

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Identificación de Olas de Calor y Olas de Frío en 53 Estaciones Climatológicas de la
República Mexicana

Por:

LUIS REYNALDO MONTOYA JIMÉNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Identificación de Olas de Calor y Olas de Frio en 53 Estaciones Climatológicas de la
República Mexicana

Por

LUIS REYNALDO MONTOYA JIMÉNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

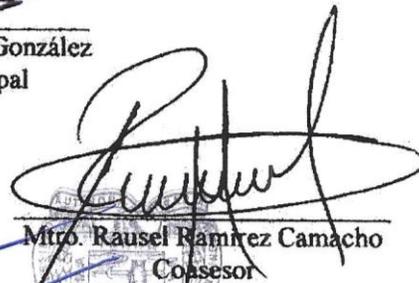
Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Jorge Méndez González
Asesor Principal



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coasesor



Mtro. Rausel Ramirez Camacho
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación ·
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2017

DEDICATORIA

A mi padre Asunción Montoya González

Quien con mucho cariño y amor me apoyó durante los cinco años de mi carrera y nunca me dejó solo, quien por sus sabios consejos llegué a una meta más en mi vida, que tú me ayudaste a cumplir, por eso y más te amo papá.

A mi madre María Luisa Jiménez Avendaño

Quien fue mi mayor inspiración a terminar mi carrera, a ti mamá que con tu amor y cariño nunca me dejaste solo, gracias por creer en mí. Tú mamá quien a lado de papá fueron los responsables de que esta meta fuera cumplida satisfactoriamente, es la mejor herencia que me han dado, te amo mamá.

A mis hermanos

Juan Carlos Montoya Jiménez por el gran apoyo que brindó durante la carrera, gracias por los consejos y todos los momentos compartidos, te quiero hermano.

Gustavo Adolfo Montoya Jiménez quien también llegará a esta etapa con el apoyo de toda la familia.

A mi novia

Reyna Cecilia Espinoza Montoya, para ti, quien siempre estuvo a mi lado con un gran apoyo y con mucho amor, en los buenos y malos momentos, gracias amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios padre

Por darme vida para poder terminar una meta más en mi vida y acompañarme en todos los momentos más difíciles de la vida.

A mi Alma Terra Mater

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO una excelente casa de estudios, por darme el privilegio de estar entre sus aulas y brindarme ese cobijo y refugio donde pase cinco de los mejores años de mi vida, gracias por formarme como un profesional.

A mis padres

Asunción Montoya González y mi madre María Luisa Jiménez Avendaño que con mucho amor, esfuerzo y dedicación me apoyaron económicamente en todo momento, gracias a ese apoyo y a los consejos logré terminar mis estudios, gracias por creer en mí y darme todo lo que necesité los quiero.

A mi hermano y su novia

Juan Carlos Montoya Jiménez y su novia Cecilia Guadalupe Ruiz González, por el apoyo brindado en todo momento y por sus consejos gracias.

A mi novia

Reyna Cecilia Espinoza Montoya por darme todo el apoyo necesario, por estar a mi lado estos cinco años de mi carrera, hemos pasado buenos y malos momentos y seguiremos superando muchos obstáculos juntos te amo.

Especialmente al Dr. Jorge Méndez González por dedicarme el tiempo, por los consejos y el apoyo necesario para que este trabajo se finalizara, siendo el un excelente asesor, profesor y amigo, a su esposa Paulina Bazaldúaa, Katy y Sofía por su amistad, se les aprecia.

A mis coasesores el Dr. Luis Samaniego Moreno y al M.C. Rausel Ramírez Camacho, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A todos los profesores del departamento forestal: Dr. Celestino Flores López, Dr. Alejandro Zarate Lupercio, M. C. José Armando Nájera Castro, M. C. José Aniceto Díaz Balderas, Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, M. C. Salvador Valencia Manzo, Dra. Gabriela Ramírez Fuentes, Ing. Sergio Braham Sabag, M. C. Andrés Nájera Díaz, M. C. Héctor Darío González López, quienes me instruyeron durante los cinco años de estudio, brindando todo su conocimiento ayudando a terminar una meta más en mi vida.

A mis mejores amigos: Oliver Gómez Sánchez, Deisy Mariel Gutiérrez Noyola, Librado Sosa Díaz, Octavio Sosa Díaz, Luis Enrique García Jiménez, Miguel Ángel Pérez Avendaño gracias por su amistad y mis mejores deseos para ustedes.

A los compañeros de generación y amigos que estuvieron compartiendo buenos momentos gracias. Así también a las personas que no se hacen mención pero que en algún momento ofrecieron su amistad y apoyo durante el tiempo en la universidad gracias, personas que no vienen a mi memoria gracias por el tiempo compartido ya que de alguna manera también fueron parte de la formación académica gracias.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 capitales de la República Mexicana y otras ciudades con el fin de evaluar los históricos de olas de calor y de frío identificando su variabilidad, ubicación geográfica y su magnitud. Las estaciones contienen datos diarios de temperatura máxima (TM) y mínima (Tm) que datan desde 1950 al 2010. Las olas de calor y de frío, se calcularon mediante percentiles: 95 % para las TM y de 5 % para las Tm. Los resultados muestran que las olas de calor son cada vez más frecuentes y fueron mayor en la década de 1990-2000, mientras que las olas frío disminuyen en los últimos años. Las olas de calor y frío se distribuyen principalmente en la parte noreste del país y con menor intensidad en el centro y sur. El mayor número de olas las frío ocurrió en la década 1950-1960. Algunas olas de calor y de frío que ocurren en el país se correlación con el fenómeno ENSO.

Palabras clave: temperaturas, máximas, mínimas, ENSO, patrones geográficos y percentil.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 El cambio climático.....	5
2.2 Fenómeno (ENSO) El Niño y La Niña	5
2.3 Fenómeno ENSO y su relación con altas temperaturas	6
2.4 Olas de calor y frío.....	6
2.5 Olas de calor y frío en el futuro	7
2.6 Mortalidad por olas de calor	7
2.7 Como afectan las olas de calor y frío al cuerpo humano	8
2.8 Temperaturas en México.....	8
2.9 Trabajos afines	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Descripción del área de estudio.....	12
3.2 Fuente de datos.....	14
3.3 Metodología	14
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1 Registros de olas de calor.....	16

4.2 Patrones geográficos de olas de calor	18
4.3 Registros de olas de frío.....	21
4.4 Distribución geográfica de olas frío.....	23
4.5 Interacción del MEI con olas de calor.....	26
4.5 Interacción del MEI con olas frío.....	27
5 CONCLUSIONES	31
6 LITERATURA CITADA	32

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Datos de estaciones meteorológicas analizadas.	13
Cuadro 2. Análisis de correlación del índice del MEI con olas de calor en México.	29
Cuadro 3. Análisis de correlación del índice del MEI con olas de frío en México.	30

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones climatológicas analizadas.	12
Figura 2. Temperaturas umbrales de olas de calor de 53 estaciones meteorológicas estudiadas en México.....	17
Figura 3. Promedio y tendencia lineal de olas de calor en 53 estaciones metrológicas distribuidas en 32 ciudades de México.....	18
Figura 4. Distribución geográfica de olas de calor en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 ciudades más importantes de México durante las décadas 1950-2000. ..	20
Figura 5. Temperaturas umbrales de olas de frío de 53 estaciones meteorológicas estudiadas en México.	21
Figura 6. Promedio y tendencia lineal de olas frío en 53 estaciones metrológicas distribuidas en 32 ciudades de México.....	23
Figura 7. Distribución geográfica de olas frío en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 ciudades más importantes de México durante las décadas 1950-2000.....	25
Figura 8. Porcentaje de estaciones con olas de calor que muestran correlación significativa ($P \leq 0.10$) con el Índice Multivariado del ENSO.	27
Figura 9. Porcentaje de estaciones con olas frío que muestran correlación significativa ($P \leq 0.10$) con el Índice Multivariado del ENSO.	27

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático está muy relacionado con altas temperaturas, de 1995 a 2006 fueron los once años más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura mundial desde los años 1850, la influencia humana ha tenido mucho que ver en el aumento de la temperatura, contribuyendo al aumento del nivel del mar, alterar las pautas eólicas, elevando las temperaturas de las noches extremadamente cálidas dando probabilidad a intensificar el riesgo de las olas de calor y un aumento en la sequía. Se ha documentado con un grado de confianza los efectos del aumento de la temperatura sobre la vida humana, como el exceso de la mortalidad causada por el calor en Europa en el 2003 (Díaz *et al.*, 2005; IPCC, 2007).

Desde 1950 se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, es probable que el número de días y noches frío haya disminuido, el número de días y noches cálidos hayan aumentado a escala global, en gran parte de Europa, Asia y Australia, la incidencia de olas de calor han aumentado y duplicado la ocurrencia de olas de calor en algunas localidades, de esta manera aumentado la mortalidad humana relacionada con el calor y disminuido la relación con el frío, estos cambios han sido asociados con la influencia humana (IPCC, 2014).

La distribución estadística de temperaturas máximas y mínimas diarias está en función del fenómeno el “Niño Oscilación del Sur” (ENSO), de la misma manera la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) ha sido quizá la responsable del aumento de las temperaturas y sequías en el norte de México (Curriero *et al.*, 2002; Power *et al.*, 2006; IPCC, 2007; Méndez *et al.*, 2009).

Las olas de calor son responsables del aumento en la mortalidad en algunos países, con el cambio climático inducido por el hombre, es razonable suponer que pueden afectar en frecuencia, severidad, duración o extensión de superficie afectada (López-Díaz, 2004). Según las estadísticas de mortalidad, en México, durante el periodo 2002 al 2010, fallecieron 393 personas por calor natural excesivo, el 88.5 % eran hombres entre 18 y 65 años de edad, con mayor incidencia en el noreste del país (Díaz *et al.*, 2014). En junio de 1980, más de 5000 muertes ocurrieron en los Estados Unidos por causa de olas de calor (Noji, 2000).

Durante el verano del 2003 en todo Europa, se experimentaron altas temperaturas que tuvieron un efecto en la mortalidad en varios países, como Francia, Portugal, Gran Bretaña, Bélgica, Alemania e Italia, en España en los últimos 8 meses transcurridos del 2003 se produjeron en 50 capitales de la provincia de España, un total de 117,708 muertes, de las que 43,312 corresponde a los meses junio, julio y agosto (Martínez *et al.*, 2004; Souch y Grimmond, 2004). En Portugal, el impacto de la ola de calor de 2003 tuvo una mortalidad humana de 2,399 muertes (Trigo *et al.*, 2009). Durante la ola de calor en Chicago de 1995 se reportaron alrededor de 739 muertes del 14 de julio al 20 de julio (Semenza *et al.*, 1996). Trigo *et al.*, (2005) reportan que en Francia se produjeron 15,000 muertes por la ola de calor del verano 2003, abarcando otros países como Alemania (5,000), Italia (3,000), España (6,000), Holanda (1,500), Portugal (2,000) y el Reino Unido (2,000).

Se han realizado realmente pocos estudios de olas de calor en México, y han encontrado que en cada verano las olas de calor se hacen presentes y se producen en las ciudades del norte de México a una tasa de una o dos por mes, con una duración de varios días e incluso semanas. En algunas ciudades de México, ha aumentado el número de días con temperaturas superiores a su umbral (Jáuregui, 1997; Díaz *et al.*, 2014). Cueto *et al.*, (2010)

investigaron las olas de calor en una ciudad árida en el noreste de México, hacen una proyección de un aumento para las olas de calor para los años 2020-2080, con una gran influencia para la mortalidad en el noreste de México, así mismo, caracterizaron las ondas cálidas para Mexicali, Baja California con metodología estadística de valores extremos. Las olas de calor en México están presentes desde décadas pasadas con una mínima presencia, mientras pasa el tiempo, las olas de calor han evolucionado causando grandes daños principalmente en los habitantes mexicanos (Whitman *et al.*, 1997; De La Torre *et al.*, 2004).

En todas las partes del mundo se reporta que cada vez las temperaturas son más altas alcanzando nuevos records y México no es la excepción, del mismo modo se especula que debido a esto, se esperaría un incremento en las olas de calor y de frío. La parte importante ocurre donde la sociedad ha modificado su clima local o regional, de manera tal que conocer este comportamiento en ciudades del país tiene gran relevancia. En México existen pocos estudios en este tema, por lo que evaluar y conocer los históricos de estos valores extremos es de suma importancia, así como conocer su distribución geográfica, pero al mismo tiempo evaluar si están relacionadas a algún índice climático. El análisis y resultados que se derivarán de este estudio será útil para ayudar a la sociedad a prepararse y protegerse de futuras temperaturas extremas.

Objetivo general:

Analizar datos de extremos de temperaturas máximas y mínimas para evaluar la ocurrencia de olas de calor y frío en la República Mexicana.

Objetivos específicos:

Analizar datos diarios de temperaturas máximas y mínimas de 1950 a 2010 de 53 estaciones climatológicas distribuidas en las ciudades más importantes de la República Mexicana, a fin de evaluar la ocurrencia de olas de calor y de frío.

Evaluar si la ocurrencia de olas de calor y de frío en México están asociadas al índice climático de El Niño Oscilación del Sur, su magnitud y su ubicación geográfica.

Hipótesis nula: En México no se registran olas de calor ni de frío en las ciudades más importantes del país.

Hipótesis alterna: En México se registran olas de calor y de frío en las ciudades más importantes del país.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cambio climático

El cambio climático es atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2007; Del valle, 2014). De tal manera que influencia humana en el sistema climático es clara, las emisiones por el hombre de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia, los cambios climáticos recientes han tenido impacto generalizados, en los últimos decenios, el cambio climático ha causado impactos sobre los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos (IPCC, 2007; IPCC, 2014). Los estudios de las series de anomalías, aunado a los numerosos eventos inusuales detectados en décadas recientes en todo el mundo son un elemento medular para profundizar en las causas y efectos del cambio climático que en un futuro se esperan (Méndez *et al.*, 2007).

2.2 Fenómeno (ENSO) El Niño y La Niña

El término Niño se relaciona a una serie de eventos oceánicos y atmosféricos caracterizados por el anómalo calentamiento del pacifico tropical, este fenómeno es un calentamiento en las aguas superficiales de la porción oriental y central del océano pacifico ecuatorial, ocurre entre 2 a 7 años, con una duración de 9 a 18 meses, mientras que La Niña es un enfriamiento, con similares periodos y duración, de esta manera podemos decir que El Niño es la fase caliente, y La Niña, la fase fría de un mismo y complejo proceso de interacción atmósfera-océano, haciéndose cada vez más presente desde el siglo XX (Díaz, 2008; Yeh *et al.*, 2009). El fenómeno ENSO produce fuertes perturbaciones sobre la circulación

atmosférica global, sus efectos climáticos tiene implicaciones en las sociedad humana y la economía global, los eventos extremos de este fenómeno están asociados con inundaciones, sequías, alteración de los ecosistemas etc. (Poveda y Rojas, 1997).

2.3 Fenómeno ENSO y su relación con altas temperaturas

Uno de los fenómenos naturales con mayor influencia directa en la variabilidad del clima a nivel mundial es El NIÑO Southern Oscillation (ENSO) ya que este tiene una gran influencia en la actividad ciclónica, en la temperatura, precipitación y otros eventos meteorológicos, El ENSO es una combinación del componente oceánico y atmosférico, que modifica los patrones de precipitación y temperaturas en la mayor parte del planeta, la relación del ENSO sobre una variable meteorológica ha sido motivo de estudio en varias partes del mundo (Rapp, 2001; Power *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2007; IPCC, 2007; Méndez *et al.*, 2009). El fenómeno ENSO produce fluctuaciones en la temperatura máxima y mínima, el aumento de la temperatura a nivel global está provocando el descongelamiento de los nevados en distintos lugares, así como también en los polos, de tal manera al aumentar la temperatura hay más probabilidad que eventos del ENSO tengan que ver en la frecuencia y severidad de las sequías, olas de calor, inundaciones, tormentas etc. (Sustentable, 2010).

2.4 Olas de calor y frío

Las olas de calor están en relación con la distribución de temperaturas máximas y anomalías de estas mismas, las olas de calor son causantes del aumento de mortalidad en muchos países, es razonable suponer que pueden incrementar en frecuencia, severidad, duración o extensión en el futuro (Robinson, 2001). Una ola de calor es definida, como un periodo de más de tres días consecutivos de días calurosos no interrumpidos por más de un

día no caluroso (Díaz *et al.*, 2006). El aumento de las olas de calor y frío en el mundo es causantes de muchas pérdidas económicas y humanas, el aumento de las olas se ha registrado en diversas partes del mundo, por ejemplo en Estados Unidos, México, España, Portugal, Francia, Gran Bretaña, Venezuela, Honduras, afectando más en pérdidas humanas (Jáuregui, 1997; IPCC, 2014).

2.5 Olas de calor y frío en el futuro

Según el IPCC, (2014) se prevé que para el siglo XXI habrá un aumento de las temperaturas extremas y un descenso en las temperaturas mínimas. La presencia, duración y/o intensidad de olas de calor aumentará en la mayor parte de la superficie de planeta. En los próximos decenios las olas de calor aumentarán afectando los países del mediterráneo como España, Francia, el Reino Unido (Kovats *et al.*, 2004).

2.6 Mortalidad por olas de calor

Las olas de calor son causa importante de muertes relacionadas con el clima, durante la ola de calor del 2003 en Europa occidental dio lugar a un número considerable de muertes en Francia y Portugal (Kovats *et al.*, 2004; De Castro *et al.*, 2011). En México se han registrado algunas muertes ya por altas temperaturas, en Estados Unidos se han registraron 270 muertes atribuidas a olas de calor y otras por olas frío, en 1995 Chicago tuvo un número de 1,689 muertes atribuidas por el mismo evento, en Francia y España se han registrado 15,000 muertes, las olas de calor son las causas más responsables de muertes en los países mencionados (Noji, 2000; Trigo *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2014).

2.7 Como afectan las olas de calor y frío al cuerpo humano

Cuando el cuerpo humano se somete a condiciones extremas de calor, el cuerpo intenta mantener su temperatura ideal variando la circulación sanguínea y transpirar. Un estudio en Sevilla, España, demostró que la mortalidad por olas de calor afecta a las personas de 18 a 45 años siendo más vulnerables las personas de 75 años de edad, algunas causas de este incremento de temperatura en el cuerpo son el golpe de calor, éste se caracteriza por un incremento de la temperatura corporal por encima de los 40 °C y alteraciones en sistema nervioso central donde predomina la encefalopatía y es típico el coma, según distintas series, puede ser incluso superior al 70 % por un golpe de calor (Sande, 2004; Tirado, 2010).

2.8 Temperaturas en México

Las temperaturas en México son uno de los fenómenos más intensos que causan un número incontable de daños en mortalidad en las personas, los cultivos, animales, y económicamente también (Basu, 2009). En México han variado desde décadas atrás pero se ha comprobado que hay cambios mucho más drásticos a partir de las décadas 1980-2001 y en las actuales los cambios son más notables, afectando de esta manera también a las precipitaciones. Los cambios de temperatura en el país mueven las épocas de cultivo, las tendencias de las temperaturas en la república son positivas y se calienta una tasa significativamente mayor que las temperaturas mínimas (Pavia *et al.*, 2009; Basu, 2009). Particularmente en México (Englehart y Douglas, 2004; Englehart y Douglas, 2005) documentan que las temperaturas parecen tener un cambio de negativo en la década 1940-1970 a un positivo en décadas 1980-2001 y calentándose más el país en épocas actuales, trayendo en un futuro más presencia de condiciones secas.

2.9 Trabajos afines

Pavia *et al.*, (2009) analizan temperaturas máximas y mínimas en todo México, buscando un signo regional del cambio climático y las temperaturas, mediante la construcción de series temporales y obteniendo tendencias lineales, los hallazgos encontrados son: el país se calentó durante el periodo reciente, el calentamiento fue más generalizado en temperaturas máximas, en este caso El Niño- Oscilación del Sur (ENSO) parece desempeñar un papel directo en estos cambios, las tendencias de temperaturas en el noreste y el centro de México a menudo contrastan con las del resto del mundo.

Analizando a escala regional el rango diurno en las temperaturas superficiales (DTR) (DTR = temperatura mínima máxima) para México en 1940-2001, Englehart y Douglas, (2005) utilizando rangos diurnos de temperatura máxima, encuentran que en las últimas décadas 1970- 2000 las tendencia de DTR son positivas con temperaturas máximas, calentándose una velocidad significativamente más alta que las temperaturas mínimas, haciéndose mayor la posibilidad a la creación de olas de calor o islas de calor.

Analizando el cambio observado en el verano del 1 de junio al 15 de septiembre con temperaturas máximas, durante el periodo comprendido entre 1951 y 2006, caracterizando la evolución de la frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor y generando escenarios de días de calor mediante un modelo estadístico de reducción de escala en combinación con un modelo climático global para las décadas 2020-2050-2080, Cueto *et al.*, (2010) indican en sus resultados temperaturas máximas del verano desde 1951 a mediados de los ochenta y posteriormente, una tendencia ascendente que prevaleció hasta 2006, también se encontraron que las olas de calor en México se hacen más duraderas e intensas durante los meses de

verano, también reporta que hay 2.3 veces más olas de calor ahora que en la década de los años setenta.

Estableciendo el comportamiento temporal de las frecuencias anuales de olas de calor producidas entre 1961 y 2010 a partir de datos diarios de anomalías de temperatura, se determina las series de anomalías diarias para temperatura máxima y mínima en la Meseta Central Española, Izquierdo *et al.*, (2012) encuentran existencia de olas de calor cuando se observan dos o más días consecutivos en los que las temperaturas máximas y mínimas superan, los valores umbrales establecidos, existe una tendencia creciente de olas de calor con un nivel de confianza mayor del 99 %.

Cony *et al.*, (2010) usan un conjunto de temperaturas máximas diarias y la clasificación de Hess–Brezowsky (HB) y definiendo a un día de calor extremo como aquel, que en la temperatura máxima supera el umbral del 95 %. Obtienen resultados que muestran un incremento en la frecuencia anual de días de calor, concluyendo que estos días son olas de calor que se producen al rebasar la temperatura umbral manteniéndose constante durante varios días e incluso semanas.

Acoplado un modelo global de clima, en un modelo de clima paralelo en Europa y América del norte, asociados a las severas olas de calor en Chicago en 1995 y en París en el 2003, Meehl y Tebaldi, (2004) demuestran que las olas de calor futuras en estas y otras áreas, serán más intensas, frecuentes y duraderas en la segunda mitad del siglo XXI.

Méndez *et al.*, (2007) proponen evaluar una isla de calor en Toluca México, mediante una metodología que consiste en la determinación de valores de temperatura registrados en dos días típicos de invierno y verano, durante el día y la noche, mostrando la distribución de la isla de calor en el área de estudio, así mismo consideraron variables atmosféricas como: humedad relativa, precipitación y viento. Los resultados hallados fueron que el clima urbano de la ciudad está relacionado con la isla de calor que se forma cuando el aire caliente tiende a acumularse en el centro de la ciudad, debido a la concentración de edificios y calles pavimentadas. Los valores térmicos más elevados se presentan en el centro de la ciudad y en el aeropuerto con 15.0° C, respectivamente, siendo estas áreas donde se forman las islas de calor más evidentes, pues coinciden con la mayor infraestructura urbana como son: casas y edificios, tránsito vehicular, sitios industriales cercanos, avenidas asfaltadas etc.

Analizando series de datos de temperaturas extremas (máximas y mínimas) en México, de 23 estaciones localizadas entre 22°40 y 26°45 LN y entre 101° 30 y 106° 20 LW, a través regresión lineal simple para estimar sus tendencias significativas, Morales *et al.*, (2010) encuentran que en 15 de las 23 estaciones consideradas las series presentan tendencias lineales significativas en los dos tipos de temperaturas extremas. Sin embargo, en las ocho restantes al menos uno de los dos tipos de temperatura extrema (máxima o mínima) presentó tendencia lineal significativa ($p < 0.05$). Todas las estaciones con incrementos de temperatura máxima se encuentran en los estados de Durango, Zacatecas, Coahuila y Sonora.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en 53 estaciones meteorológicas ubicadas en las 32 capitales de la República Mexicana (Figura 1, Cuadro 1) así como en otras ciudades importantes; ésta se ubica en el continente americano en el hemisferio norte, tiene una extensión territorial de 1, 959, 375 km², ubicada en las coordenadas, norte 32° 43' 06" latitud norte, monumento 206 en la frontera con los Estados Unidos, Al Sur: 14° 32' 27" latitud Norte. Desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala, al Este: 86° 42' 36" longitud Oeste. Isla Mujeres, al Oeste: 118° 22' 00" longitud Oeste. Isla Guadalupe. En México existe una gran variedad de climas, los cuales son seco, templado, cálido y frío, con una población registrada en el 2015 de 119, 938, 437 habitantes, el 53 % de la población habita en costas superiores a los 1,500 msnm (CONAGUA, 2011; CONAGUA, 2012; INEGI, 2015).

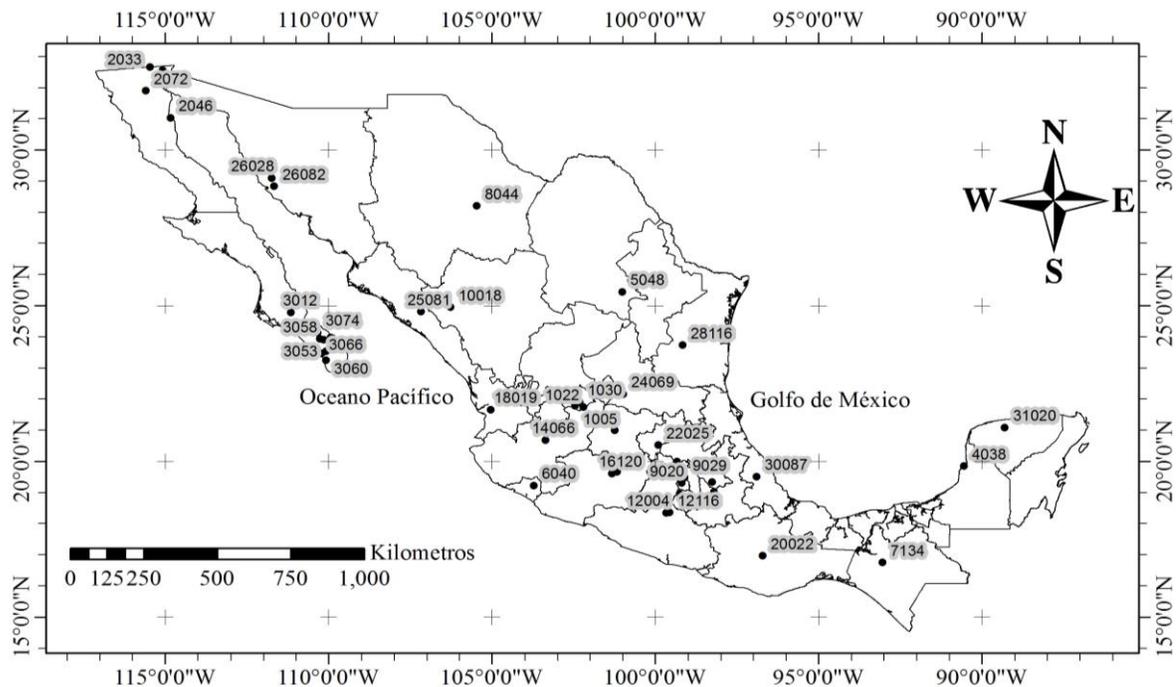


Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones climatológicas analizadas.

Cuadro 1. Datos de estaciones meteorológicas analizadas.

ID	Ciudad	x	y	ASNMM
5048	Saltillo	25.4333	-101.0000	1700
1005	Aguascalientes	21.7789	-102.444	1820
1022	Aguascalientes	21.7386	-102.1842	1970
1030	Aguascalientes	21.8950	-102.3097	1870
19061	Monterrey	25.7181	-100.3225	550
2003	Mexicali	32.5511	-115.0689	23
2011	Mexicali	32.3531	-115.1892	12
2033	Mexicali	32.6633	-115.4678	3
2046	Mexicali	31.0275	-114.8353	10
2072	Mexicali	31.8958	-115.5972	43
3012	La Paz	24.7797	-111.1500	140
3013	La Paz	24.4697	-111.0017	120
3036	La Paz	23.8931	-110.1431	490
3037	La Paz	23.9681	-109.9361	20
3042	La Paz	24.3917	-111.1083	50
3050	La Paz	23.7417	-109.8403	395
3053	La Paz	23.2375	-110.0681	95
3058	La Paz	23.9250	-110.2639	190
3060	La Paz	23.5333	-110.0744	520
3066	La Paz	23.4486	-110.2233	10
3074	La Paz	24.1347	-110.3361	16
4038	Campeche	19.8422	-90.5317	10
6040	Colima	19.2167	-103.7131	500
11007	Guanajuato	20.9894	-101.2275	2280
13075	Tula de Allende	19.9903	-99.3253	2064
14066	Guadalajara	20.6764	-103.3461	1550
16022	Morelia	19.6250	-101.2811	2096
16055	Morelia	19.6517	-101.1514	2180
16081	Morelia	19.6886	-101.1761	1908
16120	Morelia	19.6028	-101.3200	2130
17002	Cuernavaca	18.9483	-99.2308	1614
17004	Cuernavaca	18.9186	-99.2342	1510
18019	Tepic	21.6500	-105.0333	359
21035	Puebla	19.0125	-98.1931	2122
22025	Tequisquiapan	20.5131	-99.9000	1912
24069	San Luis Potosí	22.1528	-100.9772	1870
25081	Culiacán	24.8000	-107.1625	104
26028	Hermosillo	29.0919	-111.7333	49
26032	Hermosillo	29.2297	-110.7061	279
26082	Hermosillo	28.8261	-111.6589	30

ID	Ciudad	x	y	ASNMM
28116	Ciudad Victoria	23.7261	-99.1461	327
29030	Tlaxcala	19.3239	-98.2467	2230
30087	Xalapa	19.5000	-96.8850	1281
8044	Delicias	28.1942	-105.4636	1173
7134	Chiapas de Corzo	16.7406	-93.0311	418
9020	Tlalpan	19.2969	-99.1822	2296
9029	Gustavo A. Madero	19.4767	-99.0914	2239
10018	Santiago Papasquiaro	24.9444	-106.2592	2240
12004	Iguala de la Independencia	18.3381	-99.6467	760
12116	Iguala de la Independencia	18.3497	-99.5500	730
20022	San Bartolo Coyotepec	16.9567	-96.7006	1533
31020	Motul	21.0789	-89.2836	7
32020	Fresnillo	23.1739	-102.8908	2201

3.2 Fuente de datos

Los datos evaluados corresponden a datos diarios de temperatura máxima y mínima de 53 estaciones meteorológicas distribuidas en las capitales y ciudades de la República Mexicana, estos datos fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional Mexicano (SMN), variando desde 1950 hasta el 2010. Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas cuidando que no tuvieran datos extremos o dudosos, la consistencia anual e interanual, que tuvieran más del 80 % de la información y que tuvieran al menos 50 años de datos observados.

3.3 Metodología

Para determinar olas de calor y frío se usó una metodología en la cual primero se procedió a determinar las estaciones a evaluar en base a una serie de requisitos. Tienen que funcionar en la actualidad, tener una serie de temperaturas suficientemente larga para poder calcular sus percentiles y distribuirse uniformemente en el área de estudio. Posteriormente

para las olas de calor se calcula a cada estación su temperatura umbral a un percentil del 95 % de la serie de sus temperaturas máximas, para las temperaturas mínimas sería un percentil del 5 %.

El siguiente paso consiste en localizar los episodios que serán considerados como olas de calor, esto se hace realizado en tres etapas. Primera etapa: se obtiene los episodios cálidos para cada estación seleccionada, entendiendo episodio cálido como al menos tres días consecutivos con una temperatura igual o superior a la temperatura umbral. Segunda etapa: se determinan los días cálidos, serán considerados días cálidos cuando al menos el 10 % de las estaciones hayan registrado ese día. Tercera etapa: se localizan las olas de calor, son todos aquellos episodios de tres o más días cálidos consecutivos, si la ola de calor es interrumpida por un día con menor temperatura que la umbral, seguida de dos días más con temperatura mayor a la umbral se considera como la misma ola de calor. Las olas de calor y de frío fueron calculadas anualmente y por década. Los resultados obtenidos del número de olas para temperatura máxima (TM) y temperatura mínima (Tm) se integraron al ArcView 3.2 para la elaboración de mapas.

Las olas de calor a escala anual fueron correlacionadas con el Índice Multivariado del ENSO (MEI), usando correlación de Pearson al 90 % de confiabilidad.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Registros de olas de calor

Las estaciones 2011, 2003, 2033 pertenecientes al estado de Baja California presentan la mayor temperatura umbral de 48 °C siendo La Paz ciudad más calurosa, seguida de Hermosillo Sonora con 46 °C; la menor temperatura umbral pertenece al estado de Durango con 30 °C. El 100 % de las estaciones evaluadas presentan un promedio umbral de 37.35 °C (Figura 2). Estos resultados se asemejan con lo hecho por Jáuregui (2006) quien analizó olas de calor en el norte de México, y quien también coincide que las temperaturas máximas se incrementan especialmente en la parte norte del país. Por su parte Díaz *et al.*, (2014) coinciden con nuestro estudio en que se observa una variabilidad importante en las temperaturas máximas en 4 ciudades (Baja California Norte, Hermosillo, Mexicali, Zacatecas) y mínimas distribuidas en la parte centro y norte, teniendo similitud con él en los mismos estados con mayor temperatura en nuestro estudio, Baja California, Baja California Sur y Sonora.

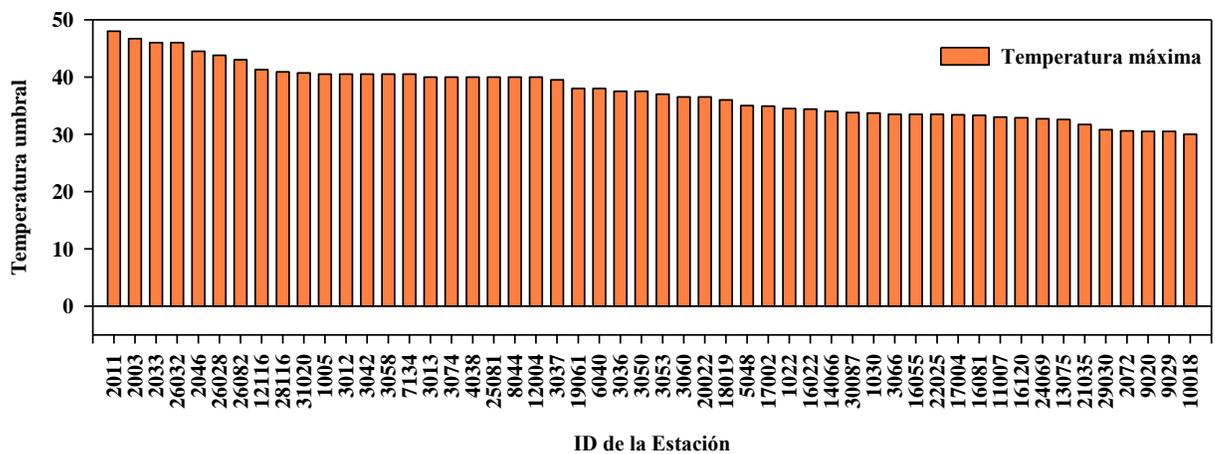


Figura 2. Temperaturas umbrales de olas de calor de 53 estaciones meteorológicas estudiadas en México.

Los registros de temperaturas máximas (Figura 3) demuestran la existencia de olas de calor presentes en todas las décadas desde 1950 al 2000 con un número total de 1,108 (incluyendo todas las estaciones meteorológicas). Los resultados demuestran un aumento de olas de calor en las décadas de 1990 - 2000, representando un 24 % y 22 % del número total de olas de calor registradas. Los resultados encontrados parecen corroborar estudios previos de Pavia *et al.*, (2009) y Jáuregui (2006) quienes también reportan una mayor presencia de olas de calor en las décadas 1980 - 2004 algo muy similar a nuestro estudio. Las décadas 1990 y 2000 son las que representan más olas de calor en todas las estaciones evaluadas, indicando incluso que son más frecuentes en épocas actuales desplazando las temperaturas mínimas y haciéndose más frecuentes; en el mismo sentido Yagüe *et al.*, (2006) y Besancenot, (2002) hacen las mismas afirmaciones para estudios elaborados en el Mediterráneo.

La misma Figura 3 demuestra que en la década 1960 está el promedio más bajo de olas de calor para todas las estaciones con un valor promedio de 2.3, Pavia *et al.*, (2009) coinciden con nuestro estudio al informar sobre un enfriamiento en las décadas 1940 y 1960. En cuanto al mayor número de olas de calor se encuentran en la década 1990 con un promedio de 4.8.

Al ajustar un modelo de regresión lineal simple a estos datos se observa que el modelo es estadísticamente significativo ($P = 0.03$), esta otra forma demostrar que el número de olas también va en ascenso, acorde al parámetro b del modelo, ocurre a una tasa de 0.45 olas de calor por década, en promedio de todas las estaciones meteorológicas analizadas en estas

ciudades, pero observando que de 1950 al 2000 se ha tenido un incremento de 2 a más de 4 olas de calor (Figura 3).

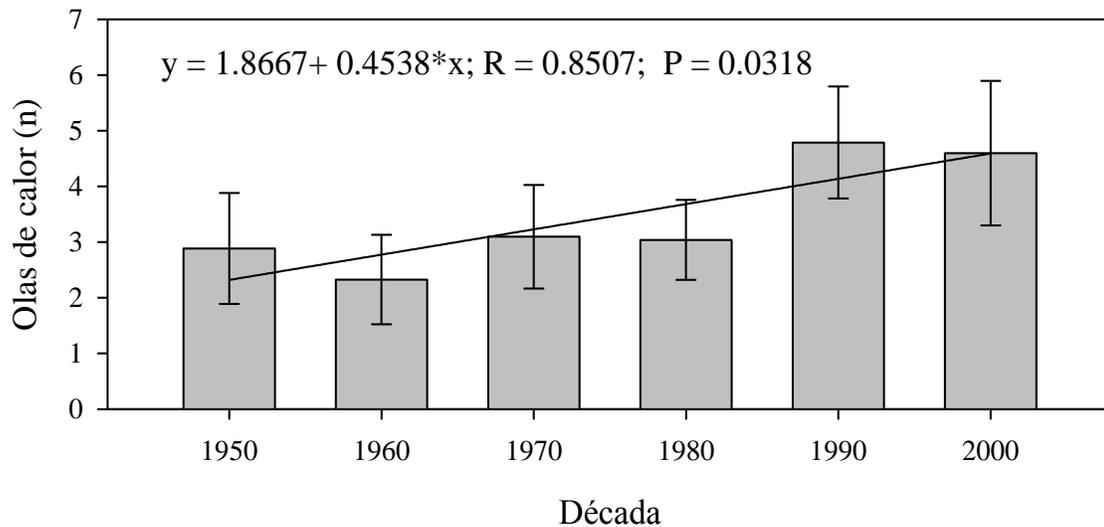


Figura 3. Promedio y tendencia lineal de olas de calor en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 ciudades de México.

4.2 Patrones geográficos de olas de calor

Considerando en primer término la distribución geográfica de las estaciones meteorológicas la República Mexicana, se observa que un 45.28 % de las estaciones que se ubican en la parte norte del país (Sonora, Coahuila, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango y Nuevo León) presentando importantes olas de calor, el número de olas de calor que se presenta en estas estaciones es de 1 a 5 por década, que representa un 89.42 % del total, aunque algunas de las estaciones (Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, entre otras) presentan mayor número de olas 11 a 15 representando un 21.24 % y de 16 a 20 equivalente 5.05 %. Mientras que en la parte centro y sur los estados (Morelos, México, Hidalgo, Guerrero, Chiapas, Campeche, Veracruz, entre otros) son estados con número de

olas de calor de 0, 1 a 5, y de 6 a 10 en distintas décadas. En este estudio se puede observar que todas las estaciones evaluadas presentan olas de calor pero en diferentes décadas.

Easterling *et al.*, (2000) indican la existencia de una disminución de temperaturas mínimas en la década 1990 entre los años 1920-1998 entre las fronteras mexicanas y de Estados Unidos, trayendo como consecuencia un aumento de temperaturas, en contraste con Pavia *et al.*, (2009) demuestra que hay un aumento de temperaturas máximas en la parte noreste del país, siendo más resaltados los estados de Sonora y Baja California. En estudios realizados por Liu *et al.*, (2006) en España, IPCC, (2007) y Díaz *et al.*, (2014) en el noreste de México, obtuvieron resultados parecidos al nuestro en el que los eventos extremos cálidos ocurrieron a finales de 1990 y en años más recientes.

Entre las ciudades con mayor número de olas de calor de las décadas 1950 al 2000 destacan Saltillo Coahuila, con 38 olas de calor en total, teniendo una temperatura umbral de 37.5 °C; Morelia Michoacán con 40 olas en total a una temperatura umbral de 32.9 °C, en el sur de México Chiapas de Corzo con total de 44 olas de calor superando las temperaturas umbrales de las ciudades anteriores con 40.5 °C.

De las 53 estaciones evaluadas durante las décadas 1950-2000 los resultados arrojan evidencia del número de olas de calor que hubo en cada estación, de acuerdo con los datos obtenidos, las estaciones con el mayor número de olas de calor son: la estación 3033 perteneciente a la Paz, Baja California, donde en 1950 hubo 14 olas de calor. En la década del 2000 destaca la estación 7134 ubicada en Chiapas de Corzo con 21 olas de calor en esa década.

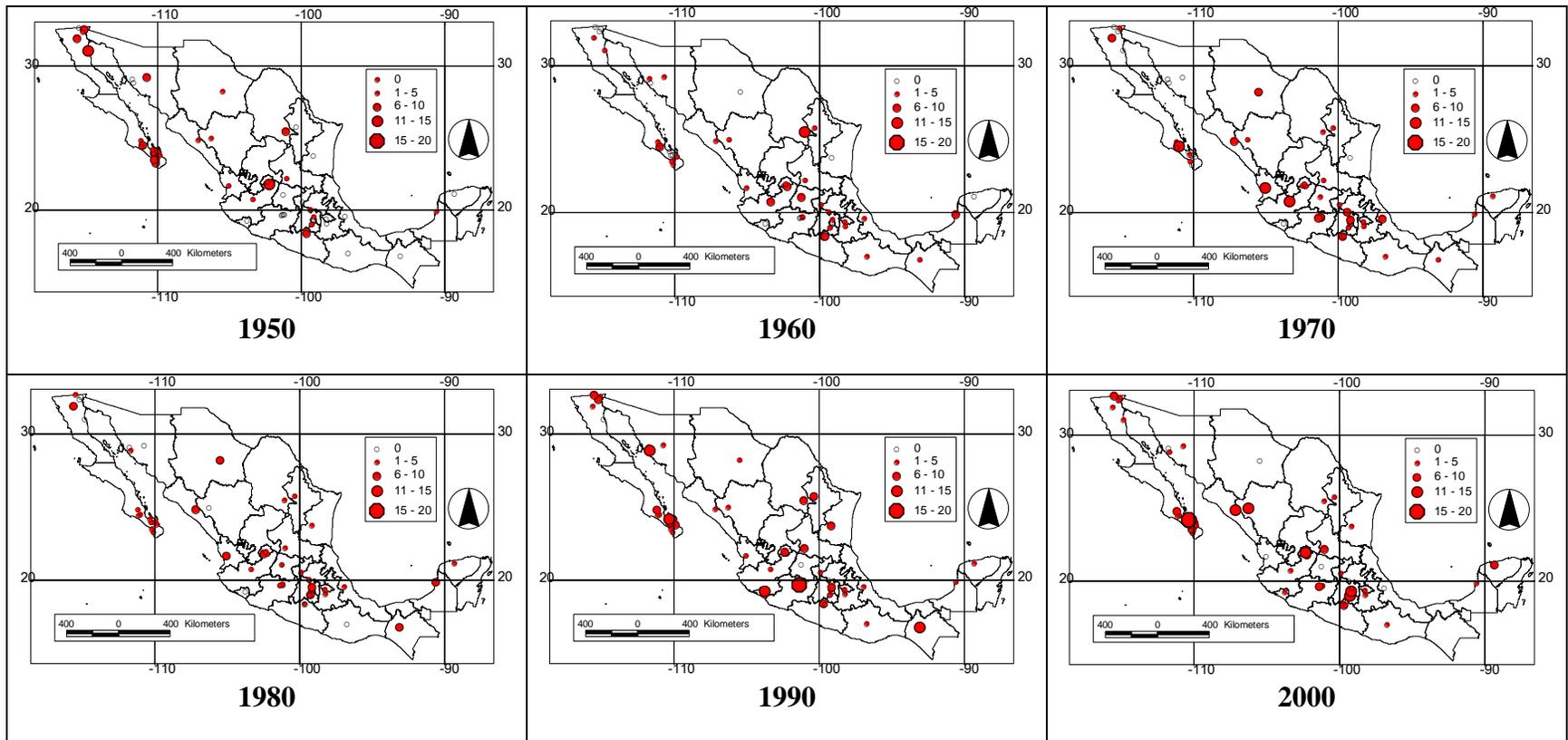


Figura 4. Distribución geográfica de olas de calor en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 ciudades más importantes de México durante las décadas 1950-2000.

4.3 Registros de olas de frío

El análisis de resultados de umbrales de temperaturas mínimas obtenidas en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en diferentes ciudades del país es bastante contrastante, variando desde temperaturas por arriba de cero y por debajo de cero. De ellas, 18.36 % registran temperatura umbral por debajo de los 0 °C destacando aquí la estación 8044 la cual pertenece a Delicias Chihuahua registrando una temperatura de -5.1 °C, mientras que Campeche con la estación 4038 tiene la mayor temperatura mínima estableciendo su umbral a 14 °C. El 100 % de las estaciones hacen un umbral promedio de 3.3 °C, para considerarse como olas frío (Figura 5).

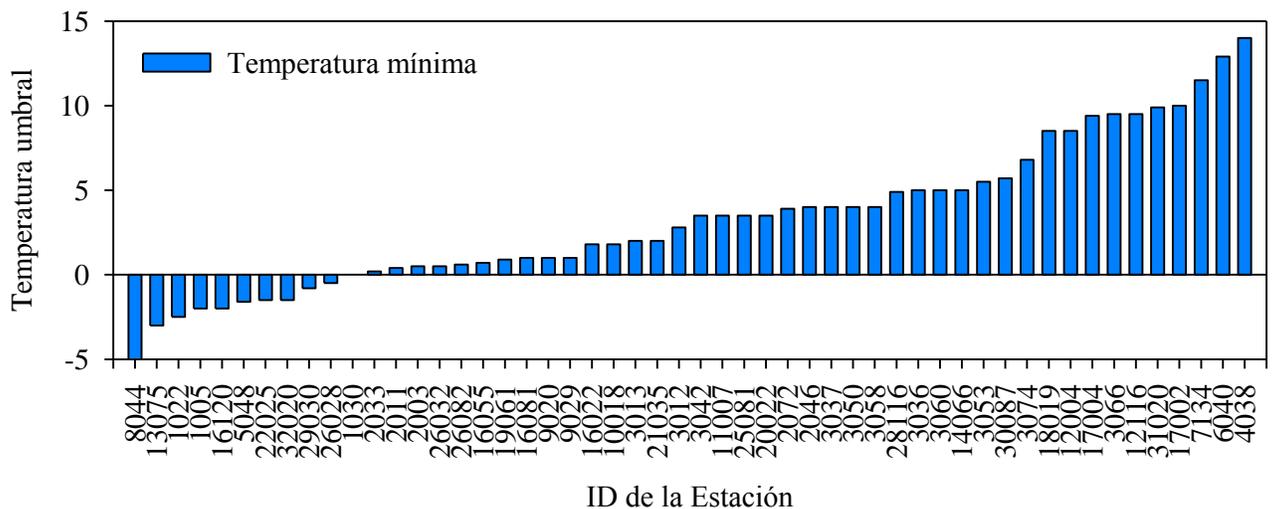


Figura 5. Temperaturas umbrales de olas de frío de 53 estaciones meteorológicas estudiadas en México.

En la Figura 6 se muestra que las olas de frío cada vez son menos frecuentes en las décadas actuales, los resultados indican un total de 953 olas de frío, un 18.36 % es equivalente a 175 olas y un 21.61 % igual a 206 olas de frío se presentan en las décadas 1950-1960.

En general las de olas frío disminuyen en México. En este estudio es muy evidente que olas de calor van a la alza y las olas frío a la baja pero solo en ciertas décadas, este patrón ha sido reportado en varias partes del mundo por ejemplo Liu *et al.*, (2006); IPCC, (2007); Pavia *et al.*, (2009) encuentran que el número de días fríos disminuyen y el número de días con altas temperaturas aumentan, dando lugar a las olas de calor sustituyendo las olas de frío.

En este estudio se observa que en la década de 1950 se tuvo un promedio de 3.4 olas frío aumentando a 3.9 en la década de 1960 en el total de estaciones meteorológicas estudiadas. El mayor promedio ocurrió en 1960, mientras que en la década 1990 se presentaron solo 2.1 de olas frío, con estos resultados se demuestra que las olas frío tienen una tendencia a disminuir en las décadas actuales. Contrastando con Englehart y Douglas, (2005) encuentran como su principal hallazgo fue que, en las últimas décadas (después de 1970) las tendencia para México son positivas para las temperaturas máximas y significativamente menor para las mínimas.

El modelo de regresión lineal simple aplicado al conjunto de datos demuestra que acorde a una tendencia lineal de olas frío en 32 ciudades de México es estadísticamente significativa pero al 90 % ($P = 0.1084$); es decir, las olas frío en México en el periodo de 1950 - 2000 disminuyen pero a este nivel de significancia. De alguna forma esto da la pauta para denotar una breve disminución de olas frío en México (Figura 6).

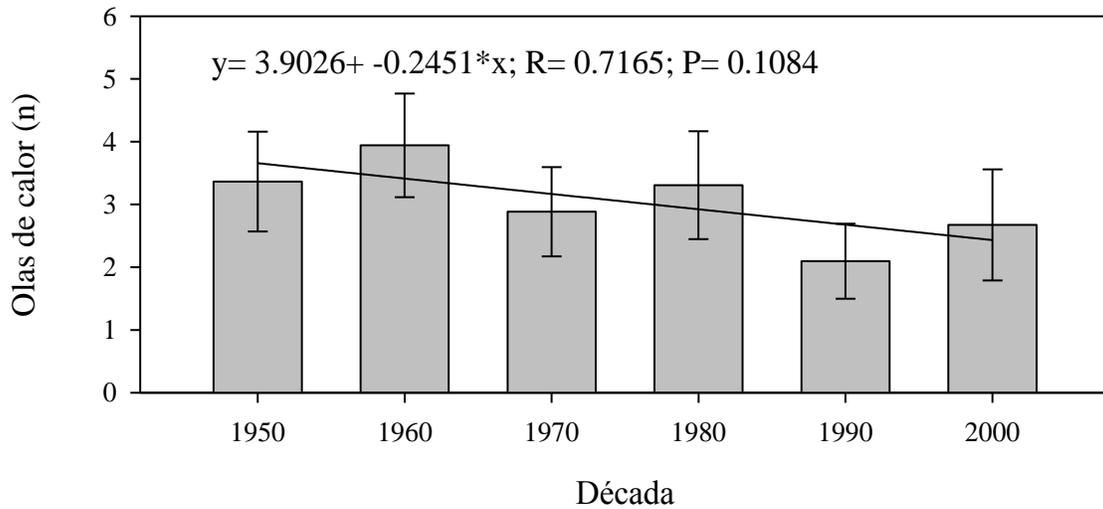


Figura 6. Promedio y tendencia lineal de olas frío en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 ciudades de México.

4.4 Distribución geográfica de olas frío

Los resultados indican que las olas frío se encuentran con menos intensidad ubicadas en las mismas estaciones en donde se encuentra la mayor parte de olas de calor. En todas las estaciones meteorológicas analizadas se presentaron olas frío en el periodo de 1950 - 2000. En los mapas de las década 1950 - 1960 se observa que encuentran la mayor cantidad de olas frío con un 18.36 y 21.61 %, disminuyendo este número para las otras décadas. Acorde a lo encontrado, los resultados concuerdan con lo dicho por Englehart y Douglas, (2004); y Englehart y Douglas, (2005) donde las temperaturas mínimas en México parecen tener una un cambio de signo negativo en el periodo de 1940's y 1980's.

Un 44.97 % de las estaciones no presentan olas frío. Las olas frío están distribuidas en las 53 estaciones de la república, pero más presentes en la parte norte del país en los estados de Sonora, Chihuahua, Baja California Norte, Baja California Sur y Durango. Estados del sur y centro presentan una menor incidencia de estas. En este estudio es claro

que las olas de calor aumentan en décadas actuales desplazando las olas de frío haciéndose menos presentes por año y década, en base a esto se coincide con Plummer *et al.*, (1999) en Australia y Nueva Zelanda, Kruger y Shongwe, (2004) en África, quienes muestran una reducción de temperaturas bajas y un aumento de temperaturas máximas.

Las ciudades con mayor número de olas frío registradas en periodo de estudio (1950 - 2000) son: Gustavo A. Madero perteneciente a D. F. con 31 en total, seguida de Hermosillo Sonora con 30 olas frío, Campeche con 29 olas frío. El mayor número de olas de frío se presentó en 1980 en la estación 3074 perteneciente a La Paz, baja California con 15 olas frío.

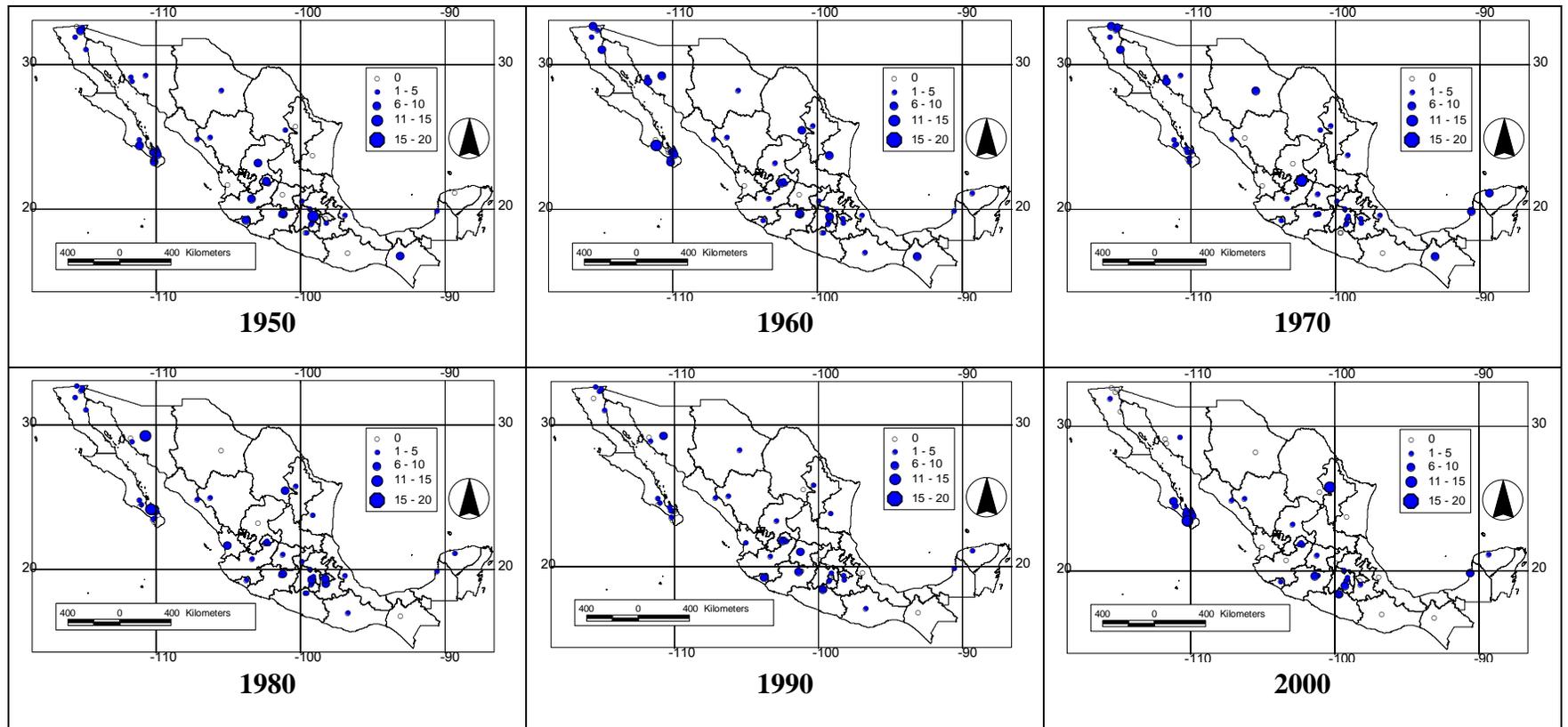


Figura 7. Distribución geográfica de olas frío en 53 estaciones meteorológicas distribuidas en 32 ciudades más importantes de México durante las décadas 1950-2000.

4.5 Interacción del MEI con olas de calor

De 53 estaciones evaluadas de temperatura mínima, 17 demuestran correlación con el índice multivariado (MEI) al $P \leq 0.10$ y $P \leq 0.05$, de éstas 47 % demuestra correlación de 0.05 todas positivas; al nivel de 0.10 82 % son positivas ubicadas la mayor parte el norte del país y con 17 % de correlaciones negativas distribuidas algunas en la parte norte y centro del país. La mayor parte de correlaciones con $P \leq 0.10$ ocurren en los meses DEC-JAN quizá sea porque en este tiempo es cuando el fenómeno del ENSO se intensifica más, esta correlación positiva hace contar que parte de las olas de calor que ocurren en la República Mexicana se deben a la fase cálida del ENSO, es decir al fenómeno El Niño como se ha reportado en varias partes del mundo (Figura 8) (IPCC, 2007).

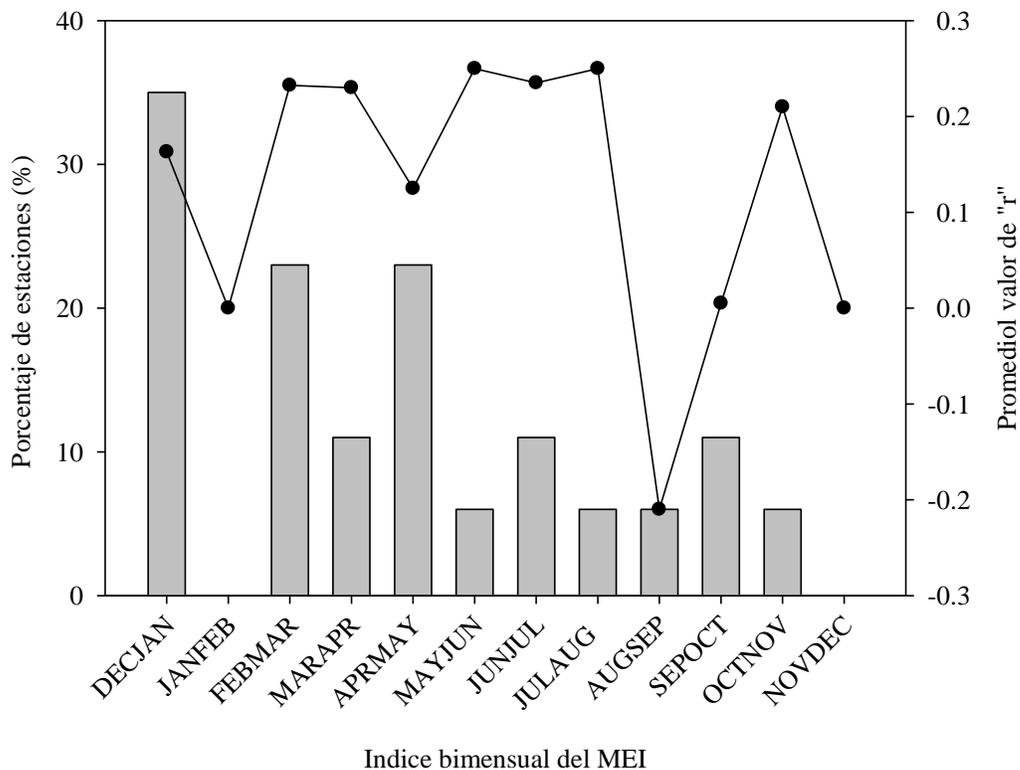


Figura 8. Porcentaje de estaciones con olas de calor que muestran correlación significativa ($P \leq 0.10$) con el Índice Multivariado del ENSO.

4.5 Interacción del MEI con olas frío

Un total de 19 estaciones representando un 35 % demuestran correlación significativa al $P \leq 0.05$; de ellas 21 % muestra correlación positiva a 0.10 y 79 % negativas distribuidas en la parte norte del país y las positivas distribuidas en parte centro y sur. Los meses en los cuales se notaron mayor número de correlación fueron DECJAN y JANFEB, después conforme aumentan los meses del año, las correlaciones disminuyen, esto es similar a lo que ocurre con las olas de calor, al manifestar el fenómeno del ENSO su influencia en la época invernal (Figura 9).

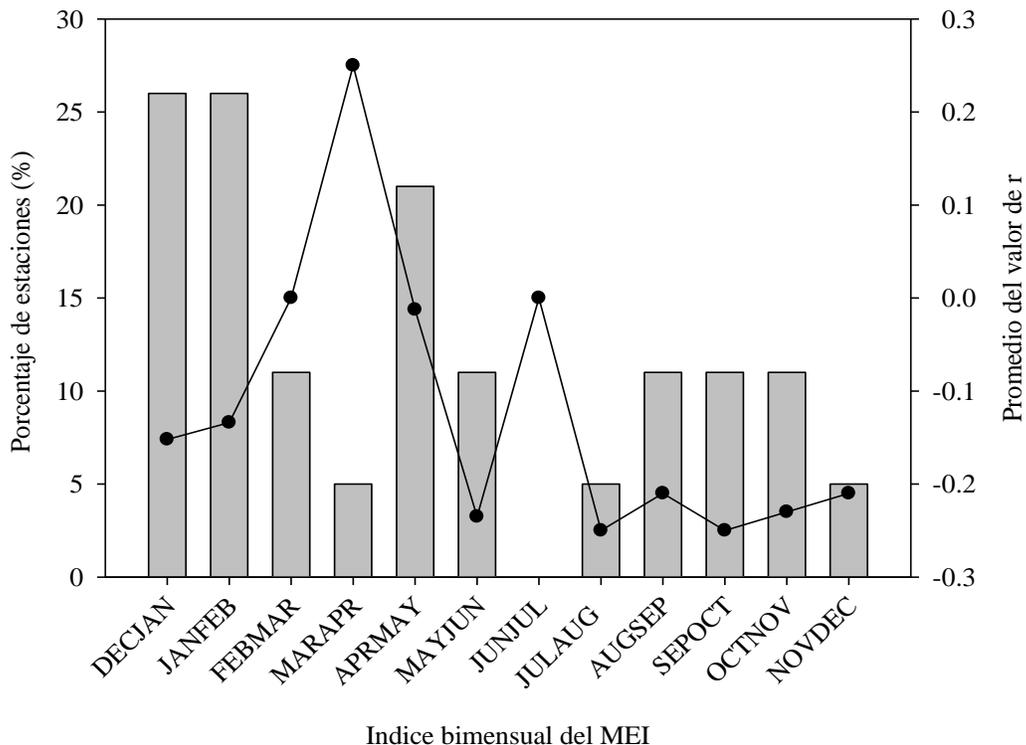


Figura 9. Porcentaje de estaciones con olas frío que muestran correlación significativa ($P \leq 0.10$) con el Índice Multivariado del ENSO.

Las correlaciones hechas entre los índices del MEI y el número de olas de calor por año, demuestran una relación significativa con el fenómeno El Niño. Las olas de calor son las que sufren los cambios más importantes ya que del total de las estaciones correlacionadas con el índice del MEI 31 % de estas mostraron correlación (positivas y negativas), el 88 % con correlación positiva, es decir relación con el fenómeno El Niño, mientras que el otro 12 % con eventos La Niña. Este fenómeno se manifiesta en un 41 % del lado norte del país, un 35 % en el centro y el 24 % del lado sur. De acuerdo con estos resultados se coincide con Cáceres *et al.*, (1998); Badan, (2003); Méndez *et al.*, (2009) quienes demuestran que las tendencias positivas de temperatura máxima en México están atribuidas a eventos del ENSO, similarmente la mayoría en la parte norte del país.

Las correlaciones del MEI con las olas frío año demuestran que 35 % de las estaciones analizadas mostraron correlación significativa ($P \leq 0.10$, positivas y negativas), de ellas el 79 % fueron negativas indicando que La Niña es la causante de las olas frío para estas estaciones, y solo un 21 % con correlación positivas. Las correlaciones negativas están ubicadas al norte del país en su mayoría con 58 %, en el centro un 32 %, y al sur un 10 %. De acuerdo a los resultados, las olas de calor son más frecuentes en el norte del país. Las correlaciones de olas frío tienen similitud a trabajos hechos en Baja California por Minnich *et al.*, (2000) quienes encuentran que el ENSO en su fase fría (La Niña) el fenómeno con mayor incidencia en las temperaturas mínimas, de la misma manera Pavia *et al.*, (2009); Englehart y Douglas, (2005) aseguran que las temperaturas mínimas en México son extendidas hacia el norte con una mayor incidencia. Varios autores han encontrado que la fase positiva de ENSO beneficia la precipitación y a las altas temperaturas en la parte norte de México Poveda y Rojas, (1997); Pavia *et al.*, (2006) y Díaz, (2008).

Cuadro 2. Análisis de correlación del índice del MEI con olas de calor en México.

ID	DECJAN	JANFEB	FEBMAR	MARAPR	APRMAY	MAYJUN	JUNJUL	JULAUG	AUGSEP	SEPOCT	OCTNOV	NOVDEC
1005	0.21 0.10											
2011	-0.21 0.10											
3013										0.22 0.10	0.21 0.10	
3036					-0.21 0.10							
3050							0.21 0.10					
6040	0.25 0.05		0.25 0.05									
13075									-0.21 0.10			
16022						0.25 0.05						
16055					0.21 0.10							
18019	0.21 0.10		0.21 0.10	0.21 0.10	0.25 0.05							
25081			0.26 0.05				0.26 0.05	0.25 0.05				
26028					0.25 0.05							
29030				0.25 0.05								
7134	0.26 0.05											
10018										-0.21 0.10		
20022	0.26 0.05											
31020			0.21 0.10									

Cuadro 3. Análisis de correlación del índice del MEI con olas de frío en México.

ID	DECJAN	JANFEB	FEBMAR	MARAPR	APRMAY	MAYJUN	JUNJUL	JULAUG	AUGSEP	SEPOCT	OCTNOV	NOVDEC
5048									-0.21 0.10			
1022									-0.21 0.10			
1030					-0.25 0.05							
2003		-0.21 0.10										
2011					-0.26 0.05	-0.26 0.05						
3037	-0.25 0.05											
3042		-0.21 0.10										
3053	-0.25 0.05	-0.25 0.05								-0.25 0.05	-0.21 0.10	-0.21 0.10
3060			-0.25 0.05									
6040	-0.25 0.05											
18019					0.25 0.05							
25081		-0.21 0.10										
26028										-0.25 0.05		
29030	0.21 0.10				0.21 0.10							
30087	-0.22 0.10											
8044								-0.25 0.05			-0.25 0.05	
9092						-0.21 0.10						
10018			0.25 0.05	0.25 0.05								
20022		0.21 0.10										

5 CONCLUSIONES

Las olas de calor en México están aumentando en los últimos años, mientras que las olas frío han disminuido levemente, ambas están parcialmente gobernadas por el fenómeno El ENSO, olas de calor con fase cálida (El Niño), olas frío se relacionan a eventos fríos (La Niña) demostrándose porqué la década de 1990 registró la mayor cantidad de olas de calor en México al evidenciar que históricamente en 1998 se registró el Niño más intenso. Geográficamente las olas de calor ocurren especialmente en el centro de México. Las temperaturas umbrales de las olas de calor y de frío son dependientes de la región del país. Con los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis planteada, en México se registran olas de calor y de frío en las ciudades más importantes.

6 LITERATURA CITADA

- Basu, R. (2009). High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health*, 8(1), 40.
- Badan, A. (2003). The effects of El Niño in Mexico: A survey. *Geofísica Internacional*, 42(3), 567-571.
- Besancenot, J. P. (2002). Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. *Environnement, Risques & Santé*, 1(4), 229-40.
- Cáceres, L., R. Mejía, & G. Ontaneda. (1998). Evidencias del cambio climático. *Bull. Inst. fr. Études Andines*, 27(3), 547-556.
- Cony, M., L. Martín, E. Hernández, & T. Del Teso. (2010). Synoptic patterns that contribute to extremely hot days in Europe. *Atmósfera*, 23(4), 295-306.
- CONAGUA (comisión nacional del agua). (2011). Estadísticas del agua en México [www.conagua.gob.mx].
- CONAGUA (comisión nacional del agua). 2012. Estadísticas del agua en México [www.conagua.gob.mx].
- Curriero C. F., K, S, Heiner, J, M, Samet, S, L, Zeger, L, Strong, and J, A, Pazt. (2002). Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, 155(1), 80-87.

- Cueto, R. O. G., A. T. Martínez, & E. J. Ostos, (2010). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: current trends and in climate change scenarios. *International Journal of Biometeorology*, 54(4), 335-345.
- De La Torre, B. H., C. G. Gaxiola, S. M. Nájera. De los Ecosistemas, C., & México, D. F. (2004). ENSO effects on primary production off Baja California. *Ciencias Marinas*, 30(3), 427-441.
- Díaz C. R. E., L. A. L Castro, & G. P. Aranda. (2014). Mortality by Excessive Natural Heat in Northwest México: Social Conditions Associated with this Cause of Death. *Frontera Norte*, 26(52), 155-177.
- Díaz, J. M. G. (2008). El ABC de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). *Terra Nueva Etapa*, 24(35), 85-140.
- Díaz J, J., C. J. Linares y H. R. García. (2005). Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública. *Española Salud Pública*, (79), 145-157.
- De Castro P., M. De castro., y M. G. Gómez. (2011). Identificación de olas de calor en Galicia en el periodo 1987-2006: Efectos sobre la mortalidad. *Avances en Ciencias de la Tierra*, (2): 52-64.
- Díaz J., R. H. García, R. M. Trigo, C. Linares, M. A. Valente., J. M. De Miguel and E. Hernández. (2006). The impact of the summer 2003 heat wave in iberia: how should we measure it?. *Intenational Journal of Biometeorology*, 50(3): 159-166.
- Del Valle J. M., (2014). El cambio climático: Reflexiones tras la cumbre de Varsovia. *Boletín Electrónico del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, enero: 1-22.

- Easterling, D. R., J. L. Evans, J. L. Groisman, J. L. Karl, T. R. Kunkel, K. E., & P. Ambenje. (2000). Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review. *American Meteorological Society*, 81(3), 417-425.
- Englehart, P. J., & A. V. Douglas. (2005). Changing behavior in the diurnal range of surface air temperatures over México. *Geophysical Research Letters*, 32(1), 1-4.
- Englehart, P. J., & A. V. Douglas. (2004). Characterizing regional-scale Variations in Monthly and Seasonal Surface air Temperature Over México. *International Journal of Climatology*, 24, 1897-1909.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 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. Pachauri, R. K., y A. Reisinger (eds). Ginebra, Suiza. 104 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Pachauri, R. K., y L. A. Meyer (eds). Ginebra, Suiza. 157 p.
- INEGI. (2015). Referencias geográficas y extensión territorial de México [<http://www.inegi.org.mx/inegi>].
- Izquierdo, Á. L. L., M. Manzano, Q. Martín, J. Montero, & J. Salazar. (2012). Evolución temporal de las olas de calor en la meseta central española, entre 1961 y 2010. *Sociedad Española de Climatología*, 441-448.

- Jáuregui, E., (1997). Climate changes in México during the historical and instrumented periods. *Quaternary International*, 43(44), 7-17.
- Jáuregui, E., (2006). Heat Waves in Northern México. *Merhavim, Studies in the Geography of Israel and the Middle East. Tel Aviv University*, (6), 370-382.
- Kruger, A. C., & S. Shongwe. (2004). Temperature trends in south africa: 1960-2003. *International Journal of Climatology*, 24(15). 1929-1945.
- Kovats, R. S., S. Hajat. & P. Wilkinso. (2004). Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. *Occupational and Environmental Medicine*, 61(11), 893-898.
- López-Díaz J.A. (2004). Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura. En *El Clima entre el Mar y la Montaña*. García Codron, J.C. Diego Liaño, C.; Fdez. de Arróyabe Hernández, P.; Garmendia Pedraja, C. y Rasilla Álvarez, D. (Eds.). Publicaciones de la AEC, serie A, nº 4, 347-354.
- Liu, X., Z. Y. Yin, X. Shao, & N. Qin. (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*, 111(19), 1-19.
- Martínez N. F., S. F. Simón y L. G. Abente. (2004). Valoración de impacto de la ola de calor del verano 2003 sobre la mortalidad. *Gaceta Sanitaria*, 18(4), 250-258.
- Méndez, M. C. C., U. D. Madrigal, B. L. A. González. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *Ciencia Ergo Sum*, noviembre-febrero, 307-316.

- Méndez G, J., A. Ramírez L., E. Cornejo O, A. Zarate L, y P. T. Cavazos. (2009) Teleconexiones de la Oscilación del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 73, 57-70.
- Méndez G, J., J. J. Navar C., R. H. Gonzales y G. E. J. Treviño (2007). Teleconexiones del fenómeno ENSO a la precipitación mensual en México. *Facultad de ciencias forestales, UANL*, 10(3), 290-198.
- Meehl, G. A., & C. Tebaldi. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994-997.
- Minnich, R. A., F. E. Vizcaíno & R. J. Dezzani. (2000). The El Niño/southern oscillation and precipitation variability in Baja California, México. *Atmósfera*, 13(1), 1-20.
- Morales. P. S., R. D. V. Cepeda, J. O. I. López. (2010). Climate Change: trends in extreme temperatures in the region hydrological 36 and surrounding areas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9, 143-151.
- Noji K, E. (2000). Impacto de los desastres sobre la salud pública. *National Center for Environmental Health*, 32(76), 4-475.
- Pavia, E. G., F. Graef, & J. Reyes. (2009). Annual and seasonal surface air temperature trends in México. *International Journal of Climatology*, 29(9), 1324-1329.
- Pavia E. G., F. Graef & J. Reyes. (2006). PDO–ENSO Effects in the Climate of México. *International Journal of Climatology*, 19, 6433-6438.

- Power S., M. Haylock., R. Colman., and X. Wang. (2006). The Predictability of Interdecadal Changes in ENSO Activity and ENSO Teleconnections. *International Journal of Climatology*, (19), 4755-4771.
- Poveda, G., y W. Rojas. (1997). Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 21(81), 421-429.
- Plummer, N., M. J. Salinger. N. Nicholls, R. Suppiah, K. J. Hennessy, R. M. Leighton & J. M. Lough. (1999). Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth Century. *Climatic Change*, 42(1), 183-202.
- Robinson P. J. (2001). On the Definition of a Heat Weve. *Journal of Applied Meteorology*, 40(4), 762-775.
- Rapp, A. O. (2001). Review on heat treatments of wood. *In Proceedings of Special Seminar, Antibes, France*, 1-66.
- Semenza, J. C., C. H. Rubin, K. H. Falter, J. D. Selanikio, W. D. Flanders, H. L. Howe, & J. L. Wilhelm. (1996). Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *New England journal of medicine*, 335(2), 84-90.
- Sande, N. P., J. M. Melgar, E. A. Pardavila, & J. R. García. (2004). Golpe de calor. *Emergencias*, 16, 116-125.
- Sustentable, A. (2010). Cambio Climático; Una mirada local a un fenómeno global. La Paz, Bolivia. 114.

- Souch C., and C. S. B. Grimmond. (2004). Applied climatology: "heat waves". *Progress in Physical Geography*, 28(4), 559-606.
- Tirado B. M. C. 2010. Cambio climático y salud. Informe SESPAS. *Gac Sanit*, 24(1), 78-84.
- Trigo M., R., A. M. Ramos, P. J. Nogueira, F. D. Santos, R. García-Herrera, C. Gouveia, and F. e. Santo. (2009). Evaluating the impact of extreme temperature based índices in the 2003 heatwave excessive mortality in Portugal. *Environmental Science & Policy*, 12(7), 844-854.
- Trigo M., R., R. García-Herrera. J. Diaz. I. Fracnco-Trigo, & M. A. Valente. (2005). How exceptional was the early August 2003 heat wave in France. *Geophysical Research Letters*, 32(10).
- Whitman, S., G. Good, E. R. Donoghue, N. Benbow, W. Shou, & S. Mou. (1997). Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. *American Journal of Public Health*, 87(9), 1515-1518.
- Yagüe, C., M. Martija, J. Torres, A. I. Maldonado & E. Zurita. (2006). Análisis estadístico de las olas de calor y frío en España. *XXIX Jornadas Científicas de la AME*, 20-26.
- Yeh, S. W., J. S. Kug, B. Dewitte, M. H. Kwon, B. P. Kirtman, & F. F. Jin. (2009). El Niño in a changing climate. *Nature*, 461(7263), 511-514.