

**SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES**

**MAPAS DE ÍNDICES DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL POR  
FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS**

Martín Jiménez Espinosa

Carlos Baeza Ramírez

Lucía Guadalupe Matías Ramírez

Héctor Eslava Morales

**Informe preparado para el CENAPRED**  
Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos

Marzo, 2012



## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1 OBJETIVO.....	5
<b>2. MAPAS DE PELIGRO.....</b>	<b>6</b>
2.1 CICLONES TROPICALES.....	6
2.2 TORMENTAS DE NIEVE .....	11
2.3 TORMENTAS DE GRANIZO .....	16
2.4 TORMENTAS DE ELÉCTRICAS.....	19
2.4.1 Cálculo del índice de peligro por tormentas eléctricas.....	20
2.5 BAJAS TEMPERATURAS.....	23
2.5.1 Índice del número de días con helada .....	24
2.5.2 Índice de la temperatura mínima extrema .....	27
2.5.3 Índice de peligro por bajas temperaturas.....	29
2.6 ONDAS DE CALOR.....	31
2.7 SEQUÍAS.....	32
2.8 TORMENTAS DE POLVO.....	35
2.9 TORNADOS .....	37
<b>3. MAPA DE VULNERABILIDAD SOCIAL A ESCALA MUNICIPAL.....</b>	<b>39</b>
<b>4. OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL .....</b>	<b>40</b>
4.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN Y VULNERABILIDAD SOCIAL MUNICIPAL.....	40
4.2 CICLONES TROPICALES.....	42
4.3 TORMENTAS DE NIEVE .....	44
4.4 TORMENTAS DE GRANIZO .....	45
4.5 TORMENTAS DE ELÉCTRICAS.....	46
4.6 BAJAS TEMPERATURAS .....	48
4.7 ONDAS DE CALOR.....	49
4.8 SEQUÍAS.....	49
4.9 TORMENTAS DE POLVO.....	51
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
5.1 CICLONES TROPICALES.....	53
5.2 TORMENTAS DE NIEVE .....	53
5.3 TORMENTAS DE GRANIZO .....	54
5.3 TORMENTAS ELÉCTRICAS.....	54
5.4 BAJAS TEMPERATURAS.....	54
5.5 ONDAS DE CALOR.....	55
5.6 SEQUÍAS.....	55
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>

## *Lista de Figuras*

Figura 1 Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 1 .....	7
Figura 2 Muestra de un conteo entre la latitud norte 15° y 16° y longitud -98° y -97 .....	7
Figura 3 Cuadrícula de todo el país para realizar el conteo.....	8
Figura 4 Índice de peligro por ciclones tropicales de México por cuadros de 1° x 1° .....	9
Figura 5 Intersección entre los cuadros y los municipios.....	9
Figura 6 IPCT de los municipios de México con información de los cuadros.....	10
Figura 7 Polígono ampliado con el buffer de 10 km del municipio de Acapulco, Guerrero 10	
Figura 8 Grado de peligro por presencia de ciclones tropicales.....	11
Figura 9 Nevadas históricas en México. (A) siglos XV a XIX, (B) siglos XX y XXI (Vidal, y otros, 2007) .....	12
Figura 10 Mapas de apoyo para calificar a los municipios de la frontera de México y EUA (NOAA, 2002) y (Erickson, 1991).....	14
Figura 11 Intervalos del índice de frecuencia de nevadas .....	14
Figura 12 Índice de peligro por nevadas a escala municipal.....	15
Figura 13 Formación de las tormentas de granizo (National Geographic Society, 1998)....	16
Figura 14 Número de días con granizo, al año en la Republica Mexicana (Vidal, y otros, 2007) .....	17
Figura 15 Capas de días con granizo y municipios .....	18
Figura 16 Índice de peligro por tormentas de granizo por municipio .....	19
Figura 17 Número de días con tormenta eléctrica (promedio anual) (Vidal, 2007).....	20
Figura 18 Asignación de valores por municipio, respecto al número de días con tormenta eléctrica (promedio anual).....	21
Figura 19 Índice de peligro por tormentas eléctricas a nivel municipal.....	22
Figura 20 Categorización del índice de peligro por tormentas eléctricas a nivel municipal	23
Figura 21 Número de días con heladas en México (Vidal, 2007 págs. Carta NA-XIV-6)...	25
Figura 22 Número de días con heladas por municipio .....	25
Figura 23 Índice de días con heladas por municipio .....	26
Figura 24 Distribución de la temperatura mínima extrema por municipio .....	27
Figura 25 Índice de temperatura mínima extrema según municipio .....	29
Figura 26 Distribución de los intervalos del índice de bajas temperaturas .....	30
Figura 27 Grado de peligro por bajas temperaturas construido con los índices de temperatura mínima y días con heladas .....	31

Figura 28 Promedio de ondas cálidas en México (Matías Ramírez, y otros, 2012) .....	32
Figura 29 Grado de peligro por sequía (Escalante Sandoval, y otros, 2005) .....	33
Figura 30 Déficit promedio de lluvia (%) respecto a su lluvia media anual .....	34
Figura 31 Duración de la Sequía promedio D (años) .....	34
Figura 32 Grado de peligro por sequía .....	35
Figura 33 Haboob en Ahwatukee, Phoenix, Arizona, el 22 de agosto de 2003 (Wikipedia, 2007) .....	36
Figura 34 Tormentas de polvo que se generaban en el área de Texcoco y se depositaban en la zona urbana del valle de México (CONAGUA, 2007) .....	37
Figura 35 Presencia de tornados en municipios de México .....	38
Figura 36 Grado de vulnerabilidad social municipal.....	39
Figura 37 Densidad de población municipal de acuerdo al censo 2010.....	40
Figura 38 Logaritmo natural de la densidad de población más tres municipal de acuerdo al censo 2010.....	41
Figura 39 Logaritmo de la densidad de población más tres por la vulnerabilidad social....	42
Figura 40 Grado de riesgo por ciclones tropicales .....	43
Figura 41 Porcentaje de población estatal en riesgo por ciclones tropicales.....	43
Figura 42 Grado de riesgo por nevadas.....	44
Figura 43 Porcentaje de población estatal en riesgo por nevadas .....	45
Figura 44 Grado de riesgo por granizo.....	45
Figura 45 Porcentaje de población estatal en riesgo por tormentas de granizo.....	46
Figura 46 Grado de riesgo por tormentas eléctricas .....	47
Figura 47 Porcentaje de población estatal en riesgo por tormentas eléctricas .....	47
Figura 48 Grado de riesgo por bajas temperaturas .....	48
Figura 49 Porcentaje de población estatal en riesgo por bajas temperaturas .....	49
Figura 50 Grado de riesgo por sequía.....	50
Figura 51 Porcentaje de población estatal en riesgo por sequía .....	50
Figura 52 Porcentaje de población estatal en riesgo alto y muy alto por fenómenos hidrometeorológicos.....	52

## *Lista de Tablas*

Tabla 1 Intensidad asociada a la categoría de los ciclones tropicales de la escala Saffir-Simpson.....	8
Tabla 2 Ejemplo de la base de datos referente a la frecuencia de nevadas .....	13
Tabla 3 Valores propuestos para construir el índice de frecuencia por nevadas .....	15
Tabla 4 Número de días con granizadas.....	17
Tabla 5 Asignación de valores .....	17
Tabla 6 Categorías sugeridas para el índice .....	18
Tabla 7 Intervalos del número de días con tormenta eléctrica .....	20
Tabla 8 Asignación de valores para el número de días con tormentas eléctricas y categorías sugeridas para el índice de peligro por tormentas eléctricas .....	21
Tabla 9 Población y municipios expuestos al peligro por tormentas eléctricas .....	22
Tabla 10 Intervalos del número de días con heladas .....	24
Tabla 11 Asignación de valores para el número de días con heladas.....	25
Tabla 12 Distribución por municipio según el índice de heladas.....	26
Tabla 13 Intervalos de temperatura mínima extrema .....	27
Tabla 14 Temperaturas mínimas diarias en algunas estaciones climatológicas.....	28
Tabla 15 Construcción de intervalos de clases de temperaturas mínimas.....	28
Tabla 16 Valores propuestos para construir el índice de bajas temperaturas.....	29
Tabla 17 Umbrales de temperatura utilizados para el conteo de las ondas de calor.....	32
Tabla 18 Clasificación de las sequías (Escalante Sandoval, y otros, 2005) .....	33
Tabla 19 Índices de peligro por sequía.....	35

## 1. INTRODUCCIÓN

En el 2009 se elaboró un informe que describe una metodología para estimar índices de riesgo para todos los municipios del país por inundaciones y bajas temperaturas (Jiménez Espinosa, y otros, 2009). Durante el 2011 se aplicó dicha metodología al fenómeno de bajas temperaturas y a otros enlistados en la Ley General de Protección Civil (CONGRESO DE LOS E. U. M., 2006), como son huracanes, tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad, heladas, sequías y las ondas cálidas y gélidas. Las inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres son estudiadas en otra área del Centro.

Adicionalmente, se han hecho cambios al modelo de riesgo utilizado en el informe de 2009, ya que la estimación de la vulnerabilidad se hacía mediante el índice de marginación, y la exposición mediante la densidad de población. Ahora se utilizará el índice de vulnerabilidad social (García Arróliga, y otros, 2006) propuesto por el CENAPRED.

Se presentan entonces los mapas de peligro, y de riesgo por cada uno de los fenómenos anteriores.

### 1.1 OBJETIVO

Se obtendrán, o actualizarán, mapas de riesgo nacionales por varios fenómenos hidrometeorológicos, a través de un método de estimación que utiliza información disponible, como es la densidad de población, el grado de vulnerabilidad social e índices de peligro de fenómenos hidrometeorológicos. Al combinarlos se obtendrá una estimación de riesgo con lo que se podrá jerarquizar municipios del país que requieran atención especial, como estudios más detallados de riesgo, o para la adopción de medidas de mitigación inmediatas no estructurales.

## 2. MAPAS DE PELIGRO

La estimación de peligro se ha obtenido de varios estudios, principalmente realizados en la UNAM, a excepción de los de ciclones tropicales; en general, se basan en registros de variables que puedan caracterizar a los fenómenos hidrometeorológicos analizados y que sólo tengan que ver con su parte física. Es conveniente que en el futuro se lleven a cabo actualizaciones de estos estudios y, además, que tomen en cuenta el impacto que producirá el cambio climático.

Los fenómenos hidrometeorológicos analizados son los “agentes atmosféricos” citados en el artículo 3º, inciso XII, de la Ley General de Protección Civil (CONGRESO DE LOS E. U. M., 2006) que se enlistan a continuación:

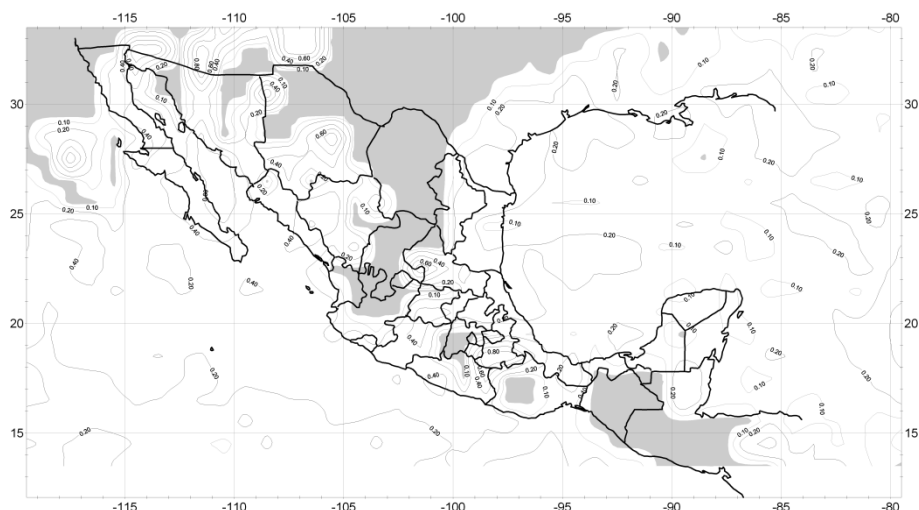
1. huracanes, se usará su acepción general de ciclones tropicales,
2. tormentas de nieve, o nevadas,
3. tormentas de granizo,
4. tormentas de electricidad, o tormentas eléctricas,
5. heladas, o bajas temperaturas u ondas de frío o gélidas,
6. ondas de calor o cálidas,
7. sequías, y
8. tormentas de polvo.

Aunque no se contempla en la Ley General de Protección Civil, se analiza también el fenómeno de tornados debido a la ocurrencia que han tenido en algunos lugares de la República Mexicana; hay una relación estrecha entre las tormentas de granizo, eléctricas, tornados y las tormentas severas que, desafortunadamente, se ha estudiado poco en nuestro país, y de la que se han derivado daños a la población (Prieto González, y otros, 2010).

### 2.1 CICLONES TROPICALES

En la metodología descrita por (Fuentes Mariles, y otros, 2006 pág. 238), donde se obtuvieron mapas de probabilidad de depresiones tropicales hasta huracanes categoría 5 en la escala Saffir-Simpson (Figura 1), se puede obtener la función de peligro, la tasa de excedencia y los periodos de retorno para un lugar en particular.



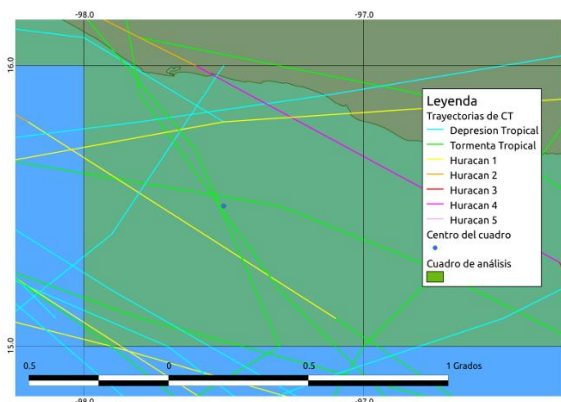


**Figura 1 Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 1**

En este trabajo se modificó el método para obtener un índice de peligro por ciclones tropicales (IPCT) para cada uno de los 2,456 municipios que se tienen registrados en el censo del 2010, el cual se usará para estimar un índice de riesgo por ocurrencia de estos fenómenos.

En un inicio se realizó el conteo del segmento de trayectoria de los ciclones tropicales (CT) que quedaba dentro de un cuadro de  $1^\circ$  por un  $1^\circ$  geográfico; para dicho conteo se consideraba la mayor categoría que habían alcanzado el CT en el cuadro. Para hacer el conteo de los las trayectorias se creó el programa de cómputo “Cuenta ciclones” (Baeza Ramírez, 2012), en el cual se cargan las capas generadas con el programa “Busca Ciclones” (Jiménez Espinosa, y otros, 2006).

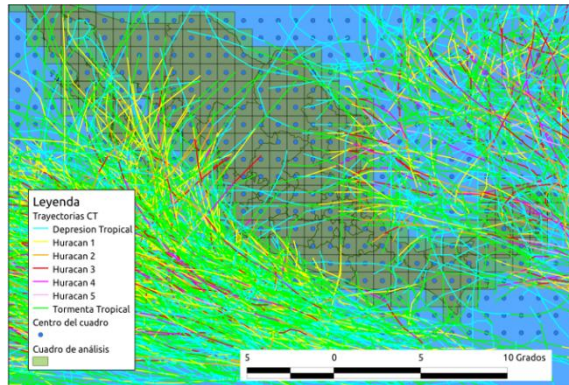
Una de las mejoras que se realizaron con respecto al conteo anterior es que se hace el conteo con un *buffer* de cinco km, ya que los vértices de las trayectorias coincidían con el cambio de intensidad, o bien, con el inicio o fin de la trayectoria, provocando que el conteo fuera erróneo debido a que se contabilizaba la trayectoria con una intensidad menor o no se contaba.



**Figura 2 Muestra de un conteo entre la latitud norte  $15^\circ$  y  $16^\circ$  y longitud  $-98^\circ$  y  $-97^\circ$**

Por otra parte, se consideró un periodo común en las bases de datos de los dos océanos, es decir, se homogeneizaron los periodos utilizando el de 1949 al 2010 (Figura 3), a pesar de que para

el océano Atlántico se tienen registros desde 1851, lo anterior para efectos del cálculo de probabilidad de los eventos.



**Figura 3 Cuadrícula de todo el país para realizar el conteo**

Una vez realizado el conteo por cuadro, se procedió a calcular el IPCT utilizando parte de la metodología descrita en (Fuentes Mariles, y otros, 2006 pág. 284), con la diferencia de que solamente se utilizó hasta la determinación de las tasas de excedencias, posteriormente se utilizó la siguiente expresión

$$IPCT = \sum_{i=1}^7 v(i) * i$$

1

donde:

*IPCT* Índice de peligro por ciclones tropicales  
*v(i)* Tasa de excedencia para la intensidad *i*  
*i* intensidad *i*

**Tabla 1 Intensidad asociada a la categoría de los ciclones tropicales de la escala Saffir-Simpson**

Intensidad <i>i</i>	Categoría
1	Depresión tropical
2	Tormenta tropical
3	Huracán categoría 1
4	Huracán categoría 2
5	Huracán categoría 3
6	Huracán categoría 4
7	Huracán categoría 5

El resultado del conteo es el que se muestra en la Figura 4.

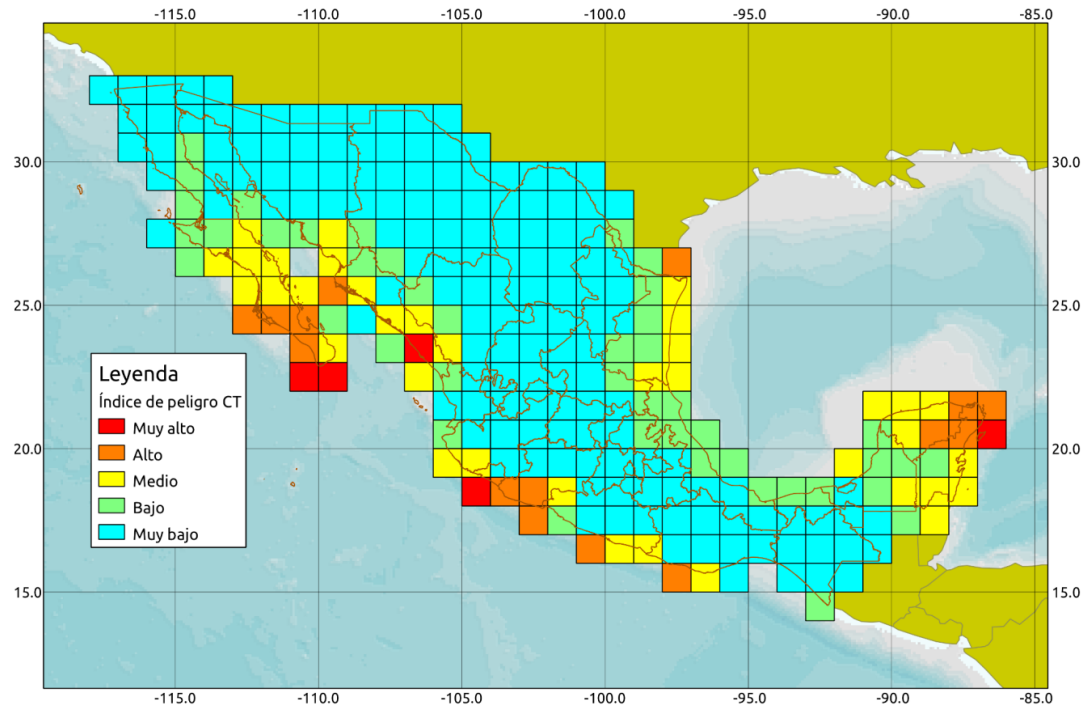


Figura 4 Índice de peligro por ciclones tropicales de México por cuadros de 1° x 1°

Posteriormente se transfirió la información a cada uno de los municipios asignándoles un valor ponderados con el área, en caso de que un municipio estuviera entre varios cuadros (Figura 5). En la Figura 6 se muestra el IPCT para cada uno de los municipios del país.

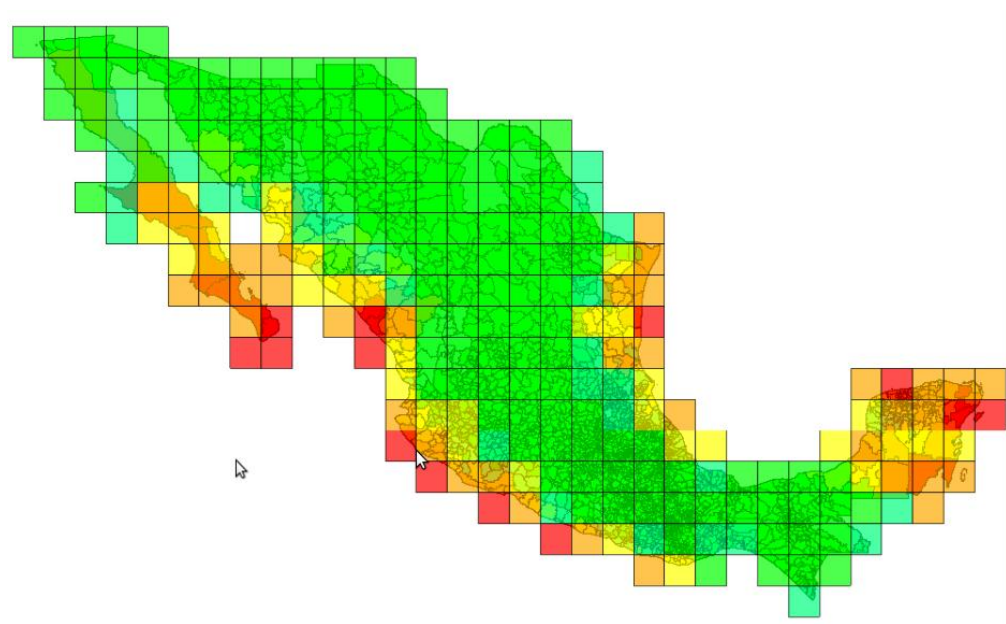
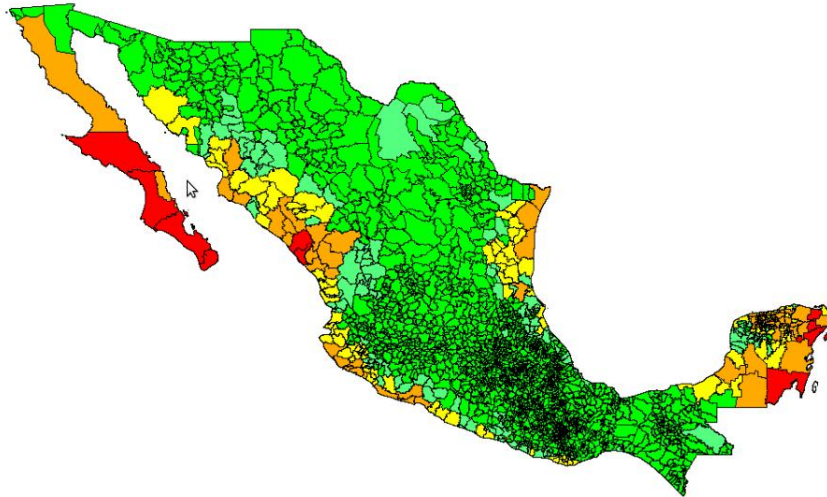


Figura 5 Intersección entre los cuadros y los municipios

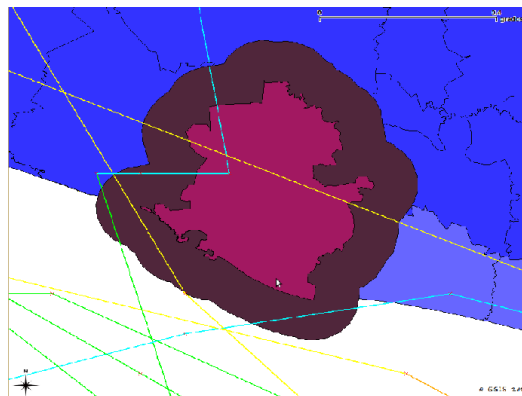


**Figura 6 IPCT de los municipios de México con información de los cuadros**

El conteo anterior supone una estimación relativamente rápida y sencilla de la probabilidad de que ocurra un CT con determinada intensidad; sin embargo, y aprovechando la rapidez actual de las computadoras, se hizo el conteo utilizando cada uno de los polígonos que representan a los municipios del territorio nacional.

Para llevar a cabo lo anterior se utilizó el programa de cómputo *Cuenta Ciclonos* (Baeza Ramírez, 2012) y se realizó la búsqueda dentro de cada municipio, considerando un análisis independiente por cada municipio y adicionando un *buffer* de 10 km, para considerar de manera gruesa a la trayectoria del CT como una franja en la que se perciben los efectos de viento, precipitación, marea de tormenta y oleaje.

En la Figura 7 se presenta el *buffer* que se realizó para el municipio de Acapulco; para este caso el conteo se incrementó en dos ciclones más, la depresión tropical Carlos del 2003 y un huracán de 1951, los cuales provocaron uno o más de los efectos mencionados con antelación.



**Figura 7 Polígono ampliado con el buffer de 10 km del municipio de Acapulco, Guerrero**

En este trabajo no se consideran dentro del análisis las islas (cuyas poblaciones asentadas en ellas son generalmente nulas o muy pequeñas), ya que al estar en los océanos el conteo de trayectorias se incrementa, resultando en ocasiones que en la parte continental el valor del índice se incremente.

Con la metodología descrita con antelación se calculó para cada municipio el IPCT (Figura 8).



Figura 8 Grado de peligro por presencia de ciclones tropicales

## 2.2 TORMENTAS DE NIEVE

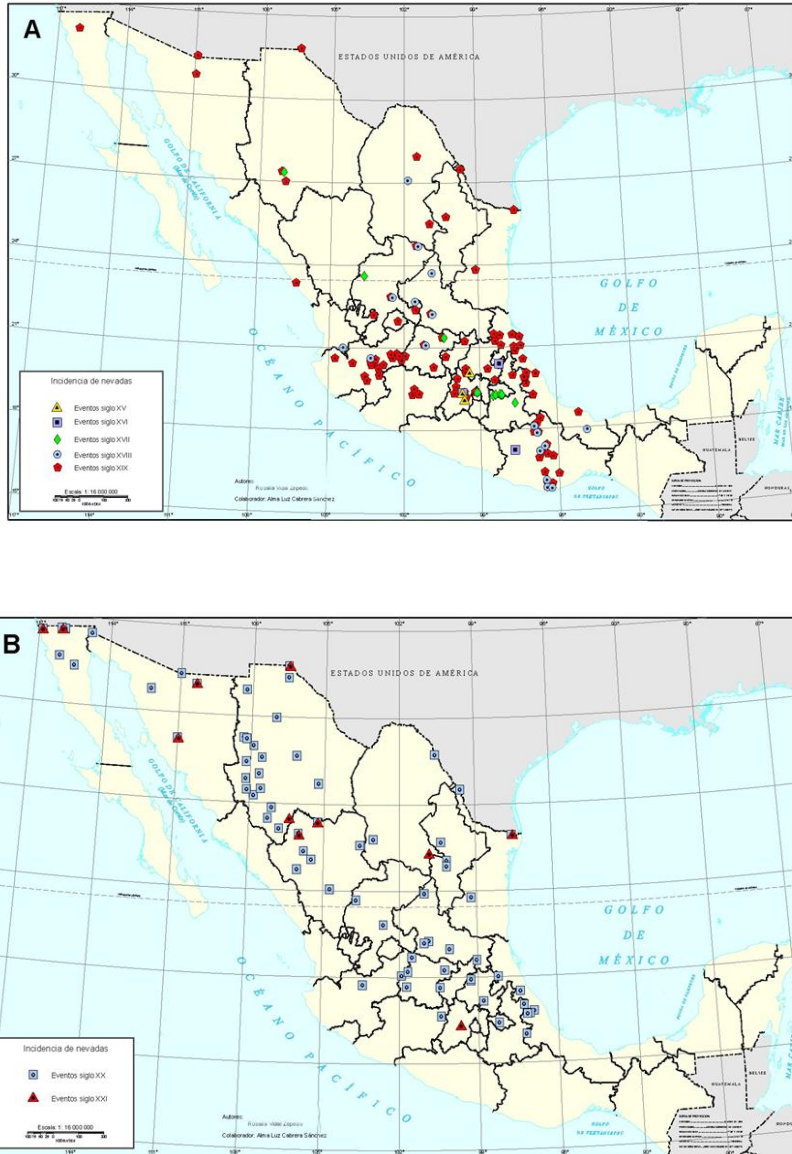
La nevada es una forma de precipitación que consiste en la caída de agua en estado sólido, en forma de pequeños cristales de hielo, que caen individualmente o agrupándose en copos de nieve. Para que se forme el meteoro es necesario que en el ambiente exista una alta concentración de humedad en la atmósfera y una temperatura inferior a los 0°C (OMM, 1993).

En México, las nevadas se presentan principalmente en las partes altas de las montañas y en ocasiones llegan a los valles altos, donde la caída de nieve puede ocasionar severos daños, dependiendo de la intensidad y de los sitios donde ocurra, por ejemplo, en las ciudades genera problemas al tránsito vehicular y retraso en las operaciones aéreas, mientras que en el campo dificulta las actividades al aire libre y, en ocasiones, el colapso de los techos de las viviendas endebles. Por otra parte, este fenómeno es importante para la recarga de los glaciares, debido a que la nieve refleja una mayor cantidad de radiación solar que cualquier otra superficie y, desde el punto de vista hidrológico, se utiliza como depósitos de agua (Moltó, 2000).

Para la formación de un índice de peligro por nevadas (IPN) se utilizaron los mapas del Nuevo Atlas Nacional de México de la (Vidal, y otros, 2007 págs. carta NA-XIV-6), los cuales



contienen los sitios donde han ocurrido nevadas en el país a nivel localidad durante las épocas prehispánica, Colonial y del siglo XIX. Otra fuente de información son los registros periodísticos, documentos y notas informativas de las Unidades Estatales de Protección Civil (UEPC), reportes de CONAGUA y de SAGARPA que cubren hasta los eventos de 2011, pero a nivel municipal. Además, se recurrió a la consulta de los mapas de nevadas de los Estados Unidos de América.



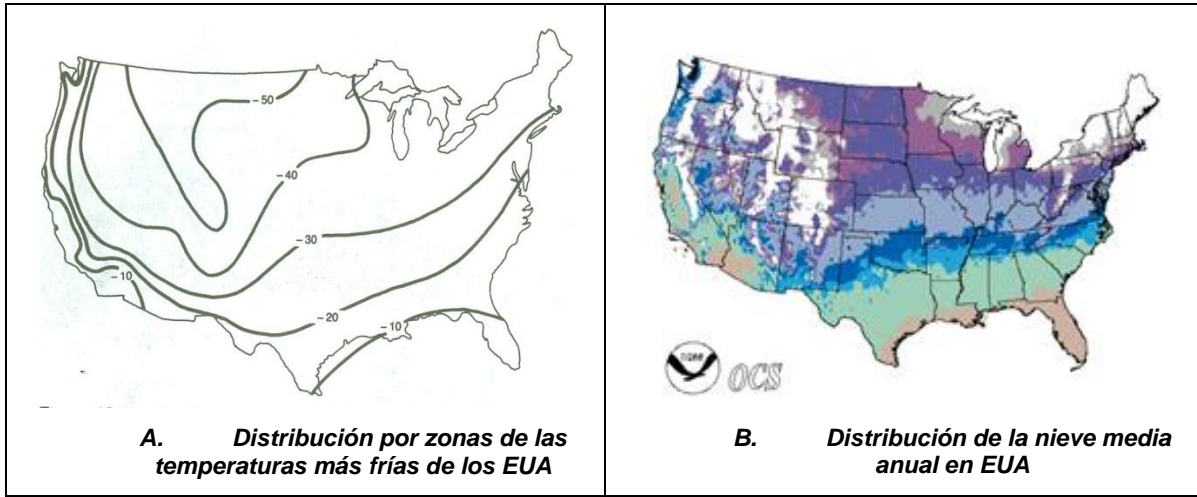
**Figura 9 Nevadas históricas en México. (A) siglos XV a XIX, (B) siglos XX y XXI (Vidal, y otros, 2007)**

El IPN se basó en la frecuencia del fenómeno, que implica contar el número de veces donde han ocurrido eventos a nivel municipal. Con base en la información de las figuras anteriores, notas periodísticas y en las notas informativas de las UEPC se calificó a cada uno de los municipios del país, como se ejemplifica en la siguiente tabla.

**Tabla 2 Ejemplo de la base de datos referente a la frecuencia de nevadas**

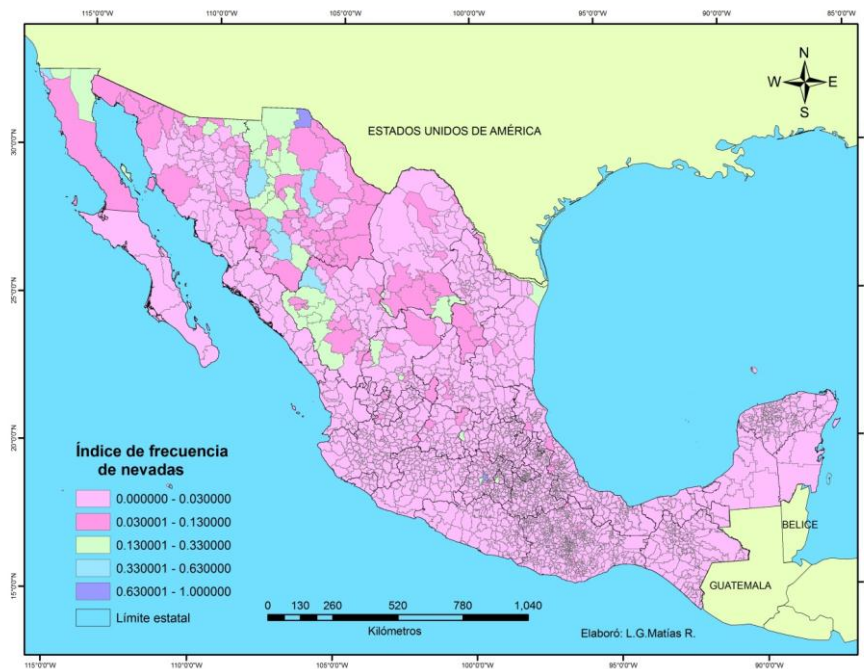
Estado	Municipio	Clave Municipio	Frecuencia
Aguascalientes	Aguascalientes	1001	1
Aguascalientes	Asientos	1002	1
Aguascalientes	Calvillo	1003	1
Aguascalientes	Cosío	1004	1
Aguascalientes	San José de Gracia	1008	1
Aguascalientes	Tepezala	1009	1
Aguascalientes	San Francisco de los Romo	1011	1
Baja California	Ensenada	2001	2
Baja California	Mexicali	2002	5
Baja California	Tecate	2003	5
Baja California	Tijuana	2004	14
Coahuila	Abasolo	5001	1
Coahuila	Acuña	5002	1
Coahuila	Allende	5003	1
Coahuila	Arteaga	5004	5
Coahuila	Candela	5005	1
Coahuila	Castaños	5006	1

La base de datos contiene información para 440 municipios, que corresponde al 17.9% de los municipios del país, donde existen registros de por lo menos una nevada en alguno de ellos, sin embargo, Juárez es el lugar con más eventos, es decir, 30 casos. Cabe hacer mención, que varios municipios del norte de México no presentaban información, por lo que se decidió utilizar los mapas disponibles de los Estados Unidos de América (ESSA, 1968), (Erickson, 1991) y (NOAA, 2002) (Figura 10) e inferir un valor para aquellos sitios faltantes.



**Figura 10 Mapas de apoyo para calificar a los municipios de la frontera de México y EUA (NOAA, 2002) y (Erickson, 1991)**

Con el propósito de comparar estos sitios se divide el número de eventos registrados entre el dato más alto para obtener un índice de frecuencia para este fenómeno (Figura 11).



**Figura 11 Intervalos del índice de frecuencia de nevadas**

De la figura anterior, resulta que el 93.8% de los municipios del país no han registrado nevadas, aquéllos donde ha ocurrido el fenómeno pertenecen a los estados de Baja California,



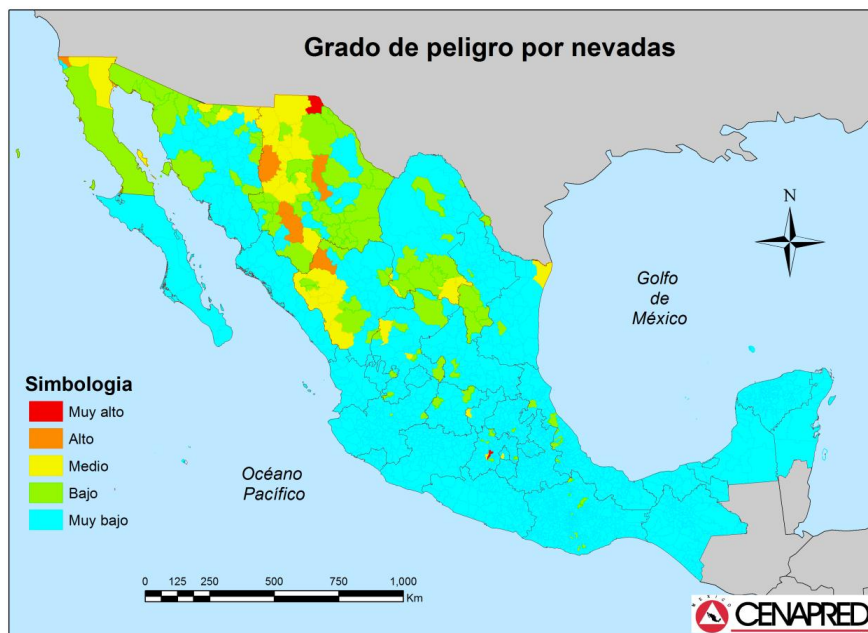
Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas.

Con base en el número de eventos, se estableció la siguiente caracterización del índice, el cual aparece en la Tabla 3; se observa que en dos municipios del país se concentran los mayores eventos, Juárez en Chihuahua y Toluca en el Estado de México, con 30 y 24 casos, respectivamente.

**Tabla 3 Valores propuestos para construir el índice de frecuencia por nevadas**

Índice	Valor	Intervalos	Municipios	Población
Muy bajo	1	0.00-0.03	2306	90,448,242
Bajo	2	0.03-0.13	110	11,706,038
Medio	3	0.13-0.33	32	5,533,125
Alto	4	0.33-0.63	6	2,497,441
Muy alto	5	0.63-1.00	2	2,151,692
		<b>Total</b>	<b>2456</b>	<b>112,336,538</b>

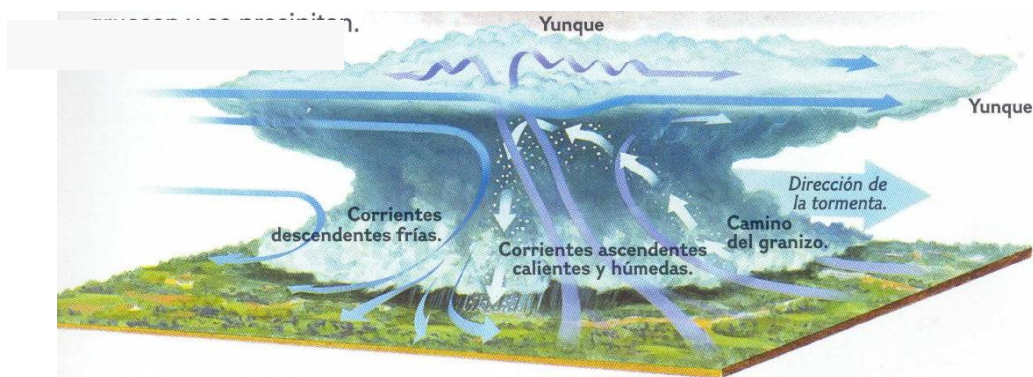
Como se puede apreciar en la tabla anterior hay 40 municipios de México que presentan un índice de frecuencia con características de medio a muy alto y, corresponden principalmente a Baja California, Coahuila, Chihuahua, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Querétaro, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas, donde se concentran 10,182,258 habitantes, que significa el 9.06 % de la población total del país. Dichos municipios aparecen en color amarillo a rojo (en la versión electrónica) en la Figura 12. Además, se muestra que el noroeste del país es afectado en mayor medida por nevadas, mientras que en el centro de México son escasos los eventos, con excepción de Toluca y Zinacantepec, que sobresale en dicha región y donde las temperaturas mínimas han llegado a descender drásticamente. Esto significa que ambos sitios se localizan en un valle alto, es decir, de 2,000 a 3,000 msnm.



**Figura 12 Índice de peligro por nevadas a escala municipal**

## 2.3 TORMENTAS DE GRANIZO

El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo. El granizo se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo *cumulunimbus* son arrastrados por corrientes ascendentes y descendentes de aire (Figura 13).



**Figura 13 Formación de las tormentas de granizo (National Geographic Society, 1998)**

Las piedras de granizo se forman dentro de una nube *cumulunimbus* a alturas superiores al nivel de congelación y crecen por las colisiones sucesivas de estas partículas de agua sobre-enfriada, esto es, el agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido y queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire caen hacia el suelo. El tamaño de las piedras de granizo está entre los 5 mm de diámetro hasta pedriscos del tamaño de una pelota de golf, y las mayores pueden ser muy destructivas, como para romper ventanas y abollar la lámina de los automóviles, pero el mayor daño se produce en los cultivos, o a veces, varias piedras pueden solidificarse formando grandes masas de hielo y nieve sin forma.

El depósito del granizo sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur.

En la República Mexicana se registran granizadas principalmente en la región del altiplano, particularmente en los valles de la porción sur de éste y en la Sierra Madre Occidental, así como en la Sierra Madre del Sur y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora (Figura 14). Las ciudades que con mayor frecuencia son afectadas, son Puebla, Pachuca, Tlaxcala, Zacatecas y la ciudad de México donde se tiene la mayor incidencia durante los meses de mayo, julio y agosto.



**Figura 14 Número de días con granizo, al año en la Republica Mexicana (Vidal, y otros, 2007)**

Para determinar el índice de peligro por tormentas de granizo (IPTG) se utilizó como parámetro el número de días con granizo del mapa del Nuevo Atlas Nacional de México (Vidal, y otros, 2007) (Figura 14), donde se tienen los intervalos que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4 Número de días con granizadas**

Días
> 5
2 - 5
1 - 2
0 - 1
Sin granizo

A cada uno de los intervalos de la tabla anterior se le asignó un valor, el cual se calculó a partir de las diferencias de los límites superiores de los intervalos de los números de días con granizo, quedando de la siguiente forma:

**Tabla 5 Asignación de valores**

Número de días con heladas	Valor
> 5	7.5
2 - 5	3.5
1 - 2	1.5
0 - 1	0.5
Sin granizo	0

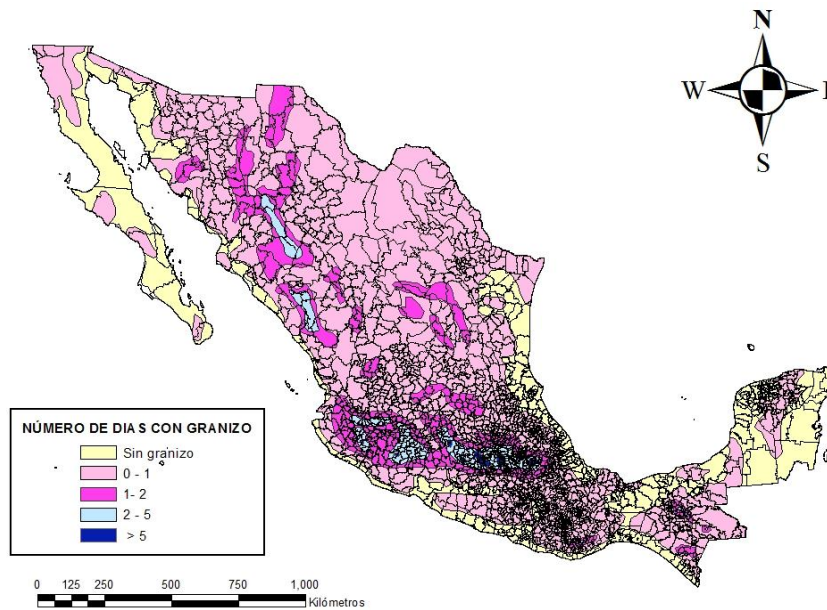
El cálculo del índice se realizó a partir de cada valor dividido entre el dato más alto. De esta forma se obtienen las siguientes categorías (Tabla 6).

**Tabla 6 Categorías sugeridas para el índice**

Número de días con heladas	Valor	Índice	Categoría
> 5	7.5	1.00	Muy alto
2 - 5	3.5	0.47	Alto
1 - 2	1.5	0.20	Medio
0 - 1	0.5	0.07	Bajo
Sin granizo	0	0	Muy bajo o nula

Para obtener el mapa de IPTG a nivel municipal se utilizaron dos archivos en formato shape (\*.shp), uno con el número de días con granizo y otro con información de municipios de acuerdo con el censo 2010 (Figura 15). De esta manera se asignó una calificación a cada municipio, según la capa de las áreas de número de días con granizadas; sin embargo, hay ocasiones donde más de un área afecta a un municipio, en este caso se utilizó la de mayor número de días con granizadas, es decir, se califica con la más desfavorable (Figura 16).

De este índice se concluye que sólo el 15% de los municipios de México tiene una alta exposición a las granizadas, y son aquéllos que se encuentran sobre la Sierra Madre Occidental, en el Sistema Volcánico Transversal y en algunas zonas altas de Oaxaca y Chiapas.



**Figura 15 Capas de días con granizo y municipios**

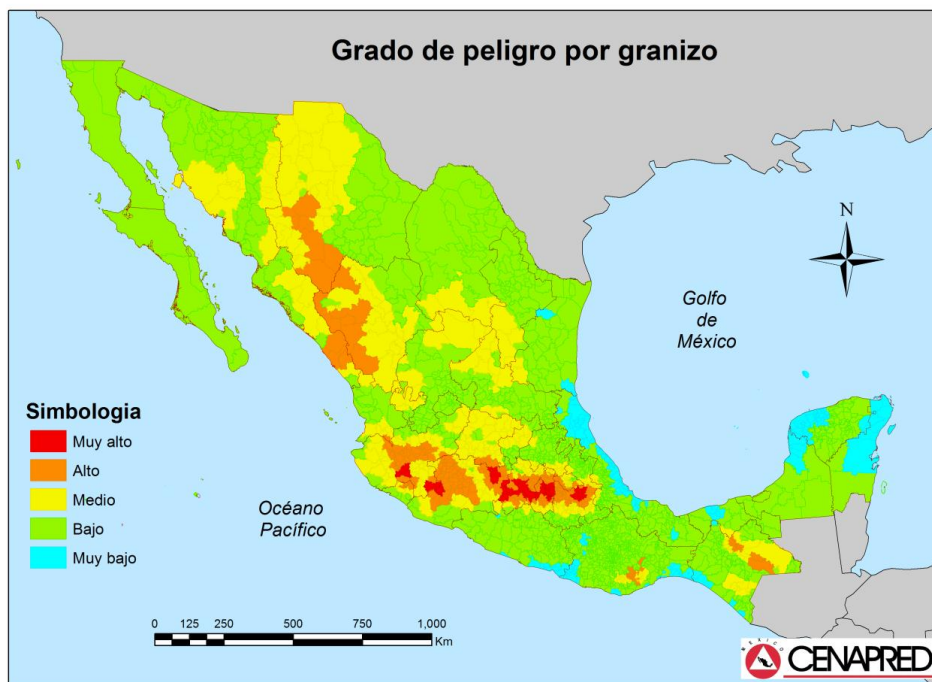


Figura 16 Índice de peligro por tormentas de granizo por municipio

## 2.4 TORMENTAS DE ELÉCTRICAS

Cada día se producen en el mundo cerca de 44,000 tormentas y se generan 8, 000,000 de rayos. Las tormentas eléctricas pueden ocurrir en cualquier parte del mundo y a cualquier hora del día, principalmente en primavera y verano (Erickson, 1991).

En México, las tormentas eléctricas ocurren con mayor frecuencia en verano y un 10% en otoño e invierno (García, y otros, 2007). Estos fenómenos son peligrosos, debido a que los rayos ocasionan incendios y pueden ocasionar heridos y muertos.

Debido a la alta exposición de la población en el país a este meteoro, como se verá más adelante, y a la falta de una metodología para conocer el peligro por tormentas eléctricas, se propone una metodología para calcular el índice de peligro por tormentas eléctricas.

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas y suelen acompañarse de precipitación en forma de chubascos de lluvia, hielo e, incluso, de nieve (OMM, 1993).

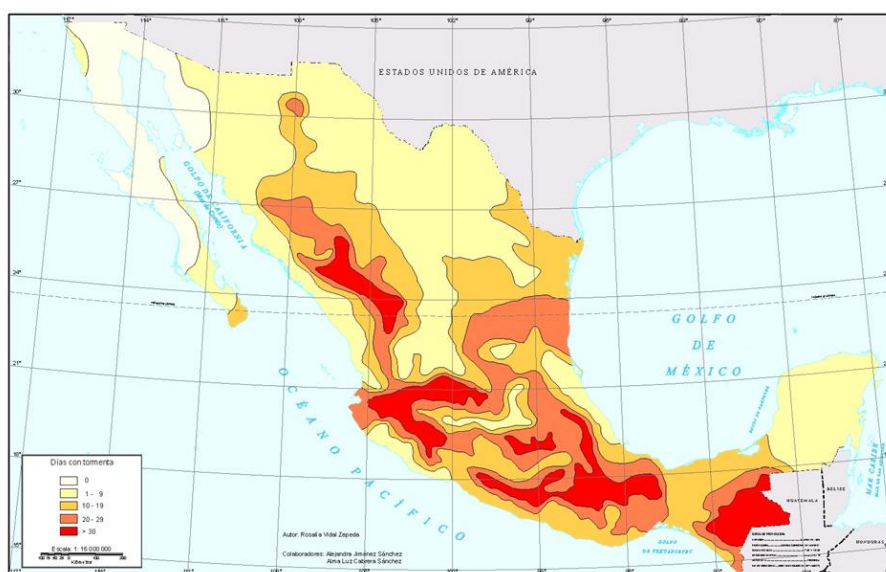
El ciclo de duración de una tormenta es de sólo una a dos horas, son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados (García, y otros, 2007).

En México ocurren 30 días con tormentas en promedio anual y el máximo es de 100, principalmente sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del norte de Chiapas y Sistema Volcánico Transversal (Vidal, 2007).



Los efectos de las tormentas eléctricas van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa e indirecta, dañar la infraestructura de la población, provocar la muerte del ganado y hasta generar accidentes aéreos. En el país durante 2011 hubo 15 decesos por alcance de rayo, particularmente en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Sinaloa, Sonora y Veracruz (DGPC, 2011).

Para construir el índice de peligro por tormentas eléctricas a escala municipal, se utilizó el mapa del Nuevo Atlas de México (Vidal, 2007), el cual contiene información de varias estaciones climatológicas del país y los registros cubren el periodo de 1970 al 2002 (Figura 17).



**Figura 17 Número de días con tormenta eléctrica (promedio anual) (Vidal, 2007)**

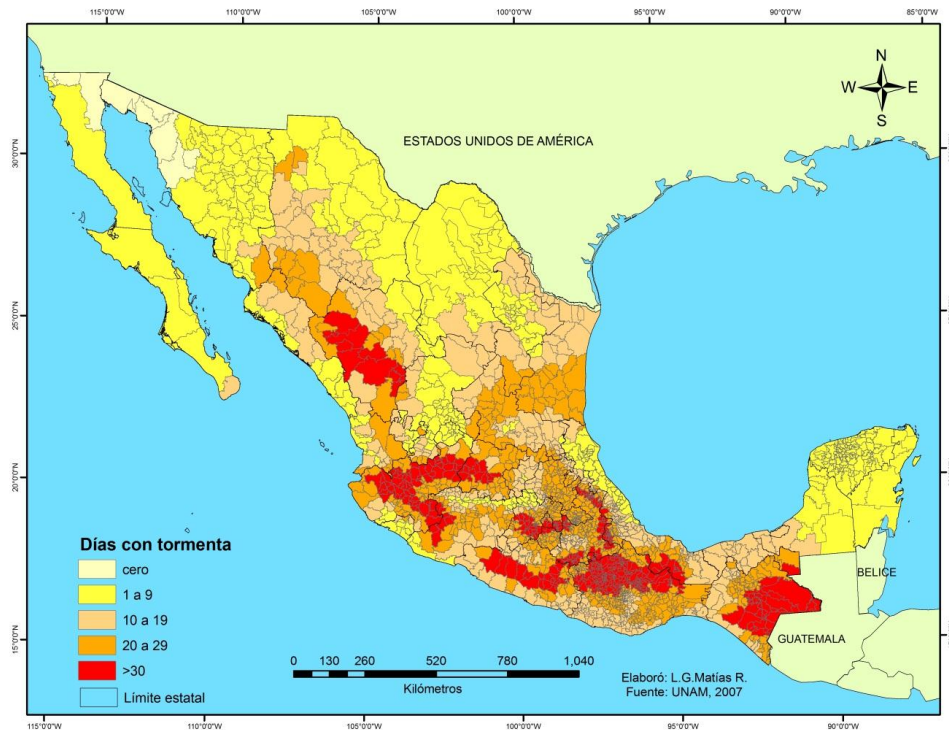
#### 2.4.1 Cálculo del índice de peligro por tormentas eléctricas

Debido a la necesidad de caracterizar a los municipios de México y establecer el nivel de peligro de éstos asociados con las tormentas eléctricas, se modificó el mapa de la Figura 17, con el propósito de asignar un valor a cada municipio del país. Con base en la información de una de las isólinas, es decir, si varias de éstas tocaron un municipio, se asignó el valor más alto de la isólinea. Para ello se establecieron los intervalos que se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7 Intervalos del número de días con tormenta eléctrica**

Días con tormenta eléctrica
Cero
1 - 9
10 - 19
20 - 29
>30

De la Figura 18 se observa que cada municipio tiene asignado un valor entre los intervalos que aparecen en la Tabla 7, por lo que las regiones que se muestran en la Figura 17 no son idénticas, debido a la configuración y tamaño de los municipios.



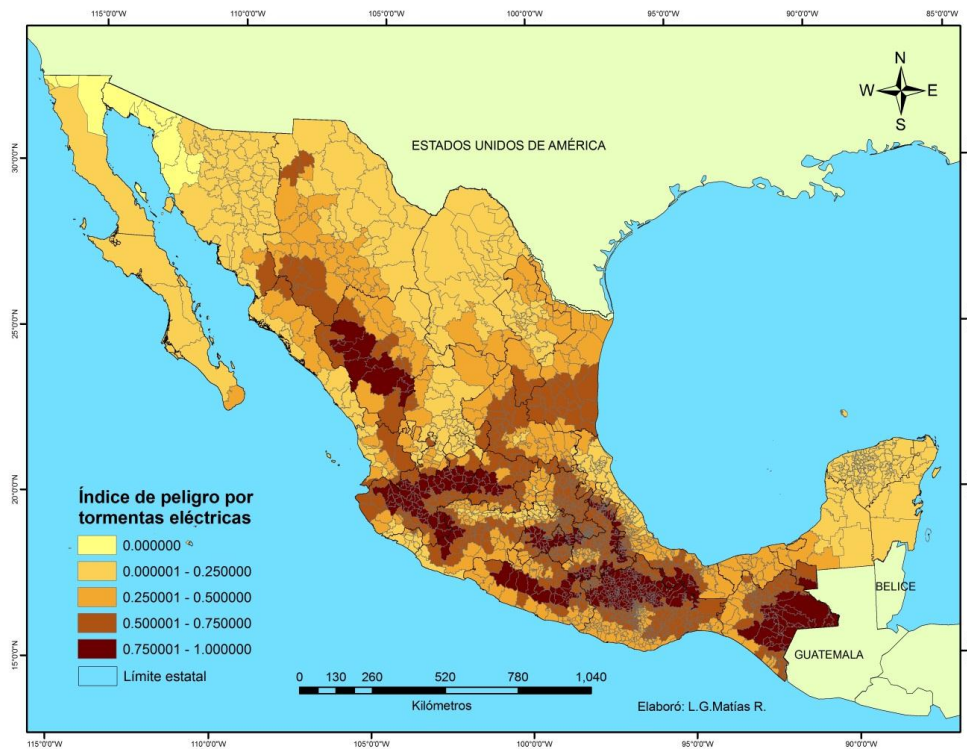
**Figura 18 Asignación de valores por municipio, respecto al número de días con tormenta eléctrica (promedio anual)**

Después se asignó un valor a cada uno de éstos y a partir de cada valor que se divide entre el dato más alto se obtienen las siguientes categorías (Tabla 8).

**Tabla 8 Asignación de valores para el número de días con tormentas eléctricas y categorías sugeridas para el índice de peligro por tormentas eléctricas**

Número de días con tormentas	Valor	Índice	Categoría
Cero	0	0	Muy baja o nula
1 - 9	1	0.25	Baja
10 - 19	2	0.50	Media
20 - 29	3	0.75	Alta
>30	4	1.0	Muy alta

Con el proceso anterior se construyó la Figura 19, donde se observa que la región sobre la Sierra Madre Occidental es más pequeña que la original, debido al tamaño de los municipios, mientras que las demás zonas continúan con el patrón de la Figura 17.



**Figura 19 Índice de peligro por tormentas eléctricas a nivel municipal**

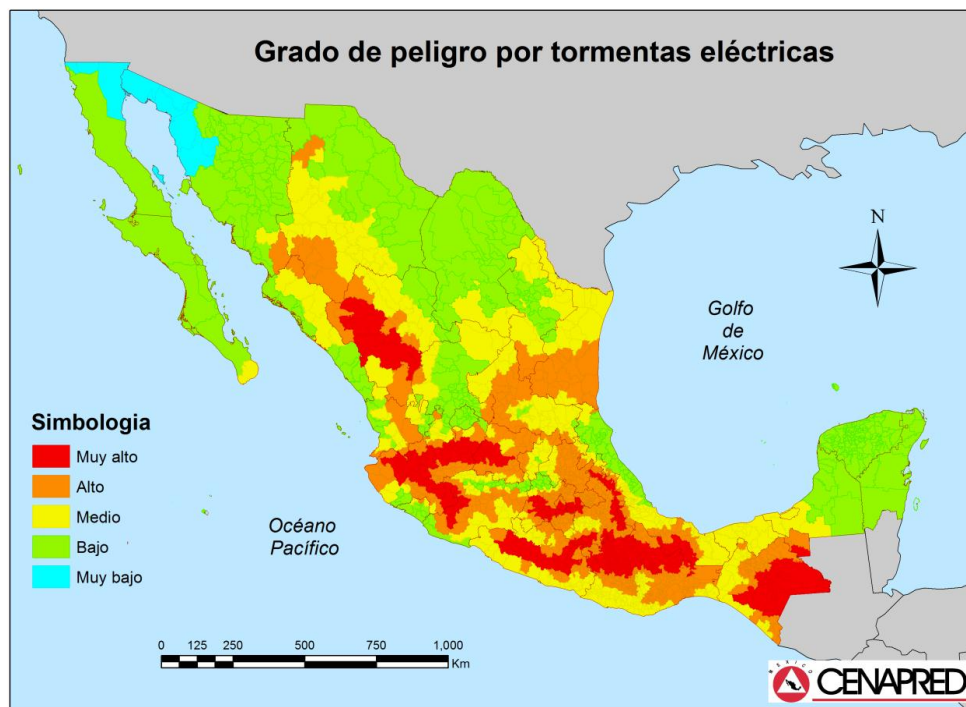
Finalmente se obtuvo el número de municipios y cantidad de población que podría estar expuesta al peligro por tormentas eléctricas, como se muestra en la Tabla 9 y los resultados geográficos en la Figura 20.

**Tabla 9 Población y municipios expuestos al peligro por tormentas eléctricas**

Número de días con tormentas	Valor	Índice	Categoría	Municipios	Población
Cero	0	0	Muy baja o nula	9	2,941,470
1 - 9	1	0.25	Baja	466	24,579,376
10 - 19	2	0.50	Media	570	20,642,197
20 - 29	3	0.75	Alta	846	44,084,238
>30	4	1.0	Muy alta	565	20,089,257
<b>Total</b>				<b>2,456</b>	<b>112,336,538</b>

De la tabla anterior resulta que más del 57.4% de los municipios del país muestran una condición de peligro alto y muy alto, donde los habitantes expuestos son 64, 173,495, que corresponde al 57.1% de la población total de México.





**Figura 20 Categorización del índice de peligro por tormentas eléctricas a nivel municipal**

De la Figura 20 destaca la región de peligro muy alto, localizada en el estado de Oaxaca, debido a que concentra el mayor número de municipios con 265, y una población de 1, 215,946, además de estar sobre los principales sistemas montañosos del estado.

## 2.5 BAJAS TEMPERATURAS

Las bajas temperaturas en México se presentan durante los meses de noviembre a marzo, siendo los meses más fríos, diciembre y enero. En este periodo, el fenómeno genera severos problemas en la salud, infraestructura y en los bienes de la población, que en ocasiones se traducen en pérdidas de vidas humanas.

Para conocer los lugares más susceptibles a este fenómeno se actualiza la metodología del índice de peligro por bajas temperaturas (IPBT) (Jiménez Espinosa, y otros, 2009), el cual se forma primordialmente con las características físicas del meteoro.

El IPBT utiliza los parámetros de días con heladas y temperaturas mínimas extremas, los cuales se obtienen a escala municipal.

El fenómeno de bajas temperaturas en México está cobrando más decesos que otros eventos hidrometeorológicos (CENAPRED, 2009 pág. 16), ello se debe principalmente a la falta de un sistema de alerta eficaz para advertir con tiempo a la población en caso de ocurrir un descenso de temperatura.

Por tal motivo, en (Jiménez Espinosa, y otros, 2009) se elaboró una metodología para estimar el índice de peligro por bajas temperaturas, en ella se utilizan tres parámetros que son el

número de días con heladas, las temperaturas mínimas extremas y el número de declaratorias emitidas para dichos fenómenos. En el cálculo se utilizaron promedios pesados, donde se brindó mayor peso a las declaratorias y el mismo valor al fenómeno natural. En el presente trabajo se propone un cambio a la metodología anterior.

Para caracterizar a las bajas temperaturas en México se consultaron los mapas del Nuevo Atlas Nacional de México, referentes al número de días con heladas (Vidal, 2007 págs. Carta NA-XIV-6) y el de temperatura mínima extrema (Vidal, 2007 págs. Carta NA-IV-3), los cuales abarcan el periodo de 1970 al 2002. Además se analizaron las notas técnicas de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, 2011) para obtener testimonios de los últimos años, es decir, se compilaron datos hasta marzo de 2011.

Para valorar el índice de peligro por bajas temperaturas, se procedió a estimar sólo la evaluación del fenómeno natural, con base en toda la información compilada, quedando de la siguiente manera:

$$IPBT = I_{tmext}(0.5) + I_{hel}(0.5)$$

2

donde:

IPBT es el índice de peligro por bajas temperaturas

$I_{hel}$  es el índice de días con heladas

$I_{tmext}$  corresponde al índice de temperaturas mínimas extremas

### 2.5.1 Índice del número de días con helada

Respecto al número de días con heladas (Figura 21) se utilizó el mapa del Nuevo Atlas Nacional de México (Vidal, 2007 págs. Carta NA-XIV-6), donde se asignó una calificación a cada municipio según la isolínea que cubre a éste; sin embargo, hay ocasiones donde más de una isolínea toca a un lugar, en este caso se utilizó la de mayor número de días con heladas, es decir, se calificó con la más desfavorable, los intervalos obtenidos se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10 Intervalos del número de días con heladas**

Días
> 120
61-120
1 – 60
cero

Después se asignó un valor a cada uno de éstos, el cálculo del índice de días con heladas es a partir de cada valor que se divide entre el dato más alto, y después se multiplica por 0.5. De esta forma se obtienen las siguientes categorías (Tabla 11).

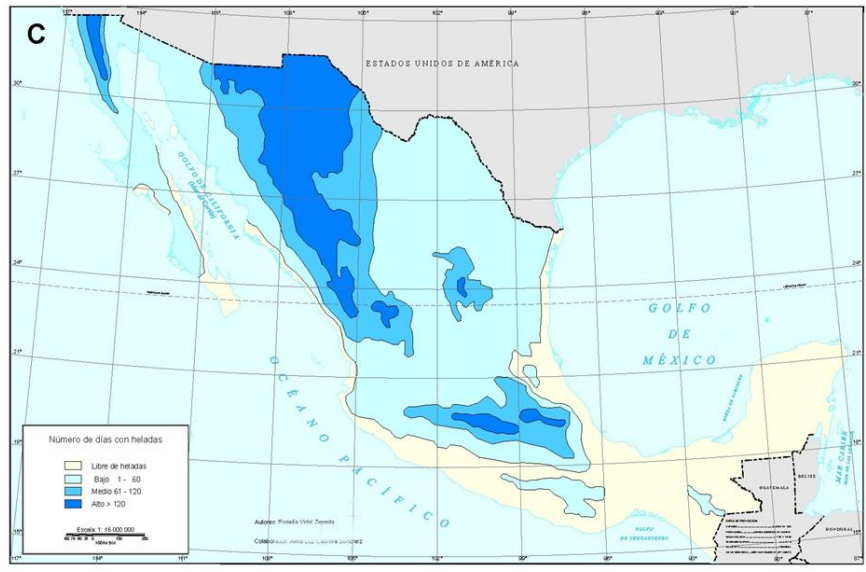


Figura 21 Número de días con heladas en México (Vidal, 2007 págs. Carta NA-XIV-6)

Tabla 11 Asignación de valores para el número de días con heladas

Número de días con heladas	Valor	lhel	Categoría
> 120	3	0.5	Alta
61-120	2	0.375	Media
1 – 60	1	0.25	Baja
cero	0	0.125	Muy baja o nula

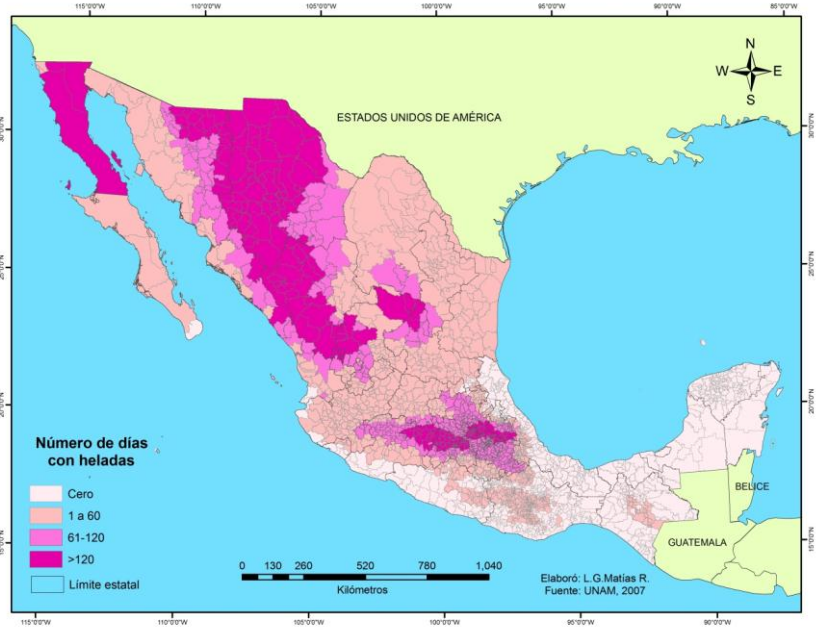
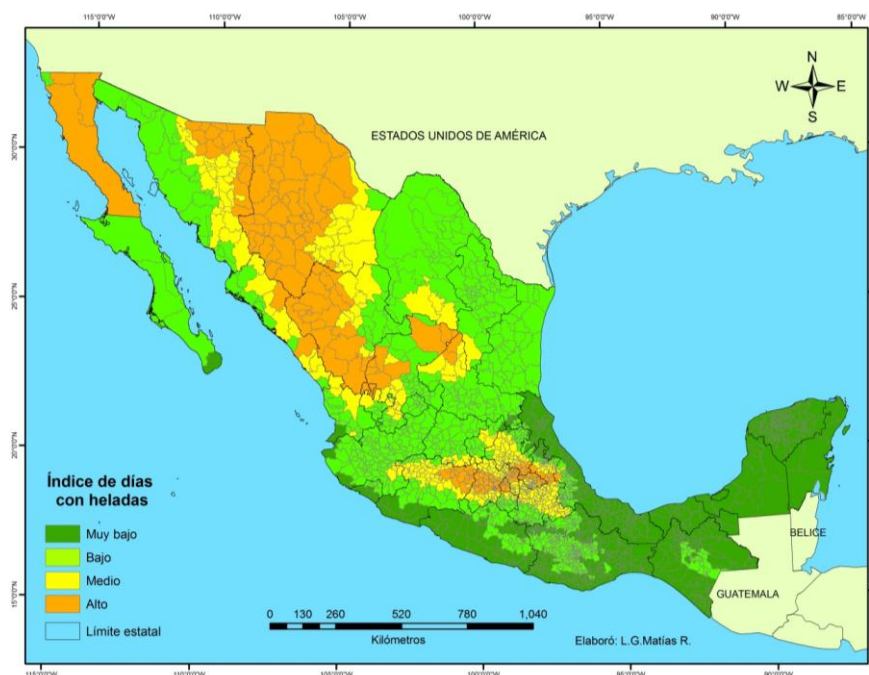


Figura 22 Número de días con heladas por municipio

De la Figura 22 se deduce que existen dos grandes regiones de México que son afectadas por las heladas, la de mayor extensión es la que se ubica en el noroeste del país, principalmente sobre las Sierras Madre Occidental y San Pedro Mártir, en menor tamaño, pero no menos importante es la del centro del país, debido a que en esta última se localiza la mayor concentración de población, principalmente por estar en el Estado de México y el Distrito Federal, los cuales sobresalen en color fiusha.

Finalmente, se obtiene el índice de días con heladas que aparece en la Figura 23, en ella destacan las regiones del noroeste y centro del país con un índice alto.



**Figura 23 Índice de días con heladas por municipio**

De este índice se concluye que sólo el 9.07% de los municipios de México tienen una alta exposición a las heladas (Tabla 12), y son aquéllos que se encuentran sobre las Sierras Madre Occidental, de Juárez en Baja California, de Mazapil en Zacatecas, del Bozal en San Luis Potosí y en el Sistema Volcánico Transversal.

**Tabla 12 Distribución por municipio según el índice de heladas**

Número de días con heladas	Valor	Índice	Categoría	Municipios
> 120	3	0.5	Alta	223
61-120	2	0.375	Media	465
1 – 60	1	0.25	Baja	1051
cero	0	0.125	Muy baja o nula	717
<b>Total</b>				<b>2456</b>

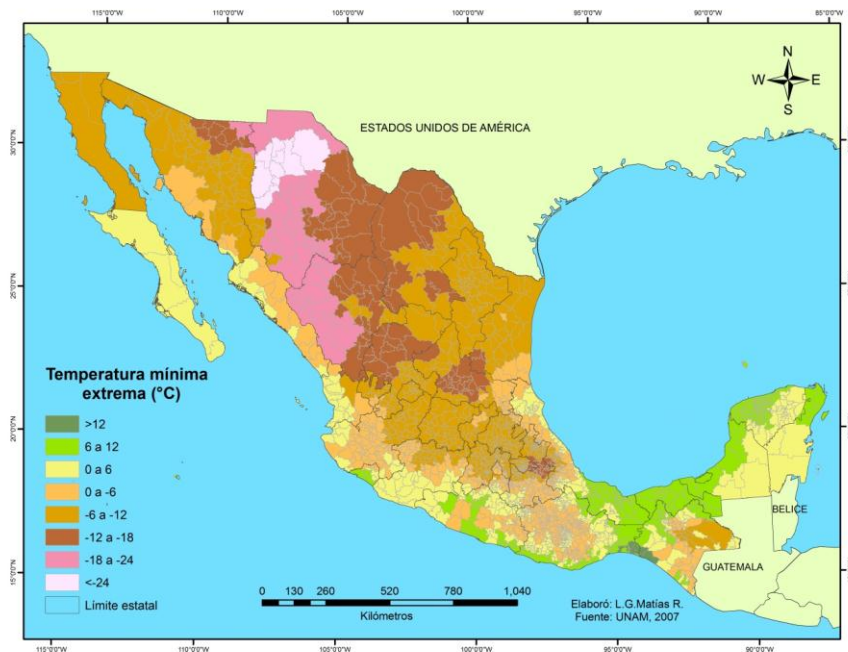
### 2.5.2 Índice de la temperatura mínima extrema

Para el caso de las temperaturas mínimas extremas también se contó con el mapa digital correspondiente al Nuevo Atlas Nacional de México (Vidal, 2007 págs. Carta NA-IV-3), en el que aparecen las isotermas con los siguientes valores:

**Tabla 13 Intervalos de temperatura mínima extrema**

Temperatura °C
> 12
6 a 12
0 a 6
0 a -6
-6 a -12
-12 a -18
-18 a -24
<-24

El mapa de isotermas se trabajó de forma similar al de heladas, es decir, en el caso donde más de una isolínea cubre al municipio se tomó la más desfavorable, así pues, la representación por municipio según este fenómeno se muestra en la Figura 24.



**Figura 24 Distribución de la temperatura mínima extrema por municipio**

De la figura anterior, resulta que el noroeste del país es la región donde la temperatura desciende de manera más intensa e, incluso, en algunos municipios de los estados de Chihuahua y Durango se han registrado valores menores a los  $-21^{\circ}\text{C}$  (Tabla 14).

**Tabla 14 Temperaturas mínimas diarias en algunas estaciones climatológicas**

Estación	Municipio	Estado	Temperatura °C	Día de registro
Los Lamentos	Villa Ahumada	Chihuahua	-29	11-enero-1962
Moctezuma	Villa Ahumada	Chihuahua	-26	11-enero-1962
Galeana	Galeana	Chihuahua	-26	30-enero-1949
Babicora	Gómez Farías	Chihuahua	-26	23-enero-1958
Ciudad Madera	Madera	Chihuahua	-25	21-enero-1988
Mesa de huracán	Madera	Chihuahua	-25	18-enero-1987
Peñitas	Madera	Chihuahua	-25	18-enero-1987
Tejolocachí	Matachí	Chihuahua	-25	30-enero-1986
Santa Bárbara	Santa Bárbara	Durango	-25	13-diciembre-1997
San Juanito	Boycona	Chihuahua	-24	3-enero-1973
Guerrero	Guerrero	Chihuahua	-21	4-febrero-2011
Temósachic	Madera	Chihuahua	-21	4-febrero-2011

Fuente: Elaboración propia con datos de (SMN, 2005), (CONAGUA, 2011)y (SARH, 1982).

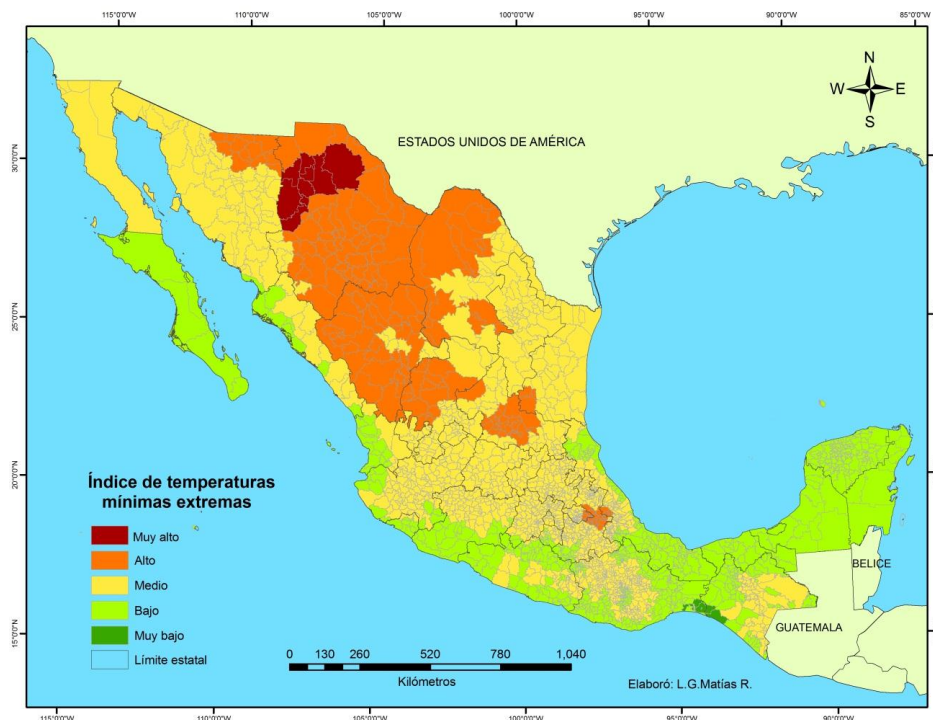
Para continuar el cálculo del índice es necesario establecer intervalos de clases de hasta cinco, donde se tome cada valor y se divida entre el más alto, después se multiplica por 0.5. De esta forma se obtienen las siguientes categorías (Tabla 15). Se observa que, por ejemplo, más del 50% de los municipios del país se encuentran clasificados como de mediana exposición a una temperatura mínima extrema.

**Tabla 15 Construcción de intervalos de clases de temperaturas mínimas**

Temperatura mínima extrema °C	Valor	Índice	Categoría	Municipios
>12	1	0.1	Muy bajo	7
6 a 12	2	0.2	Bajo	723
0 a 6				
0 a -6	3	0.3	Medio	1533
-6 a -12				
-12 a -18	4	0.4	Alto	184
-18 a -24				
<-24	5	0.5	Muy alto	9
			<b>Total</b>	<b>2456</b>

Una vez realizado el proceso anterior se obtiene la Figura 25, donde se observa los índices calculados; en él, destacan, en color rojo, algunos de los municipios de Chihuahua, por ejemplo, Ahumada, Buenaventura, Casas Grandes, Galeana, Ignacio Zaragoza, Gómez Farías, Casas Grandes, Madera Nuevo Casas Grandes y Temósachic, debido a que alcanzaron los valores más altos.





**Figura 25 Índice de temperatura mínima extrema según municipio**

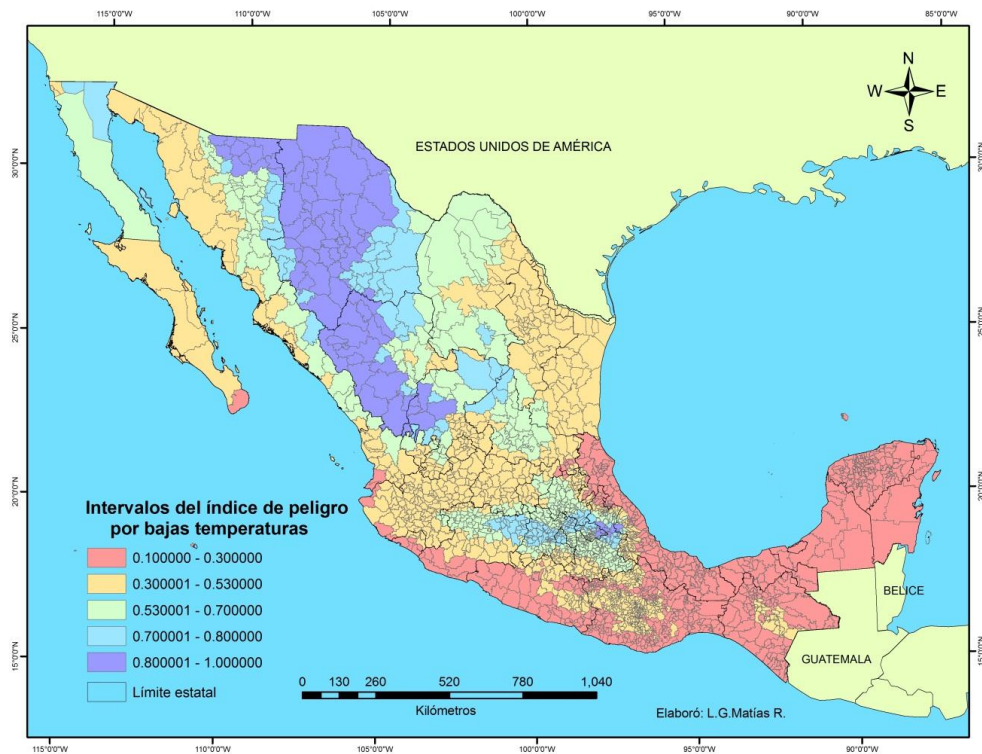
### 2.5.3 Índice de peligro por bajas temperaturas

De acuerdo con la expresión 2 se forma la Tabla 16, en la cual se exponen los valores que forman el índice de frío.

**Tabla 16 Valores propuestos para construir el índice de bajas temperaturas**

Índice de frío	Valor	Intervalos	Municipios	Población
Muy bajo	1	0.10-0.30	717	21,774,851
Bajo	2	0.31-0.53	994	40,221,420
Medio	3	0.54-0.70	477	27,693,360
Alto	4	0.71-0.80	180	17,894,305
Muy alto	5	0.81-1.00	88	4,752,602
<b>Total</b>			<b>2456</b>	<b>112,336,538</b>

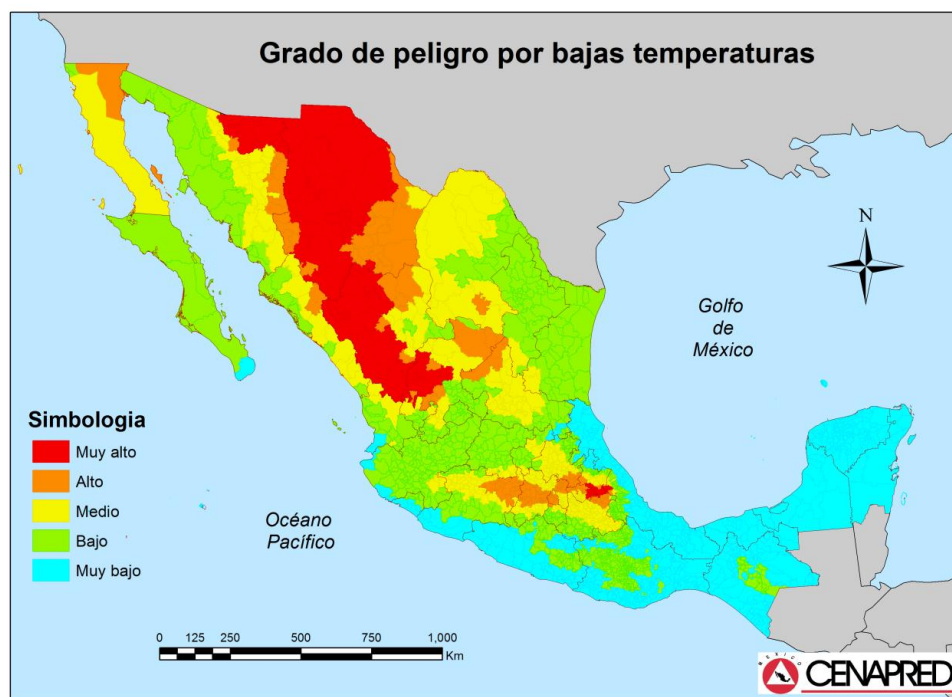
Para conocer la distribución de los valores obtenidos en la tabla anterior, se procede a elaborar la Figura 26, donde se muestran dos áreas perfectamente definidas, la de la Sierra Madre Occidental y la del centro del país, mientras que los valores más pequeños están en la zona de la llanura costera de Veracruz, hasta la península de Yucatán, así como parte de la planicie costera del Pacífico y el sur de la península de Baja California.



**Figura 26 Distribución de los intervalos del índice de bajas temperaturas**

El IPBT se clasifica en cinco categorías, donde se forman nuevamente dos regiones, sólo que ahora destaca la zona de Chihuahua, Durango y Zacatecas con 4, 445,244 habitantes (Figura 27). Por otra parte, el centro del país a penas se alcanza a distinguir, debido a que está formada por 11 municipios y una población de 307,358 habitantes, sobre las sierras de Tlaxcala, Zacapoaxtla en Puebla y la región de los volcanes del Cofre de Perote y Pico de Orizaba.





**Figura 27 Grado de peligro por bajas temperaturas construido con los índices de temperatura mínima y días con heladas**

## 2.6 ONDAS DE CALOR

Según la (OMM, 1993), la ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa y suele durar de unos días a unas semanas.

Las ondas de calor son un fenómeno natural que puede causar graves daños económicos, en el medio ambiente y efectos en la salud humana, como sucedió en Estados Unidos a mediados de julio de 1995, donde perecieron 830 personas, y tan sólo 525 fueron en la ciudad de Chicago (Changnon, y otros, 1996). En Europa, en el verano de 2003, se estima que las pérdidas de las cosechas fueron 12.3 billones de dólares y 35,000 decesos por las elevadas temperaturas, de éstos 15,000 ocurrieron en Francia, donde la mayoría fueron ancianos (FEMA, 2006). La península Ibérica fue uno de los lugares donde se registraron las temperaturas más altas e, incluso, superaron los 47°C. Mientras que, en Portugal los incendios forestales generaron daños en 1.6 billones de dólares (Fischer, y otros, 2007).

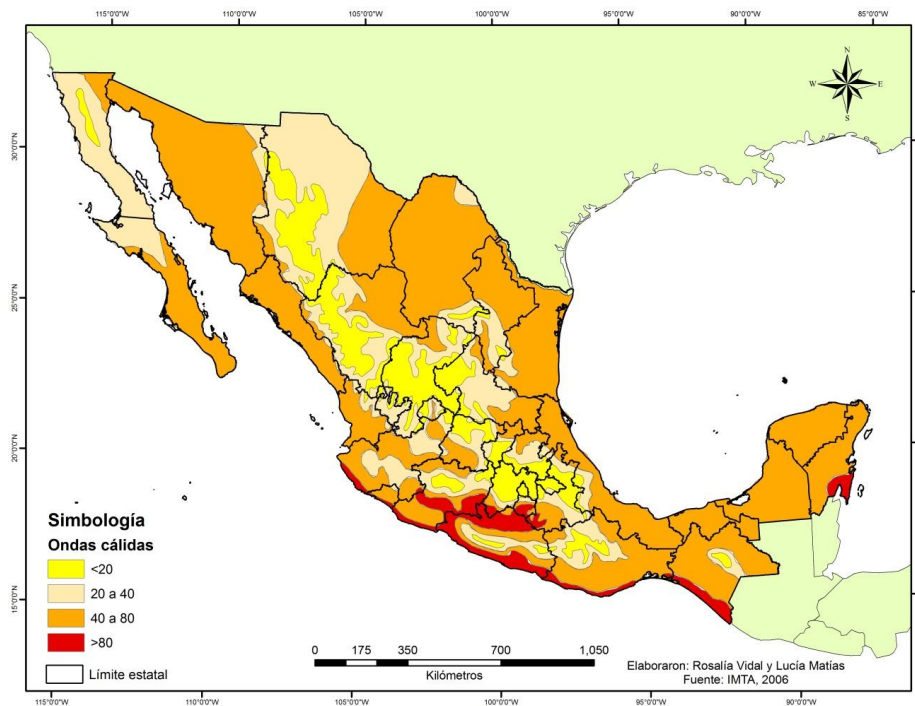
Por otra parte (Vidal, y otros, 2010) indican que una onda cálida es definida por un período de tres o más días cuando la temperatura excede cierto umbral, que para el caso de México sería 26°C.

Según la metodología de las autoras antes mencionadas, una onda de calor se interpreta cuando el umbral de temperatura está presente durante tres días continuos, para ello se establecieron ciertos umbrales que aparecen en la siguiente tabla,

**Tabla 17 Umbrales de temperatura utilizados para el conteo de las ondas de calor**

Intervalos de temperatura °C	Tipo o grado de severidad
26.0 – 29.9	1
30.0 – 33.9	2
34.0 – 34.9	3
>40	4

Con base en los resultados del informe sobre Escenarios por aumento de temperatura y actividades realizadas con otras dependencias en materia de cambio climático (Matías Ramírez, y otros, 2012) se obtuvo la siguiente figura.



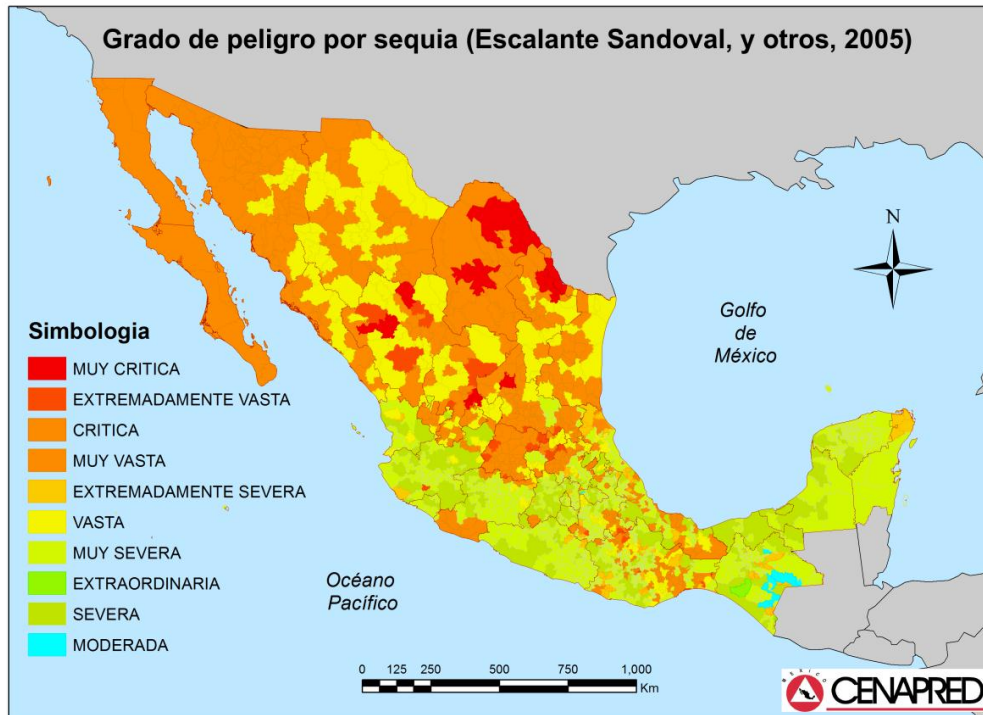
**Figura 28 Promedio de ondas cálidas en México (Matías Ramírez, y otros, 2012)**

## 2.7 SEQUÍAS

El fenómeno de la sequía ha sido analizado en la UNAM (Escalante Sandoval, y otros, 2005) de tal manera que se ha hecho una evaluación para cada uno de los municipios del país, tomando en cuenta el déficit de lluvia y la duración de la misma. Asimismo, Escalante ha propuesto una clasificación de acuerdo con lo expuesto anteriormente, la cual se muestra en la Tabla 18. Se resalta que en la base de datos del Dr. Escalante no hay municipios catalogados como “normal” ni como “Catastrófica” (Figura 29).

**Tabla 18 Clasificación de las sequías (Escalante Sandoval, y otros, 2005)**

Déficit promedio de lluvia (%) respecto a su lluvia media anual	Duración de la sequía promedio D (años)		
	$1 \leq D < 2$	$2 \leq D < 3$	$3 \leq D < 4$
$0 \leq \text{déficit (\%)} < 10$	Normal	Moderada	Extraordinaria
$10 \leq \text{déficit (\%)} < 20$	Severa	Muy Severa	Extremadamente Severa
$20 \leq \text{déficit (\%)} < 30$	Vasta	Muy Vasta	Extremadamente Vasta
$30 \leq \text{déficit (\%)} < 40$	Crítica	Muy Crítica	Catastrófica



**Figura 29 Grado de peligro por sequía (Escalante Sandoval, y otros, 2005)**

Para efectos de ilustrar los comportamientos de cada uno de las variables, déficit de lluvia y duración de sequía, se elaboraron mapas (Figura 30 y Figura 31), basados en las clasificaciones de la Tabla 18.

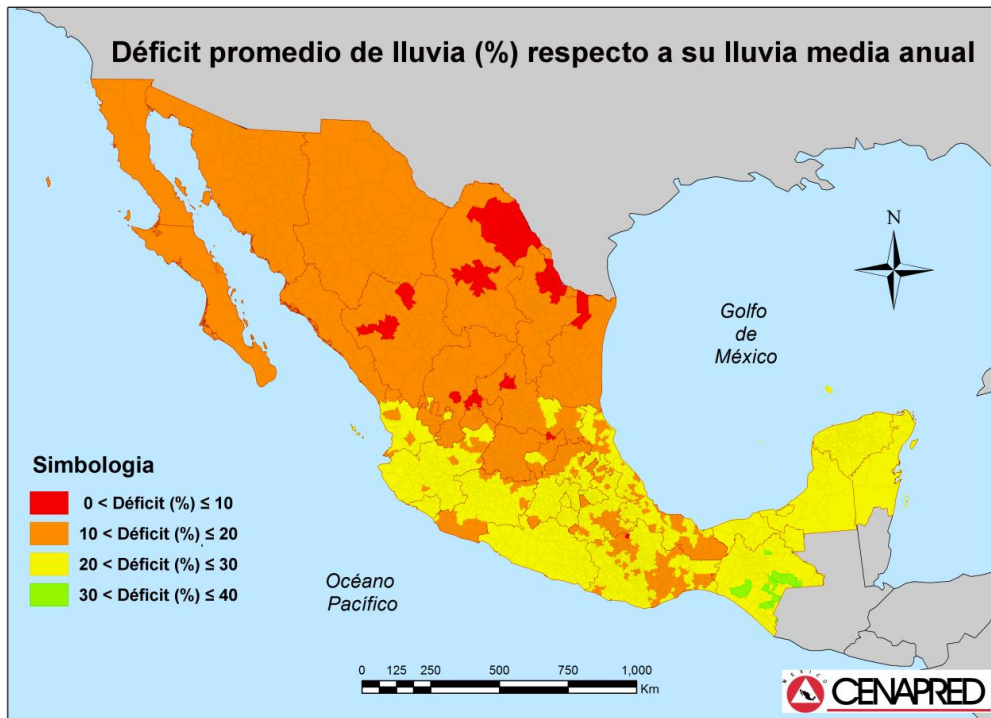


Figura 30 Déficit promedio de lluvia (%) respecto a su lluvia media anual



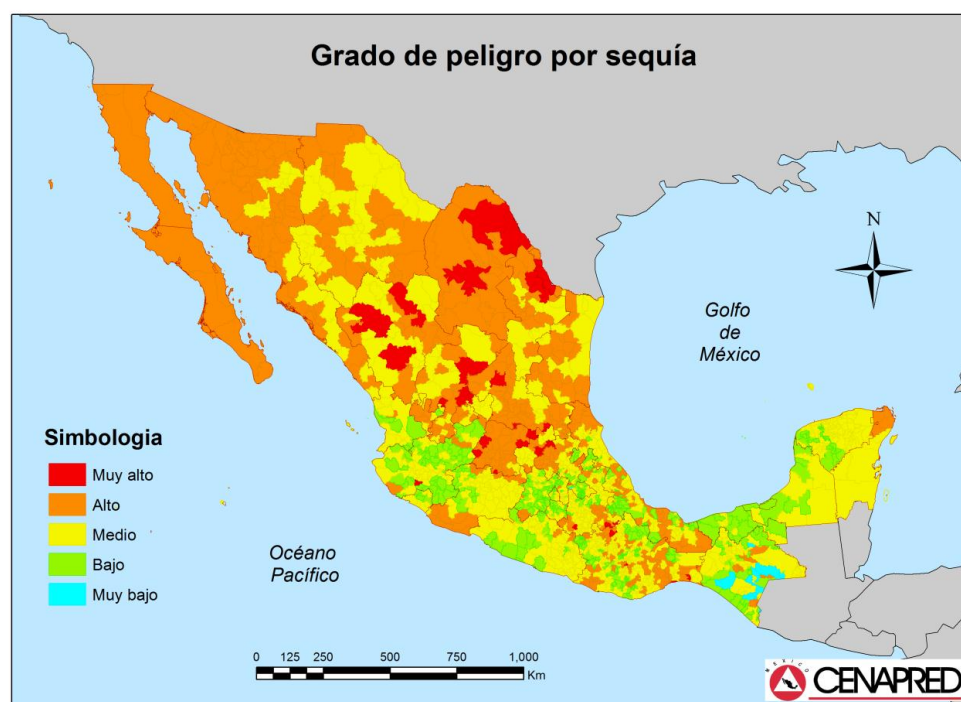
Figura 31 Duración de la Sequía promedio D (años)

Para efectos de simplificar el mapa de la Figura 29 las 12 categorías se reclasificaron a 5, transformando la frase que caracteriza a cada municipio por un atributo numérico que representaría a un índice de sequía, combinando los efectos de la duración promedio de la sequía y del déficit de lluvia, lo cual se puede ver en la Tabla 19. Por ejemplo, para un déficit entre 0 y 10%, y una duración entre 1 y 2 años, el atributo numérico es igual al producto de los valores medios de estos intervalos, es decir,  $0.05 \times 1.5 = 0.075$ .

**Tabla 19 Índices de peligro por sequía**

Déficit promedio de lluvia (%) respecto a su lluvia media anual	Duración de la Sequía promedio D(años)		
	$1 \leq D < 2$	$2 \leq D < 3$	$3 \leq D < 4$
$0 \leq \text{déficit} (\%) < 10$	0.075	0.125	0.175
$10 \leq \text{déficit} (\%) < 20$	0.225	0.375	0.525
$20 \leq \text{déficit} (\%) < 30$	0.375	0.625	0.875
$30 \leq \text{déficit} (\%) < 40$	0.525	0.875	1.225

Con base en la clasificación numérica anterior se elaboró un mapa de sequía que se muestra en la Figura 32, en donde se clasificaron 5 categorías por el método Natural break, que van de muy bajo a muy alto peligro por sequía.



**Figura 32 Grado de peligro por sequía**

## 2.8 TORMENTAS DE POLVO

Las tormentas de polvo se forman en regiones secas, donde los vientos fuertes levantan y llenan el aire con partículas de polvo fino. En áreas desérticas donde prevalece arena suelta, se pueden desarrollar tormentas de arena debido a vientos altos intensificados por el calentamiento de



la superficie, que rápidamente levantan partículas de arena cercanas al suelo. Existe un tipo de tormenta espectacular compuesta de polvo y arena llamada Haboob (del árabe *hebbe*: viento fuerte) que ocurre principalmente en África, en Sudán, pero que llega a producirse en el desierto de Sonora. Es una gigantesca nube oscura que se extiende horizontalmente hasta 150 km y elevarse hasta la base de la tormenta severa que lo genera (Ahrens, 1999). En México se le llega a conocer como viento negro.



**Figura 33 Haboob en Ahwatukee, Phoenix, Arizona, el 22 de agosto de 2003 (Wikipedia, 2007)**

En el Valle de México existían en los años 60's tolvaneras, principalmente, en los primeros meses del año, generadas en la zona del lago de Texcoco, debido a una ausencia de cubierta vegetal. Lo anterior, afectó la salud de los habitantes de la ciudad de México y su zona metropolitana. En 1965, el Dr. Nabor Carrillo Flores planteó la necesidad de recuperar el Lago de Texcoco. La frecuencia de las tolvaneras fue analizada por el Observatorio de Tacubaya: en un periodo de 35 años (1923-1958) hubo un total de 2,366 invasiones de polvo, con un promedio anual de 68 tolvaneras. El máximo observado fue de 94 y el mínimo, en 1926, de 33. Esta frecuencia puede compararse con la de la zona semiárida al norte del desierto del Sahara, donde estos fenómenos tienen una frecuencia de sesenta a ochenta por año (CONAGUA, 2007).



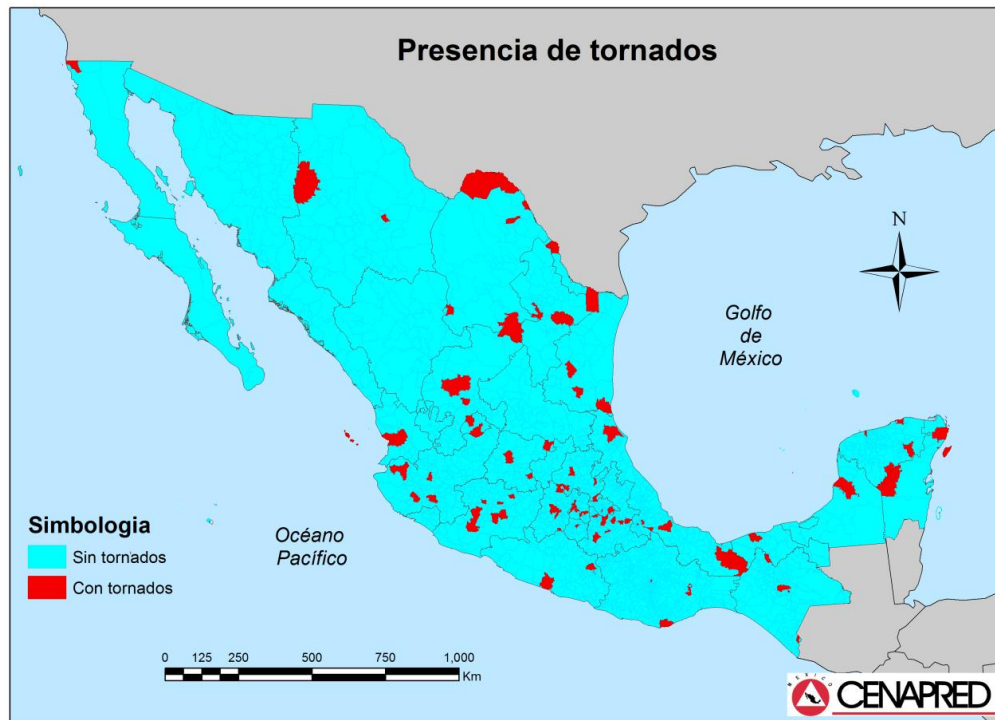
**Figura 34 Tormentas de polvo que se generaban en el área de Texcoco y se depositaban en la zona urbana del valle de México (CONAGUA, 2007)**

Estudios de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) permitieron la adopción de medidas para reducir el problema de las tolvaneras, al propiciar una cobertura vegetal en áreas denudadas y establecer cortinas rompevientos para contrarrestar el efecto de las corrientes de aire que propiciaban la erosión eólica de los suelos, resolviéndose a finales de los 80's (CONAGUA-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO, 2004).

## **2.9 TORNADOS**

Un tornado es una perturbación atmosférica violenta en forma de vórtice; aparece en la base de una nube de tipo cumuliforme y es el resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste (Prieto González, y otros, 2010). De acuerdo con el Servicio Meteorológico de los EUA, los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad (National Weather Service, 1992).

Los registros que se han logrado recabar para conocer la frecuencia e intensidad de estos fenómenos, además de su localización geográfica, son pocos, remitiéndose exclusivamente a una recopilación de información existente entre testimonios históricos en la época de 958-1822, siglo XIX-XX, notas periodísticas 2000-2007 e información popular obtenida en trabajo de campo (Avendaño, 2006). En este trabajo se presenta un mapa de presencia de tornados (Figura 35) con base en la recopilación anterior. No se descarta que hayan ocurrido, u ocurran en el futuro, estos fenómenos en otros municipios debido a la presencia de tormentas severas.



**Figura 35 Presencia de tornados en municipios de México**

Debido a que sólo se cuenta con la presencia de tornados, no es posible estimar un índice de riesgo de este fenómeno en el país.



### 3. MAPA DE VULNERABILIDAD SOCIAL A ESCALA MUNICIPAL

La evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos representa un reto para la estimación de riesgo, ya que dichos sistemas se componen de múltiples elementos, los cuales, para su análisis, deben jerarquizarse y ponderarse. En primer lugar, existe una diferenciación entre vulnerabilidad física y social (Flores Corona, y otros, 2006). La vulnerabilidad física está enfocada al cálculo de pérdidas esperadas, mientras que la social es útil para estimar de manera cualitativa el riesgo. Para este trabajo, y dado que lo que se persigue es obtener índices de riesgo, se usará la vulnerabilidad social. Para ver ejemplos de vulnerabilidad física y estimación de pérdidas esperadas se puede consultar (Matías Ramírez, y otros, 2008) y (Eslava Morales, y otros, 2008).

Por lo anterior, se elaboró un mapa del grado de vulnerabilidad social municipal para todo el país (Figura 36), utilizando una base de datos de esta variable que construyó el CENAPRED (Subdirección de Estudios Económicos y Sociales, 2011), adaptando la metodología de (García Arróliga, y otros, 2006) para aplicarlo a nivel municipal y con datos del censo de 2010.

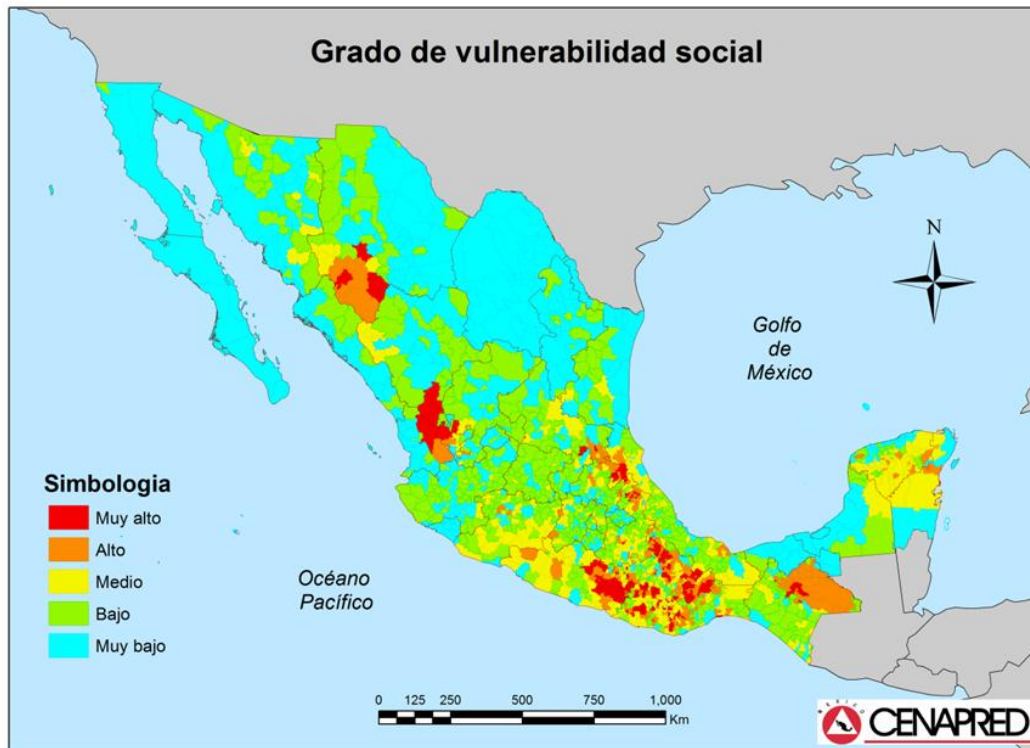


Figura 36 Grado de vulnerabilidad social municipal

#### 4. OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL

En (Jiménez Espinosa, y otros, 2009) se propone una forma cualitativa de estimar el riesgo a escala municipal:

$$IR = \{Ln[D] + 3\} \times Gm \times Ip$$

3

donde

IR: índice de riesgo

D: densidad de población municipal

Gm: grado de marginación municipal

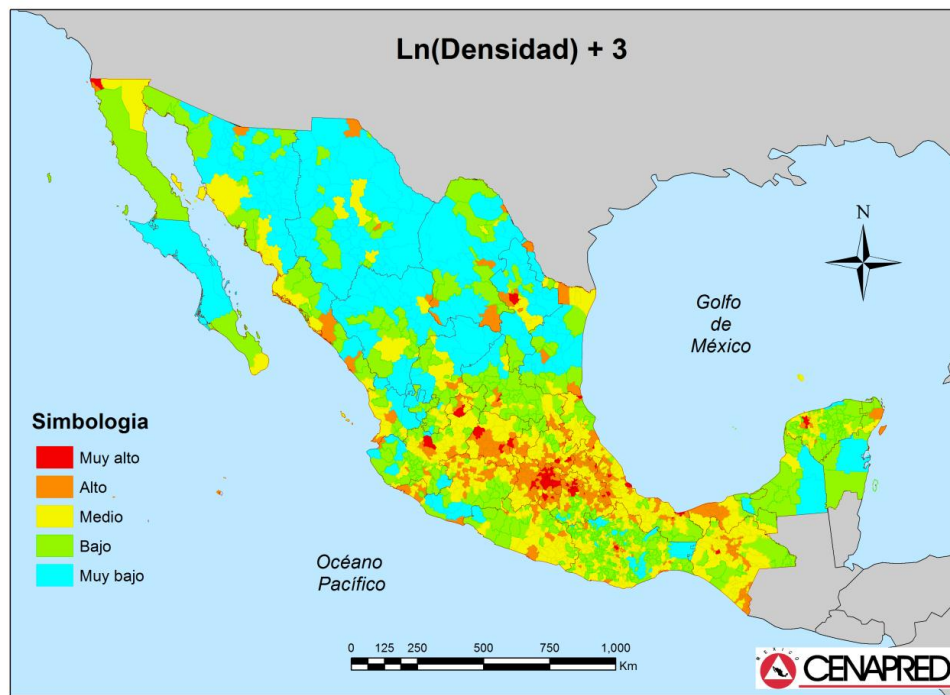
Ip: índice de peligro

##### 4.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN Y VULNERABILIDAD SOCIAL MUNICIPAL

La densidad se utiliza como una manera de estimar la exposición del sistema expuesto población. La densidad de población se calculó con base en los resultados del censo poblacional del 2010; para ello, se tuvieron que relacionar las bases de datos poblacionales del censo 2010 (INEGI, 2010) y la capa de polígonos municipales del censo 2010 (INEGI, 2010), ya que el INEGI todavía no libera una versión de bases de datos y polígonos georrelacionadas. El resultado de este ejercicio se puede ver en la Figura 37. Para su uso en la estimación de los índices de riesgo se transformó la densidad de población al logaritmo natural de la densidad de población más tres (Figura 38).



Figura 37 Densidad de población municipal de acuerdo al censo 2010



**Figura 38 Logaritmo natural de la densidad de población más tres municipal de acuerdo al censo 2010**

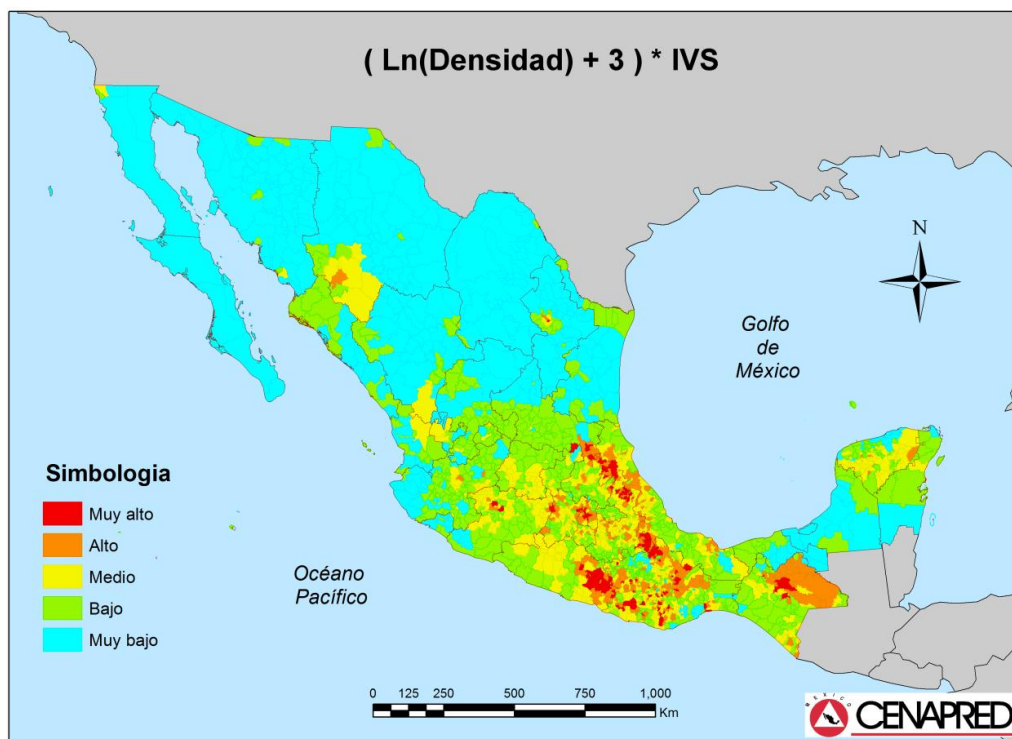
De acuerdo con lo visto en el capítulo anterior, se sustituirá el grado de marginación por el índice de vulnerabilidad social (IVS), por lo que la expresión 3 cambia a

$$IR = \{Ln[Dm] + 3\} \times IVS \times IP$$

4

que será la expresión que se utilice para estimar el riesgo para diversos fenómenos.

Una primera combinación de estos elementos, vulnerabilidad y densidad de población, se muestra en la Figura 39; esta combinación representa una especie de *caldo de cultivo* de eventos que pueden desencadenar pérdidas importantes ante cualquier fenómeno natural o antrópico. Se observa que el norte estaría mejor preparado ante eventos amenazadores que el centro, el sur y sureste del país, con excepción del sur de Chihuahua.



**Figura 39 Logaritmo de la densidad de población más tres por la vulnerabilidad social**

A continuación se mostrarán los mapas de riesgo de los fenómenos estudiados en el capítulo 2 a través de la expresión 4. Al aplicar dicha ecuación el resultado obtenido es un valor numérico o índice, pero para su representación gráfica se utiliza el método Natural Break de clasificación a través del software (ESRI, 2010) con cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto riesgo.

#### 4.2 CICLONES TROPICALES

El mapa del grado de riesgo por ciclones tropicales (Figura 40) muestra que, como es de esperarse, son zonas costeras las que están en mayor riesgo, resaltando las penínsulas de Baja California y de Yucatán, así como los estados de Tamaulipas, Guerrero y Sinaloa, entre otros.

Es importante recalcar que el riesgo mostrado sería el relacionado con los efectos directos de los ciclones: viento, oleaje, marea de tormenta y lluvia, aunque el impacto de este último podría sentirse más allá de las zonas costeras, afectando estados que ni siquiera tienen costas. Además, la lluvia generaría otro tipo de peligros, como deslizamientos, inundaciones, flujos de escombros, avenidas repentinas, etc.

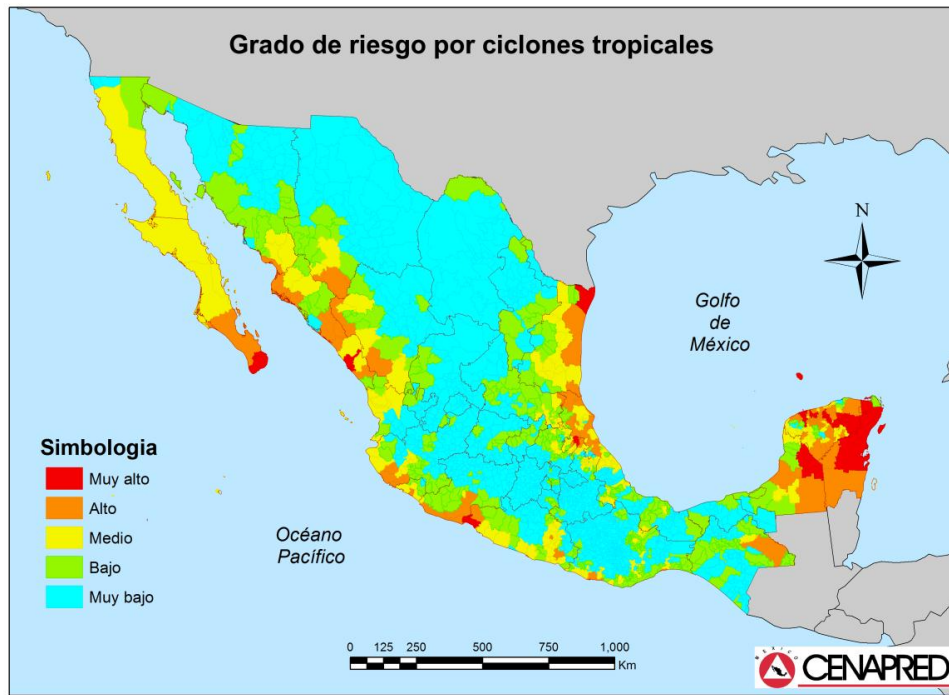


Figura 40 Grado de riesgo por ciclones tropicales

En la siguiente figura se muestra una suerte de radiografía del impacto de los ciclones tropicales en la población de cada estado en todo el país. Se observa rápidamente que los estados de Quintana Roo, Yucatán y Baja California Sur son los estados con más población expuesta a un muy alto riesgo por ciclones tropicales, y en menor medida Sinaloa, Tamaulipas y Campeche. Por otro lado, Aguascalientes y Zacatecas son estados, precisamente, sin riesgo de estos fenómenos.

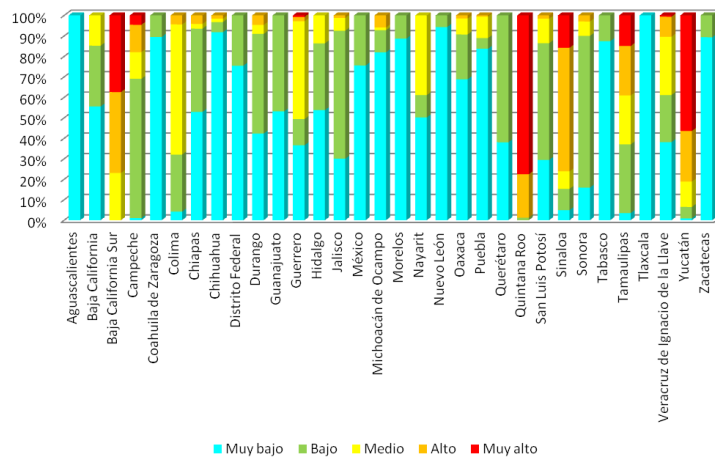


Figura 41 Porcentaje de población estatal en riesgo por ciclones tropicales



### 4.3 TORMENTAS DE NIEVE

En la figura siguiente se observa que los municipios de Juárez y Guachochi, en Chihuahua presentan un grado de riesgo muy alto, en ellos se concentra 1, 381,820 personas, que corresponde al 40.5% de la población total de dicho estado. Por otra parte, en los estados de Baja California, Distrito Federal y México se encuentra un municipio dentro de la misma categoría, los cuales si se comparan con los habitantes del estado, éstos llegan a representar el 49.4, 5.4 y 7.3%, respectivamente. Finalmente, en Baja California se encuentra el mayor número de individuos en riesgo por el fenómeno de nevadas en todo el país.

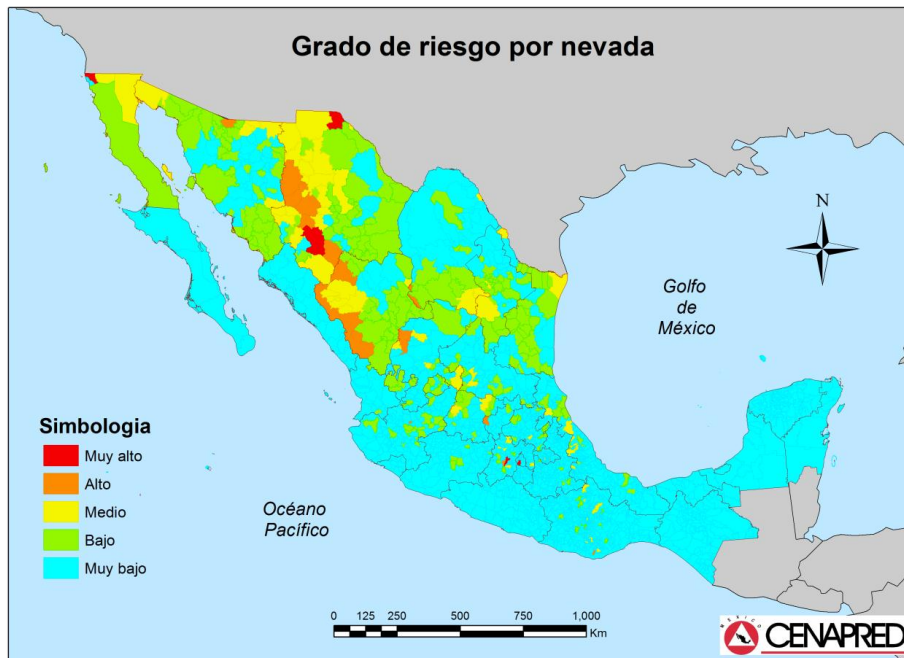
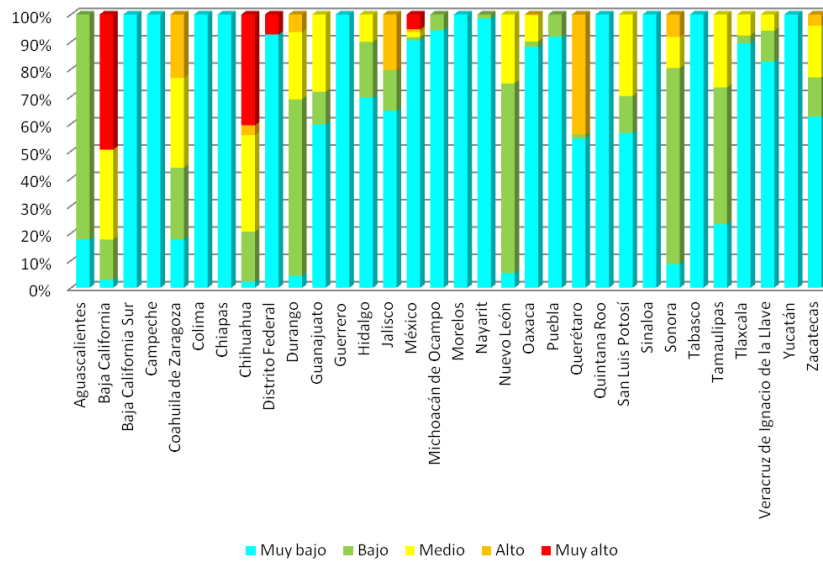


Figura 42 Grado de riesgo por nevadas

De igual manera que con el fenómeno anterior, se muestra una figura con el impacto de las nevadas en la población de cada estado en todo el país. Resaltan rápidamente Baja California y Chihuahua, y en menor medida el Distrito Federal y el Estado de México.





**Figura 43 Porcentaje de población estatal en riesgo por nevadas**

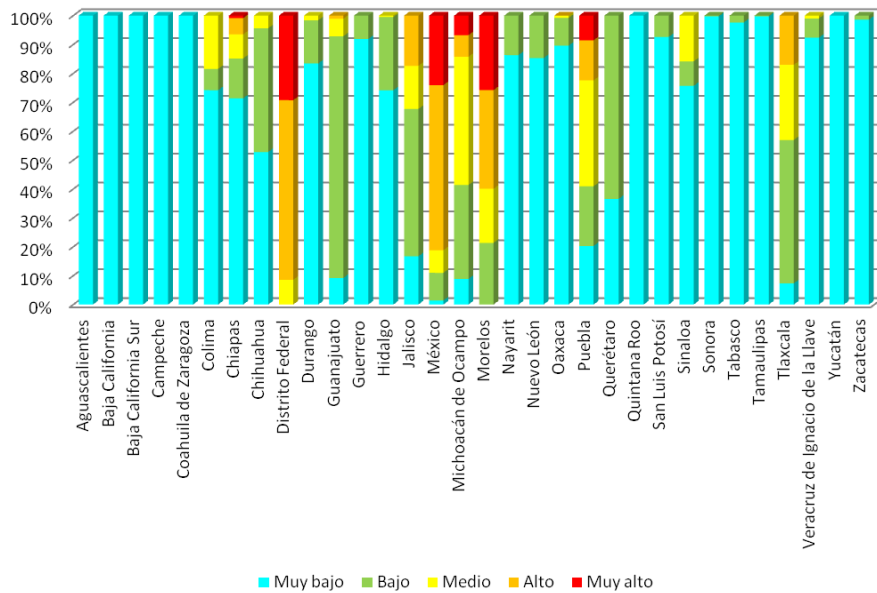
#### 4.4 TORMENTAS DE GRANIZO

En el caso de las tormentas de granizo se observa que la parte centro del país es la que mayor riesgo presenta ante este fenómeno.



**Figura 44 Grado de riesgo por granizo**

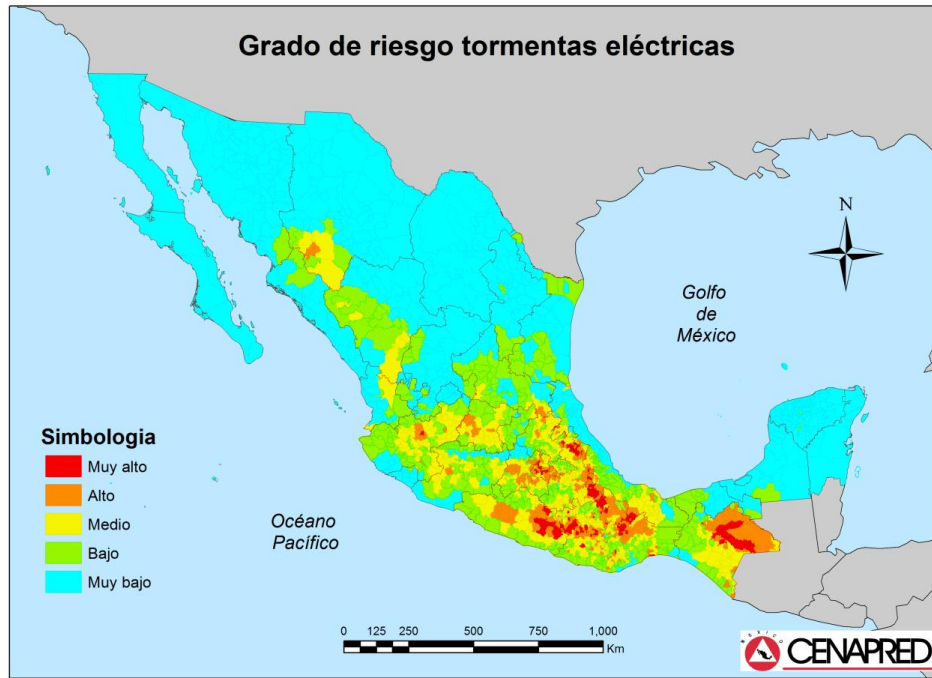
Siendo más precisos (Figura 45) los estados que tienen un muy alto riesgo por tormentas de granizo son Distrito Federal, Estado de México, Morelos, Michoacán y Puebla.



**Figura 45 Porcentaje de población estatal en riesgo por tormentas de granizo**

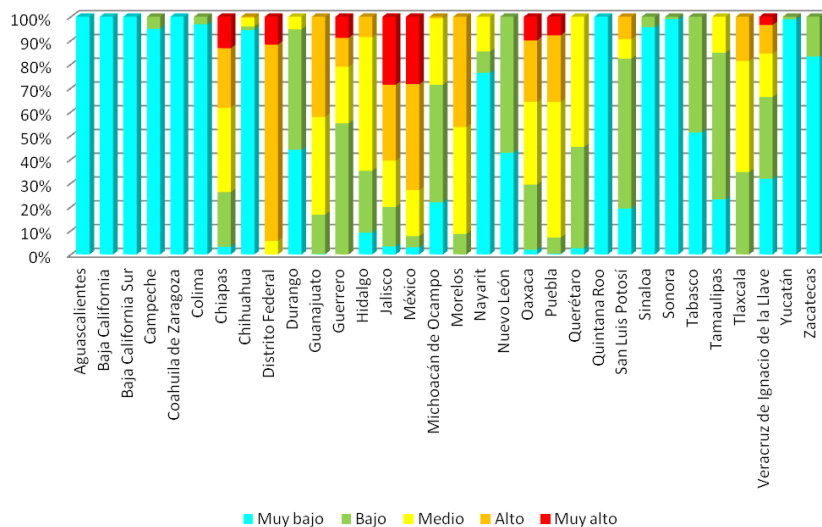
#### 4.5 TORMENTAS DE ELÉCTRICAS

El riesgo por tormentas eléctricas se presenta principalmente en el centro y sureste del país, y al sur de Chihuahua.



**Figura 46 Grado de riesgo por tormentas eléctricas**

Chiapas, Distrito Federal, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Oaxaca y Puebla presentan un muy alto riesgo ante este fenómeno.



**Figura 47 Porcentaje de población estatal en riesgo por tormentas eléctricas**

#### 4.6 BAJAS TEMPERATURAS

Por bajas temperaturas la parte central y norte del país, incluso estados como Guerrero, Oaxaca y Chiapas, así como la parte serrana de Veracruz presentan riesgo por bajas temperaturas.

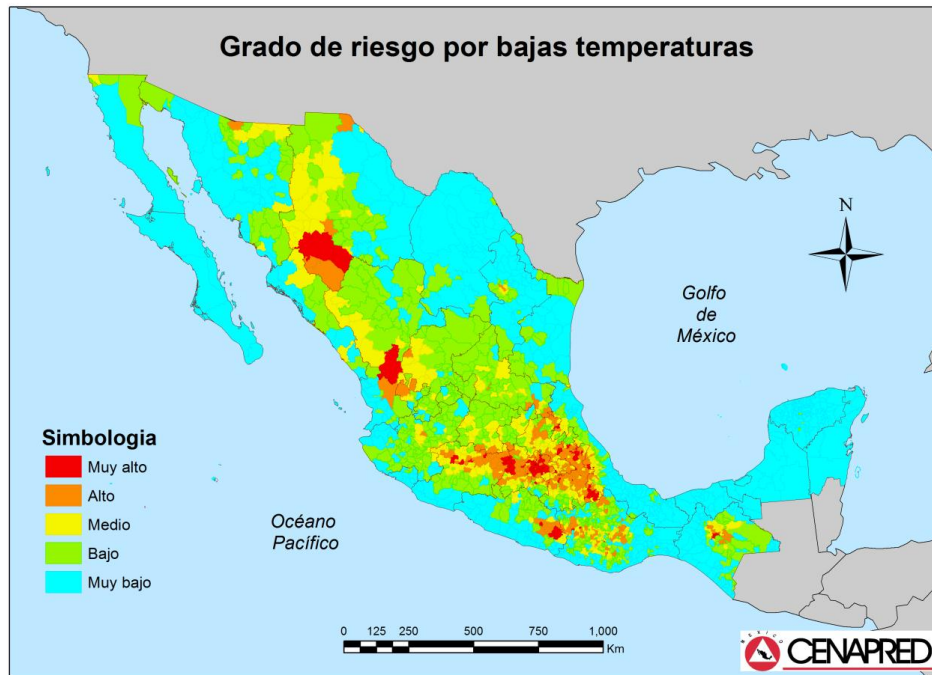
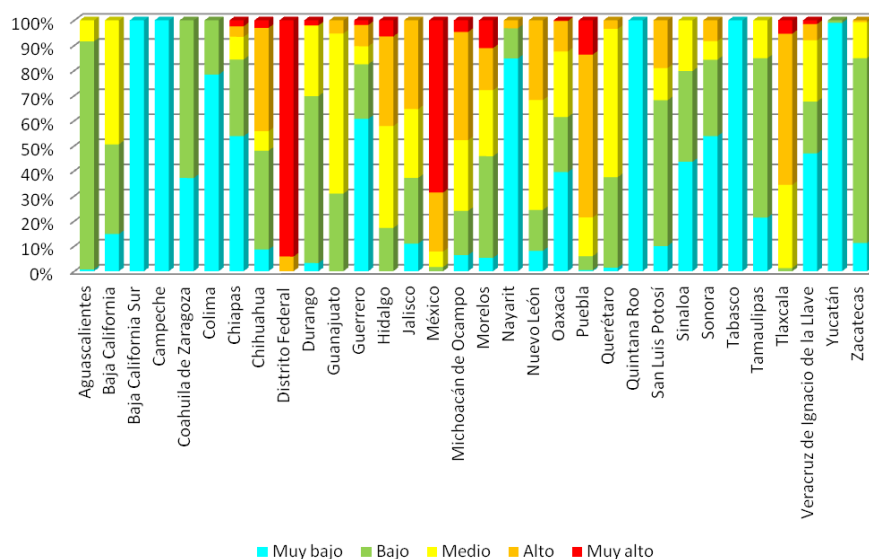


Figura 48 Grado de riesgo por bajas temperaturas

Por muy alto riesgo por bajas temperaturas destacan el Distrito Federal y el Estado de México, y en menor medida Morelos y Puebla. Mediante este modelo de riesgo Chihuahua no tiene tan alto porcentaje de población con muy alto riesgo, debido principalmente a que se aplica el logaritmo natural a la densidad de población, lo que le da mayor importancia a los sitios muy densamente poblados, como son los citados primeramente. Esto se revisará durante el 2012.



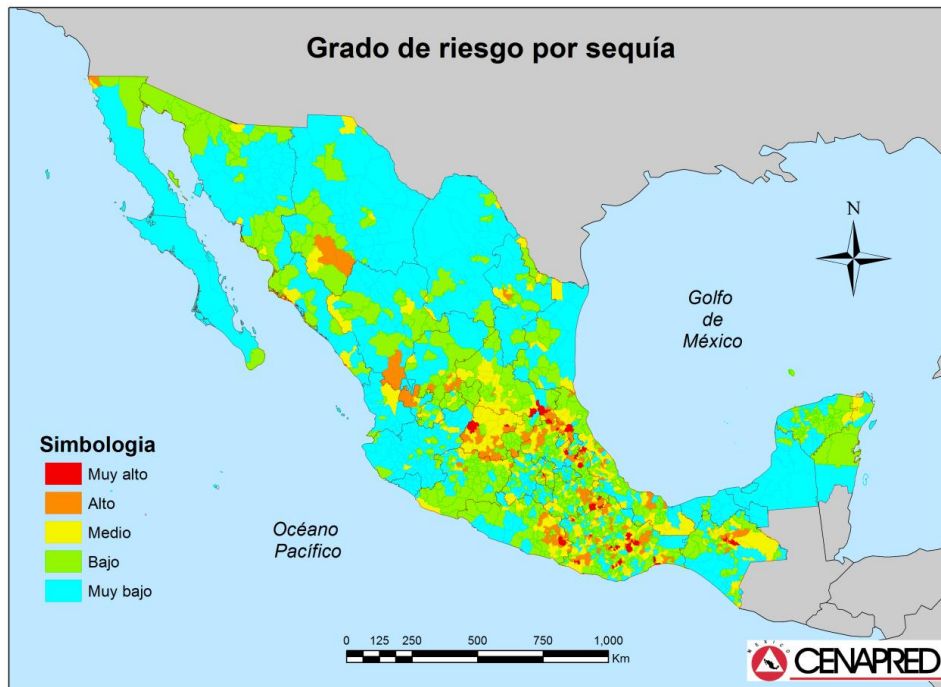
**Figura 49 Porcentaje de población estatal en riesgo por bajas temperaturas**

#### 4.7 ONDAS DE CALOR

Todavía no se tiene un índice de peligro como tal, por lo cual no se elaboró el índice de riesgo por onda de calor correspondiente. Se espera contar con él en este año.

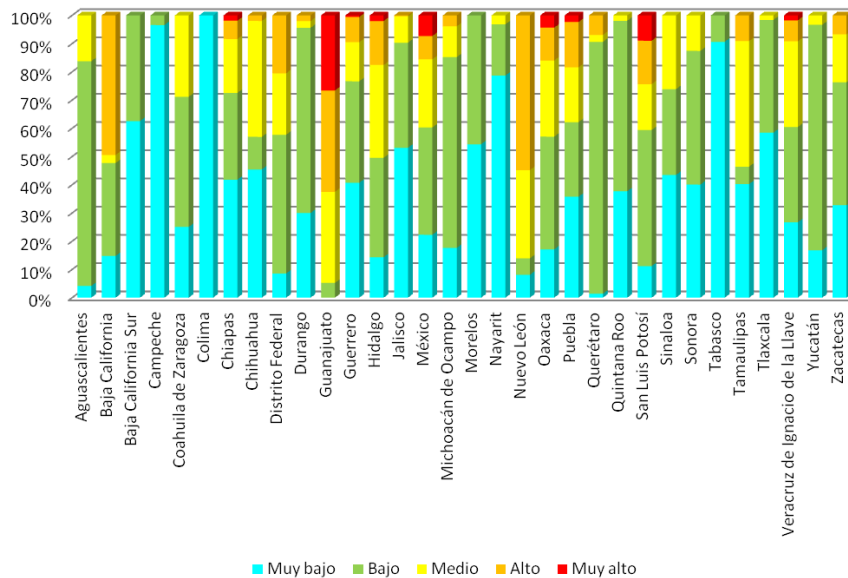
#### 4.8 SEQUÍAS

En el caso de la sequía hay una cierta dispersión de los municipios que están en riesgo. Hay que recordar que el riesgo es la combinación del fenómeno natural, escases de agua, con la exposición y la vulnerabilidad.



**Figura 50 Grado de riesgo por sequía**

A través de la figura de porcentaje de población con riesgo por sequía (Figura 51) se observa que Guanajuato, Estado de México, Oaxaca y San Luis Potosí son los estados con un porcentaje mayor de muy alto riesgo.



**Figura 51 Porcentaje de población estatal en riesgo por sequía**



#### 4.9 TORMENTAS DE POLVO

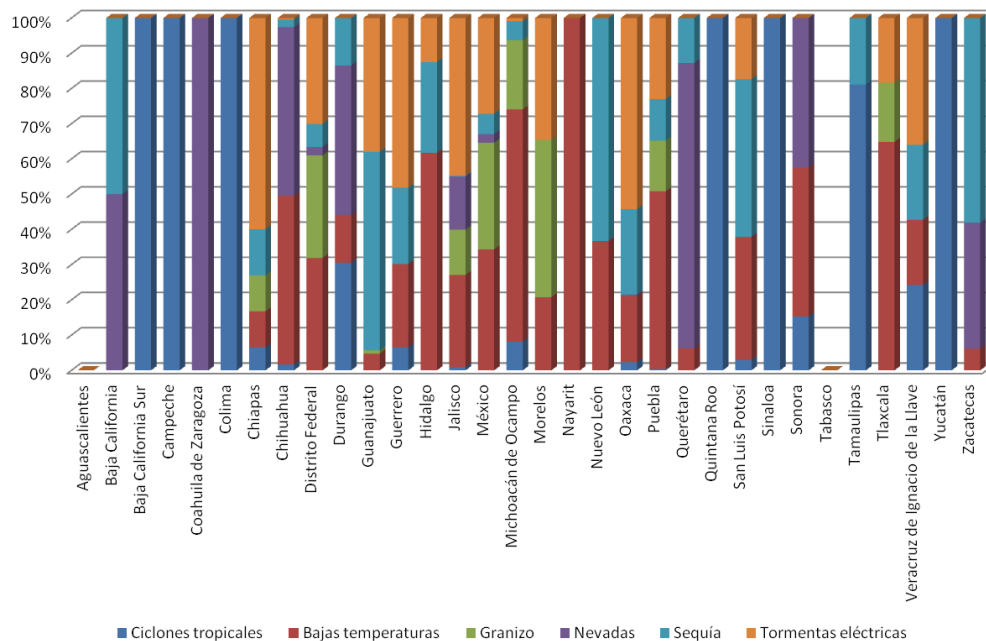
Al igual que con las ondas de calor, se carece de un mapa de peligro por este fenómeno, por lo que queda pendiente la elaboración del de riesgo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo de riesgo utilizado permitió estimar el grado de riesgo para cada uno de los municipios de todo el país por fenómenos hidrometeorológicos, exceptuando el de inundaciones; sin embargo, para el caso del fenómeno de bajas temperaturas el modelo da mayor énfasis a aquellos municipios con una densidad de población muy grande. En el 2012 se revisará el uso de esta característica poblacional como índice de exposición.

Para todos los fenómenos se utilizó el mismo índice municipal de vulnerabilidad social; convendría estudiar en el futuro un índice diferenciado para cada fenómeno que permita una mejor estimación de la vulnerabilidad del sistema expuesto que mejor le interese a protección civil. Por ejemplo, en el tema de la sequía es recurrente seleccionar como sistema expuesto a la agricultura y a la ganadería, incluso en los atlas estatales de riesgo que elabora protección civil, cuando es el daño directo a la población, como el consumo humano, lo que mejor le interesaría.

A continuación se muestra a manera de resumen, un gráfico donde se resalta el porcentaje de población en riesgo alto y muy alto, por los fenómenos hidrometeorológicos analizados. Se ha hecho énfasis en porcentajes de población como una medida de riesgo y no los totales de población, ya que el método utilizado es cualitativo, por lo que manejar cifras absolutas no implica que toda la población reportada esté en verdadero riesgo.



**Figura 52 Porcentaje de población estatal en riesgo alto y muy alto por fenómenos hidrometeorológicos**

De la Figura 52 se observa que sólo dos estados de México no tienen población con riesgo clasificado como alto o muy alto para cualquier fenómeno hidrometeorológico, exceptuando inundaciones, Aguascalientes y Tabasco. Asimismo, los fenómenos que más destacan son bajas

temperaturas, ciclones tropicales y nevadas, y en menor medida tormentas eléctricas, sequía y granizo. También se destaca que Baja California Sur, Campeche, Coahuila y Nayarit tienen población en muy alto y alto riesgo por un solo fenómeno cada uno. Los resultados anteriores cambiarán cuando se estime el riesgo por ondas de calor y tornados.

En el 2012 se analizará la combinación de varios de estos fenómenos, en especial los de tormentas de granizo, eléctricas, tornados, ya que en su conjunto forman un fenómeno más grande: el de las tormentas severas, el cual ha sido poco estudiado en nuestro país.

Igual que con el estudio del 2009, con este método es posible hacer comparaciones entre valores de riesgo de zonas de todo el país. Asimismo, el método es susceptible a actualizaciones, tanto de la dinámica poblacional como de la peligrosidad de fenómenos, ya que la tasa de ocurrencia de los eventos puede ser calculada y estimarse de nuevo el índice correspondiente.

Es muy importante recalcar que a pesar de tener una estimación nacional del riesgo, es necesario hacer estudios detallados para la propuesta de medidas de mitigación, tanto estructural como no estructural. Es el caso de la densidad de población, que representa una estimación del valor de los bienes expuestos, pero que se ha observado que tiene un error que puede ser grande. Es por ello que estos resultados deben tomarse sólo como una medida cualitativa del riesgo, y que siempre será necesario hacer estudios detallados para una estimación real del riesgo.

Todos los productos generados, como los mapas, podrán ser integrados al visualizador del Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED, para que puedan ser consultados por el público en general.

## 5.1 CICLONES TROPICALES

Se utilizó un método para estimar un índice de peligro basado en tasas de excedencia de intensidades de ciclones tropicales que se presentan en cada uno de los municipios del país.

Los estados de Quintana Roo, Yucatán y Baja California Sur son los estados con más población expuesta a un muy alto riesgo por ciclones tropicales.

## 5.2 TORMENTAS DE NIEVE

El método para el cálculo del peligro por nevadas es sólo para la frecuencia del fenómeno, el cual utilizó información publicada por distintas fuentes y ésta sólo abarca la presencia de nevadas. Los municipios que reportaron más eventos fueron Juárez en Chihuahua y Toluca, en el Estado de México, situación que contrasta mucho, debido a que ambos sitios se localizan sobre la misma configuración de relieve que es el valle; sin embargo, el primer sitio se encuentra a 1,120 msnm, mientras que el segundo está a 2,680 msnm, es decir, este último es un valle alto. No obstante que la configuración topográfica es importante, dichas localidades están a diferentes latitudes, por ejemplo, la de Chihuahua está a 31°N y la del Estado de México a 19°N. Por tal motivo, es necesario tomar en cuenta la latitud del lugar como un parámetro fundamental.

Para una futura actualización de la metodología es importante:

- Integrar la información de cada una de las estaciones climatológicas y de los observatorios meteorológicos del país, donde se registraron nevadas y realizar el análisis estadístico.
- Adicionar al fenómeno físico, la altitud y latitud de las comunidades donde se ha registrado la nevada, así como la configuración del relieve.

Con base en los resultados del grado de riesgo muy alto se encontró que en el municipio de Tijuana, Baja California, concentra la mayor exposición de personas al fenómeno de las nevadas en todo el país.

### **5.3 TORMENTAS DE GRANIZO**

Con el mapa de índice de peligro por tormentas de granizo por municipio se identificaron las regiones más susceptibles a dicho fenómeno, las cuales, se encuentran sobre la Sierra Madre Occidental, en el Sistema Volcánico Transversal y en algunas zonas altas de Oaxaca y Chiapas. En estas regiones se encuentran los municipios calificados con un peligro alto y muy alto.

El mapa de índice de riesgo por tormentas de granizo, nos permite concluir que los municipios calificados con un índice de riesgo alto y muy alto se encuentran sobre el Sistema Volcánico Transversal y los altos de Chiapas.

Debido a los efectos de las tormentas de granizo, es conveniente que la población aprenda a protegerse de estos fenómenos. Las acciones preventivas de protección civil ante granizadas se pueden consultar en Fascículo “Tormentas Severas” que edita el CENAPRED (Prieto González, y otros, 2010).

### **5.3 TORMENTAS ELÉCTRICAS**

Con ayuda del índice de peligro por tormentas eléctricas se identificaron las regiones más susceptibles a dicho fenómeno, el cual, está presente en gran parte del territorio nacional e, incluso, sólo existe una pequeña zona en el noroeste del país que posee la condición de peligro muy bajo.

Además, la distribución de estos meteoros está estrechamente relacionada con la configuración del relieve, como son los principales sistemas montañosos de México. En estos sitios se encuentran los municipios calificados con un peligro alto y muy alto.

En caso de realizar una actualización del índice, se recomienda incorporar información de las estaciones climatológicas y observatorios meteorológicos de los últimos años que reportan la presencia del fenómeno, así como los reportes de las Unidades Estatales de Protección Civil.

En un futuro sería deseable contar con un fascículo dedicado a las tormentas eléctricas, por ser un fenómeno que cobra vidas cada año en varios estados del país. Se trataría de diseminar más sobre qué es y que produce a este fenómeno, así como las medidas de mitigación del riesgo que la población puede llevar a cabo antes, durante y después.

### **5.4 BAJAS TEMPERATURAS**

De acuerdo con la actualización del índice de peligro por bajas temperaturas, el cual está en función del fenómeno natural y en donde se utilizó el número de días con heladas y la temperatura mínima extrema, de éstos se recopiló información para los 2,456 municipios, con ello se cubre en su totalidad a todo el país; sin embargo, hay localidades dentro de un mismo municipio que son más susceptibles al fenómeno de bajas temperaturas. Por tal motivo, se sugiere realizar mapas de peligro a un detalle de localidad en aquellos lugares donde las autoridades de Protección Civil de los estados ya identificaron como muy peligrosos o vulnerables.

Mediante el método descrito en este documento sería factible identificar municipios que ofrezcan mayor riesgo a sufrir daños por algún fenómeno natural o antrópico, de una manera sencilla y rápida, por lo que resulta útil en planeación general tanto a nivel federal como estatal.

Este método permite hacer comparaciones entre valores de riesgo de zonas de todo el país; en este documento se hicieron comparaciones entre entidades federativas y municipios.

El método es susceptible a actualizaciones, tanto de la dinámica poblacional como de la peligrosidad de fenómenos, ya que la tasa de ocurrencia de los eventos puede ser calculada y estimarse de nuevo el índice correspondiente.

Es muy importante recalcar que a pesar de tener una estimación nacional del riesgo, es necesario hacer estudios detallados para la propuesta de medidas de mitigación, tanto estructural como no estructural.

De acuerdo con la propuesta por crear un índice de peligro por bajas temperaturas, la cual está en función del fenómeno natural y en donde se utilizaron los temas tales como, número de días con heladas, temperatura mínima extrema y número de declaratorias de emergencia por frío, de éstos se recopiló información para los 2454 municipios, lo cual significa que se está cubriendo a todo el país; sin embargo, hay localidades dentro de un mismo municipio que son más susceptibles al fenómeno de bajas temperaturas, por ello se sugiere realizar mapas de riesgo a un detalle de localidad en aquellos lugares donde las autoridades de Protección Civil de los estados ya los han identificado como alto riesgo.

Al considerar que la densidad de población representa una estimación del valor de los bienes expuestos, se ha observado que se tiene un error que puede ser grande. Es por ello que estos resultados deben tomarse sólo como una medida cualitativa del riesgo, y que siempre será necesario hacer estudios detallados para una estimación real del riesgo.

Por otra parte, todos los productos generados como los mapas podrán ser integrados al visualizador del Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED, para que puedan ser consultados por el público en general.

## **5.5 ONDAS DE CALOR**

Los eventos de ondas de calor pueden ser extremadamente mortales, principalmente para los grupos vulnerables de alto riesgo, como son las personas de la tercera edad y los niños; sin embargo, hay medidas preventivas que pueden tomar los individuos para autoprotegerse de dicho fenómeno.

Mientras que las autoridades deberán emitir avisos de alerta en caso de ocurrir una onda de calor y, con ello, la población pueda llevar a cabo las medidas de protección necesarias.

Además, es importante contar con un programa de reforestación en las zonas urbanas con el propósito de brindar espacios con sombra y obtener un ambiente fresco en caso de tener la presencia de una onda cálida.

## **5.6 SEQUÍAS**

En general, el tema de las sequías se abordó considerando dos características básicas del fenómeno: su intensidad y su duración. De esta manera se construyó el índice de riesgo

correspondiente. En el 2012 se podrá combinar este fenómeno con el de bajas temperaturas para encontrar zonas más vulnerables a estas dos amenazas, como sucedió este año con la población tarahumara.



## BIBLIOGRAFÍA

**Ahrens C. Donald** Meteorology Today: an intriduction to weather, climate, and the environment [Book]. - [s.l.] : Brooks/Cole, 1999. - 6a edición. - Alk. paper. - ISBN 0-534-37201-5.

**Avendaño María Asunción** El conocimiento y reconocimiento de la existencia de los tornados en México [Libro]. - [s.l.] : Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Geografía. UNAM, 2006. - Tesis de Licenciatura en Geografía.

**Baeza Ramírez Carlos** Cuenta Ciclones ver. 2.0 [Report] : Interno. - [s.l.] : CENAPRED, 2012. - En revisión.

**CENAPRED** Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2008 [Book]. - [s.l.] : CENAPRED, 2009. - ISBN: 978-607-7558-01-9.

**Changnon S., Kenneth E. and Reinke B.** Impacts and Responses to the 1995 Heat wave: A call to action [Journal] // Bulletin of the American Meteorological Society. - Julio 1996. - 7 : Vol. 77. - pp. 1497-1506.

**CONAGUA** Nota técnica del evento de febrero de 2011. - 2011. - Archivo interno.

**CONAGUA** Proyecto Lago de Texcoco. Rescate Hidroecológico [Informe] / Gercenia Lago de Texcoco, Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México ; CONAGUA. - D. F. : SEMARNAT, 2007. - ISBN: 978-968-817-876-8.

**CONAGUA-Universidad Autónoma de Chapingo** Plan de Consolidación del Rescate Hidroecológico de la Zona Federal del Ex Lago de Texcoco [Informe]. - [s.l.] : CONAGUA, 2004. - CONVENIO DE COLABORACIÓN GAVM-GP-MEX-04138 RF-CC.

**CONAGUA-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO** Plan de Consolidación del Rescate Hidroecológico de la Zona Federal del Ex Lago de Texcoco [Report]. - [s.l.] : CONAGUA, 2004. - CONVENIO DE COLABORACIÓN: GAVM-GP-MEX-04138 RF-CC.

**CONGRESO DE LOS E. U. M. LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL.** - [s.l.] : Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2006.

**DGPC** Temporada de lluvias y ciclones tropicales 2011. Resumen informativo. [Report] / Dirección de Administración de Emergencias. - [s.l.] : SEGOB, 2011.

**Erickson Jon** Las tormentas, de las antiguas creencias a la moderna meteorología [Libro]. - Madrid : McGrawHill, 1991. - págs. 200-207.

**Escalante Sandoval Carlos and Reyes Lilia** Análisis de Sequías [Book]. - [s.l.] : Dacultad de Ingeniería. UNAM, 2005.

**Eslava Morales Héctor [et al.]** IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA: CASO ISLA ARENA, MUNICIPIO DE CALKINÍ, CAMPECHE [Book]. - [s.l.] : CENAPRED, 2008. - ISBN: 978-607-7558-15-6.

**ESRI** ArcMap [Patente]. - 2010.

**ESSA** Weather Atlas of the United States [Journal]. - Detroit : U.S. Department of Commerce, Gale Research Company, 1968. - pp. 150-151.

**FEMA** Excessive heat events guidebook [Report]. - Washington : Environmental Protection Agency, 2006. - p. 52.

**Fischer E. [et al.]** Soil Moisture Atmosphere Interactions during the 2003 European summer heat wave [Journal]. - [s.l.] : American Meteorological Society, octubre 2007. - Vol. 20. - pp. 5081-5099.

**Flores Corona Leonardo [et al.]** Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social [Book]. - [s.l.] : CENAPRED, 2006. - 1ª edición. - ISBN: 970-628-906-2.

**Fuentes Mariles Óscar Arturo [et al.]** Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta [Book Section] // Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos. - [s.l.] : CENAPRED, 2006. - Primera edición. - ISBN: 970-628-905-4.

**García Arróliga Norlang Marcel, Marín Cambranis Rafael Humberto y Méndez Estrada Karla Margarita** Vulnerabilidad Social [Sección del libro] // Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento y Vulnerabilidad Social. - D. F. : CENAPRED, 2006. - Primera edición. - ISBN: 970-628-906-2.

**García R. [et al.]** Climatología de las tormentas eléctricas locales severas (TELS) en la Zona Metropolitana de Guadalajara [Journal] // Boletín del Instituto de Geografía. - [s.l.] : Investigaciones Geográficas, UNAM, 2007. - pp. 7-16.

**INEGI** Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER) [En línea]. - 2010. - [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est). - Sección Descarga.

**INEGI** Marco Geoestadístico Nacional [Online] = marco geoestadístico 2010. - 2010. - [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M\\_Geoestadistico.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M_Geoestadistico.aspx). - VERSIÓN 5.0.

**Jiménez Espinosa Martín and Baeza Ramírez Carlos** Identificación de trayectorias de ciclones tropicales mediante el uso del programa de cómputo “Busca Ciclones” [Book Section] // Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos. - [s.l.] : CENAPRED, 2006. - Primera edición. - ISBN: 970-628-905-4.

**Jiménez Espinosa Martín, Matías Ramírez Lucía Guadalupe y Eslava Morales Héctor** Mapas de riesgo a escala municipal por inundaciones y bajas temperaturas [Informe]. - México, D. F. : CENAPRED, 2009.

**Matías Ramírez Lucía Guadalupe [et al.]** APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA OBTENER MAPAS DE RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS Y NEVADAS EN LA COMUNIDAD DE RAÍCES, ESTADO DE MÉXICO [Book]. - [s.l.] : CENAPRED, 2008. - ISBN: 978-607-7558-16-3.

**Matías Ramírez Lucía Guadalupe and Vidal R.** Escenarios por aumento de temperatura y actividades realizadas con otras dependencias en materia de cambio climático (2ª etapa) [Report] :

Interno / Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos, Dirección de Investigación ; CENAPRED. - D. F. : [s.n.], 2012. - p. 25. - En revisión.

**Moltó Enrique** Grandes nevadas y percepción de las mismas en Alcoy [Publicación periódica] // Investigaciones Geográficas. - [s.l.] : Universidad de Alicante, 2000. - 23. - págs. 101-118.

**National Geographic Society** Mapa "Peligros Naturales de América del Norte" [Journal] // National Geographic. - Washington, D. C. : National Geographic Society, julio 1998.

**National Weather Service** Tornadoes: nature's most violent storms. A preparedness guide. [Book]. - Washiton : NOAA, 1992. - NOAA/PA92052.

**NOAA** Mean Monthly Total Snowfall (inches) [ CD-Room] = The Climate Atlas of the United States. - 2002. - version 2.0.

**OMM** Vocabulario Meteorológico Internacional [Book]. - Ginebra : [s.n.], 1993. - p. 784.

**Ordaz S. Mario** Algunos Conceptos del Análisis de Riesgos [Publicación periódica] // Prevención. - D. F. : CENAPRED, Mayo de 1996. - 14.

**Prieto González Ricardo [y otros]** Tormentas Severas [Libro]. - [s.l.] : Secretaría de Gobernación, 2010. - Primera edición. - ISBN: 978-607-7558-08-8.

**SARH** Normales climatológicas 1941-1970 [Journal]. - [s.l.] : Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, 1982. - p. 791.

**SMN** Normales climatológicas 1971-2000 [Online]. - 2005. - 10 4, 2011. - [http://www.smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://www.smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75).

**Subdirección de Estudios Económicos y Sociales** Base de Datos Municipal del Grado de Vulnerabilidad Social. - [s.l.] : CENAPRED, 2011.

**Vidal R. and García V.** Amenazas climáticas: Nevadas históricas I y II, carta NA-XIV-6, en sección Naturaleza [Book Section] / book auth. México Nuevo Atlas Nacional de México. - [s.l.] : UNAM, 2007. - escala 1:16,000,000. - ISBN: 978-970-32-5047-9.

**Vidal R. and Ortiz M.** Efectos de las ondas cálidas en el bienestar de la población en el sureste de México [Journal] // XIX Congreso Nacional de Geografía. - Villahermosa, Tabasco : [s.n.], 2010.

**Vidal R.** Frecuencia de heladas, Carta NA-XIV-6, en sección Naturaleza [Book Section] // Nuevo Atlas Nacional de México. - 2007. - escala 1:16,000,000.

**Vidal R.** Número de días con tormenta eléctrica, carta NA-XIV-5. [Sección del libro] // Nuevo Atlas Nacional de México. - [s.l.] : Instituto de Geografía, UNAM, 2007. - escala 1:16,000,000. - ISBN: 978-970-32-5047-9.

**Vidal R.** Temperatura mínima extrema, Carta NA-IV-3, en sección Naturaleza [Book Section] // Nuevo Atlas Nacional de México. - 2007. - escala 1:16,000,000.

**Wikipedia** Wikipedia [En línea]. - 31 de 12 de 2007. - 07 de 03 de 2012. - <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Haboob2.jpg>.