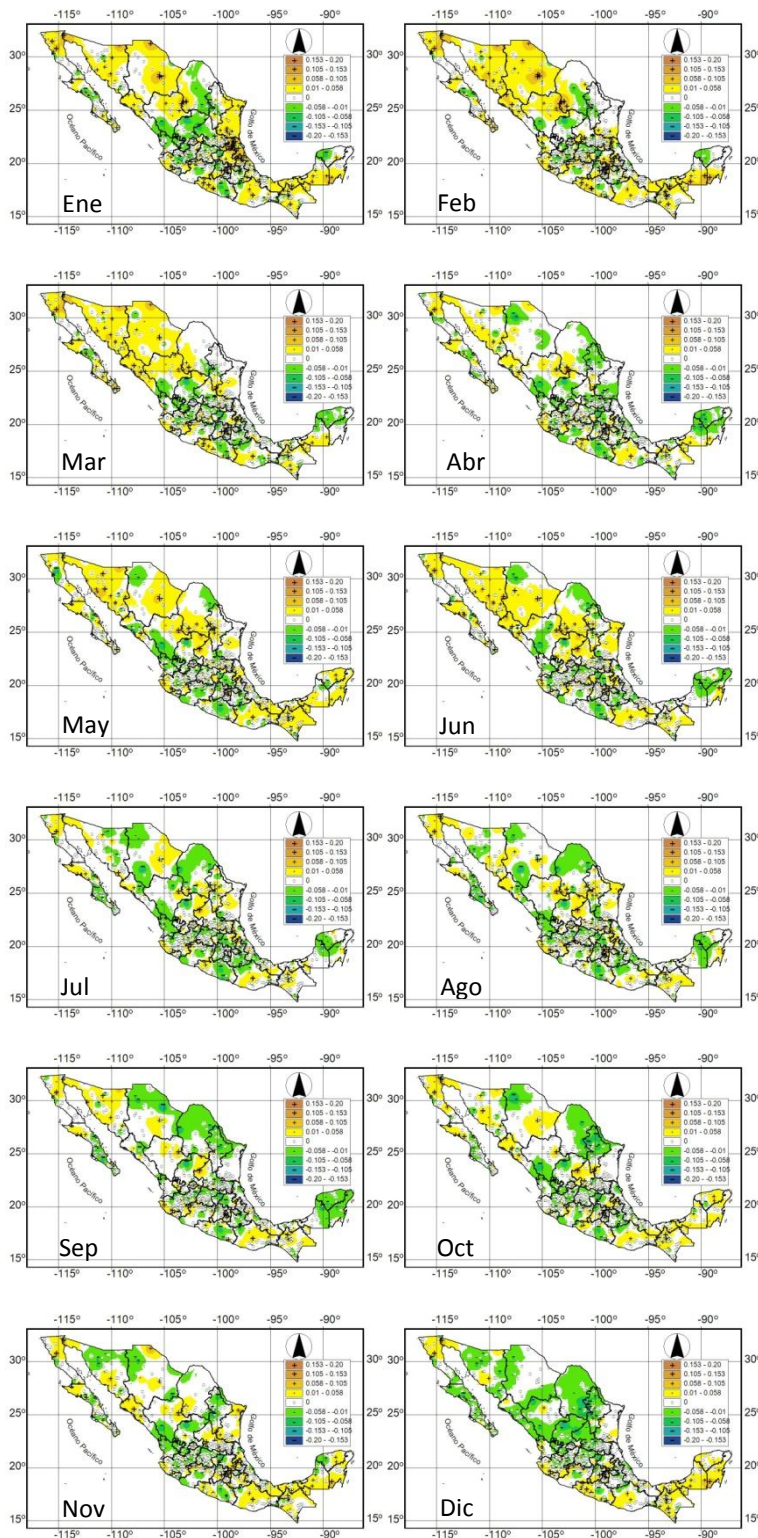


Figura 4. Patrones geográficos de tendencias de episodios extremos de temperaturas mínimas (T_m) en México 1940-2005.

Magnitud de pendientes entre TM y Tm

En el caso de la comparación entre las TM^+ , no existe diferencia significativa entre los meses ($P \leq 0.1935$) promediando $0.0620^\circ\text{C año}^{-1}$. Para TM^- en promedio se tiene -0.0714°C , con datos que van de $-0.08^\circ\text{C año}^{-1}$ a $-0.0637^\circ\text{C año}^{-1}$ (figura 5). En caso de las Tm , las temperaturas positivas (Tm^+) el mes con menos valor de \bar{x} fue agosto y el más alto febrero, con 0.06°C y $0.08^\circ\text{C año}^{-1}$ respectivamente. Para el caso de las temperaturas mínimas (Tm^-) tuvo también diferencia julio tuvo el valor más alto (-0.0586°C) y diciembre el más bajo ($-0.0785^\circ\text{C año}^{-1}$) (figura 5). Herrera *et al.* (2007) encontraron incrementos similares de temperaturas máximas van de 0.06°C a $0.09^\circ\text{C año}^{-1}$.

Estudios realizados en China muestran una tendencia en temperatura mínima y la temperatura máxima alcanzada $0.041^\circ\text{C año}^{-1}$ y $0.018^\circ\text{C año}^{-1}$ respectivamente, durante el período de 1961 al 2003 (Liu *et al.*, 2006).

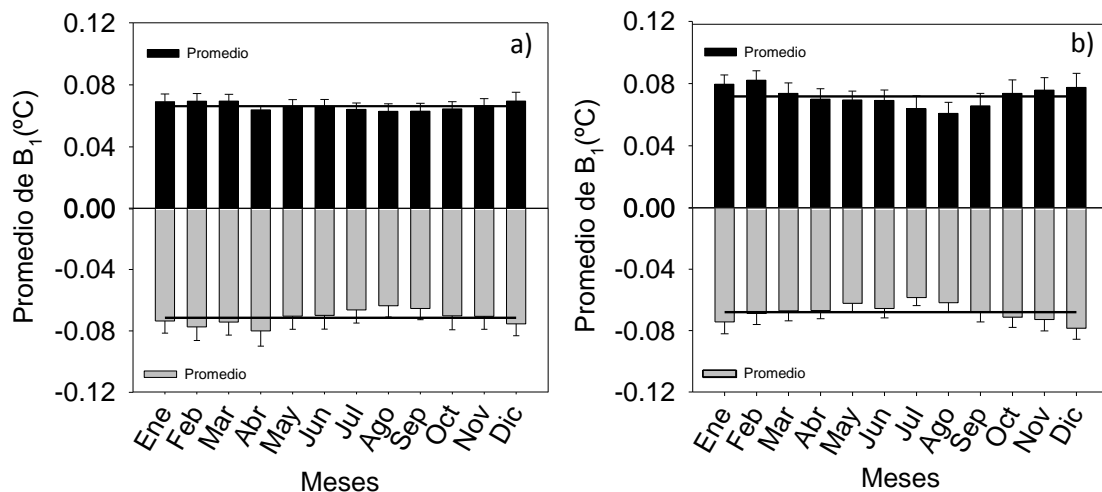


Figura 5. Magnitud de la pendientes (positivas/negativas) de eventos extremos de temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm) en México 1940-2005 (intervalos de confianza a un 95 %).

Los resultados del análisis de varianza indican que no existen diferencias significativas entre las medias de B_I de TM^+ ($P \leq 0.1935$) y entre TM^- ($P \leq 0.0630$), TM^- vs Tm^- ($P \leq 0.0920$); pero si entre las pendientes de TM^+ vs TM^- ($P \leq 0.0019$), mostrando TM^- , el mayor incremento con un promedio de $0.06 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$, los incrementos en $B_I = -0.078 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$ a $-0.058 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$. En la comparación de B_I entre meses de Tm^+ se tiene una diferencia significativa ($P \leq 0.0001$) siendo febrero el de la pendiente más alta ($B_I = 0.08 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$) y agosto el más bajo ($B_I = 0.06 \text{ a\~no}^{-1}$); la comparación en los meses de Tm^- también resulto significativa ($P \leq 0.0001$) julio con el más alto B_I ($-0.0586 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$) y diciembre ($-0.0785 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$). Al comparar Tm^+ vs Tm^- , indica diferencia significativa ($Pr = 0.0020$) siendo Tm^+ el promedio de $B_I = 0.07 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$; y finalmente la comparación de TM_+^+ vs Tm_+^+ siendo Tm_+^+ el de mayor promedio en $B_I = 0.07 \text{ } ^\circ\text{C a\~no}^{-1}$, (ver tabla 1).

Los resultados muestran un incremento significativo en las Tm , siendo mayores que las TM , concuerdan con (Du, 2001; Rusticucci, 2004; Liu et al, 2006; Alexander *et al.*, 2006), sin embargo tambien aseguran no existe hay un aumento significativo en las TM (Bonsal *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Estadísticos de análisis de varianza realizados a las medias de la pendiente (*BI*) de temperaturas máximas (*TM*) y temperaturas mínimas (*Tm*) en México (1940 -2005).

Variable	Comparación	Análisis	G. L.	Media	Valor F	Pr_≤ F
<i>TM</i>	<i>TM</i> ⁺	Prueba F	12	0.0660	1.34	0.1935
<i>TM</i>	<i>TM</i> ₋	Prueba F	12	-0.0714	1.72	0.0630
<i>TM</i> ₋ ⁺	<i>TM</i> ⁺ - <i>TM</i> ₋	Prueba t	2	0.0660 -0.0714	9.67	0.0019
<i>Tm</i>	<i>Tm</i> ⁺	Prueba F	12	0.0723	6.60	<.0001
<i>Tm</i>	<i>Tm</i> ₋	Prueba F	12	-0.0677	4.10	<.0001
<i>Tm</i> ₋ ⁺	<i>Tm</i> ⁺ - <i>Tm</i> ₋	Prueba t	2	0.0723 -0.0677	9.59	0.0020
<i>TM</i> ⁺ - <i>Tm</i> ⁺	<i>TM</i> ⁺ - <i>TM</i> ⁺	Prueba t	2	0.0723 0.0660	24.64	<.0001
<i>TM</i> ₋ - <i>Tm</i> ₋	<i>TM</i> ₋ - <i>Tm</i> ₋	Prueba t	2	-0.0714 -0.0677	2.84	0.0920
<i>TM</i> ₋ ⁺ - <i>Tm</i> ₋ ⁺	<i>TM</i> ₋ ⁺ - <i>TM</i> ₋ ⁺	Prueba t	2	0.0704 0.0680	7.16	0.0075

Donde *TM* = temperatura máxima; *Tm* = temperatura mínima; *TM*⁺ =tendencia positiva en temperatura máxima; *TM*⁻ =tendencia negativa en temperatura máxima; *Tm*⁺ =tendencia positiva en temperatura mínima; *Tm*⁻ =tendencia negativa en temperatura mínima; GL=grados de libertad del análisis; media = promedio de la pendiente =*BI* (°C); Pr=nivel de confiabilidad de análisis.

En temperaturas máximas (TM), los resultados de la prueba de f , indican que no hay diferencia significativa en las tendencias positivas ($P \leq 0.1935$), ni en las tendencias negativas ($P \leq 0.0630$) entre los meses del año. No obstante al comparar la pendiente positiva de todos los meses con la negativa, de temperaturas máximas los resultados indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.0019$) en la media de B_I siendo las tendencias negativas las que registran los valores más altos ($-0.0714^\circ\text{C año}^{-1}$).

En temperaturas mínimas (Tm) las medias de pendientes entre positivas (Tm^+) y negativas (Tm^-) en los meses del año son diferentes (tabla 1). En TM^+ diciembre registro el valor más alto ($0.0696^\circ\text{C año}^{-1}$) y agosto el valor mínimo ($0.0629^\circ\text{C año}^{-1}$), mientras que en Tm^- diciembre presenta la mayor pendiente ($-0.0785^\circ\text{C año}^{-1}$) y julio la más baja ($-0.0586^\circ\text{C año}^{-1}$).

Por otro lado los resultados de las pruebas de t de student (95 %), revelan que las tendencias positivas registran las tasas más altas que las negativas, entre Tm^+ vs Tm^- , Tm^+ vs TM^+ y Tm^- vs TM^- (tabla 1). Registrando valores de P de 0.0020, 0.001 y 0.0075, siendo incluso en temperaturas mínimas, más altos que en temperaturas máximas.

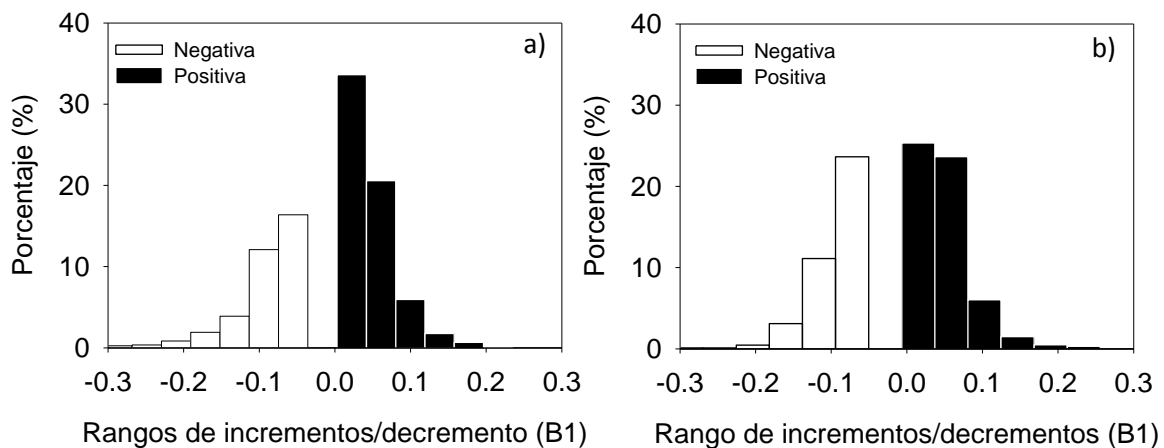


Figura 6. Histograma de frecuencia de la pendiente (B_I) positiva y negativa de temperatura máxima (TM) y temperaturas mínimas (Tm) en México (1950- 2008), de todos los diferentes meses del año.

El histograma de frecuencias de B_I de TM (figura 6a) y Tm (figura 6b) denotan diferencia importantes. En TM los datos indican que la mayor parte (34%) de la tendencia positiva (B_I) se encuentra en el rango de 0 a 0.04. en relación a tendencias negativas, estas indican valores más altos, iniciando de -0.01 a -0.05°C.

En temperaturas mínimas (figura 6b) la frecuencia de B_I positiva/negativa registro valores similares a los de TM en la distribución de los rangos, pero hubo diferencias en el porcentaje registrado.

Registro histórico de temperaturas máximas y mínimas (1940-2005).

El análisis de registros de las temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm) en México indican que se presentaron las temperaturas más altas en 1970 tanto en invierno boreal (figura 7ac), como en verano boreal (figura 7bd) en TM y Tm . Después de 1970 se observa que la temperaturas máxima y mínima tuvieron un descenso importante (Figura 7) que en TM y Tm en todos los meses (figura 7 c y d), a partir de 1990 hasta la fecha los registros de temperatura son cada vez más altos en TM y más bajos en Tm . Estos en TM se hacen cada vez más extremos los registros climáticos de temperatura. El descenso de las líneas (Figura 7) es debido al menos número de registro de datos a partir de esa fecha (Figura 8).

Recientemente, Easterling *et al.* (2000) indican que en el período 1910-1998, se produjo un ligero descenso en el número de días bajo cero en todos los Estados Unidos indicando esto temperaturas altas. Similarmente en Australia y Nueva Zelanda, la frecuencia de días bajo cero ha disminuido y coinciden con el calentamiento en las temperaturas mínimas diarias (Plummer *et al.*, 1999).

Al igual que en este estudio la meseta tibetana los eventos extremos cálidos ocurrieron a finales de 1990 y en los años más recientes (Liu et al, 2006). El aumento de temperatura

media se espera sean acompañada por una mayor frecuencia de días cálidos y noches cálidas (Liu *et al.*, 2006).

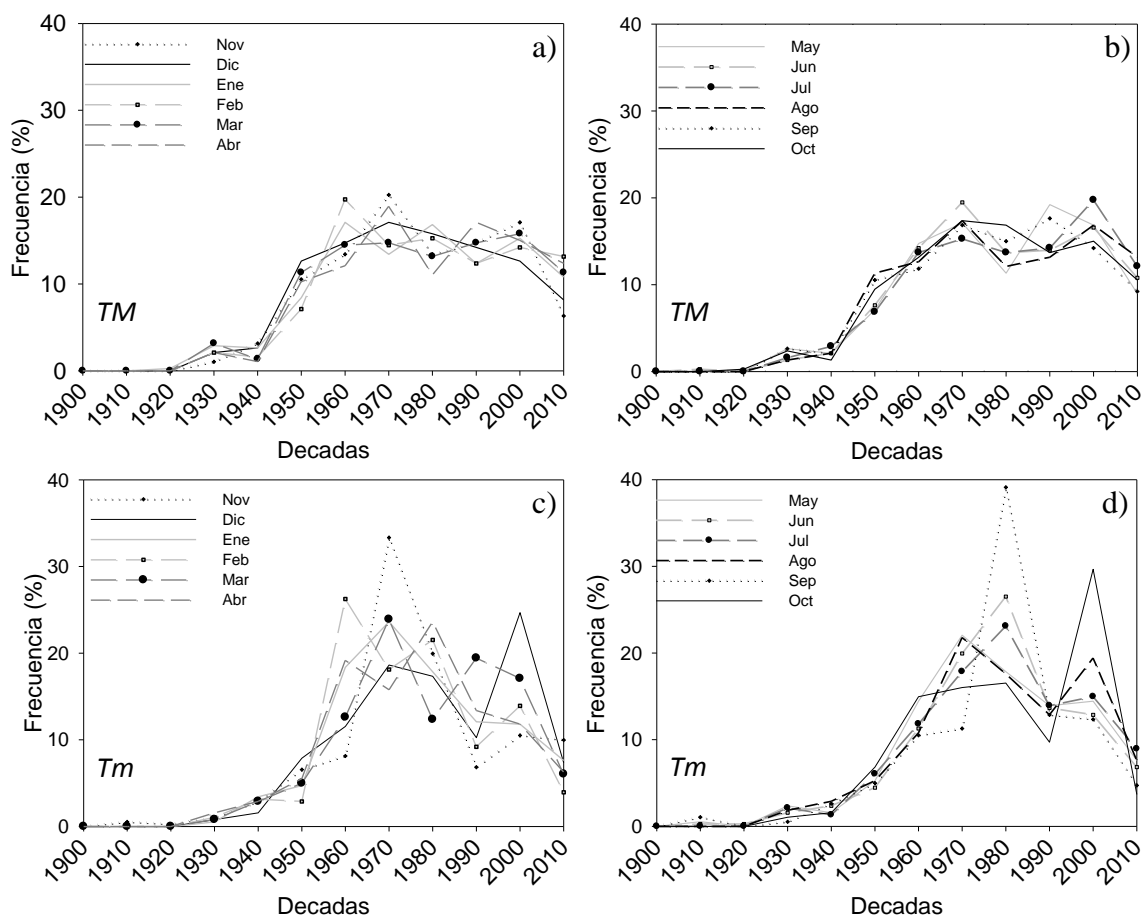


Figura 7. Registro histórico de eventos extremos de temperatura máxima (a y b) y mínimas (c y d) en México (1940- 2005).

Con una muestra aleatoria del 48 % del total de las estaciones analizadas observamos que a partir de la década de 1960 al 2007 se encuentra el 80% de las estaciones que registran información climatológica (figura 8). Se muestran las décadas registradas en las estaciones con temperaturas más altas (figura 7) y la mayoría de las estaciones concuerdan en 1970 a excepción de verano boreal T_m en las que tiene registros desde 1960; las décadas muestran porcentajes similares a partir de 1970 que es cuando se tiene la mayoría de las estaciones

registradas, no es viable decir que se presentan las temperaturas más altas desde 1970 pues apenas 10 años antes se registra la mayoría de las estaciones; Liu *et al.* (2006), aseguran que los cambios de temperatura se manifiestan desde inicios del siglo, la mayor parte de la comunidad científica está de acuerdo en que los aumentos significativos en la temperatura global se han producido en el siglo pasado y continuará en el futuro previsible. En Groenlandia las tendencias (1873-2001) indican un calentamiento significativo en todas las estaciones evaluadas, períodos de calentamiento producido desde 1885 hasta 1947 y 1984 a 2001, sin embargo estos aumentos se le atribuyen a erupciones volcánicas (Box, 2002).

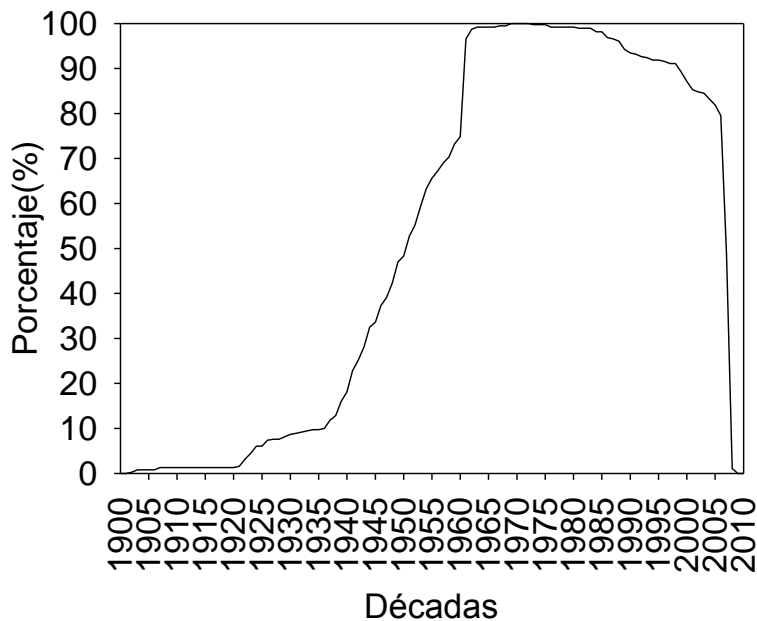


Figura 8. Muestra representativa del 48 % de estaciones climatológicas registradas por década durante 1900 al 2008 en México.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha observado que se registran cambios de temperatura a nivel regional y local a lo largo de la república mexicana, registrando los mayores cambios la TM (42.5%) que Tm (36.3%), en ambos casos se presentan mayor cantidad de estaciones con tendencias positivas, sin embargo las pendientes de las TM_+ son menores ($0.0680^\circ\text{C año}^{-1}$) que en Tm_+ ($0.0704^\circ\text{C año}^{-1}$), y comparando las pendientes de TM_+ y Tm_+ las positivas son mayores, lo cual indica incrementos de temperatura en el país, durante el periodo analizado.

Las TM^+ se distribuyen principalmente en noroeste, centro y sureste del país a escala regional, mientras que las TM^- se ubican al norte y centro del país. Las Tm^+ se encuentran distribuidas al noroeste y en menor superficie el sur. Las Tm^- se distribuyen se distribuyen en el norte y centro del país, manteniendo una consistencia regional. La pendiente de las Tm^+ son más altas ($0.0723^\circ\text{C año}^{-1}$) que las de TM^+ ($0.0660^\circ\text{C año}^{-1}$). En el caso de las tendencias negativas las TM^- ($-0.0714^\circ\text{C año}^{-1}$) son mayores que las Tm^- ($-0.0677^\circ\text{C año}^{-1}$).

Los periodos que registraron las temperaturas más altas durante 1940-2005 fueron en la década de 1970 y 2000, observandose un descenso de temperaturas en maximas y minimas a finales de 1980. Es claro que los registros de temperatura extrema (máxima y mínima) serán cada vez más altas.

REFERENCIAS

- Alexander, L. V., et al. (2006), “Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation”, *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Beniston M. Stephenson D. B. Christensen O. B. Ferro C. A. T. Frei C. Goyette S. Halsnaes K. Holt T. Jylhä K. Koffi B. Palutikof J. Schöll R. Semmler T. Woth K. (2007), “Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections”, *Climatic Change*, vol. 81:71–95.
- Bonsal B. R, Zhang X, Vincent A. L, y Hogg W. D. (2001), “Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada”, *Journal of climate*, vol. 14: 1959–1976.
- Box J. E. (2002), “Survey of greenland instrumental temperature records: 1873–2001”, *international journal of climatology*, vol. 22: 1829–1847.
- Caesar J. y Alexander L. (2006), “Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, D05101, doi: 10. 1029/ 2005 JD 006280.
- Degaetano A. T. y Allen, R. J. (2002), “Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States”, *Climate change*, vol. 15: 3188–3205.
- Díaz J. J, Linares G. C, y García H. R, (2005), “Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública: futuras actuaciones”, *Rev. Esp Salud Pública*, 79: 145-157.
- Diffenbaugh N. S. Pal J. S. Trapp R. J. y Giorgi F. (2005), “Fine scale processes regulate the response of extreme events to global climate change”, *National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102:15774-15778.
- Du, J. (2001), “Change of temperature in Tibetan Plateau from 1961– 2000”, *Acta Geograph. Sinica*, vol. 56:690–698.

- Easterling D. R. Evans J. L. Groisman P. Y. Karl T.R. Kunkel K. E. y Ambenje P. (2000), “Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 81, No. 3: 417-425.
- Jáuregui E, (2009), “The heat spells of México City”, *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, ISSN 0188-4611, Núm. 70: 71-76.
- Hansen, J. Sato M. Ruedy R. Ken L. Lea D. W. y Medina E. M. (2006), “Global temperature change”, vol. 103:14288–14293.
- Herrera S. S. Valdez C. R. D. Vidales C. J. A. Olivares S. E. Rodríguez F. H. Vázquez A. R. y Pando M. M. (2007), “Cambio climático: comportamiento de las temperaturas extremas y la evaporación en Nuevo León, México”, *Revista Chapingo Serie Zonas áridas*, vol. 6:155-163.
- INEGI (2010), Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2010, http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aceum/2010/Aceum10_1.pdf; consulta el 2 de Junio del 2011.
- IPCC (2007), Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina. (Colaboraron en la preparación de esta versión en español: Dra. Graciela O. Magrin y Dr. Osvaldo Canziani) Lima, Perú.
- Justus J. R. y Fletcher S. R. (2006), “Global Climate Change”, *Congressional Research Service*. The Library of Congress, IB89005, CRS-16.
- Kruger A. C. y Shongwe S. (2004), “Temperature trends in south Africa: 1960–2003”, *International journal of climatology*, vol. 24: 1929–1945.
- Luber G, MA, PhD, McGeehin M, PhD, MSPH (2008), “Climate Change and Extreme Heat Events”, *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 35: 0749-3797.
- Luterbacher J. Dietrich D. Xoplaki E. Grosjean M. y Wanner H. (2004), “European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500”, *Science*, vol. 303.

- Liu X. Yin Z. Y. Shao X. y Qin N. (2006), “Temporal trends and variability of daily maximum and minimum, extreme temperature events, and growing season length over the eastern and central Tibetan Plateau during 1961–2003”, *Journal of Geophysical Research*, vol. 111:0148-0227.
- Gedalof Z, Mantua N. J, y Peterson D. L. (2002), “A multi-century perspective of variability in the Pacific Decadal Oscillation: new insights from tree rings and coral”, *Geophysical research letters*, vol. 29: 0094-8276.
- Mantua N. J. and Hare S. R. (2001), “The Pacific Decadal Oscillation”, *J. Oceanography*, vol. 58: 35-44.
- Méndez G. J. Ramírez L A, Cornejo O. E. Zarate L. A, y Cavazos P. T. (2009), “Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México”, *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, no. 73:57-70.
- Méndez G. J. González R. H. Garza T. E. Jurado Y. E. Pando M. M. Cavazos P. T. (2009), “Spatial and temporal tele-connections of the Multivariate Enso Index (MEI) to rainfall, maximum and minimum temperature anomalies in Mexico”, *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions* IOP Publishing, doi:10.1088/1755-1307/6/9/292033.
- Plummer N. y Coauthors. (1999), “Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century”, *Climatic Change*, vol. 42:183–202.
- Rusticucci M. y Barrucand M. (2004), “Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina”, *American Meteorological Society*, vol. 17:4099–4107.