



COORDINACIÓN NACIONAL DE
PROTECCIÓN CIVIL

CENAPRED

MÉXICO

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

ACTUALIZACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO POR ONDAS DE CALOR EN MÉXICO

Lucía Guadalupe Matías Ramírez

Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos
Departamento de Sistemas de Información Hidrometeorológica

Abril, 2014

ÍNDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. | DEFINICIÓN DE LAS ONDAS DE CALOR..... | 1 |
| 2.1 | Impactos de las ondas de calor en México | 2 |
| 3. | ANÁLISIS DE LAS ONDAS DE CALOR EN MÉXICO | 3 |
| 3.1 | Recopilación de datos | 3 |
| 4. | CÁLCULO DEL PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS | 4 |
| 4.1 | Peligro de la intensidad de la onda | 7 |
| 5. | CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRADO DE RIESGO POR ONDAS CÁLIDAS | 11 |
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 13 |
| | Recomendaciones..... | 14 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 14 |

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes, los eventos climáticos extremos han mostrado un mayor comportamiento en el planeta, dentro de éstos se encuentran las ondas de calor, las cuales generan severos impactos en la población como es el golpe de calor, el agotamiento y calambres, que suelen presentarse principalmente en la población infantil y senil, y provocan riesgo de muerte y enfermedades severas, de manera particular en las zonas urbanas pobres, debido a que se carece de los medios para obtener un mejor confort y donde se concentra un gran número de habitantes.

Por lo anterior, se presenta el siguiente análisis de peligro, el cual está en función del percentil 90 de las temperaturas máximas, para más de 300 estaciones climatológicas que cubren todo el país, con registros desde 1970 hasta el 2006.

2. DEFINICIÓN DE LAS ONDAS DE CALOR

El calor excesivo es una amenaza que está incrementándose en la salud pública. Por cada grado centígrado por encima de un cierto nivel, los fallecimientos pueden aumentar entre el 2 y 5%. Las olas de calor intenso y prolongado elevan los riesgos, principalmente en las personas de edad, los enfermos crónicos, la población socialmente aislada, aquéllas que trabajan en ambientes expuestos y la población infantil son los más vulnerables (OMM,2012).

Según la Organización Meteorológica Mundial (1993), la ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy cálido, sobre una zona extensa que suele durar unos días e, incluso, semanas. Kunkel, et al. (1999a) la definen cuando la temperatura máxima supera cierto umbral durante cuatro días consecutivos.

En México, Jáuregui (2009) delimita a la onda de calor como la ocurrencia de tres o más días con temperaturas que exceden ciertos umbrales, los cuales varían geográficamente, por ejemplo, para el caso de la Ciudad de México se adopta el umbral de 30°C, sin embargo, en Mexicali y Hermosillo, la temperatura debe exceder los 40°C. En ambos casos, los mayores eventos ocurren entre marzo a julio. De manera similar, Vidal y Ortiz (2010) indican que una onda cálida está determinada por un período de tres o más días cuando la temperatura excede cierto umbral, que para el caso de México sería 26°C, debido a que es el límite de la temperatura entre los climas templados

y cálidos. Por su parte, Herrera-Alanís (2012) señala que una onda de calor se presenta cuando la temperatura máxima y mínima sobrepasa el percentil 90 en al menos dos días consecutivos.

Las ondas de calor son ocasionadas por temperaturas muy altas, que se presentan por la llegada de masas de aire tropical continental a latitudes medias. Estas ondas ocurren con mayor frecuencia durante los meses de mayo a julio.

El fenómeno de las ondas de calor se incrementa de manera particular en zonas urbanas a medida que transcurre el tiempo, debido a la sustitución del suelo natural por elementos que componen la ciudad (pavimento, asfalto, más contaminación, entre otras. Jáuregui, 2005). Asimismo, la actividad agrícola es perjudicada por temperaturas anormalmente altas que destruyen los cultivos de temporada, y ocasionan trastornos en los organismos vivos por la deshidratación que originan las altas temperaturas.

Los espacios cultivados y las personas soportan con dificultad temperaturas superiores a 40°C, que resultan letales para la mayoría de los cultivos cuando rebasan los 50°C (Gil y Olcina, 1997).

2.1 Impactos de las ondas de calor en México

Las temperaturas máximas podrían generar un escenario crítico y dar lugar a una mayor incidencia de casos como el golpe de calor, el agotamiento por calor, el síncope y los calambres por calor. Las olas de calor también incrementan la morbilidad y mortalidad asociadas a otras enfermedades que ocurren aún en ausencia del estrés del calor, por ejemplo, el infarto al miocardio, malestares cardiovasculares y de padecimientos gastrointestinales por la ingesta de agua contaminada, sin embargo, el golpe de calor es el único con una letalidad importante (Kilbourne, 2000).

Las personas más vulnerables a las ondas de calor son los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 años (porque tienen mayor probabilidad de enfermedades crónicas), los trabajadores agrícolas y los migrantes. Otros riesgos a la salud atribuibles a las temperaturas máximas son el dengue y el paludismo que son transmitidos por vectores (de insecto a humano) como la enfermedad de Chagas y el virus del oeste del Nilo, así como las enfermedades diarreicas y los trastornos respiratorios (Riojas *et al.*, 2006). También los enfermos y las personas con sobrepeso son los más vulnerables al calor extremo.

Los efectos en la salud también son notables en las áreas de bajo nivel socioeconómico, por carecer de recursos para la instalación de aire acondicionado e, incluso, estar en un ambiente rodeado de abundancia de árboles y arbustos que proporcionan sombra, mientras que el acceso al cuidado sanitario es mínimo (Kilbourne, 2000).

Además, el cambio climático que se espera puede aumentar la intensidad y frecuencia de estos fenómenos extremos, empeorará los riesgos para la salud humana, por ejemplo, en el decenio de 2050 los episodios de calor que actualmente sólo ocurren una vez cada 20 años, se experimentarán cada 2 a 5 años en promedio (OMM, 2012). También, se espera que el crecimiento de la población, el envejecimiento y la urbanización aumenten el número de personas expuestas a un riesgo elevado.

3. ANÁLISIS DE LAS ONDAS DE CALOR EN MÉXICO

3.1 Recopilación de datos

Se conformó una base de datos a partir de 342 estaciones climatológicas que posee registros de 30 años o más, las cuales abarcan principalmente el periodo de 1970 hasta el 2006. La serie de datos de temperaturas máximas diarias fue recopilada del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC III, versión 2.0), del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2009). De la base se obtuvo que los estados de Querétaro, Colima y Tlaxcala concentran la menor cantidad de estaciones, mientras que en San Luis Potosí existe la mayor agrupación. Por otra parte, Coahuila presenta una carencia de información para la región centro (Figura 3.1).

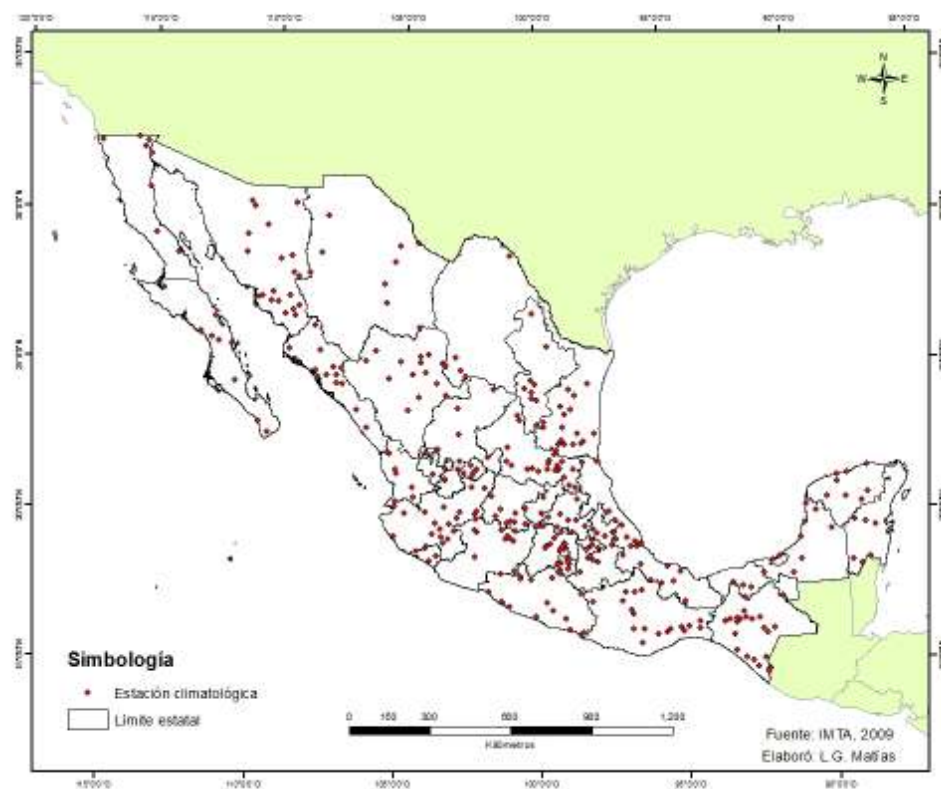


Figura 3.1 Distribución de la red de estaciones climatológicas utilizadas en el análisis (IMTA, 2009)

4. CÁLCULO DEL PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS

Para calcular la probabilidad para cada serie de datos, se realizó el análisis de las temperaturas máximas para cada estación utilizando el percentil 90 (P90), donde en la Tabla 4.1 se muestra un ejemplo para la estación Delta en Baja California, que resultó ser la estación climatológica más cálida del país, ya que se obtuvo 43.5°C como P90, en ésta se presentan ondas cálidas mayores a 40°C durante varios días e, incluso, pueden rebasar el mes.

Tabla 4.1 Ejemplo del cálculo del percentil 90 para la estación Delta, BC

| Año | Mes | Día | T.Máx |
|------|-----|-----|-------|
| 2008 | 7 | 1 | 47.5 |
| 2008 | 7 | 2 | 42 |
| 2008 | 7 | 3 | 42.5 |
| 2008 | 7 | 4 | 41.5 |
| 2008 | 7 | 5 | 41 |

| | | | |
|------|---|-------------|------|
| 2008 | 7 | 6 | 42 |
| 2008 | 7 | 7 | 44 |
| 2008 | 7 | 8 | 43 |
| 2008 | 7 | 9 | 40 |
| 2008 | 7 | 10 | 38 |
| 2008 | 7 | 11 | 40 |
| 2008 | 7 | 12 | 40 |
| 2008 | 7 | 13 | 42.5 |
| 2008 | 7 | 14 | 44 |
| 2008 | 7 | 15 | 44 |
| 2008 | 7 | 16 | 45.5 |
| 2008 | 7 | 17 | 47 |
| 2008 | 7 | 18 | 45 |
| | | Perceptil90 | 43.5 |

Elaboración propia con datos del IMTA, 2009

Una vez realizado el cálculo del P90 para todas las estaciones se obtienen los siguientes resultados, en la Tabla 4.2 se muestra un ejemplo para el estado de Baja California, donde en Mexicali durante el verano se presentan temperaturas máximas cercanas a los 50°C, esto se debe principalmente al crecimiento de la ciudad y los diversos usos de suelo que han modificado algunas variables climáticas, es decir, se evidencia el efecto de la isla de calor (García *et.al.*, 2004)

Tabla 4.2 Resultados del P90 para las estaciones de Baja California

| Clave | Nombre de la estación | Altitud msnm | P90 |
|-------|-----------------------|-----------------|------|
| 2002 | Bahía de los Angeles | 4 | 37.0 |
| 2003 | Bataques | 70 | 42.0 |
| 2006 | Chapala | 823 | 38.0 |
| 2011 | Delta | 12 | 43.5 |
| 2033 | Mexicali | 45 | 42.8 |
| 2038 | Presa Rodríguez | 140 | 30.7 |
| 2046 | San Felipe | 12 | 40.5 |

Elaboración propia con datos del IMTA, 2009

Con los resultados anteriores se observa que la estación Delta posee un P90 de 43.5 e, incluso, la temperatura máxima ha alcanzado los 50°C en los años: 1948, 1950, 1953, 1956, 1966, 1967, 1985, 1986, 1989, 1990, 1992, 1995, 1996, 1997, 2000, 2003 y 2005, y ésta se registró durante julio y agosto. Por otra parte, los efectos que la temperatura y la humedad tienen en el confort y en la salud humana han generado que en el municipio de Mexicali, se presenten pérdidas humanas producto de las ondas de calor, esto sucede cuando las temperaturas máximas alcanzan los 47°C, situación que ocurrió en julio de 2006 y 2009, donde se presentaron 10 y cinco decesos, respectivamente (Jaramillo, *et al.*, 2011).

De todas las estaciones analizadas, 26 de éstas poseen un P90 mayor que 40 y se encuentran en siete estados del país (Tabla 4.3), donde 12 pertenecen al estado de Sonora, las cuales superan dicho percentil y se localizan en los valles intermontanos, es decir, entre los 200 y 1,000 msnm.

Tabla 4.3 Estaciones climatológicas con un P90 mayor que 40

| <i>Estación</i> | <i>Estado</i> | <i>Altitud</i> | <i>P90</i> |
|-------------------|-----------------|----------------|------------|
| Bataques | Baja California | 70 | 42.0 |
| Delta | Baja California | 12 | 43.5 |
| Mexicali | Baja California | 45 | 42.8 |
| San Felipe | Baja California | 12 | 40.5 |
| Tepames | Colima | 510 | 40.0 |
| Aratichanguio | Guerrero | 300 | 41.5 |
| Arcelia | Guerrero | 460 | 41.0 |
| Ciudad Altamirano | Guerrero | 250 | 41.0 |
| Huamuxtitlán | Guerrero | 1025 | 40.0 |
| Apatzingan | Michoacán | 682 | 40.0 |
| Huetamo | Michoacán | 300 | 42.5 |
| Choix | Sinaloa | 225 | 40.5 |
| Guatenipa | Sinaloa | 290 | 40.0 |
| Carbo | Sonora | 464 | 40.0 |
| Col. Morelos | Sonora | 1106 | 40.0 |
| La Estrella | Sonora | 240 | 42.0 |
| Las Panelas | Sonora | 185 | 40.5 |
| Navojoa | Sonora | 780 | 40.0 |
| P.A. Obregon | Sonora | 70 | 41.0 |
| Riito | Sonora | 40 | 42.0 |
| Sahuaripa | Sonora | 460 | 42.0 |
| Tesocoma | Sonora | 260 | 40.0 |

| | | | |
|------------|------------|-----|------|
| Vicam | Sonora | 46 | 40.0 |
| Hermosillo | Sonora | 200 | 40.5 |
| Potam | Sonora | 11 | 40.0 |
| La Loba | Tamaulipas | 170 | 40.0 |

Elaboración propia con datos del IMTA, 2009

4.1 Peligro de la intensidad de la onda

Con base en el P90 de cada una de las estaciones se elaboró el mapa de peligro, interpolando los valores de éstos (figura 4.1), debido a que se cuenta con muy pocas estaciones para cada uno de los municipios del país, esta situación ocurre principalmente en el norte del país, como en Coahuila, donde sólo hay seis estaciones, una en el norte y el resto se concentra en la región suroeste, otro caso es Chihuahua que tiene un gran territorio y sólo posee ocho estaciones que cubren el oriente del estado, mientras que la zona del suroeste permanece sin observaciones.

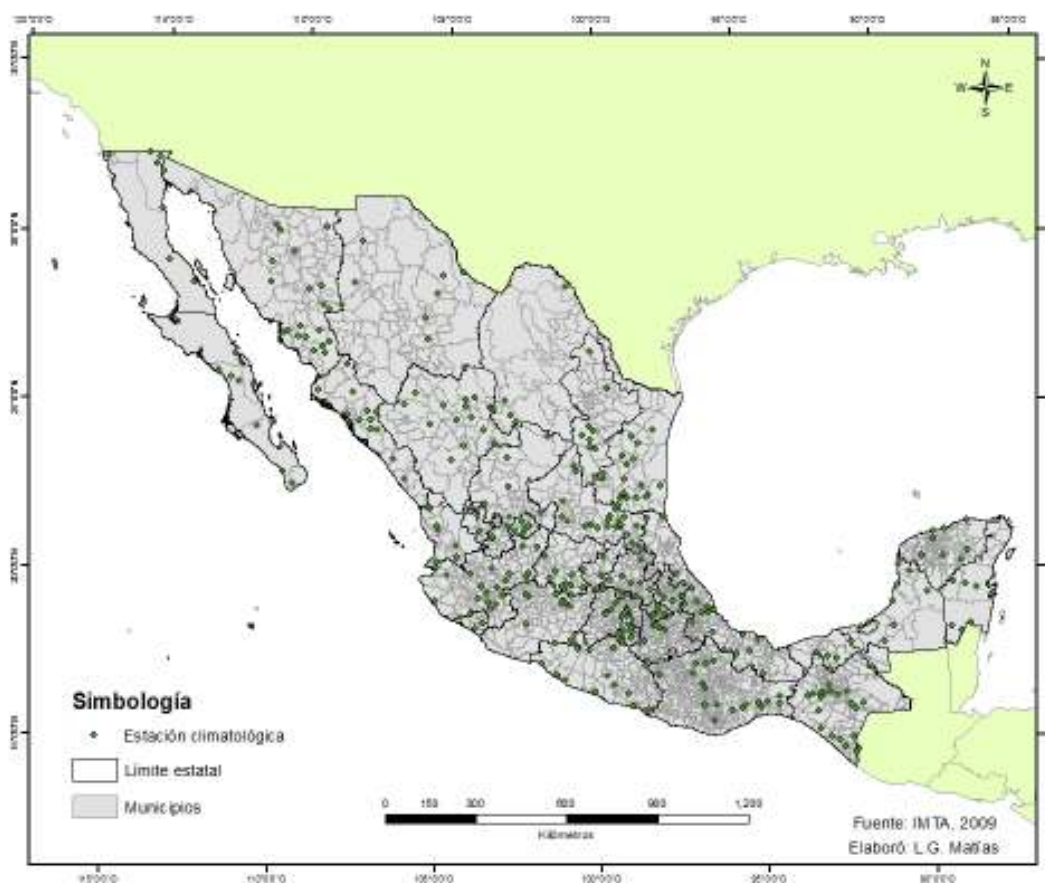


Figura 4.1 Distribución de las estaciones climatológicas para interpolar el P90

Sin embargo, al revisar el P90 de los valores extremos, resulta que los datos más alto se localizan en el noroeste de México, principalmente en Baja California y Sonora, mientras que en el sur del país se ubican en Apatzingan y Huétamo en Michoacán y en Arcelia, Ciudad Altamirano y Huamuxtitlán, las dos primeras pertenecen a la región de Tierra Caliente, mientras que la última estación está en la región de La Montaña del estado de Guerrero (Figura 4.3).

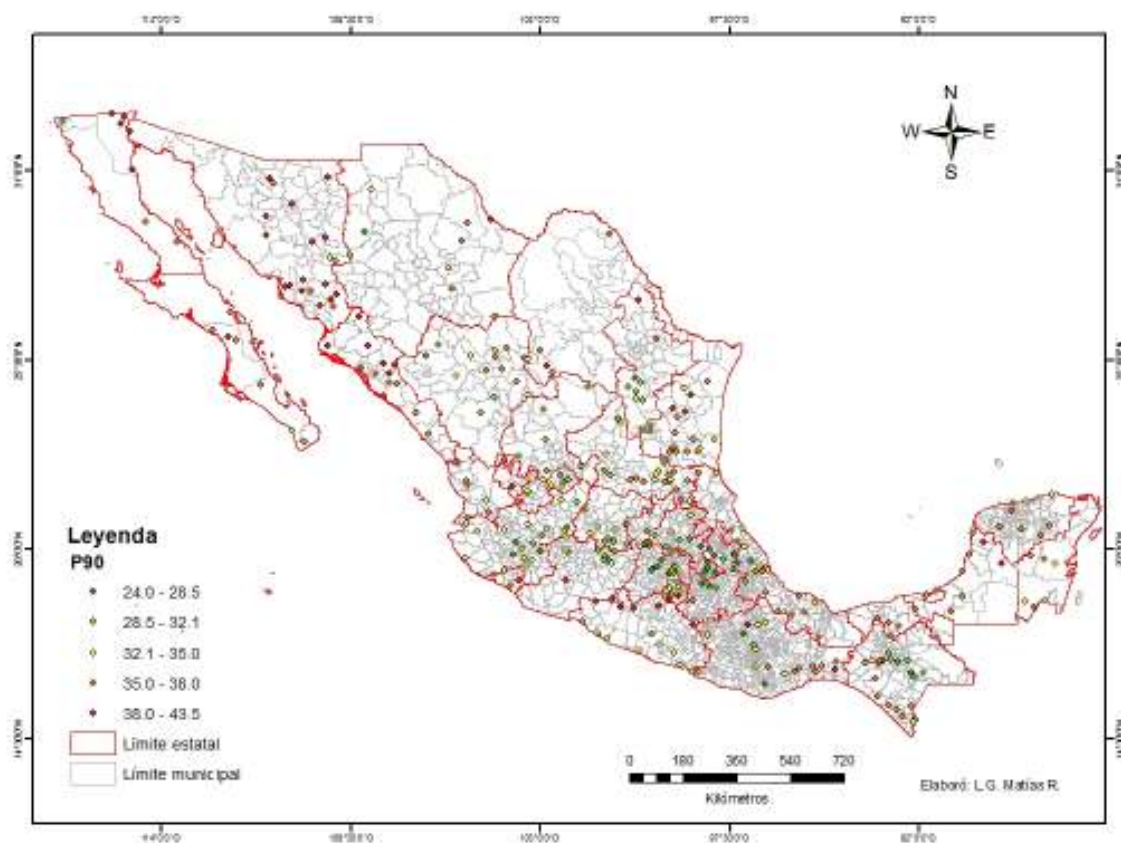


Figura 4.2 P90 para cada una de las estaciones climatológicas analizadas (elaboración propia, con base en IMTA, 2009)

Con base en lo anterior se realizó la interpolación para asignar un valor a cada municipio del país (Figura 4.43), y con ello se elaboró la clasificación para obtener el grado de peligro por onda de calor (Figura 4.4).

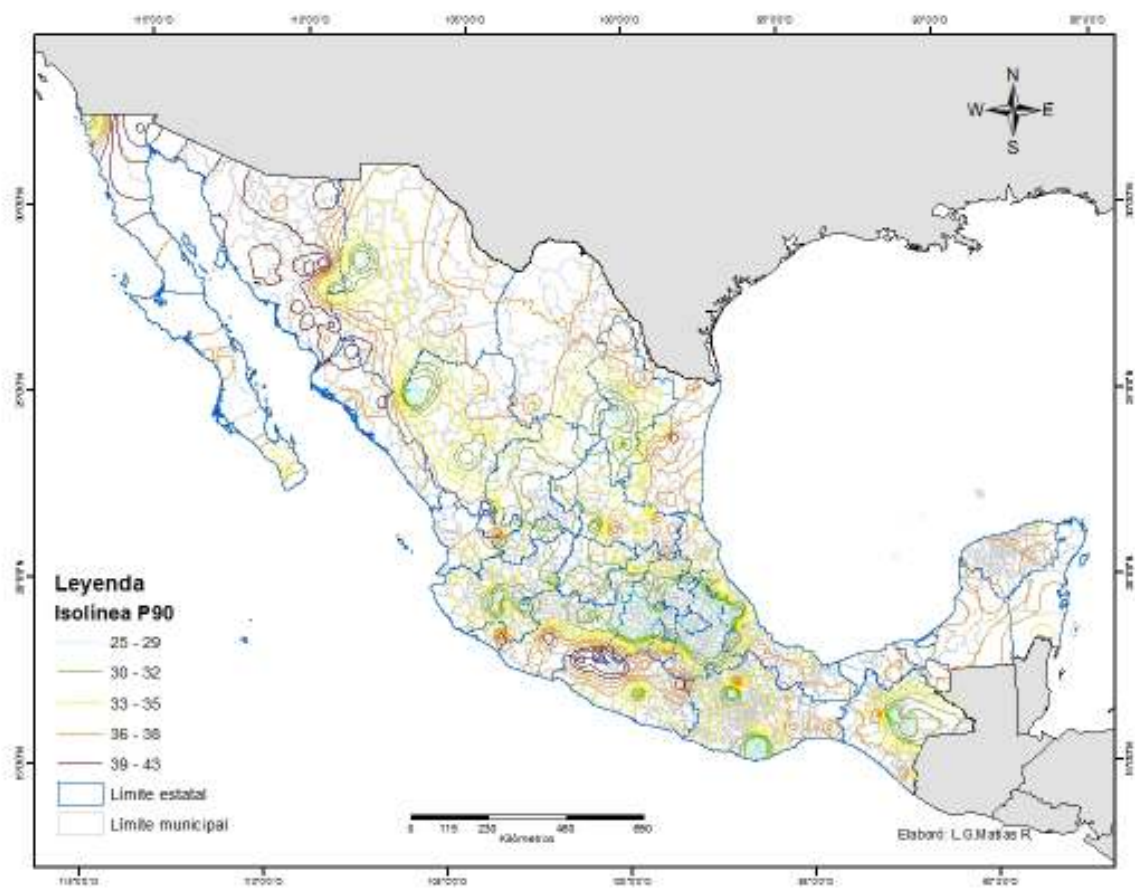


Figura 4.3 Distribución de las isolíneas del P90 en México (elaboración propia con base en IMTA, 2009)

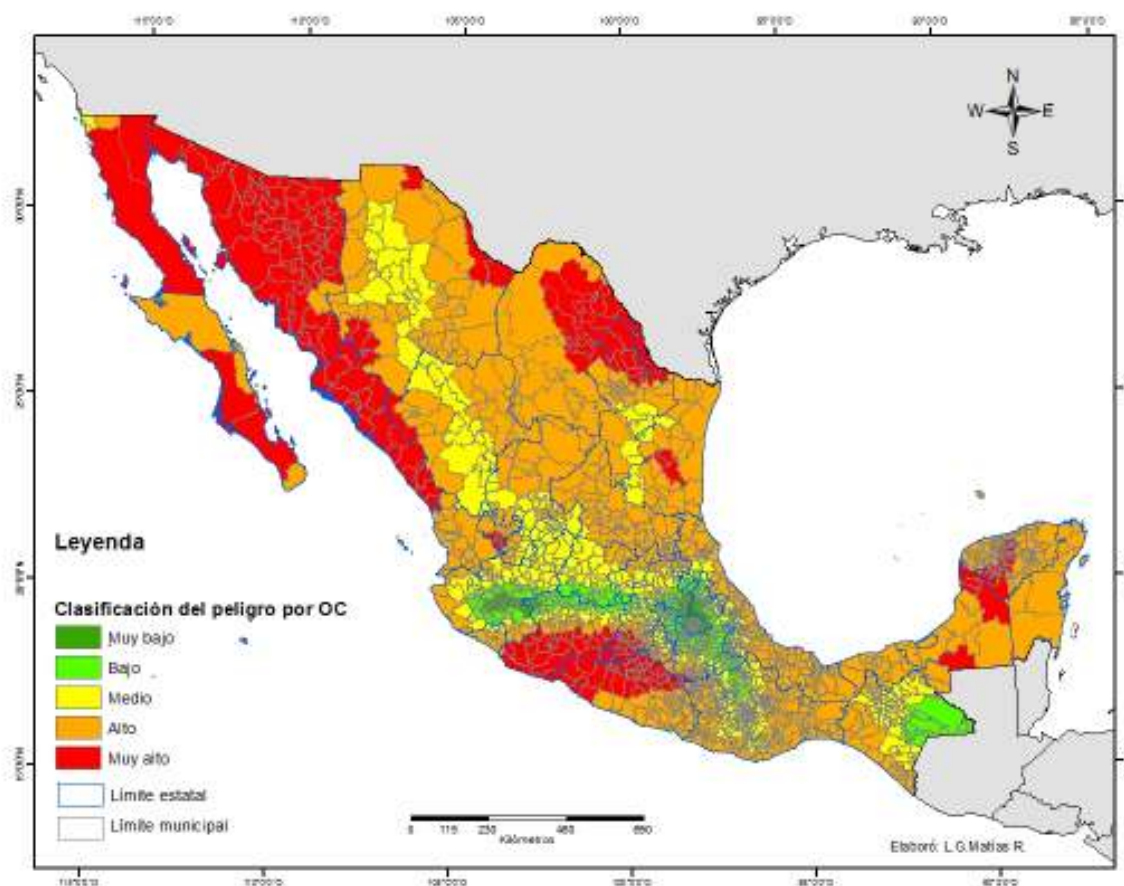


Figura 4.4 Mapa de peligro por onda de calor, con base en el P90

De la figura anterior resulta que la llanura costera del Pacífico es la más susceptible a las ondas de calor, principalmente aquellos municipios que forman parte de la cuenca del Balsas y del noroeste de México, mientras que en el golfo de México se tiene la región centro de la península de Yucatán, con peligro muy alto, que representan el 11.4% de la población total del país (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Distribución de los municipios en función del peligro por onda de calor

| Calificación del grado de peligro | No. Municipios | Población (Inegi, 2010) |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
| Muy alto | 276 | 12,795,801 |
| Alto | 886 | 37,695,360 |
| Medio | 801 | 45,033,944 |

| | | |
|----------|------|-------------|
| Bajo | 384 | 14,547,364 |
| Muy bajo | 109 | 2,264,069 |
| Total | 2456 | 112,336,538 |

Respecto al porcentaje de población afectada en la siguiente figura, se observa que el estado de Sinaloa es susceptible en un 100% al fenómeno de las ondas de calor, le siguen en importancia Sonora con 98%, BCS con 52% y Baja California con 45%.

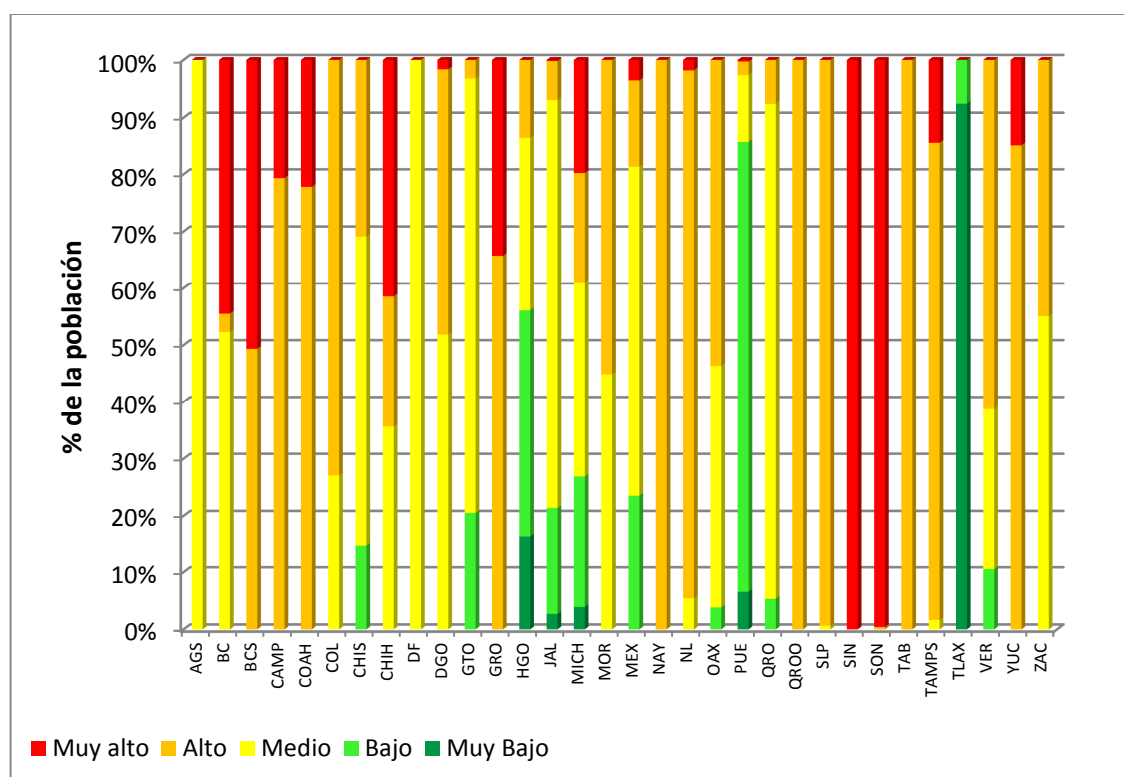


Figura 4.5 Porcentaje de la población afectada según el grado de peligro por onda de calor

5. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRADO DE RIESGO POR ONDAS CÁLIDAS

Se calculó el riesgo por onda de calor utilizando el método de Jiménez, *et al.*, (2012), donde se utiliza el índice de vulnerabilidad social de la Subdirección de Estudios Económicos y Sociales del CENAPRED, el logaritmo de la densidad de la población y el índice de peligro de las ondas de

calor (Figura 5.1). Cabe mencionar que la calificación del municipio es cualitativa y sólo se utiliza para comparar entre si los valores del riesgo.

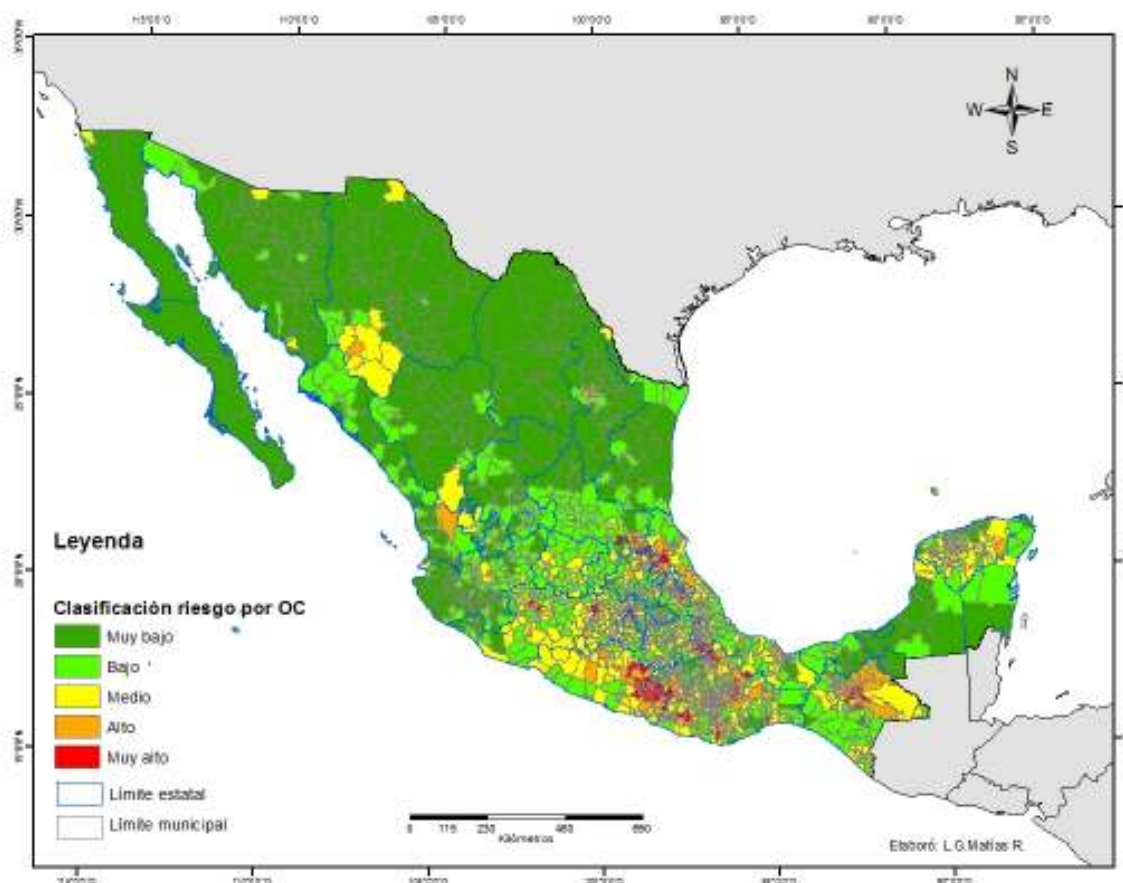


Figura 5.1 Grado de riesgo por onda de calor

De la figura anterior se observa que una vez incorporada la vulnerabilidad social sólo un 8.9% de la población total del país presenta un grado de riesgo muy alto concentrándose, principalmente en el norte, centro y la región de la montaña de Guerrero y en el norte y selva de Chiapas, situación que se explica por presentar muy altos índices de vulnerabilidad social que incluye viviendas sin servicios de agua entubada, drenaje ni electricidad, sus casas son de materiales precarios y existe un porcentaje importante de población indígena, además es escaso que los habitantes de la región estén afiliados a un sistema de salud. Estos resultados coinciden con el índice de rezago social, del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2012),

que indica cuatro carencias sociales de la medición de pobreza como el rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a los servicios básicos en la vivienda y la calidad y espacios en la vivienda.

Tabla 5.1 Distribución de los municipios en función del grado de riesgo por municipio

| Calificación | No. municipios | Población |
|--------------|----------------|-------------|
| Muy alto | 167 | 9,969,072 |
| Alto | 365 | 21,095,010 |
| Medio | 676 | 31,615,418 |
| Bajo | 805 | 32,312,260 |
| Muy bajo | 443 | 17,344,778 |
| Total | 2,456 | 112,336,538 |

Si comparamos los datos del riesgo por onda de calor de los municipios de Mexicali, Baja California, Hermosillo, Sonora y Mérida, Yucatán, lugares que se tienen identificados como los más calurosos del país (CICC, 2012), resulta que el riesgo de Mexicali y Hermosillo poseen la calificación de muy bajo, mientras que Mérida fue clasificado con un riesgo medio por onda de calor, aunque en este último lugar sólo han ocurrido cuatro pérdidas humanas entre 2005 y 2010 (SALUD, 2010). Lo anterior se explica porque el índice de vulnerabilidad social es muy bajo y la densidad de población es muy alta en Mérida.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las altas temperaturas en México pueden producir enfermedades o dañar la salud de las personas, como es el caso de la población de la tercera edad o de quienes padezcan algún trastorno crónico, especialmente de tipo respiratorio o cardiocirculatorio.

Para caracterizar a las ondas cálidas en el país se utilizó el percentil 90 (P90) de las temperaturas máxima diaria que permitieron dar una mejor aproximación del fenómeno, sin embargo, éstos pueden ser mejorados o delimitados por zonas geográficas, debido a la configuración del terreno, la latitud y la distancia entre los océanos y el continente.

También es importante mencionar que las estaciones climatológicas utilizadas no fueron suficientes para realizar una buena interpolación, porque se encontraron regiones como el centro de

Coahuila, donde se carece de información y por consiguiente hay una gran incertidumbre en esa región, por lo que los resultados presentados deben tomarse con cautela.

Finalmente, una de las regiones de mayor grado de peligro por ondas de calor resultó ser la cuenca del Balsas, que ya estaba identificada en estudios anteriores como una de las más cálidas del país y que estos resultados confirmaron la situación del lugar, sin embargo, al revisar los valores del P90 se tiene que en Guerrero alcanzan los valores entre 34.9 a 41.4, mientras que las estaciones localizadas en el municipio de Mexicali fueron los más sobresalientes.

Además al realizar los cálculos de riesgo, la región más susceptible al fenómeno fue el noroeste del estado de Guerrero, dejando sólo una parte de la cuenca del Balsas y el valle de Chilpancingo, donde se concentra casi un millón y medio de personas expuestas a las ondas de calor.

Recomendaciones

Realizar estudios de las ondas de calor en México, es decir, utilizar un mayor número de estaciones y construir mapas utilizando el P95, para identificar las ondas cálidas extremas y conocer la distribución del fenómeno.

Diseñar un sistema de alerta temprana para ondas de calor, debido a que las ondas cálidas generan un gran número de decesos en la población de México, para lo cual se requieren estudios detallados que permitan con un tiempo de antelación a este fenómeno alertar a las personas más vulnerables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CICC, 2012. México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, SEMARNAT, pp.162.
2. CONEVAL, 2012. Índice de Rezago Social 2010 a nivel municipal y por localidad. Disponible en <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/%c3%8dndice-de-Rezago-social-2010.aspx>

3. FEMA, 2006. Excessive heat events guidebook. United States Environmental Protection Agency, Washington, pp. 52.
4. García, R., A. Tejeda y E. Jáuregui. 2004. Contraste ciudad/desierto del balance de energía en la atmósfera superficial en el NW de México. En el Clima entre el Mar y la Montaña. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, no. 4, Santander, pp. 291-302.
5. Gil A. y J. Olcina. 1997. Climatología General. Barcelona, España, pp. 572.
6. Jaramillo, H., López, G. y M. Rodríguez, 2011. Golpe de calor: un problema de salud pública en Mexicali. Instituto Nacional de Salud Pública, vol. 53, núm. 4, julio-agosto, pp. 285-286.
7. Jáuregui, E. 2009. The heat spell of Mexico City. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 70, 2009, pp. 71-76
8. Jáuregui, E., E. Luyando y M. Casasola, 2007. Las ondas de calor en áreas urbanas de México, mapa NAXII3. Nuevo Atlas Nacional de México.
9. Jáuregui, E. 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in Mexico. *Atmósfera*, 18(4), México, pp. 249-252.
10. Kilbourne, E. 2000. Oleadas de calor y ambientes calurosos. Impacto de los desastres en la salud pública. Organización Panamericana de la Salud, Bogotá, Colombia, pp. 245-269.
11. Kunkel, K., R. Pielke y S. Changnon. 1999. Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: A review. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 80, No. 6, June, pp. 1077-1098.
12. Herrera-Alanís, J., 2012. Análisis de las olas de calor en la República Mexicana. Tesis de doctorado en Ingeniería Hidráulica, UNAM, pp. 229.
13. IMTA, 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica, ERIC III, México.
14. INSP. 2006. Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México. Informe final, Instituto Nacional de Salud Pública, archivo interno, pp. 35.

15. IPCC, 2007a. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions, pp. 142.
16. IPCC, 2007b. Cambio climático 2007. Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, pp. 116.
17. Matías, L. 2013. Estimación del índice de riesgo por ondas de calor en México, informe interno del CENAPRED, pp. 21.
18. OMM, 1993. Vocabulario Meteorológico. Organización Meteorológica Mundial.
19. OMM, 2012. Atlas de la salud y el clima. Organización Mundial de la Salud, no. 1098, Ginebra, Suiza, pp. 64.
20. Riojas, H., M. Hurtado, J. Idrovo y H. Vázquez, 2006. Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México, Instituto Nacional de Salud Pública, pp. 35.
21. SALUD. 2010. Base de datos de decesos por golpe de calor en México. Archivo interno.
22. Vidal, R. y M. Ortiz, 2010. Efectos de las ondas cálidas en el bienestar de la población en el sureste de México. XIX Congreso Nacional de Geografía.