

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

**MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL POR INUNDACIONES Y
BAJAS TEMPERATURAS**

Martín Jiménez Espinosa
Lucía Guadalupe Matías Ramírez
Héctor Eslava Morales

Informe preparado para el CENAPRED
Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos

Febrero, 2009

ÍNDICE

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL.....	1
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO.....	2
2. OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL POR INUNDACIONES	3
2.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN	4
2.2 ÍNDICE DE MARGINACIÓN.....	6
2.3 ÍNDICE DE PELIGRO POR INUNDACIONES	10
2.4 MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES.....	11
3. OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL POR BAJAS TEMPERATURAS.....	17
3.1. ÍNDICE DE PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS	19
3.2. MAPAS DE RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
REFERENCIAS CARTOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUCCIÓN

México presenta una diversidad física y social en todos los sentidos. Por el lado físico presenta una variedad de fenómenos meteorológicos tales como ondas, perturbaciones y ciclones tropicales, frentes fríos, líneas de convergencia, vaguadas, etc. (figura 1); del relieve del terreno, como planicies, montañas, sierras, barrancas, depresiones, valles, etc. (figura 2), lo cual a su vez genera una red de drenaje natural que presenta caudales con valores que van desde cero hasta varios miles de metros cúbicos por segundo en distintos ríos del país. Los eventos antes descritos pueden ocurrir, además, en cualquier época del año, inclusive de manera simultánea y a veces interactuando sobre una misma región.

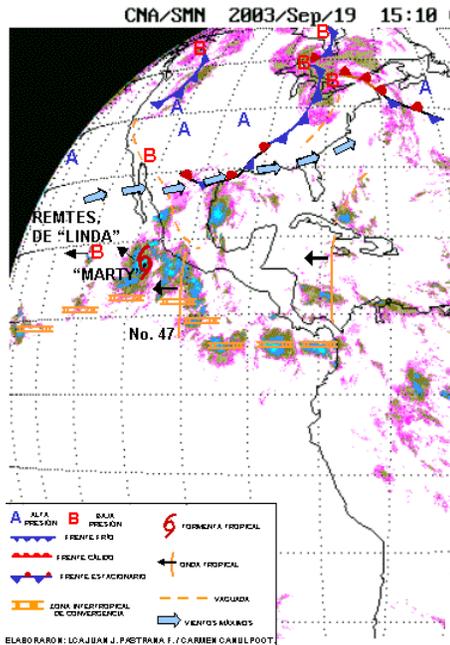


Figura 1.1 Sistemas meteorológicos del día 19 de septiembre del 2003

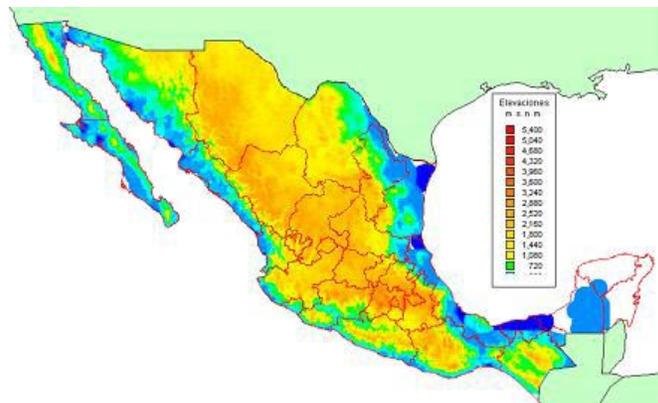


Figura 1.2 Topografía de la República Mexicana

Por el lado social también se observan contrastes enormes. Se pueden observar municipios, que es la división política básica de cada uno de los Estados que conforman a la República Mexicana, con niveles de bienestar similares a los de países desarrollados como los Estados Unidos de Norte America, y otros, como en Oaxaca y Chiapas, con niveles de marginación muy altos. Sin embargo, todos ellos tienen una cosa en común: la exposición, en menor o mayor grado, de sus pobladores y bienes a los fenómenos naturales tales como inundaciones, sismos, erupciones volcánicas, ciclones tropicales, sequías, incendios forestales, etc. Una evaluación de lo anterior

permite tener una idea cualitativa de que tan vulnerable puede ser una persona, una familia o una población a determinado evento natural, e incluso antropogénico.

En este documento se muestra una estimación del riesgo para varios fenómenos: inundaciones, bajas temperaturas y nevadas mediante el uso de variables sociodemográficas tales como la densidad de población y la marginación, así como de índices de peligro por estos fenómenos, que tomen en cuenta la severidad de los mismos bajo los criterios de su frecuencia, magnitud, extensión y si han ocurrido afectaciones en el pasado e, incluso, declaratorias de emergencia o desastre emitidas por la Secretaría de Gobernación.

Se presentan algunos mapas como resultado de este trabajo, así como la relación que existe entre “unidades de riesgo” obtenidas y medidas preventivas tales como el FOPREDEN.

1.1 OBJETIVO

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

2. OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL POR INUNDACIONES

De acuerdo con Ordaz (1996), la siguiente sería una expresión para el cálculo del riesgo por algún fenómeno natural en particular que dañe algún bien expuesto:

$$R = \text{Valor bienes expuestos} \times \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \quad (1)$$

La expresión anterior requiere de definir una distribución de probabilidad en función de la intensidad que se haya seleccionado como parámetro para caracterizar al fenómeno de interés, puede ser un tirante de inundación, la intensidad de la lluvia, la temperatura ambiental, etc. Asimismo, se requiere de una función de vulnerabilidad que dependa del parámetro anterior, así como una estimación del valor de los bienes expuestos, como puede ser el menaje de una casa o la vivienda en sí.

Debido a que lo anterior es difícil de estimar, ya que se requiere de estudios estadísticos, de modelación física del fenómeno y de levantamientos de las viviendas del asentamiento humano que se esté estudiando (Eslava, 2006), se propone una expresión similar que utilice únicamente información disponible y evite el uso de análisis más profundos. Por supuesto que el resultado será una estimación del riesgo para fines de comparación entre unidades geográficas determinadas, que para este caso se selecciona el municipio.

Para estimar el valor de los bienes expuestos se utilizó como una medida indirecta la densidad de población, ya que se ha supuesto que a mayor concentración de población mayor concentración de riqueza, cuyos valores se obtuvieron del censo del 2000 y del conteo poblacional 2005 del INEGI.

Lo anterior no necesariamente es cierto, ya que si correlacionamos la densidad de población de cada municipio, con un indicador de “riqueza”, como puede ser el “indicador de desarrollo humano municipal” (PNUM, 2004), se obtiene un índice de correlación de 0.27, que es muy bajo, pero que muestra una tendencia como la indicada en nuestra hipótesis (ver figura 1.2)

La vulnerabilidad se estimó a través del grado de marginación, que es una medida que permite diferenciar los estados y municipios del país, según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas (CONAPO, 2005).

El peligro se estimó con índices que se obtendrán de la recopilación de diversas fuentes de información, como mapas de amenaza a escala nacional, de eventos reportados por protección civil e, incluso, de notas periodísticas.

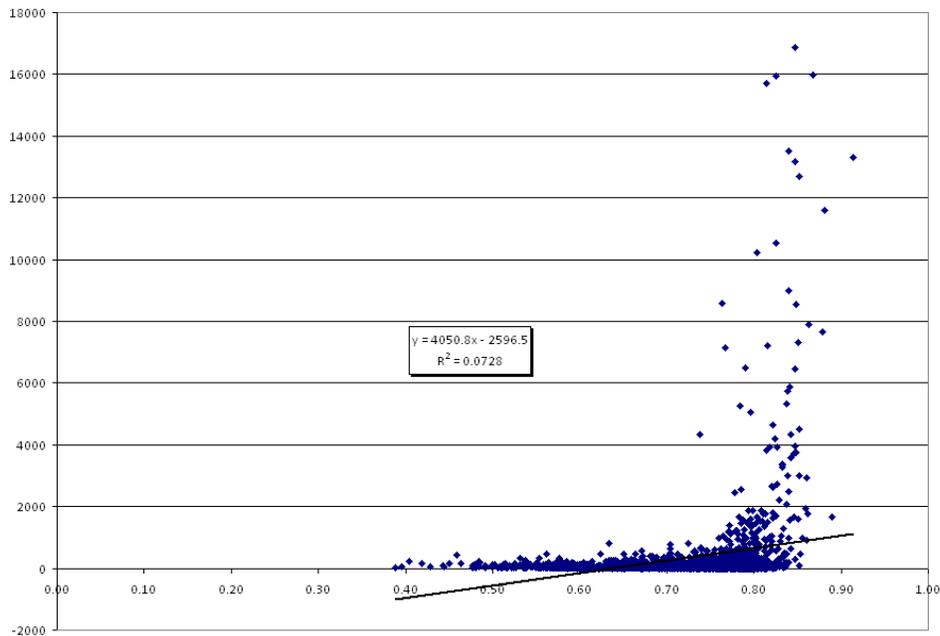


Figura 1.2 Densidad de población vs índice de desarrollo humano del PNUM)

Por lo anteriormente expuesto, la expresión 1 se reescribo como:

$$IR = D \times Gm \times Ip \tag{2}$$

donde:

- IR Índice de Riesgo
- D Densidad de población
- Gm Grado de marginación
- Ip Índice de peligro

2.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN

Como ya se menciona anteriormente, se utilizó la densidad de población como una medida indirecta del valor de los bienes expuestos, ya que se supone que a mayor concentración de población mayor concentración de riqueza.

Con la información del censo del 2000 y del conteo poblacional 2005 del INEGI se determina que la republica mexicana tiene un total de 2,443 municipios con una población total de 103'050,542 habitantes (figura 2.1).

En la figura 2.2 se observa que México es un país con baja densidad de población y sólo algunos municipios concentran grandes núcleos poblacionales, como la delegación de Iztapalapa, en el D. F., con 1'820,888 habitantes o Ecatepec de Morelos, en el estado de México, con 1'688,258

habitantes. En general, México tiene una densidad de 53 hab/km²; para fines de comparación, Japón tiene una densidad de 336 hab/km².

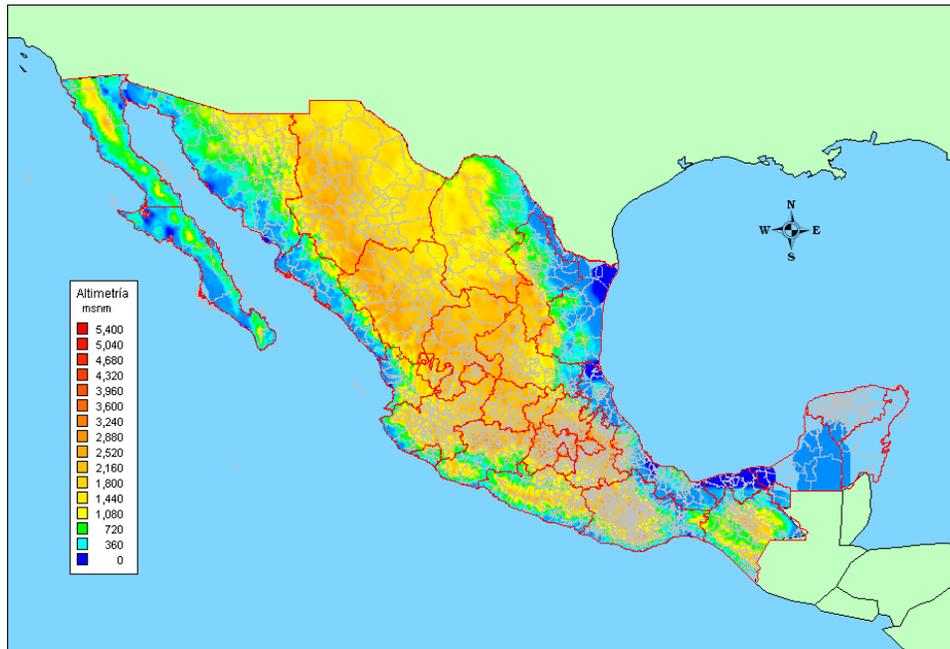


Figura 2.1 División municipal y estatal del país, y altimetría

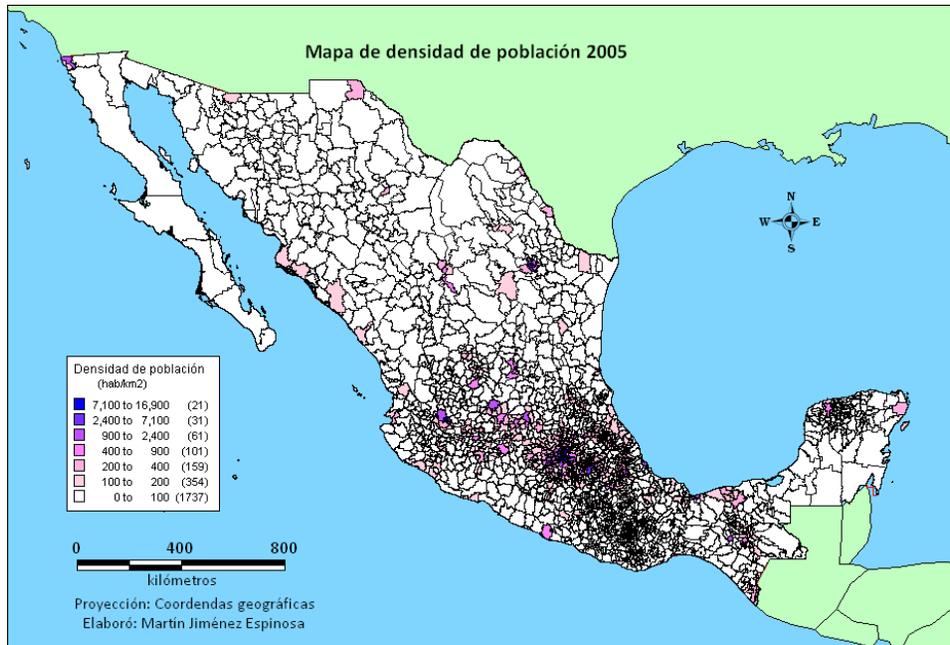


Figura 2.2 Densidad poblacional del país a nivel de municipio

Al analizar la densidad de población en los municipios del país se observó que hay una gran dispersión de sus posibles valores, por lo que se construyó la gráfica de la figura 2.3, en la cual, el eje de las abscisas corresponde a los municipios ordenados de menor a mayor densidad de población y el eje de las ordenadas corresponde al logaritmo natural de ésta. Para eliminar el uso de algunos volares negativos, se ajustó una ecuación, sumando tres unidades al logaritmo natural de la densidad de población para manejar únicamente valores positivos.

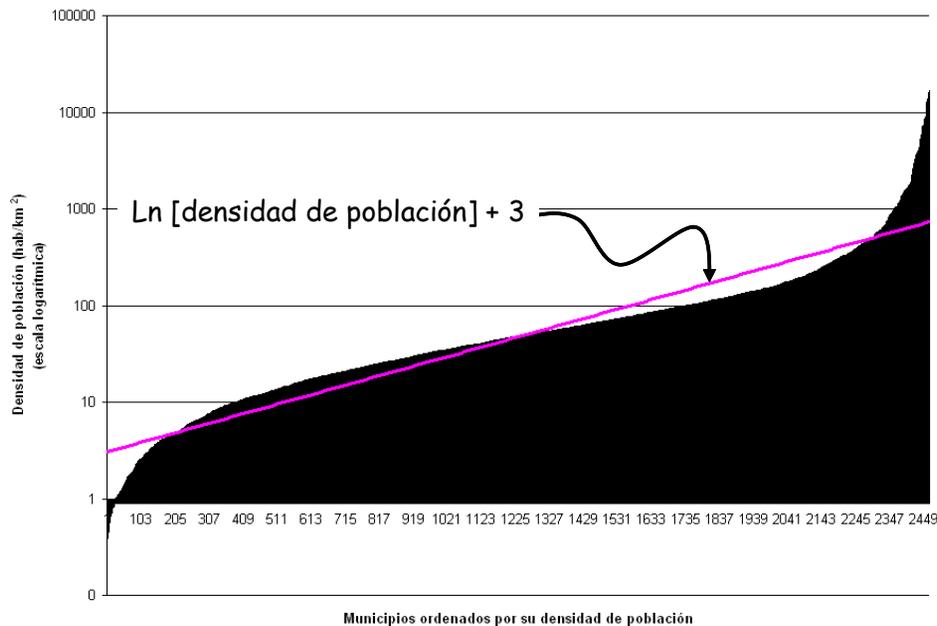


Figura 2.3 Distribución de la densidad de población en los 2,443 municipios del país

De esta manera la expresión 2 quedó como:

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

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

2.2 INDICE DE MARGINACIÓN

La vulnerabilidad se estimó a través del grado de marginación, que es una medida que permite diferenciar los estados y municipios del país, según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas (CONAPO, 2005).

Conforme se planteó la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y bajas temperaturas en México, se decidió utilizar el grado de marginación a nivel localidad, sin embargo, existen localidades del país que carecen de dicha información (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Grado de marginación de las localidades del país (Fuente. Conapo, 2006)

Estado	Loc2005	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	Total	Localidades con calificación de marginación (%)
Aguascalientes	1851	157	270	184	199	28	838	45.3
Baja California	3966	378	350	252	317	34	1331	33.6
Baja California Sur	2467	112	70	54	190	82	508	20.6
Campeche	2623	16	41	85	396	172	710	27.1
Coahuila	3938	204	321	238	335	67	1165	29.6
Colima	1112	29	58	87	78	18	270	24.3
Chiapas	19386	55	92	345	4642	4919	10053	51.9
Chihuahua	12141	705	538	294	1023	2526	5086	41.9
Distrito Federal	482	51	68	95	156	2	372	77.2
Durango	6009	239	548	326	869	1023	3005	50.0
Guanajuato	8629	260	702	1093	3025	676	5756	66.7
Guerrero	7193	23	69	196	1984	3023	5295	73.6
Hidalgo	4554	180	399	619	2042	614	3854	84.6
Jalisco	10643	479	1130	1318	2199	966	6092	57.2
México	4815	323	650	743	2259	366	4341	90.2
Michoacán	9142	114	520	918	2879	1528	5959	65.2
Morelos	1363	127	210	222	400	42	1001	73.4
Nayarit	2592	66	214	185	280	553	1298	50.1
Nuevo León	5218	249	435	413	777	177	2051	39.3
Oaxaca	10186	91	192	487	4143	2955	7868	77.2
Puebla	6348	80	178	461	3070	1181	4970	78.3
Querétaro	2584	103	194	271	876	289	1733	67.1
Quintana Roo	1823	55	37	52	294	100	538	29.5
San Luis Potosí	6887	43	184	472	2391	1076	4166	60.5
Sinaloa	5875	161	609	586	1183	814	3353	57.1
Sonora	7383	311	457	397	704	189	2058	27.9
Tabasco	2530	101	311	460	1033	137	2042	80.7
Tamaulipas	7498	170	496	555	1000	269	2490	33.2
Tlaxcala	1239	89	137	149	247	26	648	52.3
Veracruz	20578	248	610	1286	6708	3106	11958	58.1
Yucatán	2325	14	20	89	539	207	869	37.4
Zacatecas	4558	172	618	679	992	198	2659	58.3
Total	187938	5405	10728	13611	47230	27363	104337	55.5

De la tabla anterior resulta que existe un 55.5% de localidades con calificación de marginación. Así pues, el Estado de México posee el mayor cubrimiento de sus comunidades con el 90.2%. Mientras que, Baja California Sur sólo se han valorado el 20.6% de sus sitios.

CONAPO ha estimado el grado de marginación de todos los municipios del país, por lo cual se decidió trabajar a este detalle.

Tabla 2.2. Grado de marginación a nivel municipio en el país (Fuente: CONAPO, 2006)

Estado	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	Total
Aguascalientes	3	6	2	0	0	11
Baja California	5	0	0	0	0	5
Baja California Sur	4	1	0	0	0	5
Campeche	1	1	4	5	0	11
Coahuila	17	18	3	0	0	38
Colima	4	4	2	0	0	10
Chiapas	1	1	5	64	47	118
Chihuahua	18	28	5	6	10	67
Distrito Federal	5	7	0	1	3	16
Durango	3	10	15	7	4	39
Guanajuato	5	11	20	10	0	46
Guerrero	0	5	3	36	37	81
Hidalgo	8	19	19	32	6	84
Jalisco	22	55	33	12	2	124
México	43	37	19	26	0	125
Michoacán	4	17	55	32	5	113
Morelos	7	14	11	1	0	33
Nayarit	4	7	6	0	3	20
Nuevo León	23	19	3	6	0	51
Oaxaca	10	24	73	290	173	570
Puebla	4	13	50	121	29	217
Querétaro	3	2	3	9	1	18
Quintana Roo	3	2	0	3	0	8
San Luis Potosí	3	4	10	37	4	58
Sinaloa	4	5	5	3	1	18
Sonora	27	34	8	3	0	72
Tabasco	1	3	11	2	0	17
Tamaulipas	13	7	17	6	0	43
Tlaxcala	9	30	18	3	0	60
Veracruz	8	17	39	98	50	212
Yucatán	1	4	26	69	6	106
Zacatecas	3	22	24	9	0	58
Total	266	427	489	891	381	2454

En la figura se muestra 2.3 la distribución del grado marginación por municipio en México, en la cual, a primera vista se observa que los municipios del norte y centro del país son los que tienen una menor grado marginación, mientras que las regiones de la península de Yucatán, del Pacífico sur y centro y del golfo de México presentan una mayor grado de marginación.

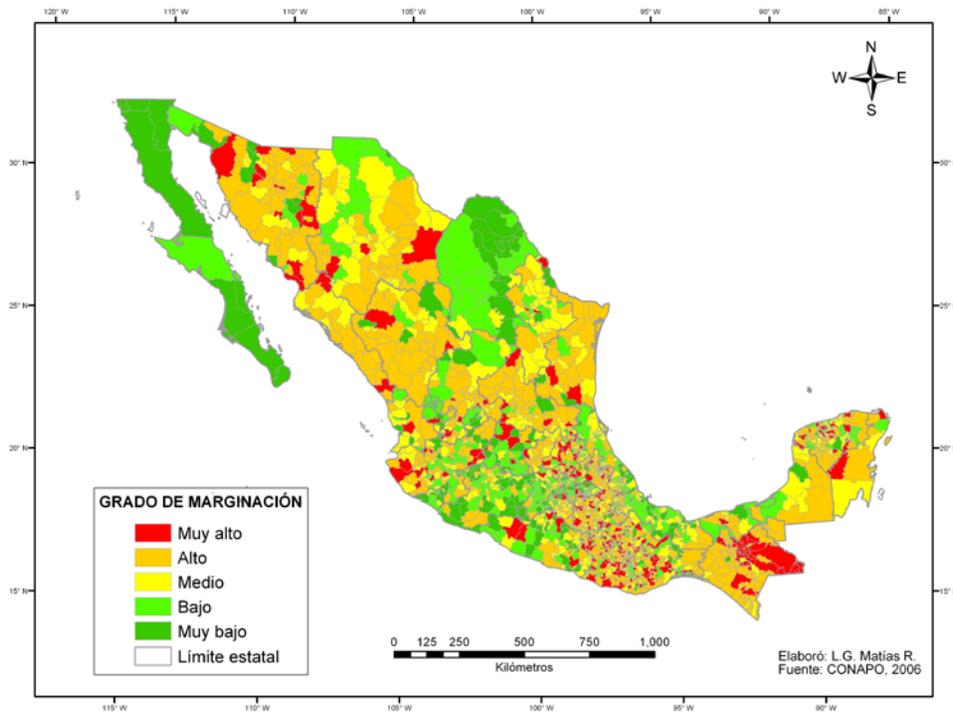


Figura 2.4. Grado de marginación a nivel municipal (CONAPO, 2006)

Con el fin de poder realizar operaciones de mapas (álgebra de mapas) con el grado de marginación de CONAPO, a éste se le asignó un valor numérico para pasar de un valor cualitativo a cuantitativo (tabla 2.3.)

Tabla 2.3 Grado de marginación

Grado de marginación	Valor numérico
Muy Alto	5
Alto	4
Medio	3
Bajo	2
Muy Bajo	1

En la figura 2.5 se muestra la combinación de los dos primeros elementos de la ecuación (3), que será la base de todos los fenómenos, es decir, sólo faltará combinar este mapa con el del índice de peligro respectivo. También este mapa nos muestra por sí mismo una primera medida de la vulnerabilidad y lo que tenemos expuesto ante cualquier fenómeno natural o antrópico.

Se observa en la figura 2.5 que con el nuevo índice se afina el número y la ubicación de las poblaciones más vulnerables ante cualquier fenómeno amenazador. Siendo ésta las que se encuentran en la parte norte de la península de Yucatán y los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Hidalgo, parte de Sinaloa y Chihuahua.

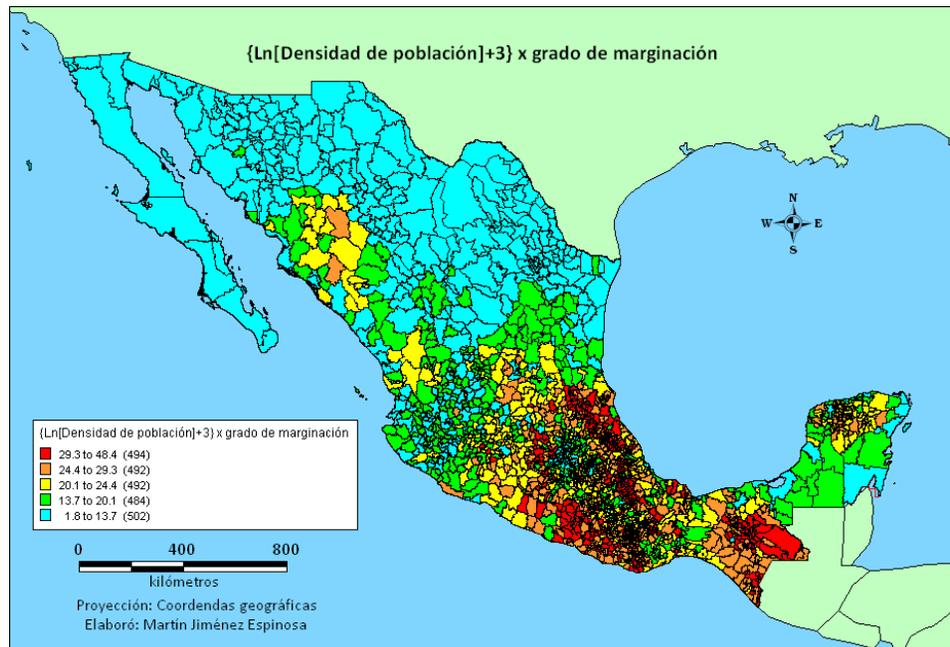


Figura 2.5 Producto de la marginación y densidad de población

2.3 ÍNDICE DE PELIGRO POR INUNDACIONES

Se ha recopilado un registro histórico de eventos extraordinarios, con el cual se ha tratado estimar el peligro de cada uno de los municipios que componen al país. Hay que agregar que no se cuenta con eventos registrados en todos los municipios, por lo que existen “vacíos” en la base de datos.

Para determinar el peligro de un municipio se tomó en cuenta la ocurrencia de decesos y el tipo de los daños generados por el evento mediante la clasificación siguiente:

Peligro	Efectos
Alto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Decesos ▪ Daños extraordinarios ▪ Asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o aguas debajo de presas o bordos
Medio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sin decesos ▪ Daños moderado
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No hay asentamientos irregulares ▪ Sistema de drenaje eficiente ▪ Daños mínimos

El índice de peligro se estimó en primera instancia en el año 2006, recientemente se hizo una actualización para el año 2007, de la siguiente manera: se consultó el documento preliminar de “Impactos Socioeconómicos de los Principales Desastres Ocurridos en la República Mexicana en el

2007”, de la serie Impactos Socioeconómicos de los Desastres en México, que edita el Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (en edición), el cual tiene el resultado de las evaluaciones de dichos desastres, y que está basado en las publicaciones de las declaratorias de desastres que emite la Secretaría de Gobernación en el Diario Oficial de la Federación.

En el año 2007 se presentaron varios fenómenos de origen hidrometeorológico que afectaron a varios estados del país, siendo estos: Nuevo León, Chiapas, Quintana Roo, Campeche, Veracruz, Puebla, Hidalgo y Tabasco. Aproximadamente se agregaron 120 municipios, para tener un total de 1,162 municipios con información sobre peligro por inundaciones.

En la figura 2.6 se muestra el mapa de índice de peligro por inundación, creado a partir de la base de datos antes expuesta.

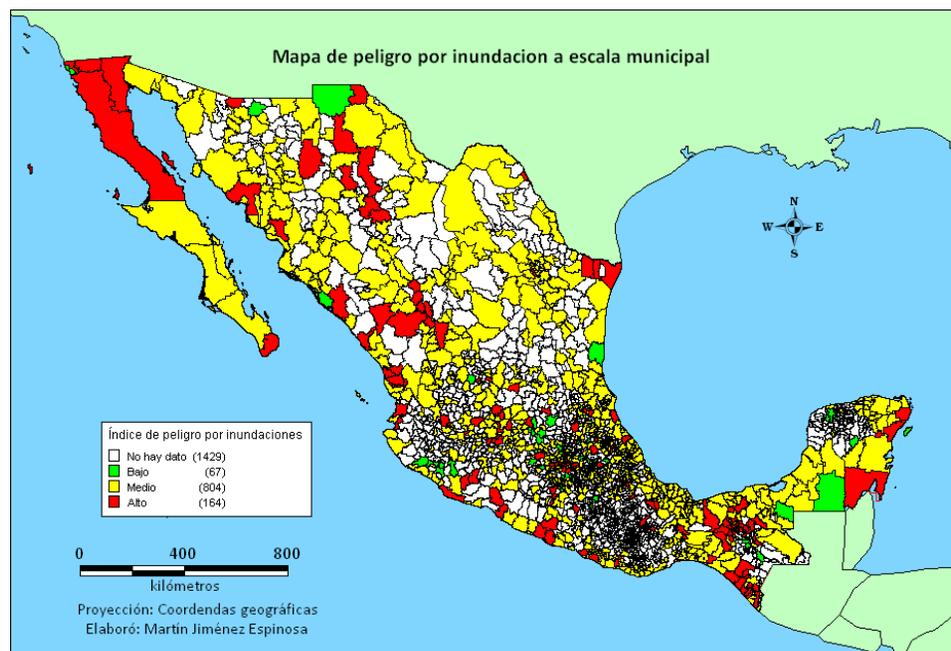


Figura 2.6 Mapa de peligro por inundaciones

2.4 MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES

Finalmente, utilizando la expresión 3 para la estimación del índice de riesgo por inundaciones se obtuvo el mapa de riesgo por inundaciones a escala municipal, que se puede observar en la figura 2.7.

En el mapa de riesgo por inundaciones a escala municipal (figura 2.7) se observa que existen ciertos grupos de municipios con alto riesgo en algunos estados del país, como son Sinaloa y Chihuahua, San Luis Potosí, Querétaro y Guanajuato, Veracruz e Hidalgo, Guerrero y Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Yucatán.

Se estima que hay 200 municipios en el país con muy alto riesgo por inundación, lo que equivale a 6'414,489 habitantes. Por riesgo alto se tendrían a 192 municipios con 6'277,397 habitantes y con riesgo medio a 223 municipios con 18'080,475 habitantes. Al manejar divisiones municipales se debe tomar en cuenta que tal vez sólo una fracción de la población del municipio está en verdadero riesgo.

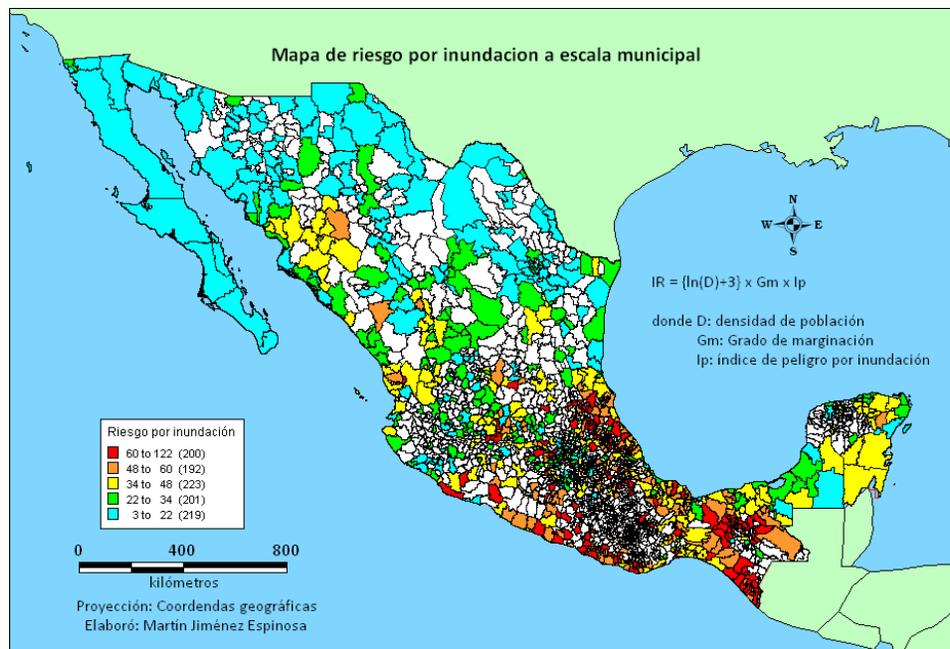


Figura 2.7 Mapa de riesgo por inundación a escala municipal

Ejemplo de mapas a nivel estatal

A continuación se muestran mapas riesgo de dos estados del país, Puebla y el Distrito Federal, por inundaciones (figuras 2.8 y 2.9). El resto de los estados será posible observarlos en el portal del Atlas Nacional de Riesgos. Se observa que en el caso del D.F. sólo hay delegaciones con riesgo de “muy bajo” a “medio”.

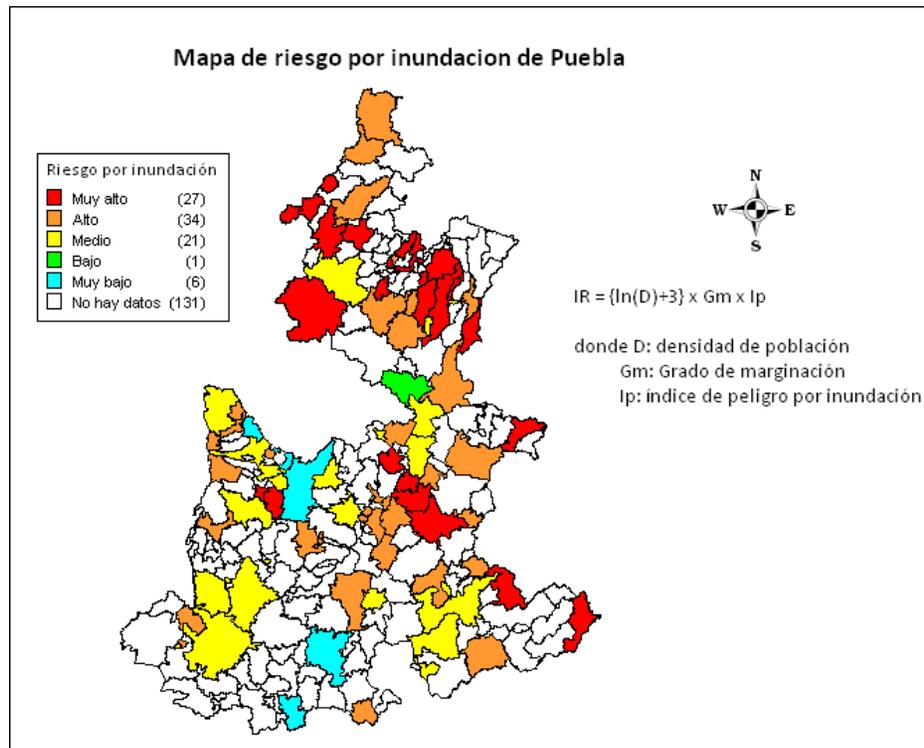


Figura 2.8 Mapa de riesgo por inundación a escala municipal del estado de Puebla

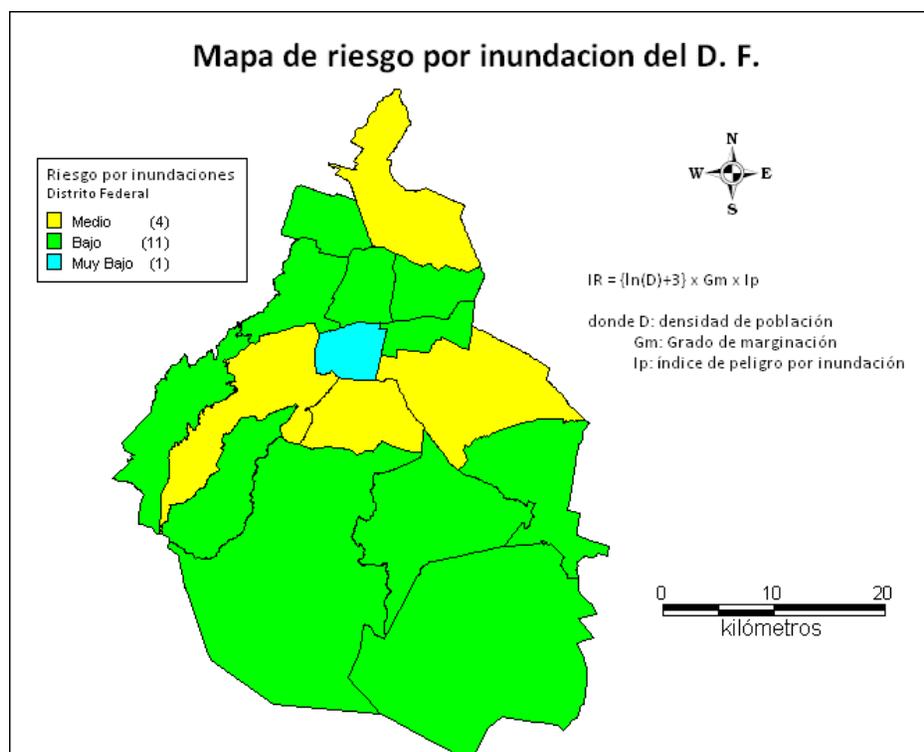


Figura 2.9 Mapa de riesgo por inundación a escala municipal del D.F.

Comparación con financiamiento del FOPREDEN

Un análisis similar al anterior se llevó a cabo pero a nivel estatal, con el fin de comparar las inversiones que se han hecho hasta ahora en el rubro de los fenómenos hidrometeorológicos en los estados de la República Mexicana (figura 2.10). Estas inversiones se resumen en la tabla 2.2, en la que además se ve su evolución en el tiempo (Protección Civil, 2008). También hay información referente a los apoyos brindados a instituciones federales, como el Servicio Meteorológico Nacional.

Dicho fondo tiene un carácter preventivo, y se esperaría que las mayores inversiones se realicen en los estados con mayor riesgo.

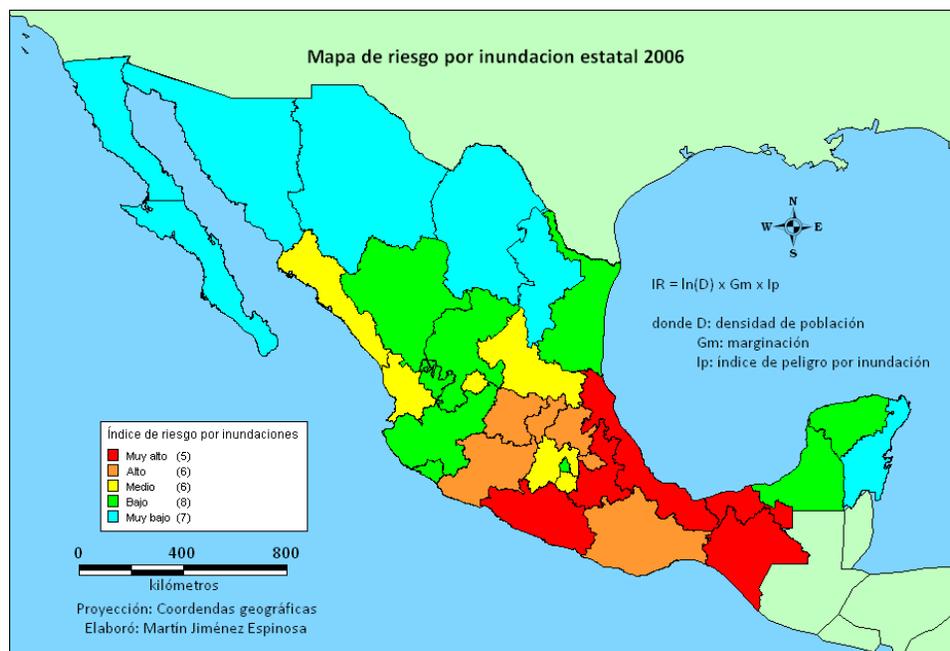


Figura 2.10 Mapa de riesgo por inundación a escala estatal

Si se compara el monto de las inversiones de cada estado con las “unidades de riesgo” estatales por inundaciones obtenidas con esta metodología se observa una pobre correlación entre riesgo y financiamiento FOPREDEN, aunque en general la tendencia es que a mayor riesgo mayor inversión del FOPREDEN (figura 2.11).

Destacan los casos de Sonora y Chiapas, para el primero, a pesar de que tiene un valor bajo de riesgo comparado con el resto de los estados, es el segundo estado más beneficiado del país hasta ahora. El caso de Chiapas muestra que es el estado con mayor riesgo por inundación y el que mayor financiamiento de FOPREDEN ha tenido hasta ahora (sólo en lo correspondiente a fenómenos hidrometeorológicos).

Tabla 2.2 Financiamiento FOPREDEN 2004-2007 por fenómenos hidrometeorológicos

No.	ESTADO	2004	2005	2006	2007	SUBTOTAL	PORCENTAJE
1	Aguascalientes					0	0%
2	Baja California					0	0%
3	Baja California Sur					0	0%
4	Campeche					0	0%
5	Chiapas	12,565,147		14,200,146		26,765,293	8%
6	Chihuahua					0	0%
7	Coahuila de Zaragoza			8,251,419	8,156,602	16,408,021	5%
8	Colima					0	0%
9	Distrito Federal				23,212,344	23,212,344	7%
10	Durango					0	0%
11	Guanajuato	10,000,000		2,555,000		12,555,000	4%
12	Guerrero					0	0%
13	Hidalgo					0	0%
14	Jalisco					0	0%
15	México					0	0%
16	Michoacán de Ocampo		3,650,000		8,764,000	12,414,000	4%
17	Morelos	2,008,820		3,000,000		5,008,820	2%
18	Nayarit	2,826,192				2,826,192	1%
19	Nuevo León					0	0%
20	Oaxaca					0	0%
21	Puebla					0	0%
22	Querétaro de Arteaga	6,479,155				6,479,155	2%
23	Quintana Roo					0	0%
24	San Luis Potosí	4,685,671				4,685,671	1%
25	Sinaloa					0	0%
26	Sonora	4,234,000	20,000,000	34,550,793		58,784,793	18%
27	Tabasco					0	0%
28	Tamaulipas			4,646,500		4,646,500	1%
29	Tlaxcala		3,000,000			3,000,000	1%
30	Veracruz de Ignacio de la Llave				15,324,000	15,324,000	5%
31	Yucatan					0	0%
32	Zacatecas					0	0%
33	CENAPRED	11,452,000				11,452,000	4%
35	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA	5,415,000				5,415,000	2%
36	SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL	2,132,900	2,010,796			4,143,696	1%
37	SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL		23,900,342		26,168,250	50,068,592	15%
38	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA É INFORMÁTICA				63,998,206	63,998,206	20%
	TOTALES	61,798,885	52,561,138	67,203,858	145,623,402	327,187,282	100%

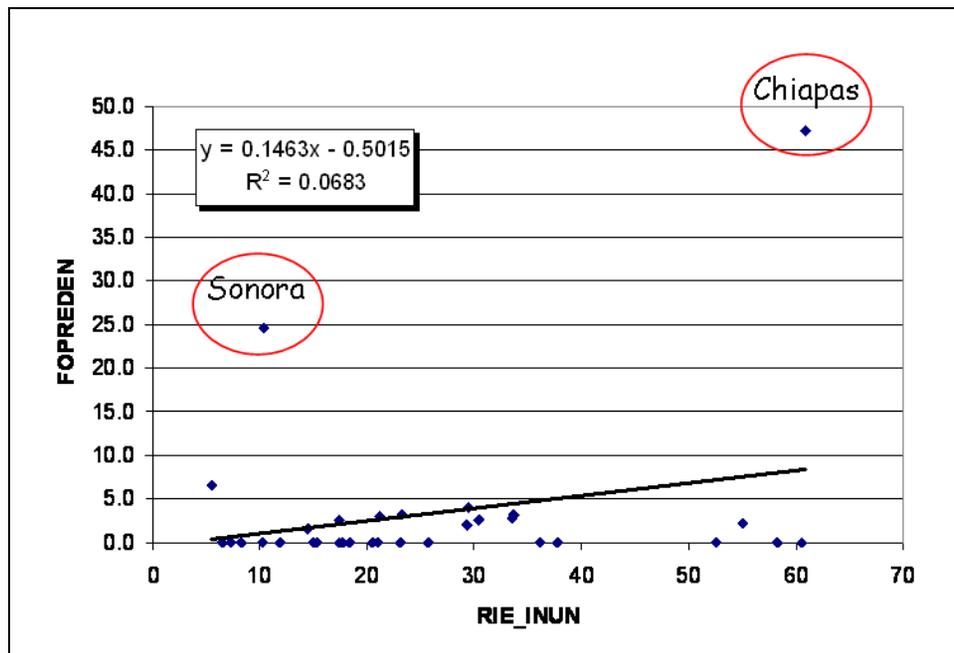


Figura 2.11 Financiamiento FOPREDEN 2004-2007 vs. Riesgo por inundaciones

La mala correlación se debe en parte a aquellos estados que no han solicitado todavía apoyo del FOPREDEN, algunos de los cuales presentan un gran riesgo por inundaciones, como es el caso de Puebla y Guerrero, por ejemplo.

3. OBTENCIÓN DE MAPAS DE RIESGO A ESCALA MUNICIPAL POR

BAJAS TEMPERATURAS

El CENAPRED (2006 y 2008) ha elaborado metodologías para valorar el riesgo por bajas temperaturas un nivel de detalle de comunidad; sin embargo, la información disponible no cubre a todas las localidades del país. Por tal motivo, en este capítulo se describe un procedimiento con base en datos a nivel municipal.

Para la obtención de los mapas de riesgo a escala municipal para el fenómeno de bajas temperaturas se utilizaron la densidad de población y el grado de marginación que fueron determinados en el capítulo 2 “Obtención de mapas de riesgo a escala municipal por inundaciones”

En este capítulo se determinó el índice de peligro bajas temperaturas, que al ser operado con los términos anteriores, se determinó el índice de riesgo por bajas temperaturas.

Atlas estatales

Primeramente, se hizo una revisión de todos los atlas de riesgo elaborados por los gobiernos de los estados, para conocer si existe una calificación por parte de las autoridades referentes al peligro por frío o bajas temperaturas, no obstante, hay lugares en el país que carecen de atlas.

En la tabla 3.1 se muestra a los estados que poseen atlas y que toman en cuenta al fenómeno de bajas temperaturas.

Tabla 3.1. Relación de los estados de México que tienen atlas de riesgo y que son afectados por el fenómeno de bajas temperaturas. (Fuente: Gobierno de los estados de México)

Estado	Atlas publicado	Bajas temperaturas
Aguascalientes	Sí	Sí
Baja California	NO	-
Baja California Sur	Sí	No
Campeche	Sí	No
Coahuila	Sí	Sí
Colima	Sí	No
Chiapas	Sí	Sí
Chihuahua	Sí	Sí
Distrito Federal	Se desconoce	---
Durango	Sí	Sí
Guanajuato	Sí	Sí
Guerrero	Sí	Sí
Hidalgo	Sí	Sí
Jalisco	Se desconoce	---
Estado de México	Sí	Sí
Michoacán	Sí	Sí
Morelos	Sí	Sí
Nayarit	Sí	Sí
Nuevo León	Sí	Sí
Oaxaca	Sí	Sí
Puebla	Sí	Sí
Querétaro	Sí	Sí
Quintana Roo	No	-
San Luis Potosí	Sí	Sí
Sinaloa	Sí	Sí

Estado	Atlas publicado	Bajas temperaturas
Sonora	Sí	Sí
Tabasco	Sí	No
Tamaulipas	Sí	No
Tlaxcala	Sí	Sí
Veracruz	Sí	Sí
Yucatán	No	-
Zacatecas	Sí	Sí

En la figura 3.1 se observa a los estados que tienen asignada una calificación por parte de sus autoridades de Protección Civil, es decir, ellos clasificaron sus municipios según el grado de afectación por bajas temperaturas en las siguientes categorías; muy baja, baja, media, alta y muy alta.

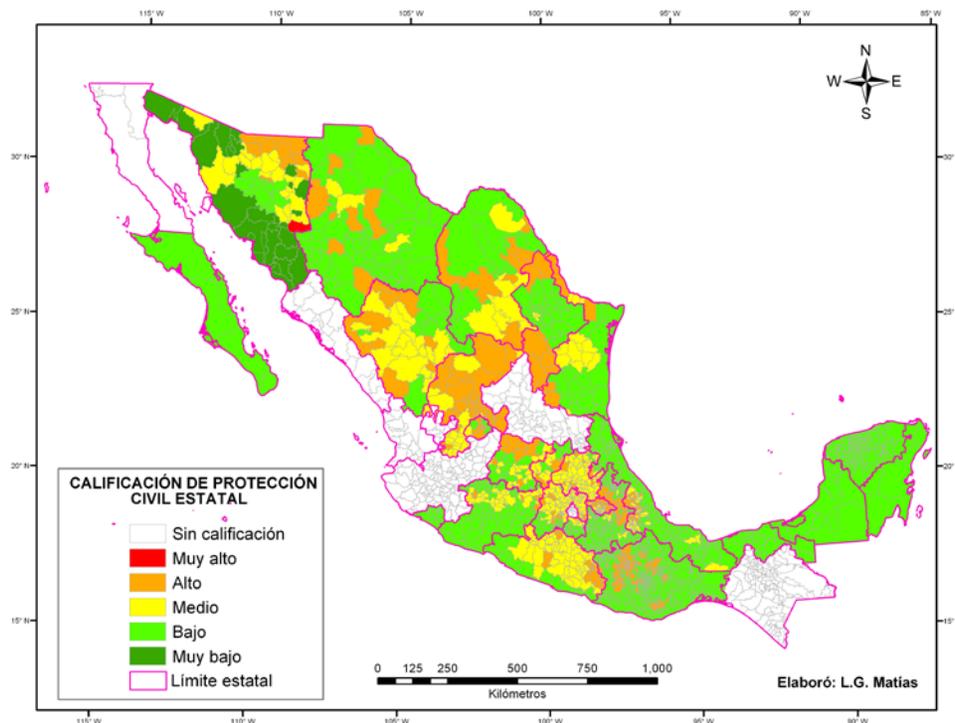


Figura 3.1. Calificación de las autoridades de Protección Civil Estatal referente al fenómeno de bajas temperaturas

De los estados que carecen de atlas de riesgo, tales como, Baja California y Jalisco, éstos poseen algunas regiones que son afectadas por las bajas temperaturas, por lo que es necesaria su pronta elaboración. Por otra parte, el estado de Chiapas y Sinaloa tienen atlas para algunos municipios; sin embargo, estos lugares carecen de afectación por el fenómeno en estudio, por ejemplo, en Tuxtla Gutiérrez y Culiacán, respectivamente.

3.1. ÍNDICE DE PELIGRO POR BAJAS TEMPERATURAS

Para valorar el índice de bajas temperaturas, se utilizaron los parámetros de días con heladas, la temperatura mínima extrema y el número de emergencias por frío; toda la información anterior se obtuvo a nivel municipal.

La siguiente será una expresión para el cálculo del índice de peligro por bajas temperaturas:

$$I_{PF} = I_{tmext} + I_{hel} + I_{decl} \quad (4)$$

donde:

I_{PF}	Índice de peligro por frío o bajas temperaturas
I_{tmext}	índice de temperaturas mínimas extremas
I_{hel}	índice de días con heladas
I_{decl}	índice del número de declaratorias

Índice del número de días con helada

Respecto al número de días con heladas se utilizó el mapa del Nuevo Atlas Nacional de México (UNAM, 2007) (figura 3.2), donde se asignó una calificación a cada municipio según la isolínea de número de días con heladas que cubre a éste; sin embargo, hay ocasiones donde más de una isolínea toca a un municipio, en este caso se utilizó la de mayor número de días con heladas, es decir, se califica con la más desfavorable, los intervalos obtenidos se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Número de días con heladas

Días
> 120
61-120
1 – 60
cero

Después se asignó un valor a cada uno de éstos quedando de la siguiente forma:

Tabla 3.3. Asignación de valores

Número de días con heladas	Valor
> 120	4
61-120	3
1 – 60	2
cero	1

Por otra parte, el cálculo del índice es a partir de cada valor que se divide entre el dato más alto, y después se multipla por 0.25. De esta forma se obtienen las siguientes categorías (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Categorías sugeridas para el índice

Número de días con heladas	Valor	Índice	Categoría
> 120	4	0.25	Alta
61-120	3	0.19	Media
1 – 60	2	0.13	Baja
cero	1	0.06	Muy baja o nula

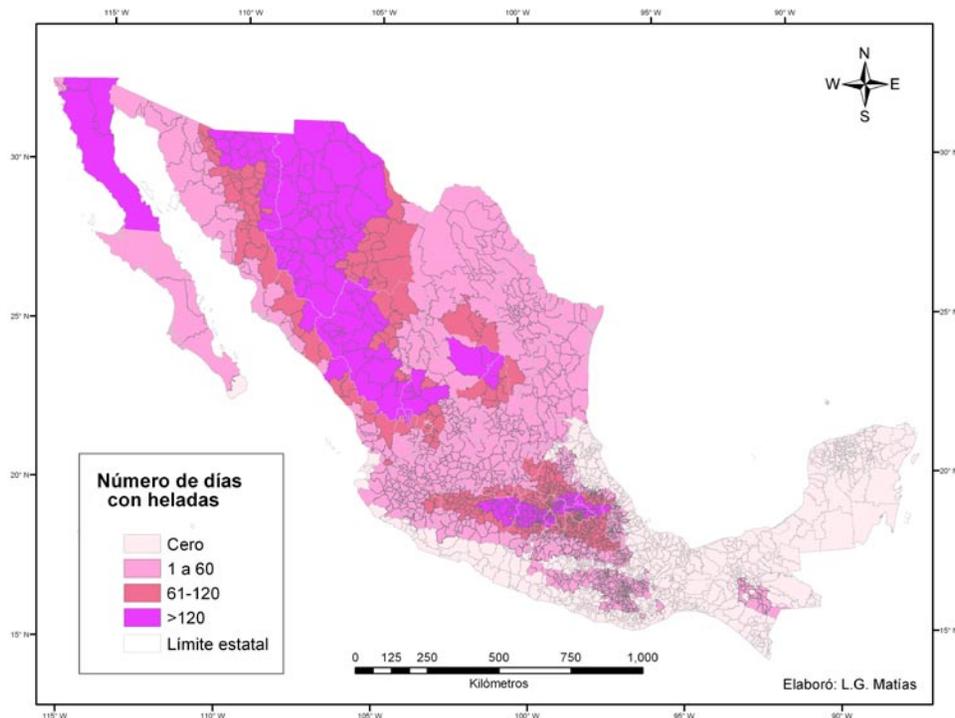


Figura 3.2. Número de días con heladas por municipio (Fuente: UNAM, 2007)

De la figura 3.2 se deduce que existen dos grandes regiones de México que son afectadas por las heladas, la de mayor extensión es la que se ubica sobre la Sierra Madre Occidental y la de menor tamaño, pero no menos importante es la del Centro, debido a que en esta última se localiza la mayor concentración de población, principalmente por estar el Estado de México y el Distrito Federal, los cuales sobresalen en color rojo en la figura 3.3 (tabla 3.5).

Tabla 3.5. Distribución por municipio según el índice de heladas

Número de días con heladas	Valor	Índice	Categoría	Municipios
> 120	4	0.25	Alta	223
61-120	3	0.19	Media	465
1 – 60	2	0.13	Baja	1050
cero	1	0.06	Muy baja o nula	716
			Total	2454

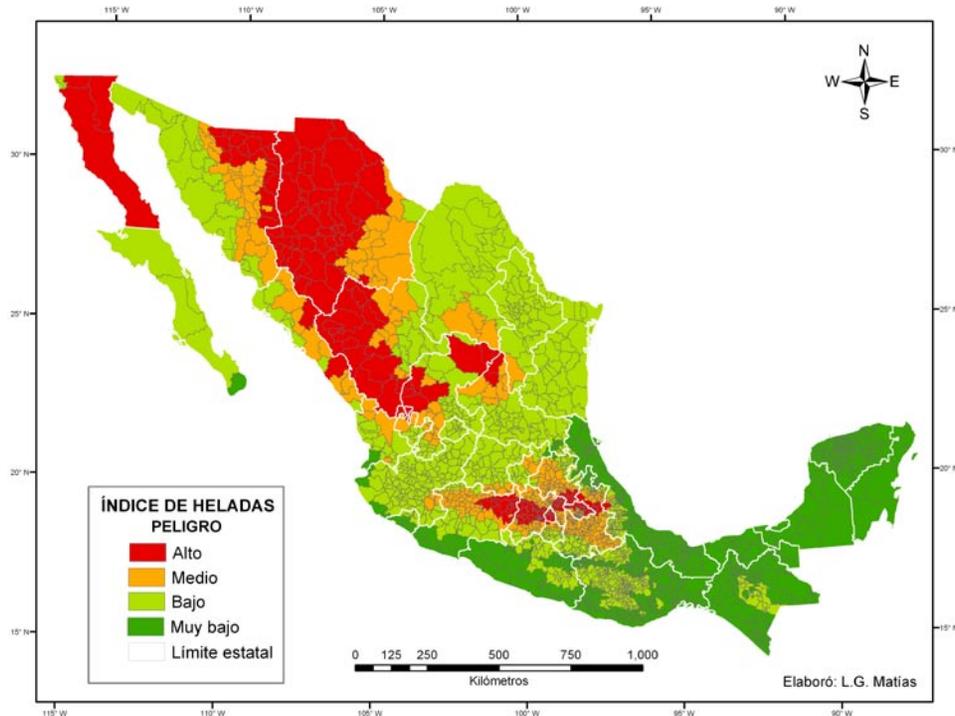


Figura 3.3. Índice de heladas por municipio

De este índice se concluye que sólo el 9.2% de los municipios de México tienen una alta exposición a las heladas, y son aquéllos que se encuentran sobre la Sierra Madre Occidental y en el Sistema Volcánico Transversal.

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 (UNAM, 2007), en el que aparecen las isotermas con los siguientes valores:

Tabla 3.6. 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

Como el mapa de isotermas tiene una representación similar con el de días con heladas, se trabajó de forma equivalente, 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 3.4.

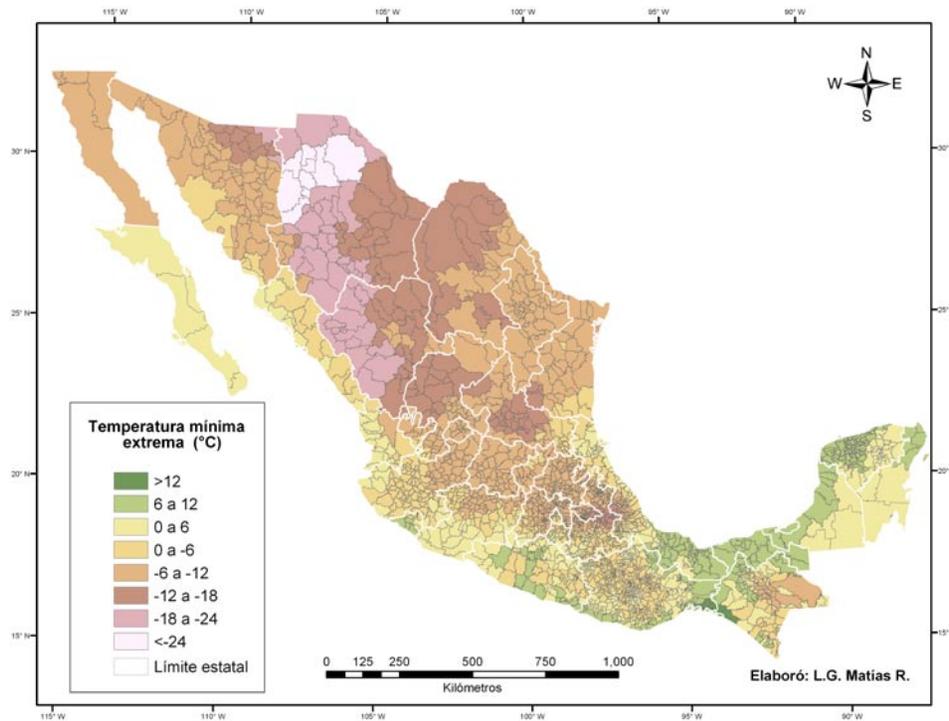


Figura 3.4. Distribución de la temperatura mínima extrema por municipio (Fuente: UNAM, 2007)

De la figura anterior se observa que el noroeste del país es la región donde se localizan los descensos más bruscos de temperatura e, incluso, en algunos municipios de los estados de Chihuahua y Durango han registrado valores menores a los -24°C (tabla 3.7).

Tabla 3.7. Temperaturas mínimas diarias en algunas estaciones climatológicas (Fuente: SMN, 2005 y SARH, 1982)

Estación	Municipio	Estado	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	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
Babícora	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

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 multipla por 0.25. De esta forma se obtienen las siguientes categorías (tabla 3.8).

Tabla 3.8. Construcción de intervalos de clases

Temperatura mínima extrema °C	Valor	Índice
>12	1	0.05
6 a 12	2	0.10
0 a 6		
0 a -6	3	0.15
-6 a -12		
-12 a -18	4	0.20
-18 a -24		
<-24	5	0.25

Una vez realizado el proceso anterior se obtiene la figura 3.5, donde se observan los índices calculados, en él destacan en color rojo los municipios de Ahumada, Buenaventura, Nuevo Casas Grandes, Galeana, Ignacio Zaragoza, Gómez Farias, Casas Grandes y Madera, debido a que alcanzaron los valores más altos.

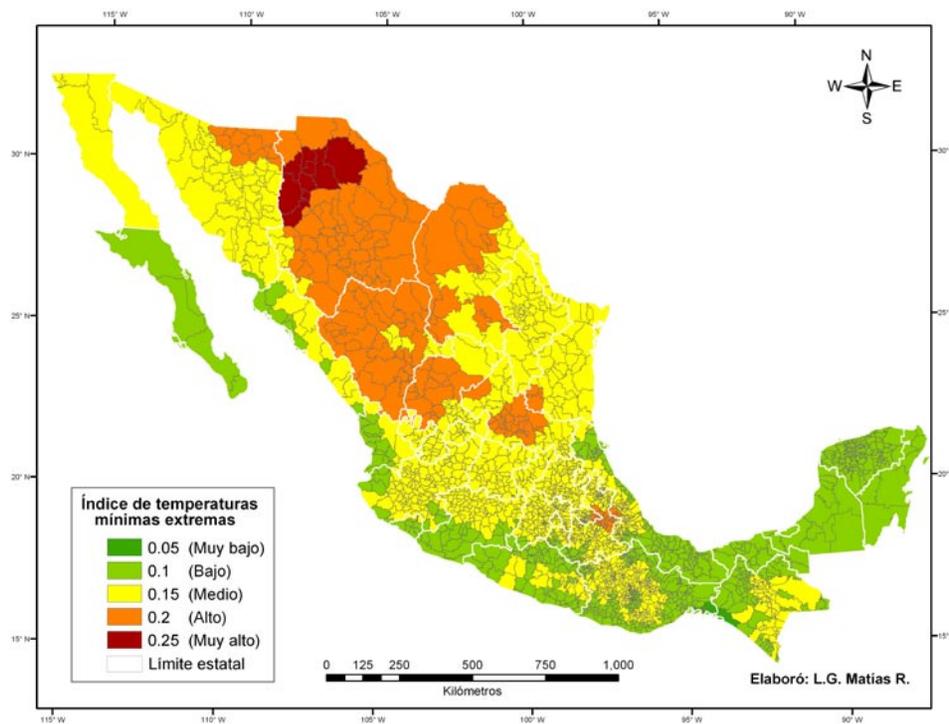


Figura 3.5. Índice de temperatura mínima extrema según municipio

Del mismo modo, en la tabla 3.9 se muestran los resultados del índice y con ello, se conoce el número de municipios según la categoría obtenida. De ésta se deduce que más del 50% de los municipios del país se encuentran catalogados como de mediana exposición a una temperatura mínima extrema.

Tabla 3.9. Resultados del índice de temperatura mínima extrema

Temperatura mínima extrema °C	Valor	Índice	Categoría	Municipios
>12	1	0.05	Muy bajo	7
6 a 12	2	0.10	Bajo	722
0 a 6				
0 a -6	3	0.15	Medio	1532
-6 a -12				
-12 a -18	4	0.20	Alto	184
-18 a -24				
<-24	5	0.25	Muy alto	9
			Total	2454

Índice del número de declaratorias de emergencia por frío

Se utilizaron los datos de las declaratorias de emergencia que emite la Secretaría de Gobernación durante el periodo de 2000 a octubre de 2008, las cuales fueron consultadas en el archivo interno de la Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos y las más recientes se recopilaron del Diario Oficial de la Federación.

Con la información anterior se obtuvo el número de veces que un municipio del país permaneció en emergencia por frío, así como algunos datos de los daños ocasionados por el fenómeno que generó el descenso de la temperatura, para ello se establecieron los intervalos de la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Valores propuestos para el índice

Número de declaratorias	Valor	Índice
0	1	0.10
1-2	2	0.20
3-4	3	0.30
5-6	4	0.40
7-9	5	0.50

De esta manera se obtiene la figura 3.6 que representa el número de declaratorias de emergencia por frío en los últimos nueve años, en ella se refleja claramente que los estados de Chihuahua y Zacatecas han sido beneficiados por los apoyos brindados de las declaratorias.

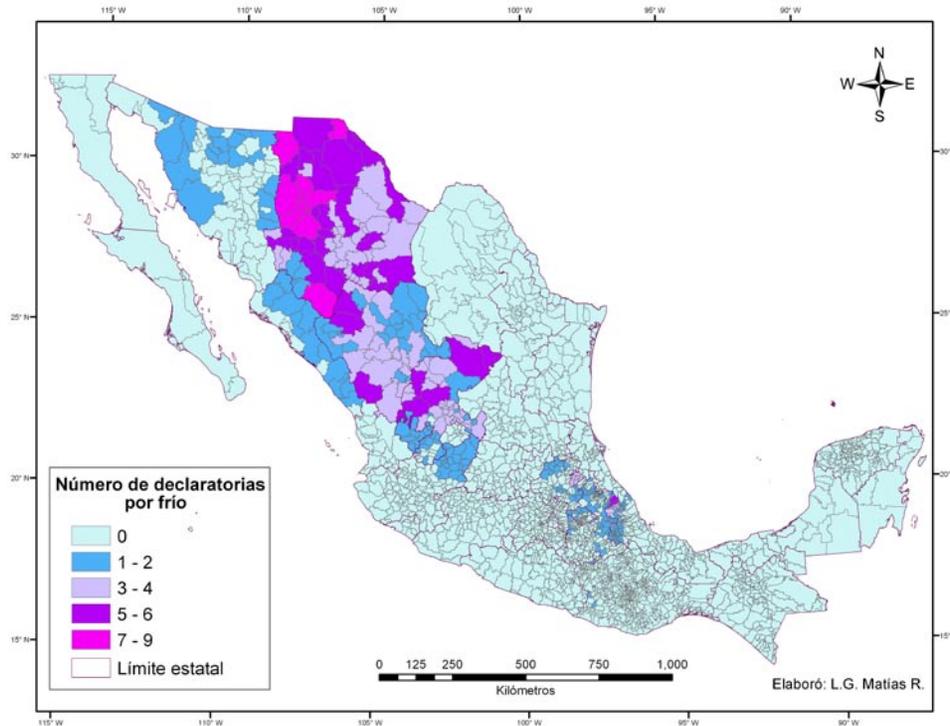


Figura 3.6. Declaratorias de emergencia por frío según municipio (Fuente: CENAPRED y SEGOB)

Por ejemplo, los municipios de Chihuahua que tuvieron entre siete y ocho declaratorias fueron, Guadalupe y Calvo, Guerrero, Temósahic, Namiquipa, Gómez Farias, Madera, Ignacio Zaragoza, Janos, Juárez, mientras que, Matachí es el único que ha tenido nueve. Este último se localiza en un valle entre las sierras de Chávez y Choreachic.

Del mismo modo, para calcular el índice se toma cada uno de los valores y se dividió entre el más alto, después se multiplicó por 0.50. De esta forma se obtuvieron las siguientes categorías (tabla 3.11).

Tabla 3.11. Resultados del índice de número de declaratorias por municipio

Número de declaratorias	Valor	Índice	Categoría	Municipios
0	1	<0.10	Muy baja	2282
1-2	2	0.11-0.20	Baja	78
3-4	3	0.21-0.30	Media	70
5-6	4	0.31-0.40	Alta	19
7-9	5	0.41-0.50	Muy alta	5
			Total	2454

De la tabla anterior se deduce que en el 92% de los municipios del país no se ha establecido una declaratoria de emergencia por frío y los estados que han solicitado éstas en mayor medida son Chihuahua, Veracruz y Zacatecas, y en menor proporción lo han hecho Durango, Tlaxcala, Puebla, Sonora, Oaxaca, Jalisco e Hidalgo.

En la figura 3.7 se muestran los municipios de Ignacio Zaragoza, Madera, Temósachic, Matachí y Guerrero, correspondientes al estado de Chihuahua los cuales presentaron mayor número de declaratorias, y por lo tanto, obtuvieron un índice alto, debido a que se localizan en la Sierra Tarahumara.

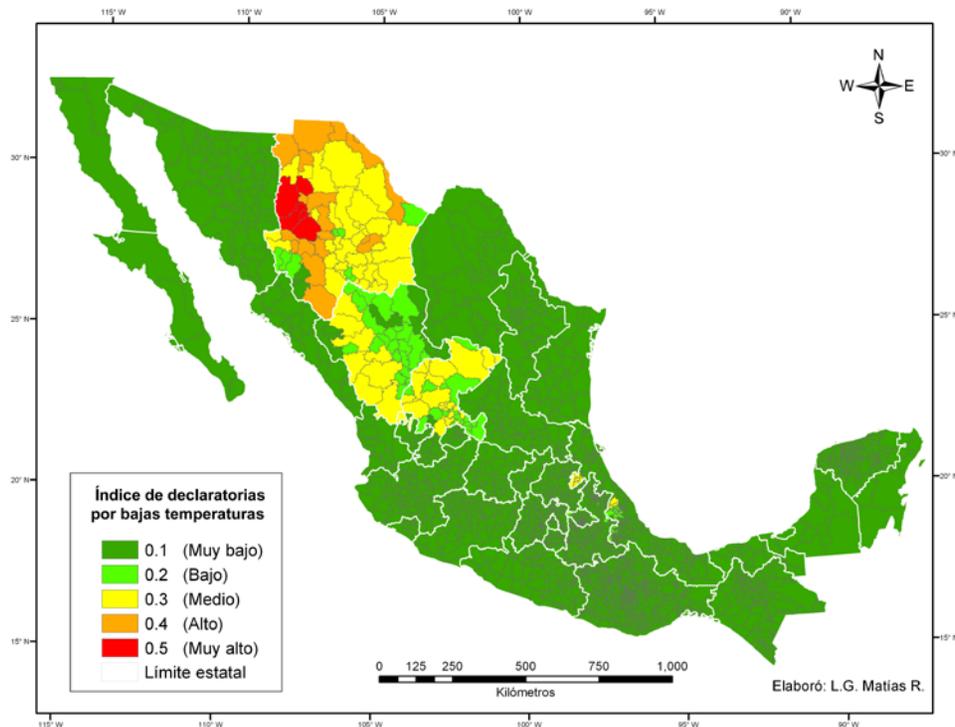


Figura 3.7. Índice de número de declaratorias de emergencia por frío según municipio

Los mapas de temperatura mínima extrema y los días con helada se tienen valores para cada municipio, mientras que los datos de las declaratorias de emergencia por frío, se presentaron a un nivel de detalle de incluso localidades, por tal motivo, se propuso asignarle promedios pesados a la expresión 4, dándole el mayor peso al índice de declaratorias; sin embargo, la única desventaja es el periodo de registro, ya que sólo se cuenta con nueve años, por lo que se debe actualizar continuamente esta base de datos.

Por lo anterior expuesto, la expresión 4 se reescribió como:

$$I_{\text{Frío}} = I_{\text{tmext}} (0.25) + I_{\text{hel}} (0.25) + I_{\text{decl}} (0.50) \quad (5)$$

Una vez calculados los índices antes mencionados para cada uno de los municipios del país se determinaron los valores del índice de peligro por frío utilizando la expresión 3.2, estos valores se resumen en la tabla 3.12

Tabla 3.12. Valores propuestos para construir el índice de frío

Índice de frío	Valor	Intervalos	Municipios
Muy bajo	1	0.21-0.33	936
Bajo	2	0.34-0.45	1174
Medio	3	0.46-0.60	255
Alto	4	0.61-0.75	61
Muy alto	5	0.76-1.00	28
		Total	2454

Para conocer la distribución de los valores obtenidos en la tabla anterior, se procede a elaborar la figura 3.8, 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.

Una vez conocidos los valores se clasificaron en cinco categorías, donde se forman nuevamente dos regiones, sólo que ahora destaca la zona de Chihuahua y Durango (figura 3.9). Por otra parte, el centro del país a penas se alcanza a distinguir.

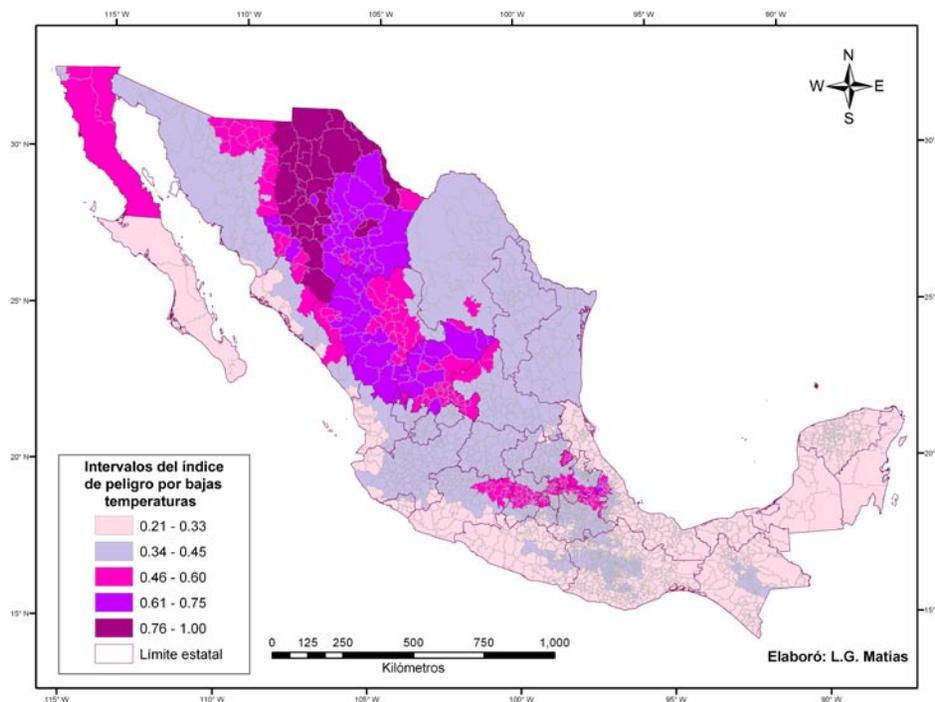


Figura 3.8. Distribución de los intervalos del índice de frío

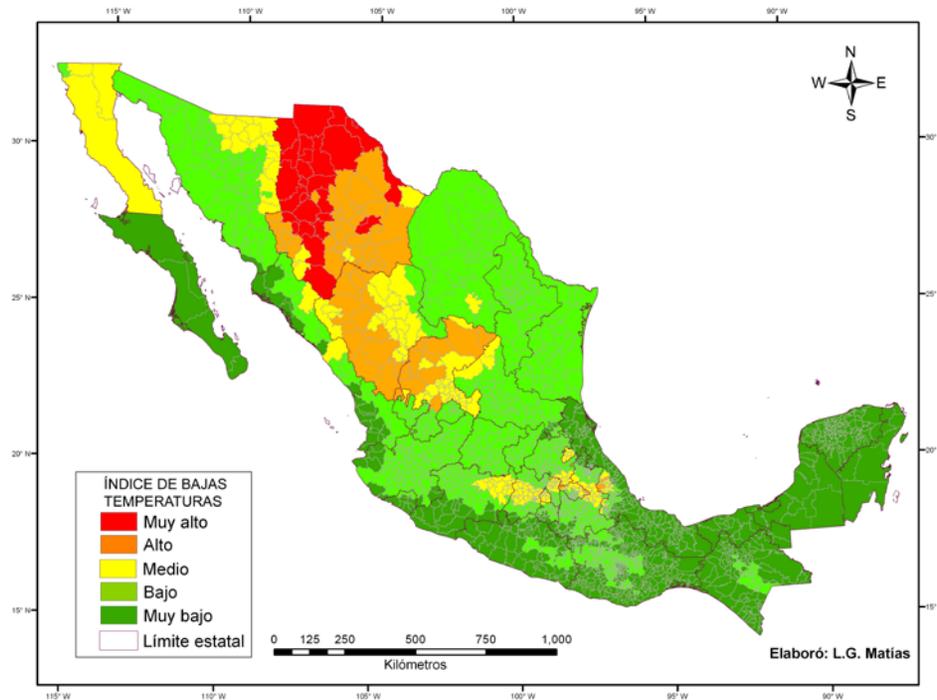


Figura 3.9. Índice de bajas temperaturas con base en los índices de temperatura, días con heladas y número de declaratorias por frío

3.2. MAPAS DE RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS

Como ya se mencionó anteriormente para la obtención de los mapas de riesgo a escala municipal para el fenómeno de bajas temperaturas se utilizaron la densidad de población y el índice de marginación que fueron determinados en el capítulo 2 “Obtención de mapas de riesgo a escala municipal por inundaciones” y el índice de bajas temperaturas se determinó en este capítulo.

De esta manera la expresión 3 quedo como:

$$IR = \{Ln[D]+3\} * Gm * I_{PF} \quad (6)$$

donde:

Ln[D] logaritmo de la densidad de la población,
Gm índice de marginación
I_{PF} índice de peligro por bajas temperaturas.

Con la expresión 6 y la información anterior se obtuvo el índice de riesgo por bajas temperaturas, y se construyó el mapa de riesgo por bajas temperaturas de la figura 3.10. En la figura 3.11 se muestra un detalle de dicho mapa de la zona centro del país.

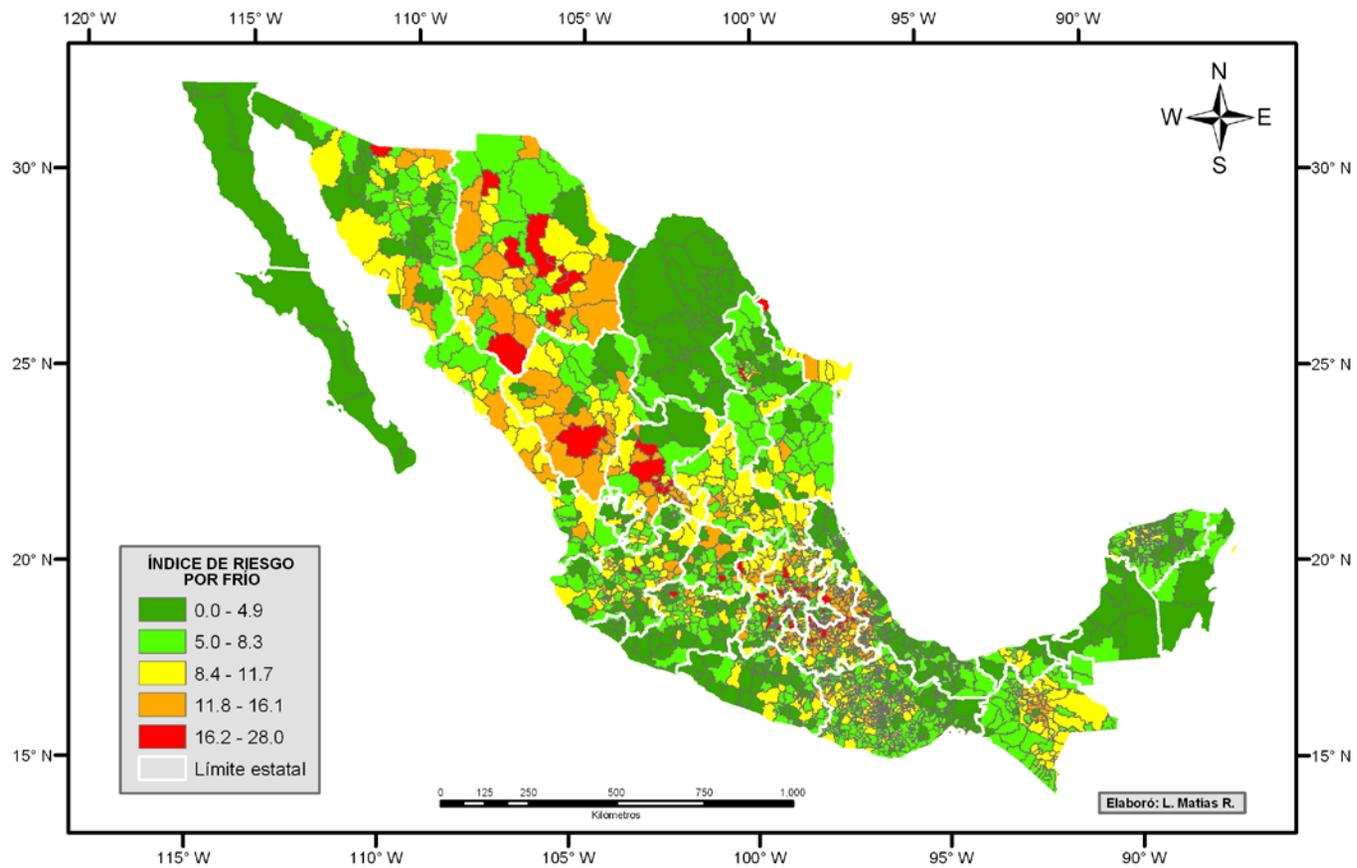


Figura 3.10. Mapa de riesgo por bajas temperaturas de México

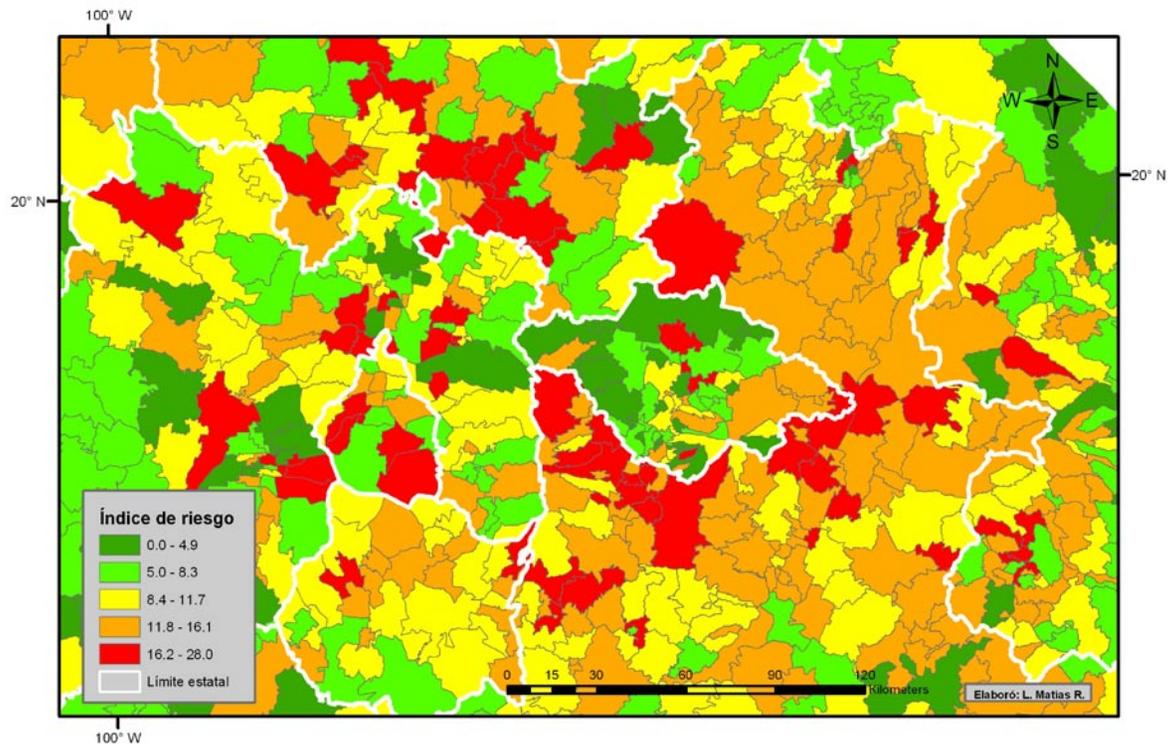


Figura 3.11. Detalle del mapa de riesgo por bajas temperaturas para el centro de México

De las figuras anteriores se observa que los estados donde existe al menos un municipio con un índice de riesgo muy alto por bajas temperaturas son: Chihuahua, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas. Cabe mencionar que se omite Baja California y Coahuila, debido a que su índice de riesgo por bajas temperaturas es medio y bajo, respectivamente, por lo que al ser multiplicado por el grado de marginación y por el logaritmo de la densidad de población, resulta que el índice de riesgo es muy bajo.

También de las figuras 3.10 y 3.11 se obtienen las categorías y el número de municipios que cubren a cada una de éstas, las cuales se muestra en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Resultados del índice de riesgo por bajas temperaturas

Índice de riesgo por frío	Valor	Intervalos	Municipios
Muy bajo	1	0.0-4.9	530
Bajo	2	5.0-8.3	820
Medio	3	8.4-11.7	620
Alto	4	11.8-16.1	375
Muy alto	5	16.2-28.0	109
		Total	2454

Así pues, se indica que la mayor cantidad de municipios en el país, es decir, el 55% poseen una categoría de bajo y muy bajo, mientras que, el 20% se localiza entre las clases de alto y muy alto.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAPO (2005), “Índices de Marginación, 2005”, 1ª edición, Consejo Nacional de Población, ISBN: 970-628-847-3, noviembre.

CONAPO, 2006. Índices de marginación 2005 por localidad, disponible en www.conapo.gob.mx.

CONAPO, 2001. Tamaño, dinámica y estructura de la población: tendencias y desafíos. Publicación disponible en www.conapo.gob.mx

Eslava M., H, Jiménez E., M., et al (2006), “Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Meteorológicos”. Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones y Avenidas Súbitas en Zonas Rurales, con Arrastre de Sedimentos. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED ISBN 970-628-905-4. México, noviembre 2006.

Ordaz M. (1996), “Algunos Conceptos del Análisis de Riesgos”, revista Prevención no. 14, CENAPRED, mayo.

Protección Civil (2008), Fondo para la Prevención de Desastres Naturales, página de internet <http://www.proteccioncivil.gob.mx/Portal/PtMain.php?nIdHeader=2&nIdPanel=127&nIdFooter=22>, consultada el 21 de noviembre de 2008.

De la fuente, JR., Martuscelli, J. y Alarcón Segovia, D. 2004. El futuro de la Investigación Médica en México. Gac.Méd.Mex. 140:519-524.

Dirección General de Protección Civil, 2004. Sistema Estatal de Riesgos del Estado de México, versión electrónica.

Gobierno del estado de Aguascalientes, 1994. Atlas estatal de riesgos, Consejo estatal de Protección Civil, pp.143.

Gobierno del estado de Tlaxcala. 2000. Atlas de riesgo estatal. Protección Civil, pp.80.

Gobierno del estado de Sonora. 2001. Atlas estatal de riesgos. Unidad estatal de Protección Civil del gobierno de Sonora, pp.125.

Gobierno del estado de Zacatecas, 2000. Atlas estatal de riesgo, pp.80.

Gobierno del estado de Puebla, 2003. versión digital CD.

Gobierno del estado de Coahuila, 2003. Atlas estatal de riesgos, pp.27.

Gobierno del estado de San Luis Potosí, 1997. Atlas estatal de riesgos, Unidad de Protección Civil, pp.50.

Gobierno del estado de Veracruz, Versión electrónica.

Gobierno del estado de Querétaro, 1992. Atlas estatal de riesgos, pp.42.

Hospital General de México, 2007. Enfermedades respiratorias agudas en México, disponible en hgm.salud.gob.mx

Instituto de Salud del estado de México, 2007. Medidas de prevención contra las enfermedades respiratorias agudas, disponible en <http://salud.edomexico.gob.mx>

Jiménez, M., L. Matías, F. García, M. Vázquez, D. Mendoza y S. Renner, 2006. Análisis del peligro y vulnerabilidad por bajas temperaturas y nevadas. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Tomo Fenómenos hidrometeorológicos. CENAPRED, Noviembre, pp. 295-459.

Jiménez, M. y H. Eslava. 2008. Mapas de riesgo a escala municipal. XVI Congreso Nacional de Meteorología, Monterrey, Nuevo León. Noviembre.

Matías, L., M. Jiménez, F. García, H. Eslava y D. Mendoza. 2008. Aplicación de la metodología para obtener mapas de riesgo por bajas temperaturas y nevadas en la comunidad de Raíces, Estado de México, SEGOB-CENAPRED, Diciembre, pp. 62.

PNUM, 2004. <http://www.undp.org.mx/Desarrollo Humano/disco/index.html>

SEGOB, 1988. Los municipios del estado de México. Enciclopedia de los municipios de México. Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación.

Secretaría del estado de Nuevo León, 2001, Atlas de riesgos del estado de Nuevo León, pp.70.

SARH, 1982. Normales climatológicas 1941-1970. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, pp. 791.

SMN, 2005. Normales climatológicas 1971-2000. Archivo disponible en su página web

REFERENCIAS CARTOGRÁFICAS

CONAPO, 2006. Índices de marginación 2005, versión electrónica.

INEGI, 2006. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión electrónica.

INEGI, 2006. II Censo de población y vivienda 2005, versión electrónica.

UNAM, 2007. Frecuencia de heladas, Carta NA-XIV-6, en sección Naturaleza, Nuevo Atlas Nacional de México, escala 1:16,000,000.

UNAM, 2007. Temperatura mínima extrema, Carta NA-IV-3, en sección Naturaleza, Nuevo Atlas Nacional de México, escala 1:16,000,000.