

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN MÉXICO EN LAS
ÚLTIMAS DÉCADAS**

POR:

MARÍA DE LOS ÁNGELES GARCÍA OJEDA

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 DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN MÉXICO EN LAS
ÚLTIMAS DÉCADAS**

POR:

MARÍA DE LOS ÁNGELES GARCÍA OJEDA

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 BADILLO



Coordinación
División de Agronomía

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2011

ii

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

**TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN MÉXICO
EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS**

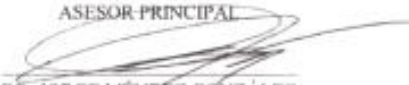
TESIS PROFESIONAL

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 LUPERCHIO

ASESOR


M.C. JULIAN CERANO PAREDES

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2011

DEDICATORIA

THANK GOD: Por la hermosa y maravillosa familia que tengo y permitirme vivir todas las experiencias que he tenido a lo largo, de mi vida, por acompañarme en todo mi camino.

A MI MADRE., Sra. Josefina Ojeda Figueroa por darme la vida, ser mi inspiración, te doy las gracias por tu amor, confianza, por todo el apoyo y enseñarme a ser una persona perseverante.

A MIS HERMANOS., Jorge, Constantino, Israel, Ramiro, Ana, Fabiana, Cristina, Alejandra Reyes y María de Jesús Arellanos por enseñarme a ser una persona diferente, por todos los momentos de alegría y tristeza que pase a su lado, gracias por su apoyo a lo largo de mi carrera.

A MIS SOBRINOS., Rosa Isela, una de mis compañeras de travesuras (te quiero mucho), a ti Rogelio Antonio, por cuidarme, a los mas peques de mis sobrinos, Natasha, Yoseline, Ceci, Jorge, Eder y Jesús, por todos los momentos felices que llenaron con sus tiernas sonrisas.

A MI MADRINA., Cecilia García López (f) por ser una mujer que lucho hasta el último momento, gracias por sus consejos.

A MIS PAPAS ADOPTIVOS., Don Erasmo y Doña Mari, gracias por darnos su cariño y confianza.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA TERRA MATER., La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por permitirme ser un Narro más y cobijarme como a cada uno de sus hijos, permitiendo formarme como una profesional.

AL Dr. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ., Por permitirme participar en este estudio, enseñarme a comprender las cosas, pero sobre todo por el interés, disponibilidad y paciencia para el culmino del trabajo. Por todo Gracias.

AL DR. ALEJANDRO ZÁRATE LUPERCIO., Por los comentarios y observaciones tan valiosas que fortalecieron este trabajo.

AL M.C. JULIAN CERANO PAREDES., Por las valiosas sugerencias y la disponibilidad para el culmino del trabajo.

A LOS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO., M.C. Salvador Valencia Manzo, M.C. Jorge David Flores Flores, M.C. José Luis Morales (†) , Ing. Jil Cabrera y demás que participan en la carrera, gracias por transmitirnos sus conocimientos y brindarnos su amistad.

A MIS COMPAÑEROS DE GENERACION., En especial a la Ing. Alejandra Reyes, Ing. Ma. de Jesús Arellanos Ing. Karen Dorantes, Ing. Marisol Butrón Ing. Raúl López, Ing. Manuel Romulo, Ing. Edwin Morales, Ing. Eri Salas, Ing. Fidel Joaquín, Ing. Jesús Maldonado por todos los momentos tan padres que pasamos en las practicas.

A MIS AMIGOS., Cecilia García Pablo, Carlos Jiménez, Andrés (el diablo), Narciso, Rogelio Fernando (Malvado) y demás que me han dado consejos y por estar con migo en los momentos alegres y tristes de mi vida, por enseñarme a ver la vida de forma diferente.

ÍNDICE

RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1 Área de estudio	3
2.2 Selección de estaciones climatológicas.....	3
2.3 Procedimientos estadísticos.....	4
2.4 Magnitud de B_I en temperaturas máximas y mínimas	5
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	5
3.1 Comparación de medias de los B_I para las TM y Tm	5
3.2 Patrones geográficos de las tendencias de TM y Tm	7
3.3 Magnitud de la tendencia (positiva/negativa) de temperatura en México	11
3.4 Grado de magnitud de la pendiente (B_I).....	13
4. CONCLUSIONES.....	14
5. LITERATURA CITADA	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de las 777 estaciones climatológicas analizadas.	3
Figura 2. Distribución del porcentaje de estaciones analizadas en base a la longitud de los registros de temperatura, el mayor número de estaciones presentan un periodo datos para los últimos 40 a 45 años.	4
Figura 3. Porcentaje de estaciones climatológicas con tendencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en temperaturas máximas (a) y mínimas (b) en México, 1940-2005.	6
Figura 4. Promedios de $B_I (\pm)$ intervalos de confianza de estaciones climatológicas estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$).	7
Figura 5. Distribución geográfica de las tendencias de B_I en temperaturas máximas (TM) en México, para el período (1940-2005).	9

Figura 6. Distribución geográfica de las tendencias de B_I en temperaturas mínimas (T_m) en México, para el período 1940-2005.....10

Figura 7. Esquema general de las gradientes de la pendiente (B_I) de temperaturas máximas (T_M) y mínimas (T_m) en México, para el período 1940-2005.....14

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadísticos de comparación de pendientes (B_I) de temperaturas máximas (T_M) y mínimas (T_m), en México, para el período 1940-2005.....12

RESUMEN

Los cambios que ocurren en el clima son resultados de la variabilidad interna del sistema climático y de los factores externos. Las tendencias son cambios graduales de incremento o decremento en el tiempo de variables climáticas, de ahí que el presente estudio analiza tendencias de temperatura máximas y mínimas (TM , Tm), datos instrumentales en México, con el objetivo de identificar su variabilidad, ubicación geográfica y la magnitud de éstas. Para el análisis se utilizaron datos de 777 estaciones climatológicas distribuidas en toda, variando de 1940-2005. Los datos fueron evaluados mediante análisis de regresión lineal. Los resultados del análisis muestran claras evidencias del calentamiento en el país, encontrando que las TM (positivas y negativas) sufren los cambios más importantes, presentando las pendientes más fuertes (TM con $B_1 = 0.037 \text{ } ^\circ\text{C año}^{-1}$ y Tm con $B_1 = -0.025 \text{ } ^\circ\text{C año}^{-1}$). Los patrones geográficos para las TM se ubican en el Noroeste, Golfo, Sur y Sureste del país. Los patrones geográficos del estudio presentan coincidencia con las teleconexiones de temperaturas máximas con el PDO y con el ENSO (noviembre a abril en TM - ubicadas al Noreste del país); en Tm - tienen tendencias similar en marzo y abril, siendo claro que estos fenómenos atmosféricos, podrían regular la variabilidad en México.

Palabras Clave: Tendencias, temperatura, incremento, fenómenos atmosféricos y México.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es denominado como un estado del clima identificable, a raíz de cambios en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante un tiempo prolongado en escalas espaciales (IPCC, 2007). Forma parte de la cuestión más general del desarrollo sostenible, siendo que este afecta la capacidad de los países para alcanzar objetivos sostenibles de desarrollo, (IPCC, 2001). Mientras que diversos factores modifican el clima (fenómenos naturales como erupciones volcánicas y variación solar), un gran número de investigadores han determinado que las actividades humanas son la principal fuente dominante (IPCC, 2001; John y Susan, 2006; IPCC, 2007; Somerville *et al.*, 2007) y por lo tanto los responsables de gran parte del calentamiento global en los últimos 50 años, aportando el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Fernández, 2010). Los cambios que ocurren en el clima son resultados de la variabilidad interna del sistema climático y de los factores externos (antropogénicos y naturales), por lo que el aumento del gradiente de la temperatura llega a ser un cambio peligroso (frecuencias o intensidades), con consecuencias ambientales (plagas y enfermedades, incendios, pérdida de flora y fauna etc.) y socioeconómicas positivas y negativas (Magaña, 1999; IPCC, 2001; Hansen *et al.*, 2006), cambios en la distribución geográfica de biomas y extinción de especies (Peters y Darling; Emanuel *et al.*, 1958).

Las tendencias son cambios graduales de incremento o decremento en el tiempo de las variables estudiadas (Bradley *et al.*, 1987), de acuerdo con esto, en diferentes lugares del mundo se han realizado estudios en relación a la variabilidad climática, por ejemplo en precipitación y temperatura para detectar este fenómeno (Easterling *et al.*, 1997; Alexander *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008).

El mundo entero se ha interesado por la variabilidad climática, debido a que se ha generado un importante calentamiento del planeta (Hare, 1996; Easterling *et al.*, 1997; Cáceres *et al.*, 1998; IPCC, 2007; Kesten *et al.*, 2007). De acuerdo con Magaña y Gay (2002), el mayor impacto para México por causas del cambio climático será asociado con la precipitación y la temperatura. El IPCC, (2007); y Kesten (2007) aprueban y respaldan el hecho de utilizar

pronósticos climáticos basados en la evidencia, para la predicción y prevención de incidentes ambientales que puedan dañar a la sociedad y al medio ambiente. Una forma de evidenciar el cambio climático es analizando tendencias de variables climáticas (Easterling *et al.*, 1997; Alexander *et al.*, 2006; IPCC, 2007)

Desde la época industrial, hasta la fecha, la cantidad de bióxido de carbono ha aumentado en un 30%, esto y más han contribuido al calentamiento del planeta (Conde, 2006; IPCC, 2007). La temperatura global ha aumentado ± 0.74 °C en promedio durante el siglo XX (IPCC, 2007), y cada vez se registran más años calurosos. Según el IPCC, (2007) en el periodo 1995-2006 se presentaron once de los doce años más cálidos registrados por instrumentos. Iniciándose globalmente un periodo notablemente cálido, por el incremento de las temperaturas máximas (IPCC, 2001; IPCC, 2007; González *et al.*, 2008;).

Como resultado de ello, el 2003 y 2006 fueron los años más calurosos; siendo el 2003 probablemente la mayor catástrofe ambiental en Europa (3000 muertos en Francia), trayendo consigo incendios en regiones desérticas (Fernández y Rasilla, 2008; Fernández, 2010), es notable como los fenómenos denominados olas de calor han experimentado una tendencia creciente, en duración y frecuencia, a partir de 1990 (Fernández y Rasilla, 2008).

En México los estudios de la variabilidad climática son realmente escasos y puntuales (Méndez *et al.*, 2009) siendo esto lo que dificulta evidenciar el cambio climático en el país, por lo cual esta investigación tiene como objetivos: (1) analizar la variabilidad de temperaturas, (2) su ubicación geográfica y (3) la magnitud de éstos; ya que permitirá conocer y prever algunos impactos sobre el clima futuro en México (Mantua y Hare, 2002), además de planificar el manejo de recursos naturales. Predicciones del clima a futuro indican que de no revertir el proceso el planeta se calentaría entre 1.4 ± 5.8 °C para el año 2100 (IPCC, 2001).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La República Mexicana se localiza en el Hemisferio Norte, es el país latinoamericano más boreal. Se encuentra dividido por partes casi iguales por el Trópico de Cáncer que marca el clima árido y semiárido al Norte y un clima húmedo y semihúmedo hacia el sur, contiene casi todos los grupos y subgrupos climáticos posibles (García, 1981). Cuenta con una extensión territorial alrededor de 1 964 375 km² y se ubica dentro de las coordenadas geográficas 14° 32´ hasta 32° 43 ´ latitud norte y de 86° 42 a 118 22 longitud oeste (INEGI, 2009) (Figura 1).

2.2 Selección de estaciones climatológicas

En esta investigación se utilizaron datos diarios de temperaturas máximas (*TM*) y mínimas (*Tm*), de 777 estaciones meteorológicas, distribuidas en todo el país (Figura 1), las cuales cumplen con los siguientes criterios: longitud de registro ≥ 50 años, más del 80% de la información y homogeneidad de los datos, la información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN); los datos varían de 1940-2005 (Figura 2). La calidad de los datos fue evaluada aplicando criterios sugeridos en estudios climáticos (Alexander *et al.*, 2006; IPCC, 2007).

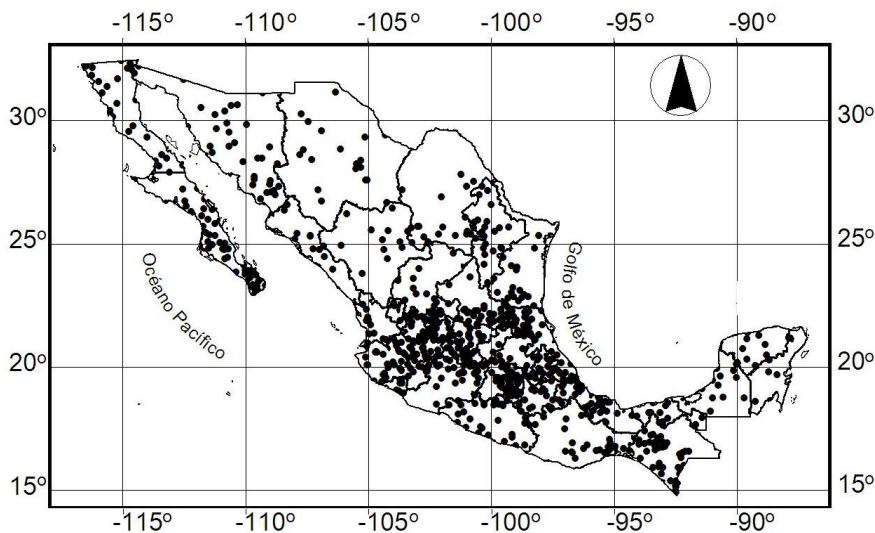


Figura 1. Distribución geográfica de las 777 estaciones climatológicas analizadas.

Así mismo se consideraron estaciones con 40 años de registro para poder cubrir espacios geográficos faltantes del área de estudio (corresponden a menos del 3% del total de las estaciones).

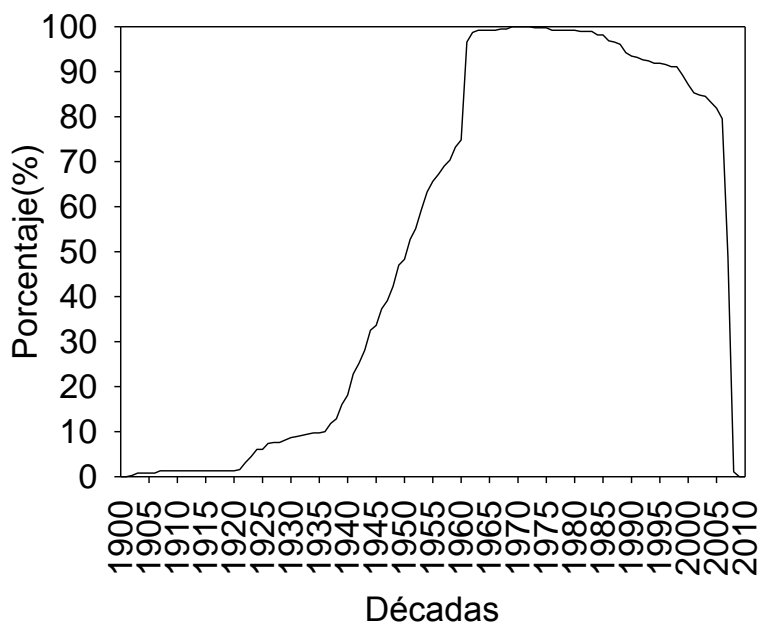


Figura 2. Distribución del porcentaje de estaciones analizadas en base a la longitud de los registros de temperatura, el mayor número de estaciones presentan un periodo datos para los últimos 40 a 45 años.

2.3 Procedimientos estadísticos

La variabilidad de temperaturas máximas y mínimas, se evaluó aplicando regresión lineal ($Y = B_0 + B_1 x$), usando cuadrados mínimos (González, 2008); se probó la hipótesis nula de B_1 donde esta es igual a cero, aun nivel de significancia del 95%, en este sentido Y representa temperatura máxima y mínima ($^{\circ}\text{C}$), B_0 es igual a la intercepta y B_1 representa la magnitud y tendencia (incremento/decremento) de la variable ($^{\circ}\text{C}$). Este proceso se realizó con ayuda del programa SAS versión 9.0, analizando la información por mes, en cada una de las estaciones climatológicas.

Para representar los patrones geográficos de las tendencias TM y Tm , los resultados fueron exportados a un sistema de información geográfica (SIG) en el cual se realizaron interpolaciones de B_I usando el método de IDW (Inverse Distance Weight). Las series que no registraron significancia estadística al nivel establecido (95%); se les otorgo el valor cero (0).

Para realizar las pruebas estadísticas, se analizó la distribución de B_I , usando pruebas de normalidad; debido a que los datos no se distribuyeron normalmente, se realizó la transformación $\sqrt{2}$ (Molinero, 2003), la cual es aplicable cuando las varianzas son proporcionales a la media

2.4 Magnitud de B_I en temperaturas máximas y mínimas

La magnitud (B_I) de la tendencia de TM y Tm fue evaluada en los diferentes meses usando pruebas de F ($\alpha = 0.05$). Con los datos transformados, se procedió a realizar pruebas de F y de t de student (95%) para denotar diferencias de magnitud de la tendencia entre TM y Tm en las diferentes modalidades (Cuadro 1).

Los resultados son útiles para identificar el nivel histórico y futuro de la climatología en México a escalas espaciales y temporales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Comparación de medias de los B_I para las TM y Tm

Los resultados obtenidos indican que existen cambios importantes especialmente en TM (Figura 3a); del total de las estaciones evaluadas 50% muestran tendencias (incremento/decremento) estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), mientras que en Tm , se registraron solamente 32% con tendencia significativa en promedio.

De las estaciones evaluadas, en TM en promedio 60% registran tendencias positivas, mientras que sólo 40% negativos (Figura 3a); los porcentajes entre meses son muy similares, tanto en $TM+$ como en $TM-$, no destacando ningún mes en particular. Los patrones de B_I (positiva) geográficamente se ubican en el Golfo, Sur y Noroeste de la República Mexicana (Figura 5) y en menor proporción $TM-$ en el Sureste del país. El B_I de las estaciones que tienden a aumentar promedian $0.038 \text{ }^\circ\text{C año}^{-1}$ y $-0.036 \text{ }^\circ\text{C año}^{-1}$ para

las que disminuye. Los B_I más fuertes ($0.038\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ año}^{-1}$) se registran en los meses más fríos (invierno boreal) tanto en $TM+$ como en $TM-$ (Figura 3a).

En Tm , los cambios son muy similares, tanto en las tendencias positivas ($Tm+$) como en negativas ($Tm-$); en $Tm+$ corresponden 49% del 50% estaciones significativas ($P\leq 0.05$), mientras que para las $Tm-$ le corresponden un 51% del total del 32%, estos porcentajes son similares en todos los meses del año (Figura 2 b). La ubicación geográfica de los patrones de B_I de $Tm+$ y $Tm-$ se puede observar en el Sur, Noreste y Noroeste de México (Figura 6). Los promedios del B_I en $Tm+$ son de $0.023\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ año}^{-1}$ y $-0.027\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ año}^{-1}$ en $Tm-$ lo que nos indica que el grado de tendencia es muy similar, entre ellos, pero diferentes a TM , los B_I más fuertes se observan en los meses más fríos al igual que en TM (Figura 3 b).

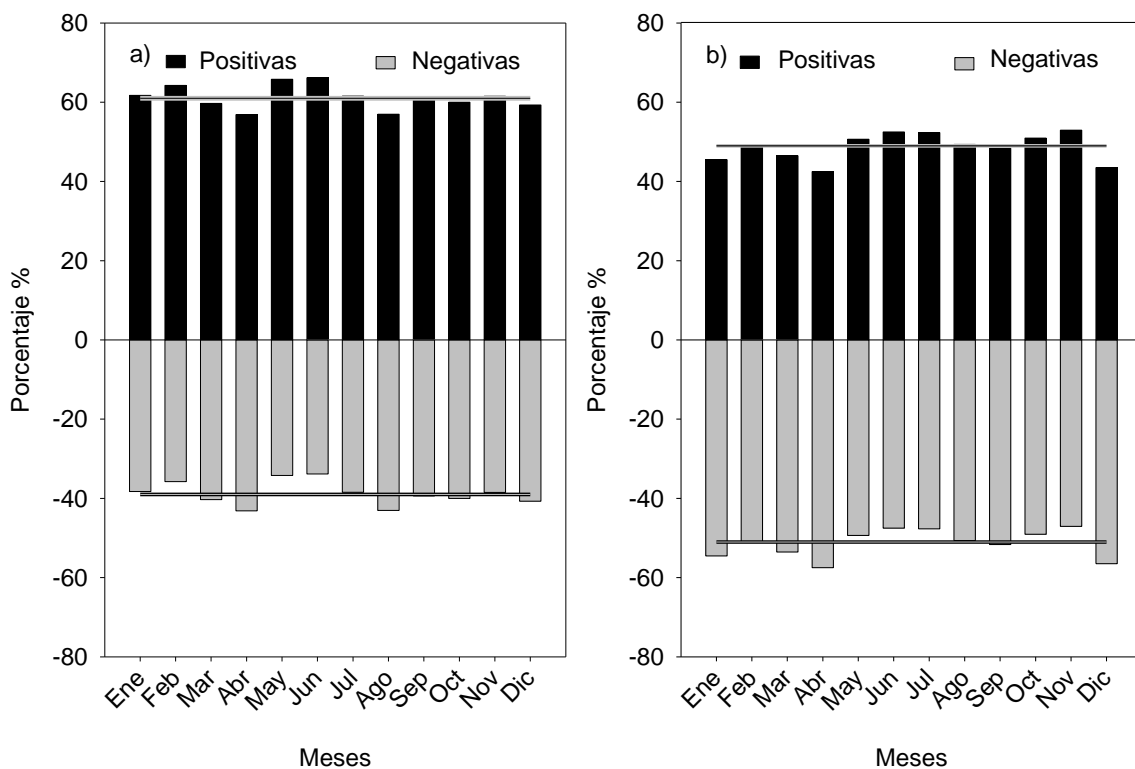


Figura 3. Porcentaje de estaciones climatológicas con tendencia estadísticamente significativa ($P\leq 0.05$) en temperaturas máximas (a) y mínimas (b) en México, 1940-2005.

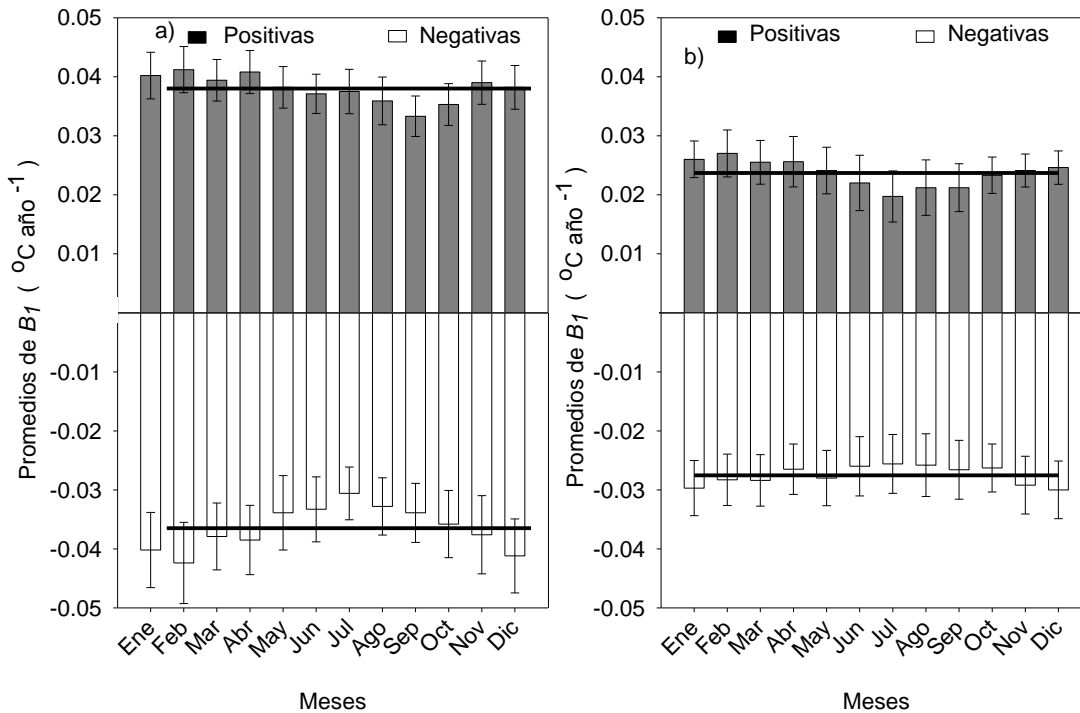


Figura 4. Promedios de B_1 (\pm) intervalos de confianza de estaciones climatológicas estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$).

3.2 Patrones geográficos de las tendencias de TM y Tm

La interpolación de la pendiente de la regresión (B_1), en TM (Figura 5), indican claramente consistencias en $TM+$ a escala regional en la parte Sureste (Oaxaca, Chiapas y Veracruz) de la República; se puede visualizar consistencia local en Yucatán, ambas regiones se denotan en todos los meses del año.

En $TM-$, también se puede observar consistencia regional, en el Noreste (Coahuila, Chihuahua y Monterrey); y en el sur se denota una consistencia local en Guerrero, estas consistencias se pueden visualizar en todo el año.

Las tendencias geográficas de B_1 ($TM \pm$) reportados en este estudio coinciden con las correlaciones de Temperatura máxima con la Oscilación Décadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) en $TM+$ son similares los patrones en los meses de abril a julio

(Noroeste del país); en TM^- se encontraron patrones similares a la correlación de TM^- al PDO de noviembre a abril en el Noroeste (Méndez *et al.*, 2009).

Similarmente las teleconexiones del MEI (Multivariate Enso Index) a TM y Tm en México, reportados por Méndez *et al.* (2007), tienen patrones geográficos similares con estos resultados, en TM^- de noviembre a abril en el Noreste; para las TM^+ se puede visualizar patrones similares de mayo a octubre en la región Sureste (Oaxaca y Chiapas).

Los patrones geográficos de B_1 en Tm muestran consistencias; para las Tm^+ , localiza un área consistente el Sureste (Chiapas, Veracruz y Campeche), para los meses de noviembre a junio. En el Noroeste se ubica una región local visible de octubre a marzo, siendo estos los patrones más visibles para las Tm^+ . En Tm^- los patrones geográficos consistentes visibles a nivel local se ubican en la parte Norte de Coahuila, mostrándose presente en todos los meses, en el centro del país se observa consistencia local de marzo a junio. Las tendencias positivas de Tm , ubicadas cercanas al mar, tienen tendencia positiva en su mayoría, esto podría ser atribuido a eventos del ENSO (Cáceres, 1998).

Los patrones geográficos de las Teleconexiones (de signo positivo) del PDO a la Temperatura en México (Méndez *et al.*, 2009), tienen similitud con estos resultados, en los meses de enero a marzo (Noroeste del país), mientras que en las Tm^- , coinciden en los meses de enero a abril al Noreste.

Las correlaciones del MEI y la PDO con Tm^- son similares a las tendencias de este estudio para marzo y abril en el Noreste (Méndez *et al.*, 2009), indicando que estos fenómenos océano atmosféricos podrían ser causantes de los incrementos de la temperatura en México.

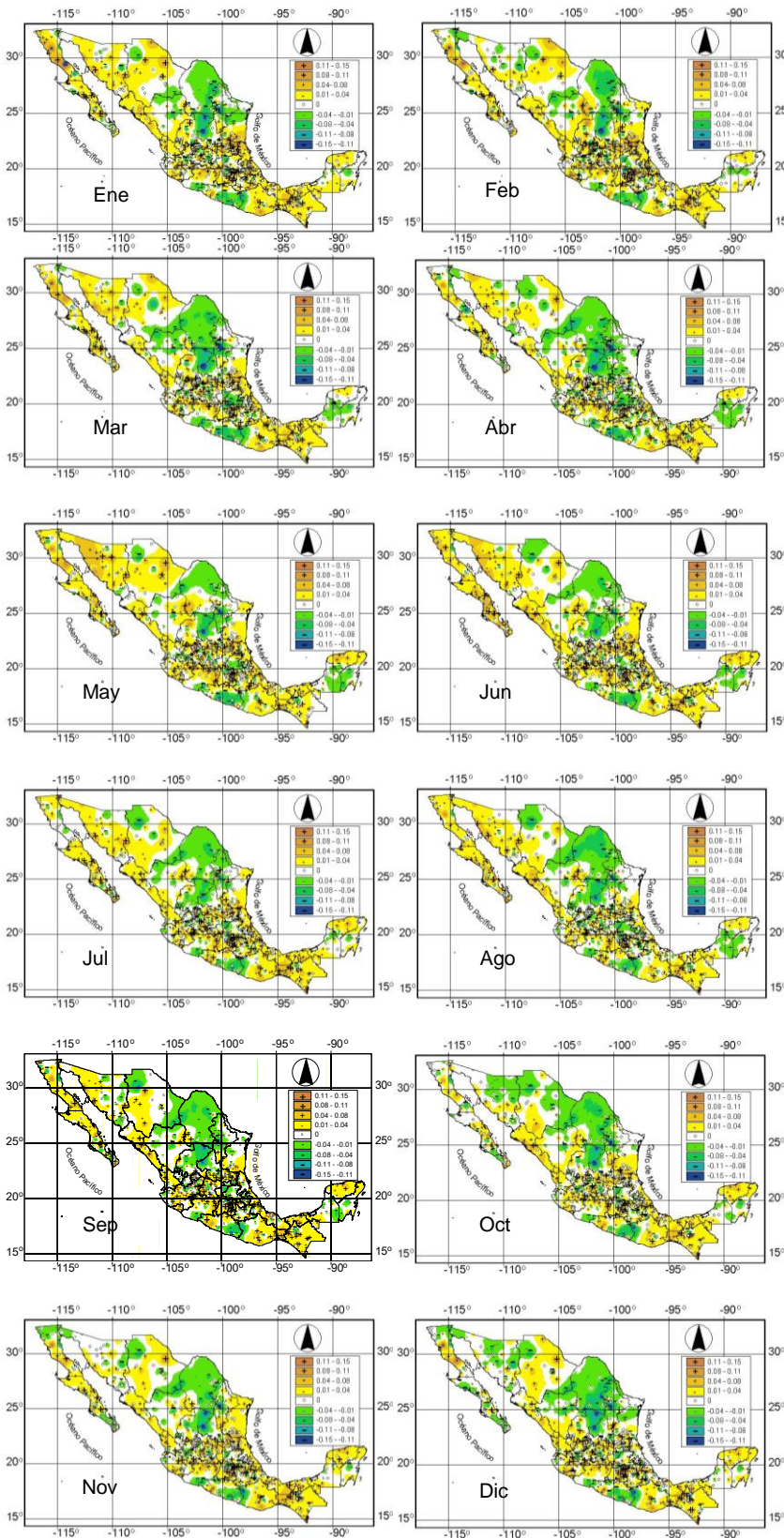


Figura 5. Distribución geográfica de las tendencias de B_I en temperaturas máximas (T_M) en México, para el período (1940-2005).

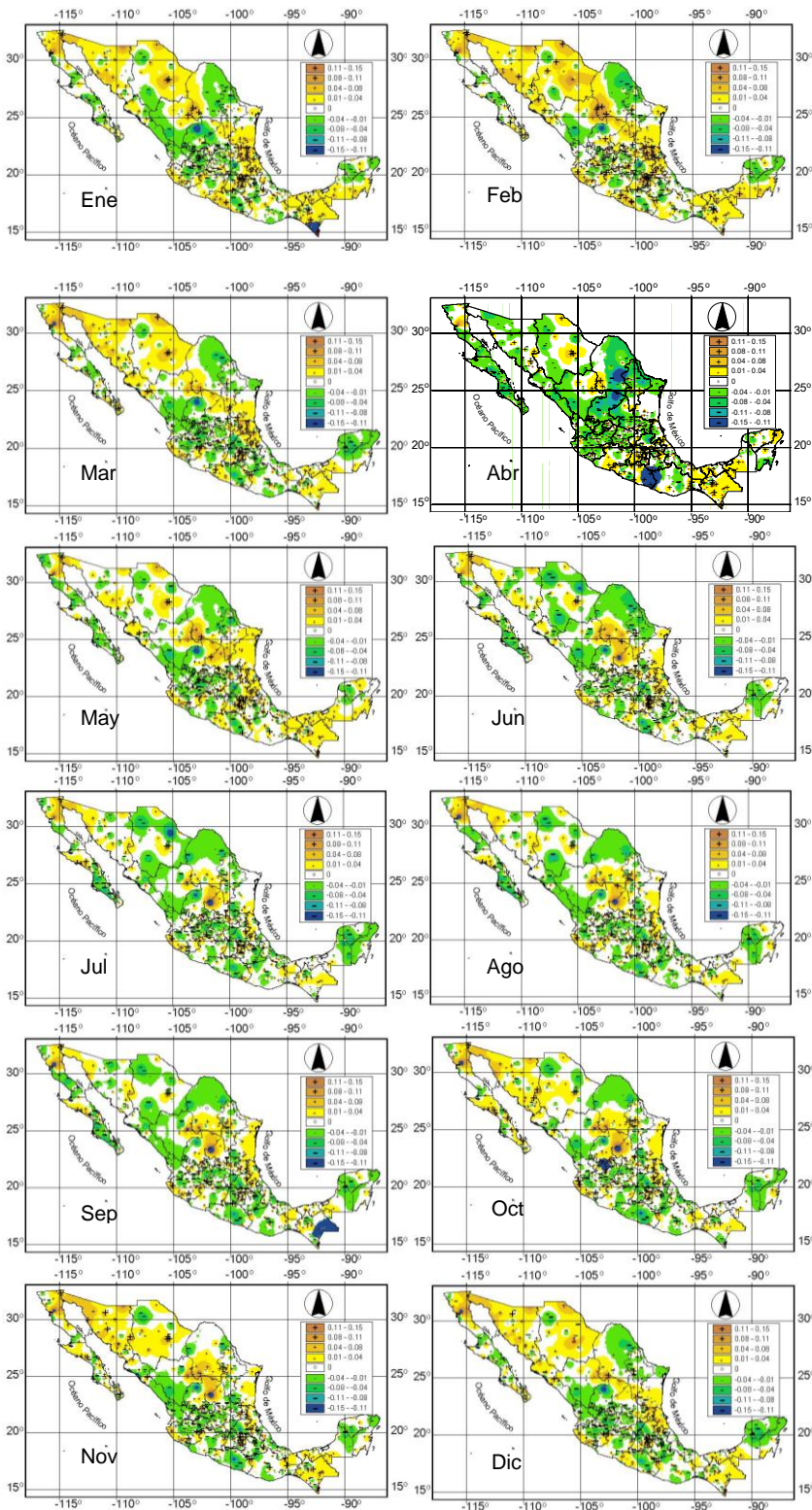


Figura 6.
Distribución geográfica de las tendencias de B_I en temperaturas mínimas (T_m) en México, para el período 1940-2005.

3.3 Magnitud de la tendencia (positiva/negativa) de temperatura en México

Los resultados del análisis de varianza de B_I entre meses en $TM+$ indican que existen diferencias significativas ($P=0.01$) en la magnitud de B_I (Cuadro 1), siendo febrero la mayor pendiente ($B_I=0.041$ °C año⁻¹) y la menor Septiembre ($B_I= 0.033$ °C año⁻¹), coincidiendo parcialmente con los estudios realizados por Fernández *et al.* (2007), por el aumento de las temperaturas a mediados del año. La magnitud de B_I en $TM-$ también muestran diferencias significativas ($P=0.02$), coincidiendo febrero con la mayor pendiente ($B_I= -0.042$ °C año⁻¹) y julio la menor ($B_I= -0.030$ °C año⁻¹). Estos resultados nos indican un clima extremo en febrero.

De igual manera se encontraron diferencias importantes en B_I de $Tm+$ ($P =0.02$) donde $B_I= 0.027$ °C año⁻¹ (mayor pendiente) en febrero, al igual que en $TM+$; y julio registró la menor pendiente ($B_I=0.019$ °C año⁻¹); en las $Tm-$, no se encontraron diferencias significativas ($P=0.10$), indicando la misma tasa de decremento en todos los meses del año. Los cambios en la magnitud de la gradiente de B_I varía fundamentalmente en función del escenario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Fernández *et al.*, 2007).

Al comparar B_I de $TM+$ vs $Tm+$, usando pruebas de t (95%) se observó que también existen diferencias significativas ($P= 0.01$), siendo $TM+$ las que presentaron la mayor pendiente ($TM+$, $B_I=0.038$ °C año⁻¹ y $Tm+$, con $B_I=0.027$ °C año⁻¹). En la comparación de B_I de $TM-$ vs $Tm-$, los resultados indican que las $TM-$ presenta la mayor pendiente ($B_I= -0.037$ °C año⁻¹ vs $B_I=-0.030$ °C año⁻¹), encontrando diferencias significativas ($P=0.01$). Esto es congruente con lo encontrado en los estudios realizados por Cáceres *et al.* (1998); Easterling (2000); Fernández *et al.* (2007); Fernández y Rasilla, (2008); por citar algunos ejemplos.

Similarmente entre $TM+$ y $TM-$ existen diferencias significativas ($P=0.01$), $TM+$ muestran la mayor pendiente ($B_I=0.038$ °C año⁻¹) ligeramente superior a $TM-$ ($B_I=-0.037$ °C año⁻¹). La B_I entre $TM+$ vs $Tm-$ presentan diferencias ($P=0.01$), con B_I de 0.027 °C año⁻¹ para $TM-$. Estas comparaciones evidencian que, las pendientes (incrementos/decrementos) en TM son superiores a Tm similar a los resultados encontrados por Easterling *et al.* (1997); Easterling *et al.* (2000).

Al comparar las TM vs Tm , existen diferencias significativas ($P=0.01$), al encontrar que las TM tienen la mayor pendiente ($B_I=0.038$ °C año⁻¹) que las Tm ($B_I=0.027$ °C año⁻¹), con estos resultados, se hace evidente que las TM son las que tienen los cambios más importantes. El incremento notable de las TM sobre las Tm son muy claras (Cáceres *et al.*, 1998; Fernández *et al.*, 2008; Fernández y Rasilla, 2008; González *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Estadísticos de comparación de pendientes (B_I) de temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm), en México, para el período 1940-2005.

Variables	Promedio de B_I °C año ⁻¹	Mes Variable	/ Estadístico X^2	Grados de libertad	Valor de P
$TM+$ /Mes	0.041	Febrero	0.010	12	0.01
	0.033	Septiembre			
$TM-$ /Mes	-0.042	Febrero	0.011	12	0.02
	-0.030	Julio			
$Tm+$ /Mes	0.027	Febrero	0.010	12	0.001
	0.019	Julio			
$Tm-$ /Mes			0.007	12	0.10
$TM+$ vs $Tm+$	0.038	$TM+$	1.546	12	0.01
	0.027	$Tm+$			
$TM-$ vs $Tm-$	-0.037	$TM-$	0.492	12	0.01
	-0.030	$Tm-$			

<i>TM+</i> vs <i>TM-</i>	0.038	<i>TM+</i>	0.048	12	0.01
	-0.037	<i>TM-</i>			
<i>Tm+</i> vs <i>Tm-</i>	-0.027	<i>Tm-</i>	5.717	12	0.01
	0.024	<i>TM+</i>			
<i>TM</i> vs <i>Tm</i>	0.037	<i>TM</i>	1.962	12	0.01
	-0.025	<i>Tm</i>			

3.4 Grado de magnitud de la pendiente (B_I)

Las tendencias de la magnitud de la pendiente (B_I), encontrados en *TM+* (Figura 7) son de $0.038 \text{ } ^\circ\text{C a}\ddot{\text{a}}\text{o}^{-1}$ en promedio, y de $B_I=0.036$ en *TM-*, estos valores son mayores comparados con los que se registran en *Tm* ($Tm+=0.024 \text{ } ^\circ\text{C a}\ddot{\text{a}}\text{o}^{-1}$ y $Tm=- -0.027 \text{ } ^\circ\text{C a}\ddot{\text{a}}\text{o}^{-1}$). Los resultados de la magnitud de la pendiente (B_I), en estos estudios son muy similares a los encontrados en los estudios realizados por González *et al.* (2008), donde también es más notable el incremento en las *TM* ($B_I= 0.045 \text{ } ^\circ\text{C a}\ddot{\text{a}}\text{o}^{-1}$), por encima de *Tm* ($B_I= 0.030 \text{ } ^\circ\text{C a}\ddot{\text{a}}\text{o}^{-1}$). Los resultados encontrados son importantes ya que, comprueban lo encontrado por diferentes estudios realizados en España (Fernández *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008), Ecuador (Cáceres *et al.*, 1998), China (Zhang *et al.*, 2006), México (Méndez *et al.*, 2007, 2009), Estados Unidos (Easterling, 2007), sobre las tendencias de las temperaturas, más sin embargo, para muchas regiones de los trópicos aún no se encuentra bien estudiado este tema. Las tendencias de la magnitud de la pendiente (B_I) a nivel global de acuerdo con el IPCC, (2007), para México incrementara en 0.5 a 1 $^\circ\text{C}$ del 2020-2029, por lo que las tendencias de incremento de las temperaturas son correctas.

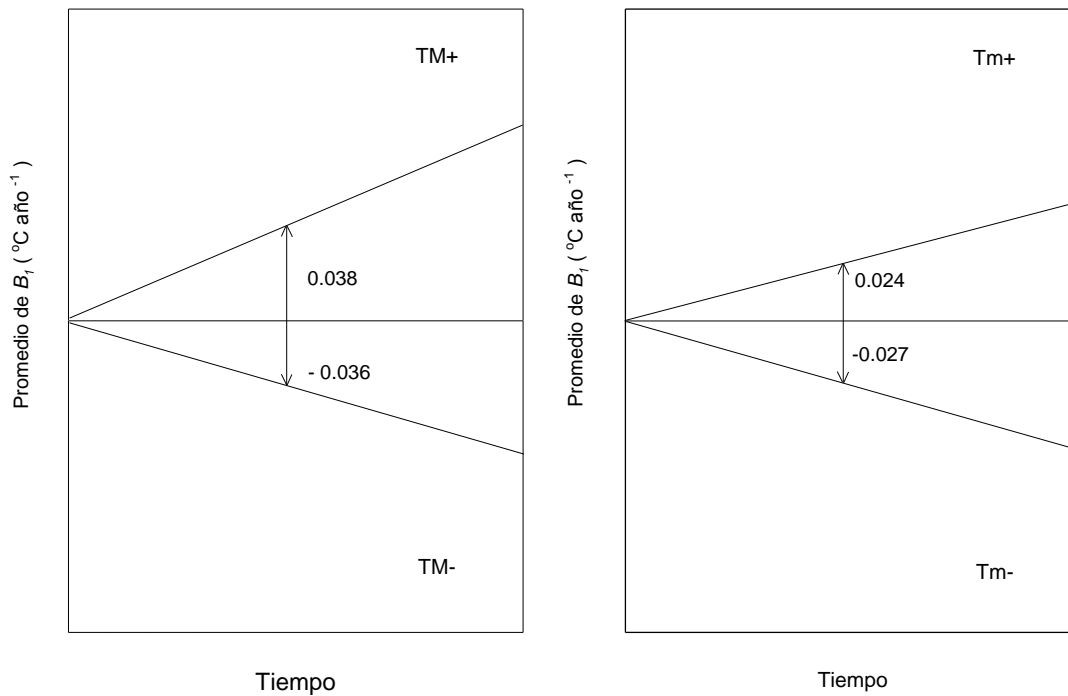


Figura 7. Esquema general de las gradientes de la pendiente (B_I) de temperaturas máximas (TM) y mínimas (Tm) en México, para el período 1940-2005.

4. CONCLUSIONES

El estudio presenta evidencias claras de lo que está sucediendo, corroborando lo encontrado por Easterling *et al.* (1997), concluyendo que las temperaturas tienden a aumentar a un ritmo más rápido, pero disminuyen a un ritmo más lento ($TM B_I > B_I Tm$).

Las TM sufren los cambios más importantes representando el 50% vs 32% (Tm) que muestran tendencias (incremento/decremento) estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), siguiendo la tendencia que se puede observar en los resultados del IPCC, (2007) con incrementos en las TM de 0.5 a 1 °C del 2020-2029, mucho más visible en la parte Norte del país.

Las TM (positivas y negativas) presentan las pendientes (B_I) más fuertes, $TM+$ con $B_I = 0.038$ °C año⁻¹ y $TM-$ con $B_I = -0.037$ °C año⁻¹, siendo los valores más fuertes

comparados con las Tm (positivas y negativas). Los patrones de $TM+$ se ubican geográficamente en el Golfo, Sur y Noroeste y al Sureste del país las $TM-$. De acuerdo con Méndez *et al.* (2009), las pendientes (B_I) mayores ($TM+$ y $TM-$), pueden ser atribuibles a la asociación con la fase fría del PDO.

El mes que presenta la mayor pendiente es febrero en $TM+$ ($B_I=0.041$ °C año⁻¹); $TM-$ ($B_I=-0.042$ °C año⁻¹) y en $Tm+$ ($B_I= 0.027$ °C año⁻¹), indicando un clima extremo para este mes, estadísticamente significativo ($P\leq 0.05$).

La correlación de temperatura máxima con el PDO y las teleconexiones del MEI, presentan coincidencia en los patrones geográficos, de noviembre a abril en $TM-$, ubicadas en el Noreste del país. En $Tm-$ también tiene tendencias similares en marzo y abril ubicadas al Noreste. Dando como resultados claros que estos fenómenos atmosféricos, pueden ser causantes de los incrementos de temperatura. Los resultados confirman las tendencias crecientes de temperatura en México, evidenciando señales claras del cambio climático.

5. LITERATURA CITADA

- Alexander L. V., X Zhang, T. C. Peterson, Caesar, B. Gleason. A. M. G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vicent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, and J. L. Vazquez-Aguirre. (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes Of Temperature. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 111, D05 109: 2-10
- Bradley, R. S., H. F. Diaz, J. K. Eischeid, P. D. Jones, P. M. Kelly and C. M. Goodess 1987. Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, 237: 171-175.
- Cáceres, R., Mejía, R., Ontaneda, G., (1998)., Evidencias del Cambio Climático en Ecuador., *Bull. Inst. Fr. Etudes Andines*. 27(3) 547-556
- Easterling David R., Briony Horton, Philip D. Jones, Thomas C. Peterson, Thomas R. Karl, David E. Parker, James M. Salinger, Razuvayev Vyacheslav, Neil Plummer, Jamason Paul, Christopher K. Folland, (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe, *Science*, 277: 364-367
- Easterling David R., Gerald A. Meehl., Camille Parmesan., Stanley A. Changnon., Thomas R. Karl and., Linda O. Mearns., (2000). Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, 289: 2068-2074
- Emanuel, W.R., H.H. Shugart, M.L. Stevenson. 1985. Climate Change and the Broad-Scale Distribution of Terrestrial Ecosystem complexes. *Cim. Change*.7: 29-43
- Fernández G. F., (2009) Ciudad y Cambio Climático: Aspectos Generales y Aplicación al Área Metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas* ISSN: 0213-4691 Volumen 49: 173-195.
- Fernández G. F., y Rasillas A. D., (2008) Olas de Calor e Influencia Urbana En Madrid y su Área Metropolitana. *Estudios Geográficos* 265, ISSN:0014-1496 eISSN:1988-8546, pp. 495-518,

- García E. (1988), Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Instituto de Geografía, UMAM, México.
- González M., Mader J., Fontan A., Uriarte A., Del Campo A., Ferrer Luis., Revilla M., (2008) Análisis de la Tendencia de la temperatura Atmosférica en Donostia-San Sebastián (SE del Golfo de Vizcaya) a Partir del Estudio de la Serie del Observatorio del Monte Igeldo (1928-2007). Revista de Investigación Marina, ISSN: 1988-818X, Volumen 1: 7-7
- Hare, S. R. (1996), Book review of patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics by Andrew Bakun, Fish. Oceanogr. 5: 227-228.
- INEGI (2009). Aspectos generales del territorio mexicano [<http://www.inegi.org.mx/inegi>].
- IPCC (2001). Climate change. The Scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (ed)]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y, USA, 881p.
- IPCC (2007), Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de Redacción Principal: Pachauri, R. K. y A. Reisinger (dirs. de la publicación)], IPCC, Ginebra, Suiza. 114p.
- Hansen J., Makito S., Ruedy R., David W. L., Ken L., y Medina M. (2006). Global temperature change, National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute For Space Studies, Columbia University Earth Institute, and Sigma Space partners, Inc., 2880 Broadway, New York, NY 10025; and Department of Earth Science, University of California, Santa Barbara, CA 93106 Vol. 103(39): 1-7
- John R. J. y Susan R. F. (2006) Global Climate Change. Resources, Science, and Industry Division CRS Issue Brief for Congress IB89005.

- Kesten C., Green and J. Scott Armstrong. (2007). Global warming: Forecasts by Scientists Versus Scientific Forecasts, *Energy and Environment*. Volumen 18: 7-8.
- Mantua, N. J., S.R. Hare (2002), The pacific Decadal Oscillation, *J. Oceanography*, No. 58: 35-44
- Magaña V.O. (1999). Los impactos del El Niño en México, Dirección General de Protección Civil. Secretaria de Gobernación, México 229 p.
- Magaña, V. O. y Gay. C. (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica* 65: 7 - 23.
- Méndez, G. J., R. H. González, G. E. Treviño, Y. E. Jurado, M. M. Pando and P. T. Cavazos (2007), Spatial and temporal tele-connections of the Multivariate Enso Index (MEI) to rainfall, maximum and minimum temperature anomalies in Mexico, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 6, 292033. Doi:10.1088/1755-1307.
- Méndez, G. J., Ramírez, L. A., Cornejo O. E., Zarate., E. A., Cavazos P. T., (2009), Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y Temperatura en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto, UNAM* ISSN 0188-4611 Núm. 73: 57-70.
- Peters, R.L. y L.D.S. Darling. (1985). The Greenhouse effect and Nature Reserves *BioScience* 35(11): 707-717.
- Somerville, R., H. Le Treut, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, (2007): Historical Overview of Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Zhang Y., Xu Y., Dong W., Cao L., Sparrow M., (2006) A future climate scenario of regional changes in extreme climate events, over China using the PRECIS Climate Model. *Geophysical Research Letters* 33 (24), L24702.
Doi:10.1029/2006GL027229.