



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES  
ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. RABINDRANATH BAHENA AYALA

TUTOR:  
DR. FELIPE I. ARREGUÍN CORTÉS  
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

CD.MX., NOVIEMBRE 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. David Ortega Gaucin  
Secretario: M.I. Jaqueline Lafragua Contreras  
Vocal: Dr. Felipe I. Arreguín Cortés  
1 er. Suplente: Dr. Carlos Eduardo Mariano Romero  
2 do. Suplente: M.I. Claudia Elizabeth Cervantes Jaimes

Lugar donde se realizó la tesis:

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA  
JIUTEPEC, MORELOS**

**TUTOR DE TESIS:**

**DR. FELIPE I. ARREGUÍN CORTÉS**

---

**FIRMA**

## *Dedicatorias*

*A mi México, por ser una nación de oportunidades.  
Que mi trabajo y dedicación sean de beneficio a la gente de mi país.  
Te Amo México.*

*A la tierra que me vio crecer... Jojutla, el epicentro del renacimiento de México, porque  
estoy seguro que resurgirá de los escombros como una comunidad resiliente. 19S.*

*A mis seres queridos, por su cariño y comprensión...  
Especialmente a mi padre por su amor e incondicional apoyo...*

## *Agradecimientos*

Toda mi gratitud y respeto a:

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca No. 417393  
suministrada para mi manutención durante el desarrollo de mis estudios.

A mi nueva alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

A mi segunda casa, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

y al Posgrado UNAM, Campus IMTA

Por ser formadores de profesionistas comprometidos con México.

A mi mentor, el Dr. Felipe I. Arreguín Cortés, por dirigir y sustentar este documento. Por su experiencia y visión del sector hídrico invertidas en este trabajo de investigación. Por ser un ejemplo a seguir para las nuevas generaciones de profesionistas, que incita a ser ingenieros versátiles.

A mi Comité de Evaluación por sus valiosas aportaciones, su tiempo y experiencia invertidos, nutriendo este documento.

Dr. David Ortega Gaucin

M.I. Jaqueline Lafragua Contreras

Dr. Carlos Eduardo Mariano Romero

En especial a la M.I. Elizabeth Cervantes por su tiempo y dedicación invertidos en la revisión y desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi Dra. Adriana Villa Navia por su apoyo incondicional, sus consejos, tiempo y comprensión. Siempre agradecido.

A mis amigos, Eduardo Samaniego, Carlos Daniel de la Torre y Brenda Zambrano  
#PoderHidráulico.

Al equipo Von Kármán del laboratorio del Posgrado UNAM, Campus IMTA.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	I
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
GLOSARIO .....	VIII
<b>RESUMEN .....</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XII</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>XIII</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XVII</b>
OBJETIVO GENERAL.....	XVII
OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	XVII
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>CAPITULO 1. RESILIENCIA URBANA, NUEVO GESTOR DEL RIESGO .....</b>	<b>1</b>
1.1 RESILIENCIA Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO .....	3
1.2 RESILIENCIA Y SU RELACIÓN CON OTROS CONCEPTOS.....	6
1.3 CIUDADES RESILIENTES .....	10
1.4 LA INFRAESTRUCTURA COMO ELEMENTO FÍSICO PARA CREAR RESILIENCIA.....	11
1.5 LA IMPORTANCIA DE CREAR RESILIENCIA DESDE LA CONCEPCIÓN DE LAS ORGANIZACIONES .....	12
<b>CAPITULO 2. FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 SEQUÍA .....	17
2.2 CICLONES TROPICALES .....	21
2.3 INUNDACIONES .....	26
2.4 TORMENTAS SEVERAS.....	30
2.5 HELADAS.....	34
<b>CAPITULO 3. ÍNDICE Y PERFIL DE RESILIENCIA EN CIUDADES ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS – COMPONENTE TÉCNICA .....</b>	<b>38</b>
3.1 HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS PARA DETERMINAR EL NIVEL DE RESILIENCIA .....	38
3.2 ÍNDICE TÉCNICO DE RESILIENCIA EN CIUDADES.....	40

3.2.1 PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN .....	40
3.2.2 ANÁLISIS JERÁRQUICO .....	40
3.2.3 ESCALA DE EVALUACIÓN .....	40
3.2.4 ESTRUCTURA DE DISEÑO DEL ÍNDICE TÉCNICO DE RESILIENCIA.....	41
3.2.5 SELECCIÓN DE INDICADORES DEL ÍNDICE TÉCNICO DE RESILIENCIA .....	43
3.2.6 ANÁLISIS DE DATOS Y PROCESO DE CÁLCULO .....	44
3.2.7 NIVEL DE RESILIENCIA TÉCNICO GLOBAL .....	56
3.2.8 MAPA DE NIVEL DE IMPACTO ESPERADO .....	56
3.2.9 SISTEMA COMPUTACIONAL DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES (IRC) ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS – COMPONENTE TÉCNICA.....	57
3.2.10 REPORTE E INTERPRETACIÓN DE DATOS .....	58
3.3 PERFIL TÉCNICO DE RESILIENCIA EN CIUDADES .....	59
3.3.1 METODOLOGÍA DEL PERFIL TÉCNICO DE RESILIENCIA EN CIUDADES .....	59
<b>CAPITULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA .....</b>	<b>61</b>
4.1 FISIOGRAFÍA .....	62
4.2 HIDROGRAFÍA.....	62
4.3 RED DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO .....	64
4.4 CLIMA .....	65
4.5 USO DE SUELO, VEGETACIÓN Y EDAFOLOGÍA.....	66
4.6 POBLACIÓN Y ECONOMÍA .....	66
4.7 SISTEMA DE BARRANCAS .....	67
4.8 INFRAESTRUCTURA VIAL .....	68
4.9 ESTADÍSTICAS .....	69
4.10 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA.....	71
<b>CAPITULO 5. ÍNDICE Y PERFIL DE RESILIENCIA DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA – COMPONENTE TÉCNICA.....</b>	<b>73</b>
5.1 ÍNDICE TÉCNICO DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA.....	74
5.1.1 INDICADOR DE AMENAZA PRINCIPAL .....	74
5.1.2 INDICADOR DE INFRAESTRUCTURA .....	75
5.1.3 INDICADOR DE PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO Y CÓDIGOS NORMATIVOS .....	76
5.1.4 INDICADOR DE EVALUACIONES DEL RIESGO.....	77

5.1.5 INDICADOR DE PLANES DE REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE (RRD) .....	79
5.1.6 INDICADOR DE PRESUPUESTO ASIGNADO A LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS.....	81
5.1.7 INDICADOR DE INSTITUCION RELACIONADA CON RRD .....	82
5.1.8 INDICADOR DE SERVICIOS VITALES .....	83
5.1.9 EVALUACIÓN DE DAÑOS, TIEMPO Y VELOCIDAD DE RECUPERACIÓN .....	85
5.1.10 RESULTADOS DEL ÍNDICE E INDICADORES .....	85
5.2 PERFIL DE RESILIENCIA DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA – COMPONENTE TÉCNICA.....	86
5.2.1 ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA CIUDAD ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	86
5.2.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SOBRE VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO EXISTENTES DE LA CIUDAD.....	88
5.2.3 ANÁLISIS DE LA AMENAZA PREDOMINANTE.....	95
5.2.3.1 INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE CUERNAVACA .....	95
5.2.3.2 SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE CUERNAVACA.....	96
5.2.4 ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.....	98
5.2.5 ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y ECOLÓGICO, DESARROLLO URBANO Y CÓDIGOS NORMATIVOS CON LOS QUE CUENTA LA CIUDAD.....	100
5.2.6 GENERACIÓN DE INFORMACIÓN FALTANTE.....	101
5.2.7 PROPUESTA DE MEDIDAS NO ESTRUCTURALES Y ESTRUCTURALES PARA INCREMENTAR LA RESILIENCIA EN CUERNAVACA. ....	103
<b>CAPITULO 6. RESULTADOS DE LA RESILIENCIA DE CUERNAVACA ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....</b>	<b>104</b>
6.1 NIVEL DE RESILIENCIA DE CUERNAVACA.....	104
6.2 MAPAS DE RESILIENCIA .....	106
6.3 COMENTARIOS FINALES .....	108
<b>CAPITULO 7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO A. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA COMPUTACIONAL DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES (IRC) ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO B. HISTORIAL DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS EN CUERNAVACA .....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del módulo de resiliencia representado por el área sombreada azul. Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Gere & Goodno, 1972). .....	2
Figura 2. La resiliencia en los elementos que integran el riesgo. Fuente: Elaboración propia, adaptada de UNISDR. ....	4
Figura 3. Representación gráfica del proceso de resiliencia a corto y a largo plazo. Fuente: Elaboración propia, adaptada de CENAPRED. ....	5
Figura 4. Circulo de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada de UNISDR. ....	6
Figura 5. Concepto de la resiliencia en el de sostenibilidad. La tendencia es que las medidas resilientes estén dentro de la sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Arreguín Cortés, 2016). ....	7
Figura 6. A) Socavón en una de las avenidas de Fukuoka, Japón. B) Reparación del socavón, dos días después del suceso. Fuente: <a href="http://www.bbc.com">www.bbc.com</a> .....	9
Figura 7. Ciudades de México inscritas en el programa 100 Ciudades Resilientes de Fundación Rockefeller. Fuente: Elaboración propia, adaptada de 100 Ciudades Resilientes.....	11
Figura 8. Puente Coyuca en el Estado de Guerrero. A) Colapso del puente. B) Puente provisional construido 15 días después del colapso. C) Nuevo puente Coyuca construido un año y dos meses después. Fuente: <a href="http://www.eluniversal.com.mx">www.eluniversal.com.mx</a> .....	12
Figura 9. Impacto económico por fenómenos naturales e impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos del período 2000 al 2015, a nivel mundial. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Centro de Investigación sobre Epidemiología de Desastres (CRED, por sus siglas en ingles).....	14
Figura 10. Porcentaje que representa el impacto económico ocasionado por fenómenos hidrometeorológicos a nivel mundial. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del CRED. 15	
Figura 11. Impacto económico por fenómenos de diferente índole e impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos del período 2000 al 2016, en México. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del CENAPRED. ....	16

Figura 12. Porcentaje que representa el impacto económico ocasionado por fenómenos hidrometeorológicos en México. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del CENAPRED. ....	16
Figura 13. Evolución y porcentaje del territorio afectado por una o varias categorías de sequía a nivel nacional. Fuente: CONAGUA. ....	20
Figura 14. Representación de los datos obtenidos del monitor de sequía en México. Fuente: CONAGUA.....	21
Figura 15. México se encuentra en la franja de los grandes desiertos del mundo y en las zonas de mayor incidencia ciclónica. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CONAGUA y NOAA. ....	24
Figura 16. Mapa de las catástrofes naturales en 2015. Las inundaciones son los eventos naturales que más desastres ocasionan. Fuente: Munich RE. ....	27
Figura 17. Tormentas de granizo en México. Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. ....	33
Figura 18. Heladas en México. Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. ....	37
Figura 19. Circulo de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada de UNISDR.....	39
Figura 20. Esquema de la estructura de un índice. Fuente: Elaboración propia. ....	42
Figura 21. La componente técnica es una integrante del circulo de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada del círculo de la resiliencia UNISDR. ....	43
Figura 22. Estructura del índice técnico de resiliencia. Fuente: Elaboración propia. ....	52
Figura 23. Carátula del sistema computacional desarrollado para calcular el Índice de Resiliencia en Ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos – Componente técnica. Fuente: Elaboración propia. ....	57
Figura 24. Simulación de los resultados de la evaluación de los indicadores que integran la componente técnica de una ciudad. Fuente: Elaboración propia. ....	58

Figura 25. Ubicación de la ciudad de Cuernavaca dentro de la subcuenca R. Apatlaco RH18Fd. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI. ....	61
Figura 26. Corrientes perennes de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.....	63
Figura 27. Corrientes intermitentes de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI. ....	63
Figura 28. Peligro por inundaciones fluviales y corrientes perennes. Fuente: Elaboración propia con información del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos e INEGI. ....	64
Figura 29. Estaciones climatológicas e hidrométricas en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CONAGUA. ....	65
Figura 30. Uso de suelo en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.....	66
Figura 31. Principales barrancas de la Ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI. ....	67
Figura 32. Principales vías de comunicación en la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI. ....	68
Figura 33. Arterias urbanas de la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI. ....	69
Figura 34. Mapa de vulnerabilidad social. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy baja vulnerabilidad social. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático. ....	89
Figura 35. Mapa vulnerabilidad por fenómenos hidrometeorológicos. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en condiciones de alta vulnerabilidad. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos. ....	90
Figura 36. Mapa de riesgo por inundaciones pluviales. La ciudad de Cuernavaca se encuentra identificada como de muy alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos..	90

Figura 37. Mapa de riesgo por sequías. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.....	91
Figura 38. Mapa de riesgo por granizadas. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.....	91
Figura 39. Mapa de riesgo por heladas. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.....	92
Figura 40. Mapa de riesgo por inundaciones fluviales. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos. ....	92
Figura 41. Mapa de riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy bajo riesgo. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático. ....	93
Figura 42. Mapa de vulnerabilidad hídrica global. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en un nivel medio de vulnerabilidad hídrica global. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático. ....	94
Figura 43. Mapa de vulnerabilidad por capacidad de adaptación al cambio climático. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en un nivel medio de vulnerabilidad por capacidad de adaptación al cambio climático. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático. ....	94
Figura 44. Zonas de inundación identificadas por la CEAGUA Morelos. Fuente (CONAGUA, 2014).	96
Figura 45. Riesgo por inundaciones pluviales en Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos. ....	102
Figura 46. Riesgo por sequías en Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos.....	102
Figura 47. Gráfica de resultados de la evaluación para la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).....	105
Figura 48. Mapa de resiliencia de la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).....	106

Figura 49. Mapa de riesgo por inundaciones pluviales ajustado de acuerdo al nivel de resiliencia. Fuente: Elaboración propia. ....	107
Figura 50. Mapa de riesgo por granizadas ajustado de acuerdo al nivel de resiliencia. Fuente: Elaboración propia. ....	107
Figura 51. Mapa de riesgo por inundaciones fluviales ajustado de acuerdo al nivel de resiliencia. Fuente: Elaboración propia. ....	108
Figura 52. Ventana principal del sistema computacional desarrollado para calcular el Índice de Resiliencia en Ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos – Componente Técnica. Fuente: Elaboración propia. ....	124
Figura 53. Ventana del indicador de amenaza principal. Fuente: Elaboración propia. ....	125
Figura 54. Ventana del indicador de infraestructura. Fuente: Elaboración propia. ....	126
Figura 55. Ventana del indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos. Fuente: Elaboración propia. ....	126
Figura 56. Ventana del indicador de evaluaciones del riesgo. Fuente: Elaboración propia. ....	127
Figura 57. Ventana del indicador de evaluaciones del riesgo. Fuente: Elaboración propia. ....	128
Figura 58. Ventana del indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias. Fuente: Elaboración propia. ....	128
Figura 59. Ventana del indicador de institución relacionada con la reducción de riesgo de desastre. Fuente: Elaboración propia. ....	129
Figura 60. Ventana del indicador de servicios vitales. Fuente: Elaboración propia. ....	130
Figura 61. Ventana del indicador de velocidad de recuperación. Fuente: Elaboración propia. ....	130
Figura 62. Ventana del índice de resiliencia en ciudades (IRC) – componente técnica. Fuente: Elaboración propia. ....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los Ciclones Tropicales y escala de daño potencial de Saffir – Simpson. Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2012). .....	22
Tabla 2. Indicador de fenómenos hidrometeorológicos. ....	44
Tabla 3. Indicador de infraestructura.....	45
Tabla 4. Indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos. ....	46
Tabla 5. Indicador de evaluaciones del riesgo. ....	47
Tabla 6. Indicador de planes de reducción del riesgo de desastre (RRD). ....	48
Tabla 7. Indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias. ....	49
Tabla 8. Indicador de institución relacionada con RRD.....	50
Tabla 9. Indicador de servicios vitales.....	51
Tabla 10. Indicador de evaluación de daños, tiempo y velocidad de recuperación. ....	52
Tabla 11. Estructura de los indicadores que integran el índice técnico y su correspondiente aporte a las características fundamentales de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Ayyoob & Yamagata, 2016).....	53
Tabla 12. Ejemplo del cálculo del indicador de infraestructura.....	55
Tabla 13. Nivel de resiliencia de acuerdo a la calificación del índice. Fuente: Elaboración propia. .	56
Tabla 14. Matriz de criterio para obtener el nivel de impacto esperado. Fuente: Elaboración propia. .....	56
Tabla 15. Resumen de la caracterización de la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia adaptada de UNISDR. ....	71

Tabla 16. Indicador de infraestructura para Cuernavaca.....	75
Tabla 17. Indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos. ....	77
Tabla 18. Indicador de evaluaciones del riesgo. ....	78
Tabla 19. Indicador de planes de reducción del riesgo de desastre (RRD).....	80
Tabla 20. Indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias. ....	81
Tabla 21. Indicador de institución relacionada con RRD.....	82
Tabla 22. Indicador de servicios vitales.....	84
Tabla 23. Resultados del índice e indicadores de la resiliencia en Cuernavaca – Componente técnica. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).....	85
Tabla 24. Nivel de riesgo y vulnerabilidad para Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (SINAPROC, 2007; IMTA, 2015).....	89
Tabla 25. Índices de vulnerabilidad ante la sequía en la ciudad de Cuernavaca. Fuente: (IMTA, 2014). ....	97
Tabla 26. Mapas vectorizados del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos para la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos.....	101
Tabla 27. Resultados de la evaluación de la resiliencia de la ciudad de Cuernavaca– componente técnica. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).....	104



## GLOSARIO

<b>ACCRN</b>	Red de Ciudades Asiáticas Resilientes al Cambio Climático, por sus siglas en inglés.
<b>ARUP</b>	Organización dedicada a la ingeniería, planeación y gestión de proyectos a nivel mundial.
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo.
<b>CENAPRED</b>	Centro Nacional de Prevención de Desastres.
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua.
<b>CRED</b>	Centro Epidemiológico de Investigación de Desastres, por sus siglas en inglés.
<b>CRPP</b>	Perfil de Resiliencia Urbana, por sus siglas en inglés.
<b>DRO</b>	Director Responsable de Obra.
<b>ENGEL</b>	Índice de la capacidad de la red vial municipal.
<b>FONDEN</b>	Fondo Nacional de Desastres.
<b>GIR</b>	Gestión Integral del Riesgo.
<b>ICLEI</b>	Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales, por sus siglas en inglés.
<b>IFRC</b>	Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja, por sus siglas en inglés.
<b>IMPLAN</b>	Instituto Municipal de Planeación.
<b>IMTA</b>	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
<b>IRC</b>	Sistema Computacional del Índice de Resiliencia en Ciudades.
<b>NAFP</b>	Asociación Nacional de Protección contra Fuego, por sus siglas en inglés.
<b>NOAA</b>	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, por sus siglas en inglés.
<b>OECD</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, por sus siglas en inglés.
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>ONG</b>	Organizaciones No Gubernamentales.
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>ONU AGUA</b>	Mecanismo Inter-agencias sobre Programas de las Naciones Unidas.



<b>ONU HABITAT</b>	Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto.
<b>PIGOO</b>	Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores.
<b>PMPMS</b>	Programa de Medidas Preventivas y Mitigación a la Sequía.
<b>PNUD</b>	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
<b>POEREM</b>	Programa Ecológico Regional del Estado de Morelos.
<b>POET</b>	Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Cuernavaca.
<b>POZC</b>	Programa de Ordenación de la Zona Conurbada Intermunicipal.
<b>PRONACCH</b>	Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas.
<b>PRONACOSE</b>	Programa Nacional Contra la Sequía.
<b>PTAR</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
<b>SAPAC</b>	Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Cuernavaca.
<b>SDS</b>	Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos.
<b>SE</b>	Secretaría de Economía.
<b>SEDATU</b>	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
<b>SEDEMA</b>	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México.
<b>SINAPROC</b>	Sistema Nacional de Protección Civil.
<b>UAEM</b>	Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
<b>UN DESA</b>	Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, por sus siglas en inglés.
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México.
<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, por sus siglas en inglés.
<b>UNISDR</b>	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre.



## RESUMEN

Las ciudades son los centros de desarrollo más importante de los países, son los motores de la economía, generan gran parte del Producto Interno Bruto y son lugares que ofrecen mayor bienestar a las personas. El crecimiento demográfico acelerado y la urbanización de las ciudades las ha hecho cada vez más complejas y con sistemas interconectados que, por su magnitud, las vuelven más vulnerables ante desastres de cualquier tipo. Actualmente las ciudades concentran más de la mitad de la población mundial y esta se incrementará en las próximas décadas. La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2012) señala que los desastres por fenómenos hidrometeorológicos son los que más pérdidas humanas y económicas generan cada año en las ciudades a nivel mundial. Nuestro país no es la excepción, la ubicación geográfica de México, hace a sus ciudades más vulnerables al impacto de ciclones tropicales, tormentas severas e inundaciones, al tener costa en el océano Pacífico y en el Atlántico, así como a sequías cada vez más constantes, al estar en la franja de los grandes desiertos del mundo.

Por lo que se tiene el reto de construir ciudades seguras, resistentes y que mantengan un nivel aceptable de funcionamiento ante desastres naturales, asegurando la integridad de sus habitantes y sus sistemas. Es ahí donde el concepto de *resiliencia* adquiere relevancia. Un ente *resiliente* es aquel que, ante una situación crítica e inusual, se prepara, resiste, se adapta y se recupera. Son estas características las ideales para crear ciudades más seguras y dinámicas que se adapten a las circunstancias cambiantes del clima y de la sociedad. Siendo un concepto de origen ingenieril, la *resiliencia* se ha adaptado a otras disciplinas, entre las que destaca la *resiliencia en ciudades* o *resiliencia urbana*. Este concepto innovador puede ser clave para cerrar la brecha entre reducción de riesgo de desastre y la adaptación al cambio climático, considerando que existe un consenso razonable respecto a que el cambio climático ha incrementado en frecuencia e intensidad los eventos extremos. Crear resiliencia en las ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos implica estructurar estrategias enfocadas a incrementar las características de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de los sistemas e infraestructura que componen a la ciudad. De ahí, la necesidad de diseñar herramientas de evaluación que determinen los aspectos que se deben fortalecer de una ciudad, para que esta pueda ser más segura y dinámica. Estas herramientas de evaluación pueden ser utilizadas para conocer si las ciudades están teniendo un desarrollo integral o se están rezagando en determinados aspectos.



En este trabajo de investigación se plantea una metodología para determinar el nivel de resiliencia que identifique los aspectos técnicos a fortalecer de una ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos. Dicha metodología está compuesta por dos herramientas de evaluación, una que mide cuantitativamente, denominada *índice de resiliencia* y otra complementaria denominada *perfil de resiliencia* que es un análisis cualitativo de las características de la ciudad. El propósito de estas herramientas es medir y monitorear la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación.

Como caso de estudio se propuso a la ciudad de Cuernavaca, una ciudad con 366,321 habitantes, que en general presenta una actitud pasiva ante la gestión integral del riesgo de desastre pero que ante las condiciones cambiantes e impredecibles de los fenómenos hidrometeorológicos, principalmente por el cambio climático, así como del crecimiento poblacional exponencial, es importante iniciar con la toma de medidas necesarias para estar preparados ante cualquier nueva situación que ponga en crisis a la ciudad en el futuro. De los resultados obtenidos se concluye que Cuernavaca está expuesta, principalmente, a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos como sequías operativas e inundaciones y presenta un nivel de resiliencia medio. Dados los acontecimientos en recientes años y especialmente en 2017, en dónde la ciudad estuvo expuesta a varios fenómenos naturales, y del análisis de la respuesta y organización de las instituciones, el nivel de resiliencia calculado corresponde a la situación actual de Cuernavaca, cabe recalcar que es un nivel medio con tendencia a la baja, y que el proceso de resiliencia es dinámico por lo que si no se toman medidas al respecto el nivel decrecerá.

Uno de los propósitos de esta investigación es evidenciar que existe necesidad de crear resiliencia en ciudades, tanto en las ciudades que están altamente expuestas al impacto de este tipo de fenómenos como aquellas que no presentan, todavía, impactos severos por fenómenos hidrometeorológicos en la actualidad, pero que dicha estabilidad no está garantizada para un futuro inmediato. El que algunas ciudades tengan cierta estabilidad en la actualidad, no garantiza que en el futuro próximo cuenten con las mismas condiciones, considerando los factores del cambio climático y la creciente concentración de población en zonas urbanas con escasa planeación, que demandará mayor cantidad de recursos hídricos y área para asentarse, propiciando la generación de nueva infraestructura, la cual debe ser diseñada de tal forma que ayude a incrementar la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de la ciudad.



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el área del desarrollo urbano, el concepto de *resiliencia* se ha empleado para denotar la capacidad que tienen las ciudades de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse ante las amenazas que pueden dañar la integridad de su estructura física y sistemática, naciendo el concepto de *resiliencia en ciudades o resiliencia urbana* (ONU-HABITAT, 2017). La *resiliencia* va más allá de solo resistencia, considera también la recuperación a un estado de equilibrio o a un estado superior y la adaptación a las nuevas circunstancias. Es un proceso dinámico y no es una etapa final consolidada, siempre va a existir una mejora constante (Ayyoob, A critical review of selected tools for assessing community resilience, 2016).

Existe un consenso general de la necesidad de crear ciudades que puedan resistir ante los embates de agentes perturbadores, adaptarse a los cambios constantes y recuperarse ante desastres naturales y antrópicos manteniendo un nivel de funcionamiento aceptable, preparándose cada vez mejor a futuro, aprendiendo de eventos pasados. Los desastres naturales ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos son los que generan las mayores pérdidas humanas y económicas en México y en el mundo, ningún otro tipo de manifestación ya sea geológica, química, sanitaria o socio-organizativa genera tantos daños como la hidrometeorológica. Por lo que construir resiliencia en las ciudades es parte de la agenda mundial de los gobiernos.

Una ciudad resiliente es un sistema complejo en continua adaptación en función de las circunstancias cambiantes y puede lidiar de manera eficiente con situaciones de desastre, incluyendo las originadas por amenazas naturales, manteniendo un nivel aceptable de funcionamiento de su estructura física y sistemática (UNISDR, 2012). Es el prototipo de ciudad para la situación mundial actual, en dónde el crecimiento demográfico, la urbanización acelerada y su inadecuada planificación han incrementado el riesgo ante fenómenos naturales creando desastres antropo-naturales, resultado de que el ser humano no ha aprendido a crear desarrollo en convivencia con la naturaleza. Proveer de herramientas y enfoques que fortalezcan las decisiones de los gobiernos para mejorar la protección de los recursos humanos, económicos y naturales de las ciudades, robusteciendo las estructuras físicas y sistemáticas, son un primer paso para reducir daños y el periodo de recuperación ante cualquier crisis.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las ciudades concentran año con año una mayor cantidad de población, lo que conlleva a una acelerada urbanización y a una inadecuada planificación, que las hace más complejas y al mismo tiempo vulnerables ante el riesgo de desastres, en especial de fenómenos hidrometeorológicos. Por otro lado, los planes y estrategias de desarrollo con los que cuentan los gobiernos no siempre incorporan la mitigación del riesgo de desastre ni formas de incrementar la capacidad de respuesta de los sistemas urbanos.

Es una realidad que las ciudades concentran más del 50 % de la población mundial, ocupando solo el 3 % de la superficie terrestre. Se estima que para el año 2050 la población asentada en ciudades represente cerca el 70 % de la población mundial (UN DESA, 2014). Por otro lado, son los países en desarrollo los que concentran la mayor cantidad de población radicando en ciudades, con poco más del 80 % de la población urbana mundial (UN-HABITAT, 2012). Así mismo, son las ciudades asentadas en costa las más expuestas y vulnerables a desastres por fenómenos hidrometeorológicos (ONU-AGUA, 2010). Estas ciudades constantemente sufren el impacto de fenómenos como ciclones tropicales, tormentas severas e inundaciones. De las 34 megaciudades en el mundo, es decir, las ciudades que superan los 10 millones de habitantes, 22 son ciudades costeras, de las cuales 15 se encuentran en países en desarrollo (PNUD, 2015). Por lo que estas 15 megaciudades no solo tienen la desventaja de estar asentadas en costa, sino que además son ciudades de países en desarrollo, los cuales presentan menor capacidad de organización y financiamiento ante desastres. En nuestro país cerca de 50 ciudades, de entre 100,000 a 1, 000, 000 de habitantes, se encuentran asentadas en la costa (INEGI, 2015). De 1970 a 2010, a nivel mundial, la población asentada en zonas de cuencas fluviales con riesgo de inundación se incrementó en 114 % y la población en zonas costeras propensas al impacto de ciclones tropicales se incrementó en 192 % (ONU, 2012).

El cambio global y específicamente, el cambio climático como una de sus componentes, han incrementado la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos (Advancing Science, Serving Society, 2015), como inundaciones, sequías, ciclones tropicales, tormentas y heladas. Por lo que existe un consenso general, a nivel mundial, de que las ciudades siendo los principales centros de la economía de los países y los núcleos de altas concentraciones poblacionales estén mejor preparadas ante la incidencia de fenómenos naturales, desarrollando capacidades proactivas y preventivas por encima de las reactivas. Actualmente está en auge el desarrollo de estrategias de resiliencia en ciudades, financiadas por el sector público y privado; por lo que contar con herramientas



de evaluación de la resiliencia enfocadas a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, al ser estos los de mayor impacto, es de suma importancia.

En la literatura se encuentran diversas herramientas para evaluar la resiliencia en ciudades mediante un índice; muchas de ellas evalúan de manera conjunta las múltiples componentes presentes en la ciudad, como: salud, bienestar, economía, sociedad, organización, estrategia, infraestructura, ecosistemas, entre otros, y su comportamiento ante las diferentes situaciones críticas o agentes perturbadores a las que se puede enfrentar. Algunas otras evalúan estas componentes en situaciones determinadas como terremotos, epidemias, tsunamis o terrorismo, por mencionar algunos. La componente técnica que involucra a la infraestructura de la ciudad, es uno de los aspectos de mayor envergadura e importancia. El mayor impacto económico de los diferentes agentes perturbadores es hacia la infraestructura que integran los sistemas de la ciudad. Por ejemplo, el índice ResilUS creado por el Instituto de Resiliencia de la Universidad Western Washington en 2011, está enfocado a evaluar la resiliencia ante terremotos del aspecto socioeconómico y capital físico de una ciudad. El índice propuesto por la UNISDR, en 2014, evalúa diez aspectos ante amenazas de origen natural: organización y coordinación, inversión, evaluación del riesgo, infraestructura, protección de las instalaciones vitales, códigos de construcción, sociedad, ecosistemas, tecnologías y reconstrucción. Por otro lado, el índice desarrollado por la Fundación Rockefeller en 2015 evalúa ocho aspectos, agrupados en cuatro categorías, ante múltiples situaciones: economía y sociedad, infraestructura y ecosistemas, liderazgo y estrategia, salud y bienestar.

Actualmente, no existe una herramienta de evaluación de la resiliencia específicamente ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos enfocada a la componente técnica de la ciudad, por lo que este trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo de una metodología de evaluación con estas características. Como caso de estudio se tomó a la ciudad de Cuernavaca, una ciudad pasiva ante la reducción del riesgo de desastre, pero con necesidad de construir resiliencia. Por lo que resulta de interés realizar una evaluación de sus capacidades ante fenómenos hidrometeorológicos, así como un análisis de las principales amenazas de la ciudad, la vulnerabilidad y el riesgo ante estos fenómenos, conocer la disponibilidad de recurso hídrico y proponer las medidas necesarias para construir resiliencia en la ciudad.



## JUSTIFICACIÓN

A nivel internacional se ha incrementado el riesgo por amenazas naturales ocasionando pérdidas humanas y económicas, especialmente por fenómenos hidrometeorológicos. Los costos han alcanzado la cifra de 200,000 millones de dólares por año, mientras que las personas afectadas por desastres superan los 226 millones. Por ejemplo, de 2002 al 2011 se presentaron 4,130 desastres naturales ocasionando 1,117,527 decesos y pérdidas económicas por 1,195 millones de dólares. Estadísticamente, cada año hay 102 millones de personas afectadas por inundaciones, las cuales son responsables del 15 % de las defunciones por desastres naturales, por otro lado, y de igual manera los ciclones tropicales afectan cada año a 37 millones de personas (ONU, 2012). De acuerdo a la Federación Internacional de la Cruz Roja, de los once tipos de acciones que realiza, cada año, más de la mitad son producto de un desastre natural, de los cuales el mayor porcentaje es por fenómenos de origen hidrometeorológico. Las inundaciones han sido los desastres que más acciones han generado en la Federación, seguida muy de cerca por las epidemias (IFRC, 2015).

Los costos para restaurar los daños ocasionados por desastres naturales llegan a ser el cuádruple del costo que representaría proteger la infraestructura contra los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos (OECD, 2017). El Banco Mundial estimó en 2010 que los costos globales de adaptación al cambio climático del periodo 2010 al 2050 rondan los 70,000 a 100,000 millones de dólares al año, mientras que el máximo de daños registrados por fenómenos naturales, a nivel mundial, es de 366,000 millones de dólares (CRED, 2016).

En el contexto nacional la situación es muy similar, los desastres naturales ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos son los que generan las mayores pérdidas humanas y económicas en el país, ningún otro tipo de fenómeno como geológico, químico, sanitario o socio-organizativo genera tantos daños a la nación como los fenómenos hidrometeorológicos. Del 2000 al 2016 las pérdidas por estos eventos han representado el 92 % de las pérdidas totales que ha tenido el país por fenómenos de diferente índole (CENAPRED, 2017).

El año 2010 ha sido el año con mayores pérdidas económicas con \$ 92,372.4 millones de pesos, siendo los fenómenos hidrometeorológicos los causantes de pérdidas por \$ 82,540 millones de pesos (CENAPRED, 2011), lo que representa el 71 % de los egresos de la CDMX para ese mismo año.



Los antecedentes nos señalan la necesidad de crear estrategias de *resiliencia* que permitan a las ciudades tener las herramientas necesarias para afrontar las amenazas a las que están expuestas, adaptándose y resistiendo con el fin de mantener un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura, aprendiendo de desastres pasados a fin de protegerse mejor en el futuro. La aplicación de medidas estructurales y no estructurales para prevenir y reducir el riesgo de desastres son fundamentales para incrementar la *resiliencia* en ciudades y son parte esencial para salvar vidas, prevenir y reducir pérdidas económicas, asegurando la recuperación y rehabilitación efectiva.

La ciudad de Cuernavaca desde 1940 ha tenido mucha interacción con la Ciudad de México, dicha interacción se incrementó debido al sismo de 1985 que afectó, principalmente, a la capital del país; parte de la población de la zona afectada e instituciones públicas y privadas migraron a la ciudad de Cuernavaca ocasionando un crecimiento acelerado y desordenado, por lo que la ciudad cuenta con una escasa planeación urbana, aunado a una topografía accidentada lo que dificulta aún más la planeación y movilidad. Por lo que es un área de interés para analizar cómo afectan los fenómenos hidrometeorológicos, aunado a que la capacidad institucional y la estructura gubernamental no considera la gestión integral del riesgo, situación que se evidencia en el diseño y planeación de la infraestructura de la ciudad.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Establecer una metodología para determinar el nivel de resiliencia de las ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, a través de la implementación de herramientas de evaluación que identifiquen los aspectos técnicos a fortalecer para incrementar la capacidad de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse, manteniendo un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura ante el impacto de fenómenos hidrometeorológicos y climáticos.

### OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Diseñar un índice de resiliencia que identifique las fortalezas y debilidades de una ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos.
- Desarrollar un sistema computacional como soporte para realizar el cálculo del índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos.
- Establecer la importancia de la resiliencia en ciudades y sus diferencias con la vulnerabilidad.
- Identificar medidas estructurales y no estructurales para incrementar la resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos.
- Evaluar el nivel de resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos en la ciudad de Cuernavaca.
- Determinar los riesgos por fenómenos hidrometeorológicos en la ciudad de Cuernavaca.
- Proponer medidas estructurales y no estructurales para incrementar la resiliencia en la ciudad de Cuernavaca.
- Realizar la representación geoespacial del nivel de resiliencia de Cuernavaca.



## HIPÓTESIS

La metodología planteada, a pesar de considerar solo la componente técnica de la resiliencia, ayuda a identificar las fortalezas y debilidades de la ciudad de Cuernavaca ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos. Representa, de manera adecuada, el nivel de resiliencia técnica de la ciudad en estudio.



## CAPITULO 1. RESILIENCIA URBANA, NUEVO GESTOR DEL RIESGO

En la actualidad, la palabra resiliencia ha cambiado gradualmente su contexto de origen para dar lugar a un concepto innovador, utilizado por varias disciplinas para denotar la capacidad de un ente de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse ante un evento o situación crítica e inusual. De acuerdo a la Real Academia Española, la palabra resiliencia, proviene del inglés *resilience*, que deriva del latín *resiliens*, - *entis*, participio del presente activo de *resilire* ‘saltar hacia atrás’, ‘rebotar’, ‘replegarse’.

Originalmente la palabra *resiliencia* solo era utilizada en ingeniería para denotar la capacidad que tienen algunos materiales de absorber energía elástica y regresar a su estado original después de haber sido expuesto a fuerzas que intentan deformarlo. Esta propiedad se mide a través del módulo de resiliencia (figura 1), que es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para deformar un material hasta el límite elástico, y se expresa de la siguiente forma (Gere & Goodno, 1972):

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \vec{\sigma} d\vec{\epsilon}$$

Un ejemplo clásico es la liga al ser estirada gracias a las fuerzas que actúan para deformarla y que, al interrumpirse su aplicación, la liga recobra su forma original, siempre y cuando no se rebase su límite elástico.

El concepto se difundió a otros campos de la ingeniería, como el diseño de pavimentos. En 1955 el ingeniero Francis N. Hveem desarrolló el tema “comportamiento resiliente de los pavimentos” (IMT, 2001); décadas después el concepto se adaptó a otras disciplinas, en 1973, C.S. Holling incorporó este concepto a estudios sobre ecología como el de “*Resilience and Stability of Ecological Systems*”, en donde identifica la capacidad de sistemas ambientales y de ciertos organismos para resistir, adaptarse y recuperarse a situaciones inusuales (Holling, 1973).

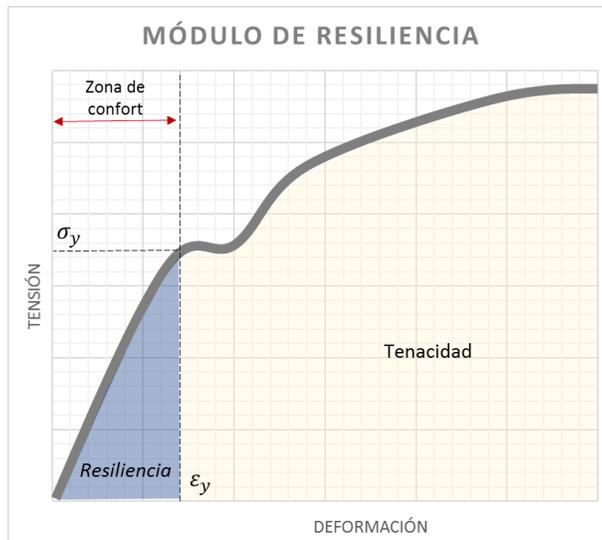


Figura 1. Esquema del módulo de resiliencia representado por el área sombreada azul. Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Gere & Goodno, 1972).

A partir de su adaptación a los sistemas ecológicos, otras disciplinas han incorporado el concepto de *resiliencia* a sus campos de estudio, ejemplo de ello son la psicología, la economía, la sociología, la política, entre otros. En los últimos años en el área del desarrollo urbano, el concepto de *resiliencia* se ha empleado para denotar la capacidad que tienen las ciudades de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse ante las amenazas que pueden dañar la integridad de su estructura física y sistemática, naciendo el concepto de *resiliencia en ciudades* o *resiliencia urbana* (ONU-HABITAT, 2017).

Es fundamental que haya un consenso general de lo que constituye una *ciudad resiliente* y la forma en que se puede lograr, de ahí que en este estudio se adopte el concepto que la UNISDR plasmó en Ginebra en el 2004, definiendo a la resiliencia como “*la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas. Incrementando su capacidad de aprender de desastres pasados a fin de protegerse mejor en el futuro*”.

La anterior conceptualización es muy similar a la que plantea *The Committee on Increasing National Resilience to Hazards and Disasters of The National Academies* en su estudio de 2012 *Disaster Resilience: A National Imperative*, que define a la resiliencia como: “*la capacidad de preparar y*



*planificar, absorber, recuperarse y adaptarse mejor a los eventos adversos”* (The National Academies, 2012).

Resistencia, adaptación, recuperación y preparación son las cuatro características esenciales de un ente resiliente. Son estas las cualidades que se deben evaluar para determinar el nivel de resiliencia de un sistema. La resistencia es la oposición a los efectos que origina una amenaza, reduciendo o evitando los posibles impactos, generalmente es a través de elementos físicos que se cumple con esta cualidad. La adaptación es el ajuste en los sistemas como respuesta a las condiciones cambiantes del entorno debido al impacto y secuelas de una amenaza. La recuperación es la restauración y mejoramiento del funcionamiento y de la estructura física de los sistemas que componen un ente. La preparación engloba la parte del análisis del riesgo, el aprendizaje y la planificación, así como la forma en que se lleva a cabo la gestión integral del riesgo (UNISDR, 2009).

## 1.1 RESILIENCIA Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

Una ciudad resiliente es un sistema complejo en continua adaptación en función de las circunstancias cambiantes y puede lidiar de manera eficiente con situaciones de desastre, incluyendo las originadas por amenazas naturales, manteniendo un nivel aceptable de funcionamiento de su estructura física y sistemática (UNISDR, 2012). La inclusión del concepto *resiliencia* ha revolucionado la forma tradicional de la *gestión del riesgo* acortando la brecha con la adaptación al cambio climático (Rockefeller & ARUP, 2016), al impulsar medidas proactivas por encima de las reactivas, anticipándose al desastre, mejorando la capacidad de respuesta de los sistemas entendiendo que el riesgo cero no existe y que algunas interrupciones de los sistemas son ocasionalmente inevitables. Desarrollar resiliencia permite anticiparse mejor a los desastres, planear de mejor manera con la finalidad de reducir pérdidas humanas y económicas, a cambiar el paradigma de esperar a que ocurra el desastre y tener que pagarlo después (The National Academies, 2012).

El riesgo es el resultado de la intervención de tres elementos principales: la amenaza, la exposición de las poblaciones y sus bienes, y la situación de vulnerabilidad de la población y sus activos (UNISDR, 2012). Con la incorporación de la resiliencia en la *gestión integral del riesgo*, éste se

representa de la siguiente forma (figura 2).



Figura 2. La resiliencia en los elementos que integran el riesgo. Fuente: Elaboración propia, adaptada de UNISDR.

En este trabajo de investigación, la amenaza está representada por los *fenómenos hidrometeorológicos* a los que están expuestas las ciudades, como inundaciones, sequías, ciclones, tormentas severas y heladas. Mientras que la vulnerabilidad se refiere al potencial de que la infraestructura física sea destruida o dañada, de que miembros de la población sean afectados y que sistemas socio - económicos sean interrumpidos (UNISDR, 2012); la exposición es una condición de desventaja debido a la ubicación de la infraestructura o población con referencia al área de influencia de una amenaza o peligro (SEDEMA, 2015).

La resiliencia, como nuevo elemento de la *evaluación del riesgo*, es un coeficiente de reducción. La interacción de la resiliencia con el riesgo y sus elementos que lo integran, se expresa mediante la siguiente función (UNISDR, 2012):

$$Riesgo = f \left( \frac{Amenaza * Vulnerabilidad * Exposición}{Resiliencia} \right)$$

Crear resiliencia en las ciudades tiene como principal objetivo que los sistemas que la componen puedan mantener un nivel aceptable de funcionamiento ante una situación crítica e inusual, mientras se lleva a cabo un proceso para restablecer las condiciones normales. En el funcionamiento



teórico de la resiliencia (figura 3), la línea verde representa el nivel de funcionamiento en condiciones normales de una ciudad ( $Y_n$ ), mientras que la línea punteada amarilla representa el nivel de funcionamiento inmediatamente después de la ocurrencia de un fenómeno ( $Y_d$ ). Se observa que el patrón de recuperación no es completamente ascendente, sino que existe un lapso donde el nivel de funcionamiento decrece; en la operación se interpreta como un periodo de prueba y error o de implementación de medidas que generan resiliencia a corto plazo.

Teóricamente a corto plazo no sería posible alcanzar el nivel normal de funcionamiento, por lo que en la gráfica se muestra que el nivel de funcionamiento de la ciudad tiende a  $Y_n$ , el cual se considera como un funcionamiento aceptable o de equilibrio. A largo plazo, se espera que la implementación de estrategias que favorecen la resiliencia, permita que el nivel de funcionamiento de la ciudad supere al asociado a condiciones normales, ( $Y_n$ ), previas a la ocurrencia del fenómeno.

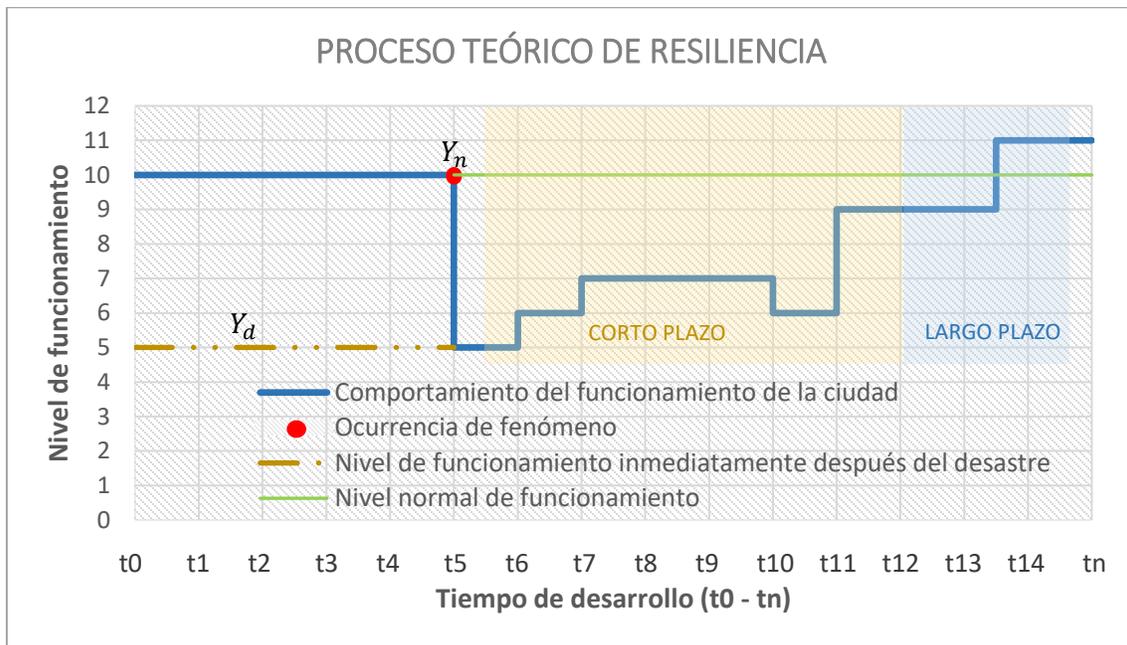


Figura 3. Representación gráfica del proceso de resiliencia a corto y a largo plazo. Fuente: Elaboración propia, adaptada de CENAPRED.

## 1.2 RESILIENCIA Y SU RELACIÓN CON OTROS CONCEPTOS

La resiliencia es de carácter multifactorial (CENAPRED, 2015; UNISDR, 2012) debido a que está integrada por componentes sociales, económicos, ambientales, psicológicos, de infraestructura, etc. (figura 4), y a su vez es polivalente (Méndez, 2011) porque posee acción ante uno o varios agentes perturbadores. Por lo que puede haber resiliencia económica o social ante fenómenos hidrometeorológicos, o resiliencia ante otro tipo de agentes perturbadores como terremotos, tsunamis, terrorismo, erupciones volcánicas, epidemias, etc. Dada esta situación, se deben plantear dos preguntas ¿resiliencia de qué? y ¿resiliencia a qué? (Ayyoob, 2016). En este trabajo de investigación se plantea el análisis de la resiliencia de la componente técnica de una ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos.

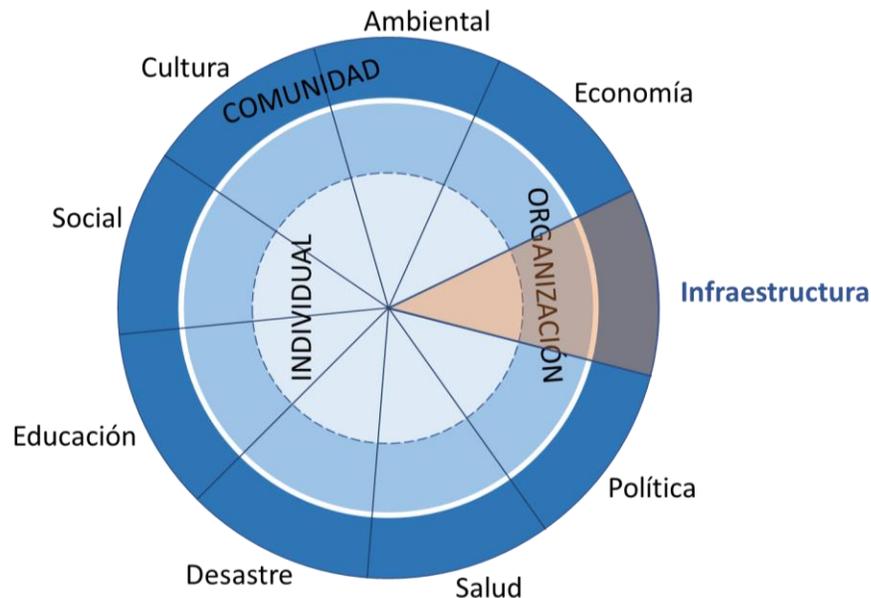


Figura 4. Círculo de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada de UNISDR.

La *resiliencia* va más allá de solo resistencia, considera también la recuperación a un estado de equilibrio o a un estado superior y la adaptación a las nuevas circunstancias. Es un proceso dinámico y no es una etapa final consolidada, siempre va a existir una mejora constante (Ayyoob, 2016).

El auge que ha tenido el concepto de *resiliencia* y la variante de *ciudad resiliente* es similar al auge que tuvo el concepto de *sostenibilidad* y *ciudad sostenible*. La *resiliencia* es un concepto de menor escala que la sostenibilidad y que puede estar o no contenida dentro de este concepto (figura 5). La

sostenibilidad es un concepto de mayor envergadura que la resiliencia, la tendencia es que las medidas resilientes estén dentro de la sostenibilidad. La sostenibilidad se define como la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades (UN WATER, 2015).



*Figura 5. Concepto de la resiliencia en el de sostenibilidad. La tendencia es que las medidas resilientes estén dentro de la sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Arreguín Cortés, 2016).*

Las medidas no estructurales y estructurales que se pueden implementar en una ciudad para incrementar la resiliencia pueden ser sostenibles o no serlo, lo ideal es que si lo sean. Como medidas estructurales resilientes no sostenibles se tiene a toda aquella construcción de infraestructura que no considere el aspecto ambiental ni el social, mientras que en las medidas no estructurales resilientes y no sostenibles se encuentra el abastecer de agua potable a ciudades en constante crecimiento mediante la explotación del recurso de fuentes con agua no renovable; por mencionar algunos ejemplos (Arreguín Cortés, 2016).

En cuanto a la relación que tiene la vulnerabilidad con la resiliencia, en la literatura se han encontrado algunas referencias que relacionan a la resiliencia como el inverso de la vulnerabilidad, principalmente porque la vulnerabilidad también es de carácter multifactorial, sin embargo, esta concepción no es correcta debido a que son conceptos que expresan significados diferentes. Vulnerabilidad hace alusión a la condición en la que se encuentra un ente, mientras que resiliencia alude a la forma en la que reacciona el ente en estudio. Un nivel alto de vulnerabilidad no necesariamente dará como resultado un nivel bajo de resiliencia, no son recíprocamente inversos.



Se han analizado casos altamente vulnerables y al mismo tiempo muy resilientes, por ejemplo, un poblado de Japón a las afueras de Kioto, construye sus casas con elementos armables, ante un sismo, estas edificaciones tienden a desarmarse, por lo que se dice que son altamente vulnerables, pero, debido a que las casas pueden ser armadas nuevamente, esta comunidad es considerada altamente resiliente, su recuperación es alta y se adaptan ante los constantes sismos que se suscitan en aquel país, además del hecho de que la gente es consciente de la frecuencia de los sismos por lo que existe una alta preparación ante la ocurrencia de estos eventos (Discovery Channel, 2012). Otro ejemplo, es la Isla de Simeulue que se encuentra a 40 km del epicentro del tsunami de diciembre de 2004 que ocasionó cerca de 250, 000 decesos en las costas del Océano Índico. La isla cuenta aproximadamente con 80,000 habitantes, y en general, su población es de escasos recursos, pero debido al conocimiento local y ancestral sobre la ocurrencia de un sismo, solo seis personas fallecieron. La población sabe que, ante la presencia de un sismo, si las aguas del mar se alejan de la costa, deben correr y refugiarse en las alturas. Se considera una población resiliente a pesar de las vulnerabilidades de sus viviendas e infraestructura (UNISDR, 2012).

Otra de las cuestiones que hay que puntualizar es la velocidad con la que se recupera un ente resiliente. La definición de origen del concepto de resiliencia no considera la velocidad de recuperación; cuando se analiza el ejemplo de la liga, la velocidad de recuperación no es una variable a determinar, lo que interesa es si el ente se recupera o no y se sabe que el elemento se recupera siempre y cuando no rebase su estado elástico. Analizando el concepto de resiliencia que maneja La UNISDR solo engloba la capacidad de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse sin considerar la velocidad con la que un sistema o ente puede retornar al nivel de funcionamiento deseado después de experimentar una situación crítica e inusual. Algunos autores confieren esta propiedad de velocidad de retorno al estado de estabilidad al término denominado homeostasis, la cual definen de la siguiente manera: *“la velocidad de retorno a alguno de los estados de estabilidad que caracterizan a un sistema posterior a la presencia de un disturbio”* (Constantino & Dávila, 2011). Sin embargo, en el proceso de establecer una única definición de lo que engloba un ente resiliente, principalmente porque hay muchas versiones de la misma idea, cada vez es más usual que se le confiera a la resiliencia la capacidad de volver *“rápidamente”* a la situación estable anterior, como lo establece ONU-HABITAT en diversos documentos. Una de las interrogantes que surgen al conferirle a la resiliencia la *velocidad de recuperación* es: En términos de unidades de tiempo ¿qué es considerada una recuperación rápida o una recuperación lenta?, con respecto a las ciudades,

¿cada ciudad tiene una escala de velocidad de recuperación o existe una sola escala para todas las ciudades?

A finales de 2016 se presentó un socavón en una avenida de cinco carriles en la ciudad de Fukuoka, Japón. El hoyo tenía dimensiones de 30 m de largo y 15 m de profundidad, y fue reparado en sólo dos días (figura 6). Es claro que la resiliencia técnica de esta ciudad es alta por lo que su recuperación ante situaciones críticas también lo es, la velocidad de recuperación ante el socavón que se presentó también fue alta, es decir tuvo una recuperación rápida. Pero qué pasaría si este mismo suceso se hubiera presentado en una ciudad de otro país desarrollado y en lugar de haberles tomados dos días le hubiera tomado 10 días ¿la velocidad de recuperación sería considerada media?, 10 días no es un número muy grande, puede ser un número aceptable, pero en comparación con los dos días que le tomó a Japón, 10 días representan el 500 % del tiempo. Y si el suceso del socavón se hubiera presentado en un país en vías de desarrollo, reparando el daño en 30 días, lo que representa el 1500 % del tiempo que le tomó a Japón ¿la velocidad de recuperación sería considerada nula? En este trabajo de investigación se propone un indicador para medir la velocidad de recuperación de una ciudad ante el impacto de un fenómeno hidrometeorológico, tratando de establecer una medida razonable de lo que significa una recuperación rápida o lenta.



*Figura 6. A) Socavón en una de las avenidas de Fukuoka, Japón. B) Reparación del socavón, dos días después del suceso. Fuente: [www.bbc.com](http://www.bbc.com)*



### 1.3 CIUDADES RESILIENTES

En el último año la promoción que se le ha dado a las campañas para desarrollar *ciudades resilientes* ha ido incrementándose. Las Naciones Unidas ha sido la primera organización en implementar la resiliencia como elemento fundamental en la gestión integral del riesgo y en el desarrollo urbano, a través de UNISDR mediante el Marco de Acción de Hyogo denominado “*Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres 2005-2015*” y la campaña “*Desarrollando ciudades resilientes – ¡Mi ciudad se está preparando!*”, así como con La Oficina de ONU – HABITAT con la implementación del Programa de Perfiles de Ciudades Resilientes (CRPP, por sus siglas en inglés) que busca proveer a los gobiernos de herramientas para evaluar y aumentar la resiliencia frente al impacto de múltiples amenazas. Recientemente la Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) desarrolló la Guía de Resiliencia Urbana 2016, basada en el CRPP, esta guía pretende ser una herramienta para obtener el Perfil de Resiliencia Urbana de cada región de México, y crear la Red de Ciudades Resilientes de nuestro país.

Por otro lado, la fundación Rockefeller en 2013 a través de su programa “100 Ciudades Resilientes” brinda asesoría a ciudades de todo el mundo para desarrollar resiliencia ante desafíos físicos, sociales y económicos. Destina recursos a las ciudades afiliadas para desarrollar una estrategia de resiliencia, proporciona orientación financiera y logística, gestiona el establecimiento de una Oficina de Resiliencia, el acceso a proveedores de servicios, todo lo anterior para formar la red mundial de ciudades resilientes. En 2014 en conjunto con las organizaciones ICLEI y ACCCRN lanzaron el kit de herramientas para construir resiliencia urbana ante el cambio climático. En 2015 diseñaron el Índice de Resiliencia de las Ciudades en colaboración con ARUP cuyo propósito es diagnosticar las fortalezas y las debilidades de las ciudades, así como medir el rendimiento relativo en el tiempo. La Ciudad de México, Guadalajara, Ciudad Juárez y Colima han sido seleccionadas para participar en este programa (figura 7). La Ciudad de México es la más avanzada al tener instalada su Oficina de Resiliencia y al establecer en su Constitución de 2017 la bases para crear e impulsar la resiliencia en la ciudad.



*Figura 7. Ciudades de México inscritas en el programa 100 Ciudades Resilientes de Fundación Rockefeller. Fuente: Elaboración propia, adaptada de 100 Ciudades Resilientes.*

#### 1.4 LA INFRAESTRUCTURA COMO ELEMENTO FÍSICO PARA CREAR RESILIENCIA

La infraestructura que compone a los sistemas que integran una ciudad, es el principal elemento físico que contribuye con la resiliencia ante desastres (figura 8). Esto debido a su papel en la resistencia, adaptación, preparación y recuperación de los sistemas urbanos diseñados para fines como suministro de agua potable, saneamiento, salud, educación, movilidad, telecomunicaciones y residencia. El desarrollo de infraestructura adecuada y confiable no solo es pilar para el crecimiento económico, es base para incrementar la resiliencia ante el cambio climático; garantizar la gestión integral del riesgo generará la atracción de nuevas inversiones (OECD, 2017). Algunos países que se encuentran en situaciones de alto riesgo se han dedicado a desarrollar infraestructura que les permita ser resilientes ante amenazas hidrometeorológicas. Sin este elemento muchas naciones desarrolladas no tendrían el nivel económico alcanzado, pues los desastres serían una constante en su territorio. Las decisiones para la localización, diseño y operación de la infraestructura deben permitir resiliencia a largo plazo contra los embates del cambio climático, al reducir el riesgo de desastre y no incrementar la probabilidad de éste como suele suceder con la infraestructura mal planeada.

Es importante aclarar que el elemento *esencial* para desarrollar resiliencia es el diseño de estrategias que contemplen tanto medidas estructurales como no estructurales, es el plan de acción que permite darle estructura al qué, por qué, cómo, cuándo y dónde. Le da forma y sentido a las medidas a implementar que incrementarán la resiliencia.



*Figura 8. Puente Coyuca en el Estado de Guerrero. A) Colapso del puente. B) Puente provisional construido 15 días después del colapso. C) Nuevo puente Coyuca construido un año y dos meses después. Fuente: [www.eluniversal.com.mx](http://www.eluniversal.com.mx)*

## 1.5 LA IMPORTANCIA DE CREAR RESILIENCIA DESDE LA CONCEPCIÓN DE LAS ORGANIZACIONES

Existe un consenso general de la necesidad de crear ciudades que puedan resistir ante los embates de agentes perturbadores, adaptarse a los cambios constantes y recuperarse ante desastres naturales y antrópicos manteniendo un nivel de funcionamiento aceptable, preparándose cada vez mejor a futuro, aprendiendo de eventos pasados. Todo esto es lo que engloba la resiliencia, por lo que organizaciones como las Naciones Unidas a principios del nuevo milenio inició la implementación de este concepto en la agenda de la gestión integral del riesgo y en la nueva visión de la planeación urbana.

Así como la ONU, otras organizaciones han invertido sus esfuerzos y capital en crear un nuevo concepto de *ciudad* denominado *Ciudades Resilientes*. La fundación Rockefeller a través de su programa *100 Ciudades Resilientes* ha apostado por la elaboración de estrategias que incrementen la resiliencia urbana, así como el diseño de herramientas de evaluación. Instituciones académicas y científicas se han enfocado en analizar la resiliencia urbana desde sus diferentes componentes para proponer herramientas de evaluación, diseñar medidas estructurales y no estructurales y desarrollar estrategias. Es así como el proyecto de investigación francés RESILIS ha generado nuevo

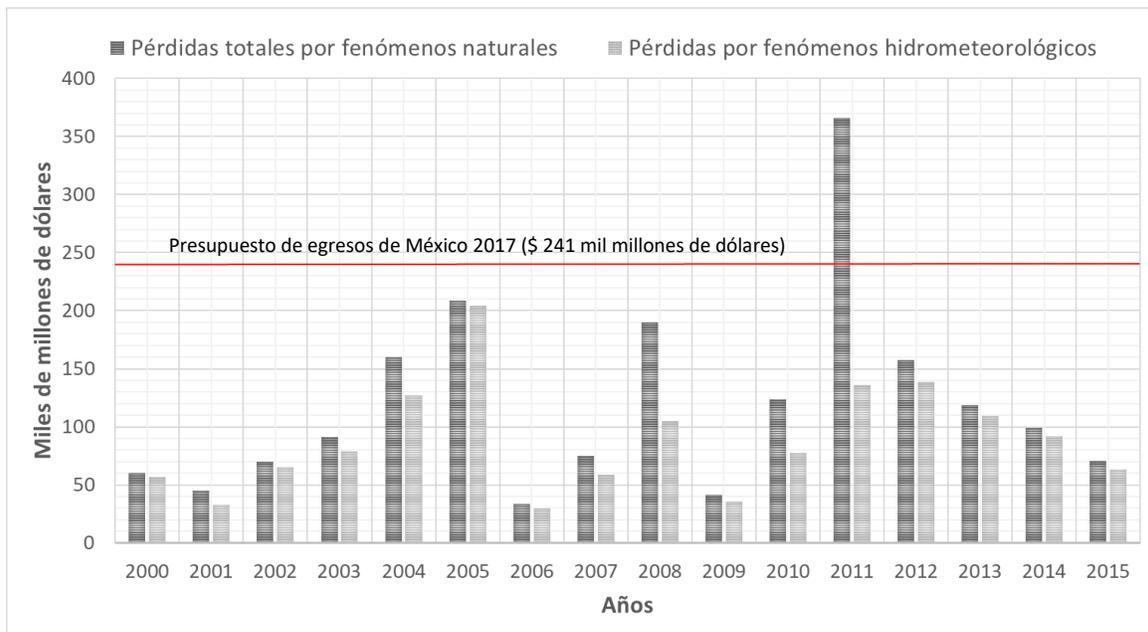


conocimiento sobre el análisis de sistemas no resilientes y cómo estos al incrementar su resiliencia pueden tener un mejor funcionamiento, mismo caso es *The Western Washington University* con su programa ResilUS, *The National Academies* con el grupo de investigación *The Committee on Increasing National Resilience to Hazards and Disasters* y el Centro Mario Molina que ha desarrollado investigaciones sobre el desarrollo de comunidades resilientes ante cambio climático.

Diversas instituciones gubernamentales también han iniciado el impulso de la resiliencia como eje de desarrollo. La CONAGUA, a través del PRONACCH y el PRONACOSE alientan al desarrollo de resiliencia ante inundaciones y sequías, recientemente esta institución presentó el libro titulado *“Increasing Resilience to Climate Variability and Change”*. El CENAPRED en el año 2015 diseñó un *índice de resiliencia a nivel municipal* con enfoque social-económico y en conjunto con Protección Civil han manifestado la importancia de crear resiliencia ante desastres naturales que permita reducir el número de pérdidas humanas e impactos económicos. La SEDATU a través de la implementación del CRPP alienta a las poblaciones a que desarrollen capacidades resilientes que les permita hacer frente a los problemas que se generan por el crecimiento demográfico, los asentamientos irregulares y la escasa planificación urbana.

## CAPITULO 2. FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS

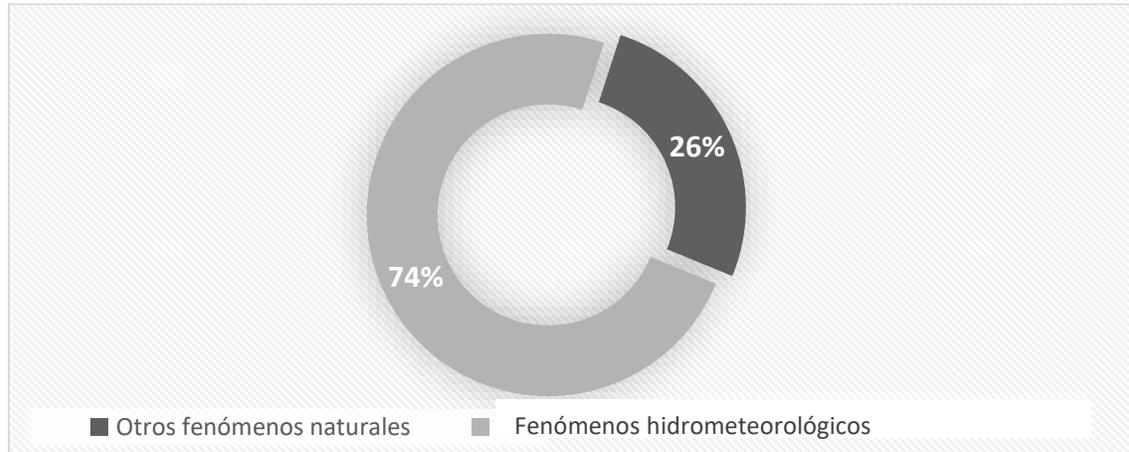
A nivel internacional se ha incrementado el riesgo por amenazas naturales ocasionando pérdidas humanas y económicas. La UNISDR señala que los desastres por fenómenos hidrometeorológicos (FH) son los que mayor impacto socioeconómico generan cada año en las ciudades. Los costos han alcanzado la cifra de 200,000 millones de dólares en promedio por año (figura 9), siendo los FH los responsables del 74 % de las pérdidas económicas totales (figura 10), mientras que el número de personas afectadas anualmente por desastres superan los 226 millones (ONU, 2012). Las inundaciones son los fenómenos que más afectaciones y decesos provocan cada año, seguidas por las sequías que en 2015 superaron en un 40 % el promedio de afectaciones de años anteriores (CRED, 2016). Cada año hay 102 millones de personas afectadas por inundaciones, las cuales son responsables del 15% de las defunciones por desastres naturales. Se suman a estos daños los causados por los ciclones tropicales, que afectan cada año a 37 millones de personas (ONU, 2012).



*Figura 9. Impacto económico por fenómenos naturales e impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos del período 2000 al 2015, a nivel mundial. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Centro de Investigación sobre Epidemiología de Desastres (CRED, por sus siglas en inglés).*

De acuerdo a la Federación Internacional de la Cruz Roja, de los once tipos de acciones que realiza,

cada año, más de la mitad son consecuencia de un desastre natural, de los cuales el mayor porcentaje es por fenómenos de origen hidrometeorológico. Las inundaciones han sido los desastres que más acciones han generado en la Federación, seguida muy de cerca por las epidemias (IFRC, 2015).



*Figura 10. Porcentaje que representa el impacto económico ocasionado por fenómenos hidrometeorológicos a nivel mundial. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del CRED.*

En el contexto nacional la situación es muy similar, los desastres naturales ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos son los que generan las mayores pérdidas humanas y económicas en el país, ningún otro tipo de manifestación ya sea geológica, química, sanitaria o socio-organizativa genera tantos daños a la nación como la hidrometeorológica (figura 11). Del 2000 al 2016 las pérdidas por estos eventos han representado el 92 % de las pérdidas totales (figura 12) que ha tenido el país por fenómenos de diferente índole (CENAPRED, 2017). Las pérdidas económicas ocasionadas por los eventos hidrometeorológicos en el año 2010, el año con el récord de impacto económico en México, representan el doble del presupuesto que se le asignó a la Comisión Nacional de Agua en el año 2017.

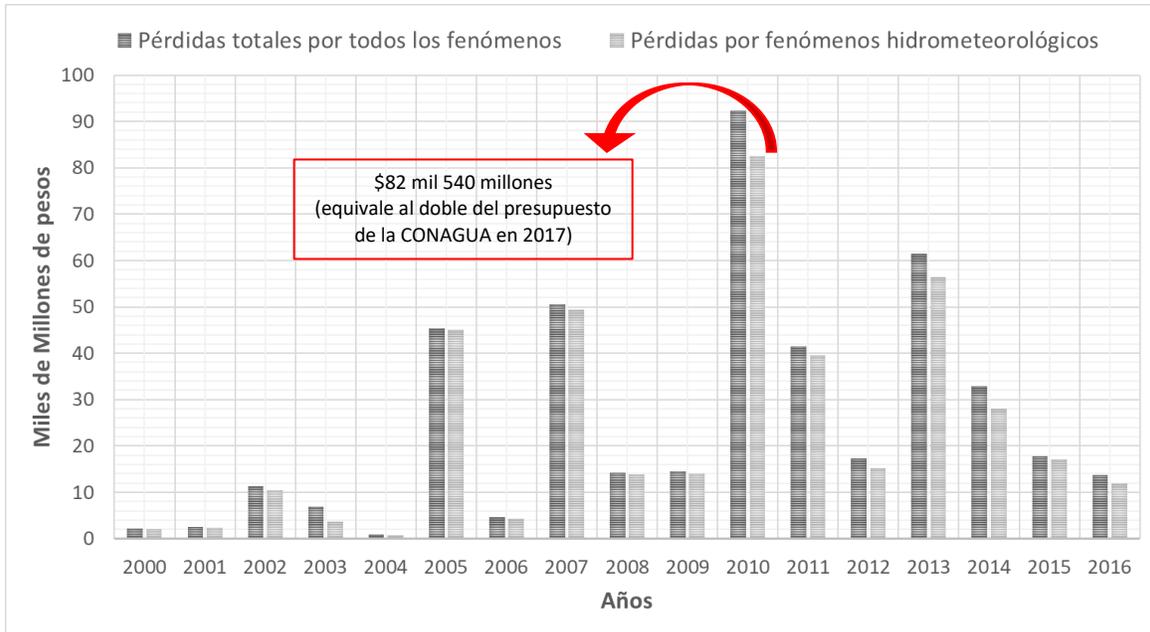


Figura 11. Impacto económico por fenómenos de diferente índole e impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos del período 2000 al 2016, en México. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del CENAPRED.

La ubicación geográfica de México, lleva a una mayor exposición de sus ciudades a amenazas como ciclones tropicales, tormentas severas e inundaciones, al tener costa en el océano Pacífico y en el Atlántico, en las zonas de mayor incidencia ciclónica; así como a sequías cada vez más frecuentes, al estar en la franja de los grandes desiertos del mundo y a la irregular distribución espacial y temporal del agua en México (Arreguín Cortés, López, & Marengo, 2016; Arreguín Cortés, López, Ortega-Gaucin, & Ibañez, 2016).

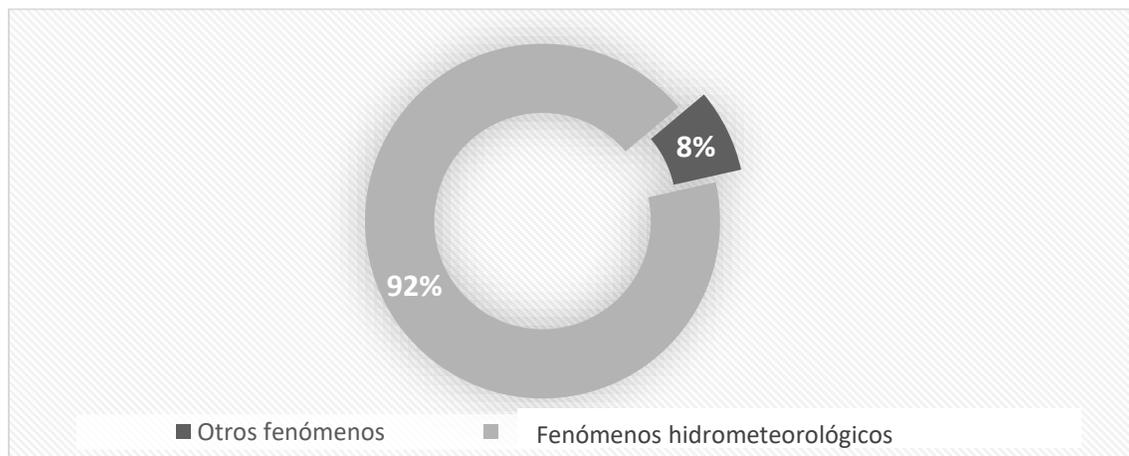


Figura 12. Porcentaje que representa el impacto económico ocasionado por fenómenos hidrometeorológicos en México. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del CENAPRED.



Conocer los principales aspectos de los fenómenos hidrometeorológicos, sus características, comportamiento esperado, intensidad y posible impacto es indispensable para afrontar de manera oportuna sus adversidades. A continuación, se presenta una breve descripción de los principales fenómenos hidrometeorológicos y climáticos de interés en este trabajo.

## 2.1 SEQUÍA

La sequía se puede considerar como el fenómeno climatológico más complejo por las diferentes características que engloba, tanto naturales como sociales (Wilhite D. , 2003). Este fenómeno no es característico de una región, se presenta en todo el mundo cada vez con mayor frecuencia (García F. J., S, 2001). Representa una amenaza para la vida del ser humano, al generar deshidratación, enfermedades gastrointestinales y en algunos casos hambruna, y por ser causante del desabasto de alimentos por pérdidas de cultivos. Así mismo, representa una amenaza al sistema socioeconómico, reduciendo el abasto del vital líquido, ocasionando pérdidas en la industria agropecuaria y alterando los sistemas de organización de la comunidad (García, Fuentes, & Matías, 2014).

Se caracteriza por la disminución de la cantidad de agua en la atmósfera, en el suelo y en los cuerpos de agua (embalses, cauces, acuíferos, etc.). Su aparición es lenta, silenciosa, impredecible y se desconoce su duración, por lo que es difícil determinar su inicio y su final (Wilhite D. , 2003). Su comportamiento espacial y temporal es irregular, no presenta epicentro ni trayectorias definidas (Ortega-Gaucin, 2014). Es importante señalar que las pérdidas económicas ocasionadas por la sequía son de características no estructurales y se concentran en la industria agrícola, en la industria pecuaria, en el comercio y en los servicios, provocando variaciones en el funcionamiento de los sistemas que soportan la organización de una sociedad (Wilhite D. , 2003; Ortega-Gaucin, y otros, 2006; Arreguín Cortés & García, 2014). Este fenómeno involucra aspectos económicos y sociales por lo que las definiciones de sequía han sido desarrolladas con diferentes enfoques disciplinarios dentro los que destacan la b meteorológica, hidrológica, agrícola, operativa y socioeconómica (Wilhite & Glantz, 1985).

La sequía meteorológica se refiere a la disponibilidad de agua atmosférica, principalmente como precipitación. Si la cantidad de precipitación acumulada, durante un lapso de tiempo es



significativamente más pequeña que el promedio o un valor específico, se considera que existe sequía de este tipo (McKee, Doesken, & Kleist, 1993; García, Fuentes, & Matías, 2014).

La sequía hidrológica se presenta cuando los niveles de escorrentía, cuerpos de agua y aguas subterráneas, están por debajo de los niveles normales (media mensual o anual) por un lapso de tiempo lo bastante prolongado, considerándose como un déficit. Este tipo de sequía suele notarse después de la sequía meteorológica (Barakat & Handoufe, 1998; García, Fuentes, & Matías, 2014).

La sequía agrícola se considera como el periodo en donde la humedad del suelo no es suficiente para el desarrollo de un cultivo. Este tipo de sequía depende también del uso que se le da al recurso, que puede ser óptimo o de condiciones de desperdicio (Barakat & Handoufe, 1998; Wilhite D. , 2003).

La sequía operativa ocurre cuando la demanda no puede ser abastecida, considerándose como un fallo. La sequía operativa es una sequía hidrológica de magnitud, duración e intensidad con niveles superiores a lo normal. En este tipo de sequía la operación del uso del recurso puede ser un factor para ocasionar una sequía de esta naturaleza (Matthai, 1979; Estrela, 2006; CONAGUA, 2014).

La sequía socioeconómica se presenta cuando resulta una producción insuficiente de bienes esenciales debido a un déficit en el abastecimiento de agua. Bienes económicos como la generación eléctrica, la industria, la agricultura, la ganadería, el uso doméstico, etc. Si existiera una escasez del recurso, pero no de un bien económico, la sequía socioeconómica no existe (Wilhite & Glantz, 1985; Barakat & Handoufe, 1998).

Un concepto más general de la sequía es el que describe el Centro Nacional de Prevención de Desastres en su serie “Fascículos, Sequía 2014”:

*“La sequía es un fenómeno hidrometeorológico que ocurre cuando la precipitación, en un lapso, es menor que el promedio, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas”.*

Dada la importancia de conocer las características de la sequía se han diseñado herramientas de evaluación a través de índices, entre los más populares que se encuentran en la literatura son: de



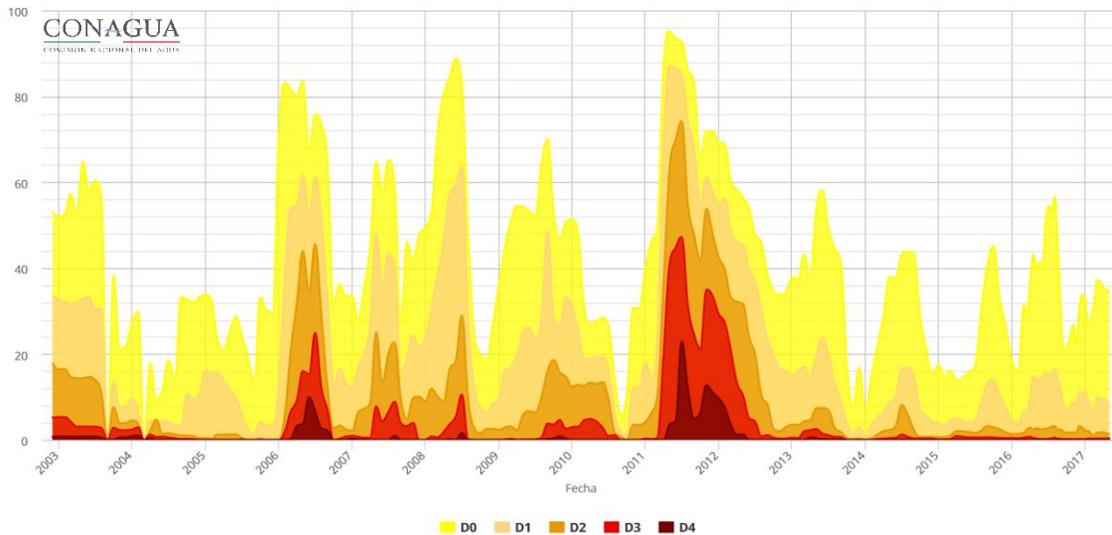
Lang, Martonne, Thornthwaite, Prescott, Capot-Rey, Bailley, Moral, Palmer y el índice estandarizado de precipitación (SPI) (Wilhite & Glantz, 1985; McKee, Doesken, & Kleist, 1993).

México ha sufrido los efectos de la sequía a lo largo de la historia, en el siglo XX se registraron cuatro grandes períodos de sequía: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996 y se tienen registros de daños por sequía en años posteriores. Del período de 1988-1994 el estado más afectado por sequías fue el estado de Chihuahua, tanto en el sector agrícola, ganadero y forestal (Escalante & Reyes, 1998). La sequía del periodo de 2010 a 2012 (figura 13) fue un parteaguas en la forma de atender este tipo de fenómeno al transitar de una gestión de la crisis a una gestión del riesgo (Arreguín Cortés, López, Ortega-Gaucin, & Ibañez, 2016; Ortega-Gaucin, 2014).

Los efectos de la sequía en las ciudades se traducen en desabasto de agua debido a la disminución de los niveles en fuentes superficiales como ríos o embalses, o a la disminución de la recarga de los mantos acuíferos; el encarecimiento de productos alimenticios debido al impacto que tiene en la industria agropecuaria (perdidas de cultivo y de cabezas de ganado) y migración de población rural a zonas urbanas (UN Water, 2015). En algunas ciudades cercana a zonas forestales, la sequía incrementa el riesgo de incendios. En los últimos años la intensidad de las sequías y la escasez de agua han interrumpido la generación de energía, lo cual tiene consecuencias económicas y limita el suministro de servicios hídricos (UN Water, 2015).

La sequía de 2010, considerada la más intensa de la que se tenga registro en los últimos 100 años (CENAPRED, 2011), afectó la disponibilidad de agua potable en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en delegaciones como Iztapalapa y Tláhuac (Oficina de Resiliencia CDMX, 2016). Las presas que abastecen a la ciudad presentaron los niveles más bajos de las últimas décadas. En Ensenada, Baja California, una sequía que inició en 2013, ocasionó que las autoridades realizarán cortes en el suministro de agua potable para la población urbana (El Universal, 2015). En ese mismo año, en el estado vecino de California, EUA; las presas y los ríos registraron los niveles más bajos en la historia, por orden Gubernamental se redujo el uso de agua potable en áreas urbanas al 25 %. En la ciudad de Los Ángeles se realizaron fuertes restricciones para el uso del agua lo que produjo una reducción en el consumo per cápita de alrededor del 20 % (Oficina de Resiliencia CDMX, 2016). Recientemente en Sao Paulo, la capital económica de Brasil, se vivió la peor crisis hídrica que se

tenga registro debido a una sequía. Los habitantes de la ciudad vivieron cortes drásticos en el abastecimiento, con hasta cuatro o cinco días sin agua por semana (El País, 2015).



*Figura 13. Evolución y porcentaje del territorio afectado por una o varias categorías de sequía a nivel nacional. Fuente: CONAGUA.*

Es importante recalcar que gran parte de nuestro país se encuentra potencialmente expuesto a este fenómeno (figura 14), debido a que se ubica en la franja de los grandes desiertos del mundo, además en México se tienen dos regiones con diferente época de lluvia, una entre los meses de mayo - octubre y otra con lluvias en el invierno. Esta última presente en los estados del noroeste del país quienes a su vez son los más expuestos a presentar sequías (García, Fuentes, & Matías, 2014).

Adicional al problema temporal del agua en México también se tiene un problema espacial, los mexicanos están asentados donde no está el agua, el 70 % de los mexicanos viven donde está el 30 % del agua (Arregín Cortés, 2016).

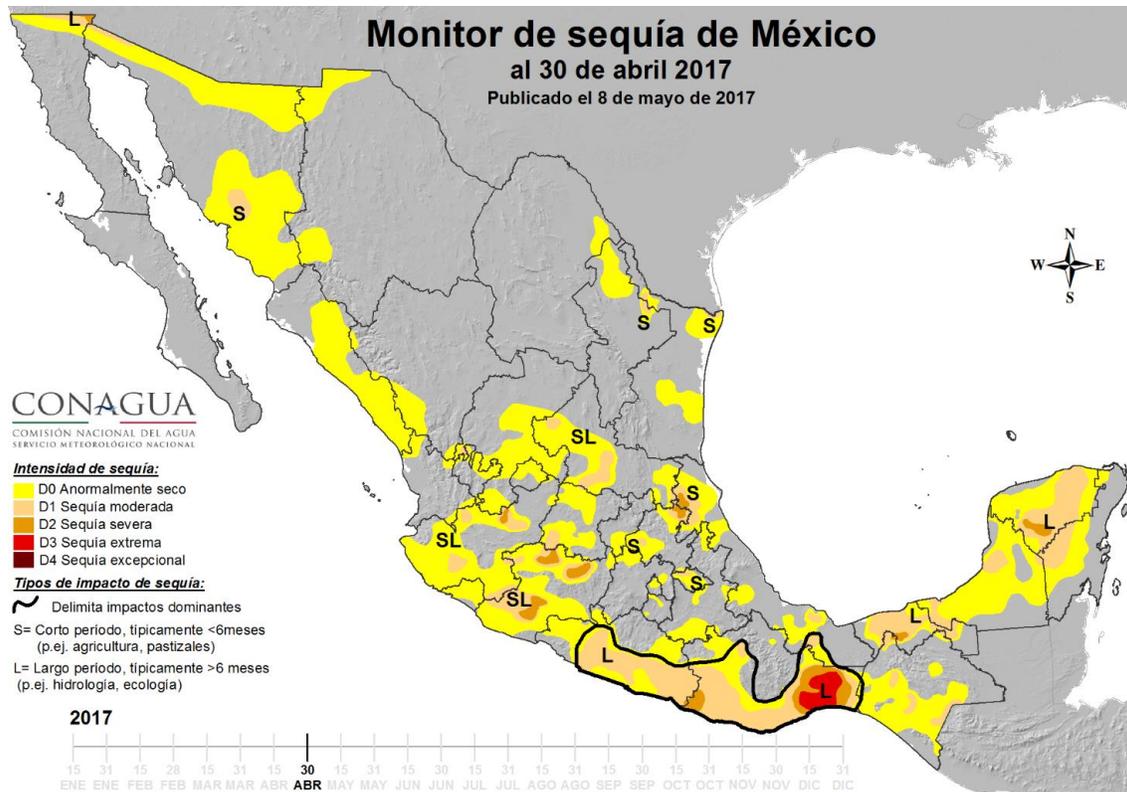


Figura 14. Representación de los datos obtenidos del monitor de sequía en México. Fuente: CONAGUA.

## 2.2 CICLONES TROPICALES

Los ciclones tropicales se consideran como los fenómenos hidrometeorológicos más devastadores en la historia reciente que por su duración, magnitud e intensidad son un peligro para la vida del ser humano, además de ocasionar cuantiosas pérdidas económicas. Se considera ciclón tropical a aquel “Sistema atmosférico (gran masa de aire cálido y húmedo) con fuertes vientos que circulan en dirección ciclónica (forma de espiral) alrededor de una zona de baja presión, si el sistema se ubica en el hemisferio norte el giro es en sentido contrario a las manecillas del reloj, caso contrario en el hemisferio sur” (Rosengaus, Jiménez , & Vázquez, 2014).



Tabla 1. Clasificación de los Ciclones Tropicales y escala de daño potencial de Saffir – Simpson.  
Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2012).

CATEGORIA	PRESIÓN CENTRAL [hPa]	VIENTOS (km/h)	MAREA DE TORMENTA (m)	CARACTERÍSTICAS DE LOS POSIBLES DAÑOS MATERIALES E INUNDACIONES
<b>PERTURBACIÓN TROPICAL</b>	-	-	-	Ligera circulación de vientos.
<b>DEPRESIÓN TROPICAL</b>	> 980	< 62	-	Daños mínimos locales. Lluvias que pueden ocasionar inundaciones.
<b>TORMENTA TROPICAL</b>	> 980	63 a 118	0.9	Daños mínimos. Alta probabilidad de lluvias abundantes e inundaciones.
<b>HURACÁN CATEGORÍA 1</b>	980	119 a 153	1.2 a 1.5	Vientos muy peligrosos que pueden ocasionar daños a personas, y animales debido a los escombros que arrastra el viento. Las ramas grandes de los árboles se romperán. Daños a las líneas eléctricas. Daños parciales a viviendas y edificios. Inundaciones en zonas costeras.
<b>HURACÁN CATEGORÍA 2</b>	965 a 979	154 a 177	1.8 a 2.4	Vientos extremadamente peligrosos, causarán daños extensos. Existe riesgo substancial de lesiones o muertes a personas y animales., así como de daño substancial a viviendas y edificios. La señalización será destruida. Árboles serán seccionados o derribados. Fallas en líneas eléctricas. El agua potable podría escasear. Inundaciones en zonas costeras y puertos.
<b>HURACÁN CATEGORÍA 3</b>	945 a 964	178 a 208	2.7 a 3.7	Alto riesgo por lesiones o muerte de personas y animales. Se pueden presentar daños estructurales en viviendas y edificios. Alto porcentaje de árboles derribados. Electricidad y agua no estarán disponibles. Alta probabilidad de inundaciones tierra adentro.
<b>HURACÁN CATEGORÍA 4</b>	920 a 944	209 a 251	4.0 a 5.5	Alta probabilidad de daño catastrófico, así como de lesiones o muerte de personas y animales. Probabilidad alta de daños estructurales en viviendas y edificios. Erosión en playas. Inundaciones en zonas interiores.
<b>HURACÁN CATEGORÍA 5</b>	< 920	> 252	> 5.5	Potencial catastrófico. Personas y animales corren un alto riesgo de sufrir lesiones o muerte. Caída total de señales. Algunas edificaciones con falla total. Daños graves en plantas bajas de todas las estructuras por inundaciones. Daños significativos en techos de edificios. Árboles derribados y postes. Cortes de energía durante algunas semanas. Escasez de agua a largo plazo. Es probable la evacuación masiva de áreas residenciales.



Es importante aclarar que, ciclón tropical es el fenómeno genérico y este se clasifica en función de la intensidad del sistema, dicha intensidad se define en función de la velocidad de los vientos máximos sostenidos y la presión central (a mayor velocidad y menor presión, mayor intensidad del fenómeno y mayor categoría). Esta clasificación va desde la categoría de perturbación tropical hasta huracán de categoría 5 en la escala Saffir – Simpson. En la tabla 1 se describen las diferentes clasificaciones de ciclones tropicales, según Saffir – Simpson y las características de los posibles daños materiales e inundaciones (Rosengaus, Jiménez , & Vázquez, 2014).

Aunque pareciera lo contrario, no existe una correlación entre la intensidad de un ciclón tropical, en sus diferentes clasificaciones, con la precipitación pluvial, es decir, puede existir una depresión tropical que genere mayor cantidad de milímetros de lluvia en comparación con un huracán de alta categoría (Rosengaus, 2007).

A los ciclones tropicales en su etapa más intensa (huracán) se les conoce por varios nombres en función de la región en donde impactan, se les conoce como huracanes en el Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Océano Pacífico del noroeste; como ciclones en el Mar de Arabia, Bahía de Bengala, Océano Índico, este de las islas Mauricio y Madagascar; Tifones en el Mar de China y Costa de Japón; Willy Willy en el Pacífico Sur, este de Australia y Samoa; y Baguios en Filipinas (Jímenez, Matías, Fuentes, & Prieto, 2014).

Los ciclones tropicales, como su nombre lo indica, se originan en los mares de las zonas tropicales del planeta, entre las latitudes 5° a 15°, del hemisferio norte y sur (figura 15). Los dos requisitos necesarios para que se desarrolle un ciclón tropical son calor y humedad, por lo que las regiones que tienen temporadas que alcanzan 26 °C o más, son ideales para la formación de este tipo de fenómenos. Estas regiones, que tienen condiciones favorables para la formación de ciclones tropicales son conocidas como zonas ciclogénicas o matrices (Marks, 2003).

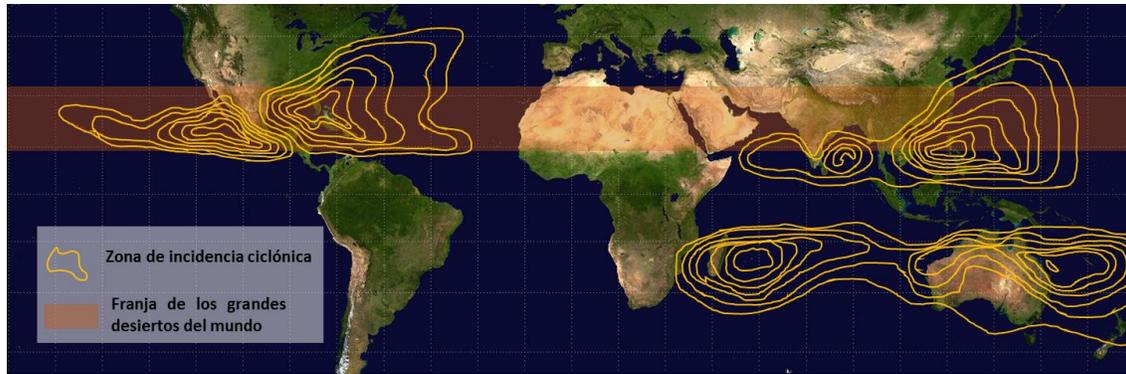


Figura 15. México se encuentra en la franja de los grandes desiertos del mundo y en las zonas de mayor incidencia ciclónica. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CONAGUA y NOAA.

Nuestro país se encuentra potencialmente expuesto al impacto de ciclones tropicales en sus diferentes categorías, debido a su ubicación y a la gran extensión de litorales. Las áreas expuestas llegan a abarcar cerca del 60% de la República Mexicana. De acuerdo a estadísticas, en promedio se presentan 25 ciclones tropicales con vientos mayores a 63 km/h, de ese total, 15 ocurren por el lado del Océano Pacífico, en donde la temporada de ciclones tropicales se presenta del 15 de mayo al 30 de noviembre, mientras que en el Océano Atlántico se presentan 10 ciclones tropicales con una temporada del 1 de junio al 30 de noviembre (Jímenez, Matías, Fuentes, & Prieto, 2014).

Cabe destacar que los ciclones tropicales tienen efectos favorables para nuestro país. Debido a la irregularidad en la distribución temporal y espacial del agua en México, los ciclones tropicales son una fuente importante de precipitación, contribuyendo a la recarga de acuíferos y almacenamiento en embalses, principalmente en zonas donde la lluvia es escasa (noroeste de México), inclusive la precipitación que generan pueden ser factor para contrarrestar los efectos de una sequía (Arreguín Cortés, 2017).

Las afectaciones que pueden sufrir las ciudades ante el impacto de ciclones tropicales varían de acuerdo a la intensidad del fenómeno, pero la manifestación más importante es la lluvia, la cual no depende directamente de la categoría del ciclón. Los vientos que desarrollan los ciclones generan daños en árboles, señalamientos, líneas eléctricas, anuncios publicitarios, así como afectaciones parciales, estructurales o falla total en viviendas, edificios e infraestructura eléctrica; las fallas en esta última ocasionan la suspensión del servicio de agua potable a la población; adicional a los daños que se puedan generar en la infraestructura hidráulica. Las rachas de viento y las lluvias intensas



representan alto riesgo a personas y animales al ocasionar lesiones graves o la muerte. La precipitación genera inundaciones que pueden dañar la infraestructura carretera, así como la infraestructura habitacional provocando evacuaciones masivas.

El ciclón tropical más destructivo del que se tiene registro en México, es el huracán Wilma (categoría 4) en el 2005 (El Financiero, 2017). Los daños directos a la infraestructura cuantificados en Quintana Roo ascienden a 4 mil millones de pesos y afectaciones indirectas por 14 mil millones de pesos debido al cese de las actividades turísticas en la Riviera Maya, principalmente en la ciudad de Cancún, en dónde se registraron los daños más importantes a la infraestructura hotelera, restaurantera y de atención al turismo, así como la pérdida de playas debido a la erosión. La infraestructura hospitalaria, eléctrica, carretera, portuaria, urbana y habitacional también recibió severas afectaciones (CENAPRED, 2006).

En el año 2013 se presentó un efecto combinado e histórico entre dos ciclones, el huracán Ingrid (categoría 1) y la tormenta tropical Manuel, uno por el golfo de México y otro por el océano Pacífico, respectivamente, generando intensas y prolongadas lluvias. Uno de los estados más afectados fue el estado de Guerrero, el estado con mayor índice de marginación en el país, registrando pérdidas por 23 mil millones de pesos. La ciudad capital, Chilpancingo, a pesar de encontrarse a 100 km de la costa, sufrió severas afectaciones por la acción combinada de estos dos fenómenos, registrando daños importantes en viviendas e infraestructura urbana. En dicha región el sector carretero fue severamente dañado registrando colapsos en tramos carreteros, puentes y túneles, importantes deslizamientos de laderas, debido a las prolongadas precipitaciones y a las crecidas en los principales cuacos de la región (CENAPRED, 2014).

En septiembre de 2017 debido a los daños ocasionados por la tormenta tropical Lidia, las ciudades de La Paz y Los Cabos, Baja California Sur, fueron declarados zonas de emergencia. A pesar de haber sido una tormenta tropical, las intensas precipitaciones ocasionadas por el ciclón generaron daños importantes en la infraestructura carretera y en viviendas, cerca de 2 mil 800 personas fueron trasladadas a albergues temporales (Excelsior, 2017). De los efectos positivos dejados por la tormenta tropical fue que se alcanzó una precipitación pluvial de 670 mm en 29 hr, cuando el promedio anual de la zona es de 282 mm. Las lluvias desarrolladas por el ciclón fueron las mayores lluvias registradas desde 1933 (CONAGUA, 2017).



## 2.3 INUNDACIONES

Las inundaciones representan uno de los fenómenos más catastróficos a nivel mundial de ahí la relevancia de entender y conocer ¿qué son?, ¿cómo se generan? y ¿cuáles son las medidas que puede implementar la población para disminuir el riesgo al que pueda estar expuesta? De acuerdo al Centro Nacional de Prevención de Desastres una inundación es (Salas & Jiménez, 2014):

*“Evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración del agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.”*

Una inundación difiere de una avenida ya que esta última se considera como una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de aguas en un río o arroyo hasta un nivel máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad (Salas, 2001).

Las inundaciones siempre han estado presentes en nuestro planeta, desde antes de la aparición del hombre, principalmente en las zonas cercanas a los cuerpos de agua o las zonas aledañas a las montañas que provocan escurrimientos importantes. La aparición del hombre y la transformación que hizo en su entorno como la deforestación o la construcción de zonas urbanas modificó los gradientes del terreno, el tipo de suelo y la vegetación, provocando que las inundaciones cada vez sean más frecuentes e intensas, esto aunado al cambio global. (Doswell III C. A., 2003).

Es importante mencionar que a pesar de que las inundaciones tienen impactos negativos en los seres humanos, forman parte de los procesos naturales que le dan forma a la tierra y que muchas de las primeras civilizaciones se asentaron cerca de los márgenes de ríos sufriendo constantemente de importantes inundaciones (Doswell III C. A., 2003), como Mesopotamia, Egipto y China o inclusive el caso de Tenochtitlan que se asentó en un islote del lago de Texcoco y que históricamente ha sufrido la presencia de inundaciones. Los asentamientos en los márgenes o en las zonas cercanas a los cuerpos de agua son uno de los principales factores que influyen en que las poblaciones estén expuestas a inundaciones que ocasionen pérdidas de vidas y afectaciones económicas (Salas & Jiménez, 2014).

Las alteraciones que ha hecho el hombre al suelo de las cuencas provoca que las crecientes sean cada vez más grandes que las avenidas históricas de las cuencas cuando no habían sido alteradas por el hombre (Salas & Jiménez, 2014), así mismo los efectos de una inundación se producen en tiempos más cortos y esto implica que la velocidad de respuesta de las autoridades ante una emergencia tenga que ser inmediata (IFRC, 2015). Cada vez es mayor el número de personas que se asientan de manera irregular en zonas que originalmente forman parte de cauces y ocasionalmente vuelven a tener escurrimientos (Salas & Jiménez, 2014).

Cada año se ha presentado un número mayor de desastres ocasionados por inundaciones debido a la gravedad de los acontecimientos relacionados con el clima, el crecimiento demográfico, la urbanización y la falta de prevención y mitigación (figura 16). De los tipos de colaboraciones y operaciones que realizó la Cruz Roja a nivel internacional, las inundaciones representan el mayor número con el 29.41 %, seguida de las epidemias con 27.45 % (IFRC, 2015). En México se estima que alrededor de 162,000 km<sup>2</sup> de la superficie del país es susceptible a inundarse (Arreguín Cortés, López, & Marengo, 2016).

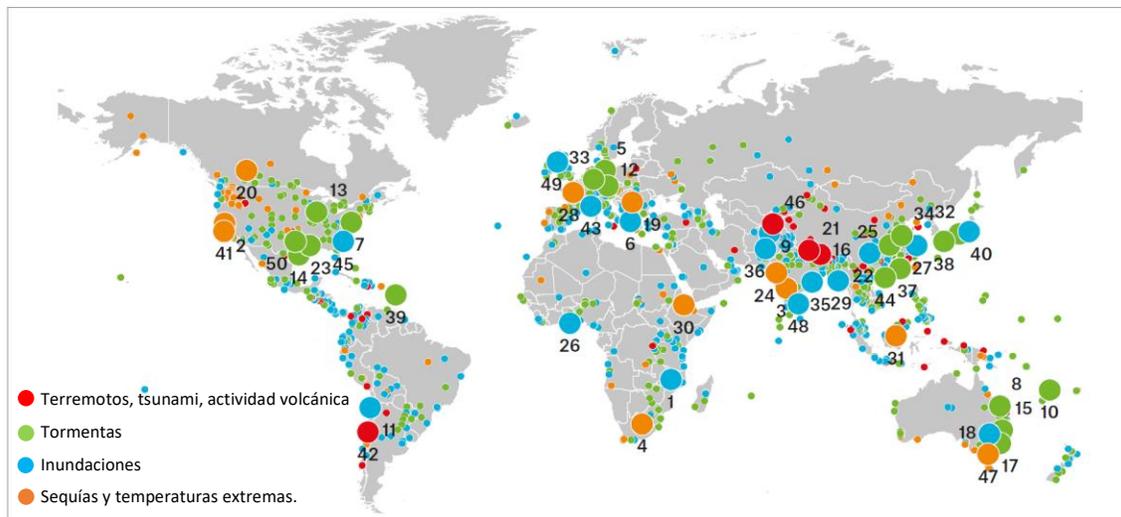


Figura 16. Mapa de las catástrofes naturales en 2015. Las inundaciones son los eventos naturales que más desastres ocasionan. Fuente: Munich RE.

De acuerdo a su origen las inundaciones se pueden clasificar en pluviales, fluviales, costeras y por fallas de infraestructura hidráulica (Salas, 2001). Las inundaciones pluviales se presentan por la acumulación del agua de las precipitaciones que han saturado el suelo; el agua acumulada necesariamente debe ser agua precipitada en la zona donde se presenta la inundación. Las



inundaciones fluviales son ocasionadas por el desbordamiento de ríos afectando las zonas aledañas al cauce que comúnmente se conocen como llanuras de inundación; en este caso el agua que genera la inundación puede ser procedente de cualquier parte de la cuenca tributaria (Salas & Jiménez, 2014).

Mientras que las inundaciones costeras son causadas por el incremento en el nivel de la marea ocasionando que el agua penetre en las zonas costeras; generalmente la marea de costa es provocada por vientos y bajas presiones de las tormentas tropicales (Salas & Jiménez, 2014). En este tipo de inundaciones no se consideran los tsunamis debido a que estos son producto de actividad sísmica en el mar o de perturbaciones que generen grandes olas (Farreras, Domínguez, & Gutiérrez, 2005). Las fallas de infraestructura hidráulica también son causantes de inundaciones, generalmente por problemas de índole antropogénico. Se pueden dar tres casos en donde el hombre interviene de manera directa para que una obra hidráulica falle: una de ellas es un diseño escaso, generalmente por la falta de información hidrológica o climatológica, así como el empleo de criterios y metodologías inapropiados u obsoletos. Un segundo caso puede ser la mala operación de la obra hidráulica que ocasiona una falla, como puede ser un manejo erróneo de las compuertas de una presa, si se abre mucho la compuerta puede ocasionar que se induzca una cantidad mayor de agua al cauce del que puede conducir o caso contrario, cuando la compuerta no se abre lo suficiente poniendo en peligro la estabilidad de la estructura. Un tercer caso es la falta de mantenimiento de la estructura (Salas & Jiménez, 2014). Recientemente se presentó el caso de la presa Oroville en E.U.A. que, debido a la combinación de factores físicos, está se encontró en riesgo de colapsar (Oroville Forensic Investigation, 2017).

Otra clasificación va de acuerdo al tiempo de respuesta de la cuenca por lo que se definen dos grupos: inundaciones lentas e inundaciones súbitas (Doswell III C. A., 2003). Desde el nivel de cuenca, el ciclo hidrológico puede esquematizarse por dos factores, uno que es el estímulo, representado por la precipitación, y un segundo que es la respuesta a este estímulo, representado por el escurrimiento hacia el cauce. La relación entre uno y otro está dada por las características geomorfológicas de la cuenca. Hay características geomorfológicas que condicionan la velocidad de respuesta de la cuenca, así como el volumen del escurrimiento. (Aparicio, 2015). La velocidad de respuesta está condicionada por el orden de corrientes, la pendiente de la cuenca y del cauce, la



distribución espacial de la lluvia, precipitación antecedente, cobertura vegetal, el uso de suelo, asentamientos humanos, ubicación de presas, entre otros (Doswell III C. A., 2003).

Si la cuenca cuenta con características geomorfológicas que originan que la respuesta hidrológica sea lenta, las avenidas son generadas en un tiempo relativamente largo, entre varias horas o días. En cambio, cuando las características geomorfológicas provocan una rápida velocidad de respuesta, la inundación se considera súbita y a diferencia de la inundación lenta, al desarrollarse en unos cuantos minutos o par de horas puede tomar desprevenida a la población y generar no solo pérdidas económicas, si no lo más lamentable, pérdidas humanas (Salas & Jiménez, 2014).

La diferencia entre una inundación lenta y una súbita es el tiempo que tardan en manifestarse los efectos de la precipitación y el escurrimiento. Por otro lado, las instituciones de protección civil juegan un papel importante para considerar que una inundación sea lenta o súbita. Una respuesta lenta por parte de estas instituciones ante inundaciones lentas puede provocar que la población la perciba como una inundación súbita (Salas & Jiménez, 2014).

Las inundaciones lentas se originan en cuencas con pendiente suave en donde el escurrimiento tarda relativamente más tiempo en llegar al cauce, provocando desbordamientos en las llanuras de inundación (Doswell III C. A., 2003). Por la característica de tiempo prolongado de desarrollo, podría ser una inundación que no genere grandes pérdidas, ya que permite a la población estar prevenida y alerta. Pero la falta de instrumentación para monitorear las lluvias, en algunos casos, no permite anticiparse a la inundación y prevenir a la población por lo que la pueden percibir como una avenida súbita (Salas & Jiménez, 2014). Las inundaciones súbitas pueden ser ocasionadas por precipitaciones repentinas y de gran intensidad, generalmente en cuencas pequeñas en donde los arroyos se transforman en cauces de gran fuerza. Las manchas urbanas son zonas donde es común que se presenten este tipo de inundaciones, ya que al modificar la capacidad de infiltración de la cuenca y algunas otras características geomorfológicas como el coeficiente de rugosidad, propicia que todo el volumen precipitado sea escurrimiento neto. La rapidez con que ocurren este tipo de inundaciones las hace tan dañinas y peligrosas (Doswell III C. A., 2003).

Las inundaciones pueden ocasionar una serie de afectaciones a la infraestructura que componen los sistemas de las ciudades, como la infraestructura carretera, hidráulica, eléctrica, habitacional,



ocasionando el traslado de población a albergues que se encuentra en zonas inundadas, así como perturbaciones en los sistemas de transporte.

En 2007 se presentó la peor inundación en Villahermosa de la que se tenga registro recientemente, ocasionando que dos tercios de la ciudad estuvieran inundados por 40 días, afectando a miles de viviendas, así como centros de salud y escuelas, infraestructura del sistema de agua y saneamiento, infraestructura eléctrica, comercial, hotelera, y la infraestructura carretera que conecta a la ciudad (CENAPRED, 2008).

En 2016 el desbordamiento del río La Pastora, en la Ciudad de México, inundó el estacionamiento de un hospital, provocando afectaciones en el suministro de agua y de energía eléctrica, así como daños en líneas telefónicas e internet, por lo que los pacientes tuvieron que ser evacuados. La carretera México-Toluca fue cerrada debido a la inundación y deslaves que se presentaron en la zona de Santa Fe. El nivel del agua alcanzado en algunas vialidades impidió el paso de los vehículos incrementando el tráfico de la zona (Milenio, 2016). Las inundaciones que se presentaron en la Ciudad de México en 2017, ocasionaron suspensión de operaciones en el transporte Metro, Metrobús y en las líneas aéreas del Aeropuerto de la Ciudad de México (El Universal, 2017).

## 2.4 TORMENTAS SEVERAS

Otro de los fenómenos hidrometeorológicos que se toman en consideración en este trabajo de investigación son las tormentas severas. Consideradas como alteraciones de algún tipo en el clima, tienen la particularidad de manifestarse de diferentes formas: lluvia, nieve, granizo, tormentas eléctricas, viento y tornados (Dowell III C., 2003).

Se hacen presentes en toda la República Mexicana en las diferentes formas, por ejemplo, los estados del norte comúnmente sufren de tormentas de nieve, mientras que algunos estados del centro presentan tormentas con granizo y a su vez es común que en los estados del sur se originen precipitaciones intensas (Prieto, Avendaño, Matías, & Eslava, 2014). Los factores determinantes para que se dé una forma u otra son la humedad atmosférica y la temperatura de condensación (Breña, 2004).



Los responsables de que este tipo de fenómeno hidrometeorológico se manifieste son las nubes de tipo cumulonimbus, las cuales pueden presentarse de forma aislada o en sistema, dependiendo de la cantidad e interacción de los factores determinantes. Las nubes cumulonimbus son de gran dimensión vertical, alta densidad, la parte superior puede presentar textura lisa, fibrosa o estriada y pueden extenderse por cientos de kilómetros (Prieto, Avendaño, Matías, & Eslava, 2014).

Debido a su intensidad, las tormentas severas presentan las condiciones necesarias para ocasionar pérdidas humanas y materiales. La intensidad del evento es el referente para considerar la severidad de una tormenta (Doswell III C., 2003).

Las tormentas pueden ser generadas por ascenso de aire húmedo y por frentes fríos, las formadas por ascenso de aire húmedo tienen cuatro fuentes: convección, turbulencia por fricción, ascenso orográfico y convergencia. Las tormentas pueden ser clasificadas por la forma en la que se manifiestan en pluviales, eléctricas, de nieve, de granizo y tornados (Prieto, Avendaño, Matías, & Eslava, 2014).

#### *Tormentas pluviales*

Son las ocasionadas por la condensación del vapor de agua contenido en las nubes, su característica son lluvias intensas que pueden ocasionar inundaciones catastróficas. La magnitud está dada por la cantidad de vapor que puede ascender a la atmósfera, si el aire caliente húmedo llega a subir a los niveles de la atmósfera altos y fríos, se condensa y genera tormentas pluviales de gran intensidad (Breña, 2004).

Los mecanismos disparadores de la precipitación son: ciclones, forzamiento orográfico, sistemas frontales y convección. La lluvia ciclónica es la generada por los ciclones tropicales. La lluvia orográfica es originada por el ascenso del aire húmedo que impacta sobre los sistemas montañosos, el cual se condensa en la atmósfera y precipita hacia la tierra. La lluvia invernal es ocasionada por los frentes fríos, en el caso de México provenientes del polo norte, y son estos los que ocasionan el ascenso del aire húmedo caliente para que llegue a la atmósfera, se condense y precipite. Por último, la lluvia convectiva se origina por el movimiento de masas de aire caliente y aire frío, es decir, el aire caliente cerca de la superficie terrestre se expande y pierde densidad, por lo que el aire frío en la atmósfera, al ser de mayor densidad, desciende a la superficie terrestre hasta que



incrementar su temperatura perdiendo densidad, reiniciándose el ciclo de convección (Salas & Jiménez, 2014)

#### *Tormentas eléctricas.*

Son fenómenos que no ocurren como eventos aislados, es decir, van acompañadas de vientos fuertes, lluvia y en algunas ocasiones nieve o granizo (Doswell III C., 2003). Este tipo de tormentas son descargas súbitas de electricidad, se caracterizan por la presencia de resplandores breves denominados rayos y los efectos sonoros denominados truenos. Para que se puedan desarrollar este tipo de tormentas es necesario que el factor determinante de humedad se combine con el aire caliente que va en ascenso. (Prieto, Avendaño, Matías, & Eslava, 2014).

#### *Tormentas de nieve.*

En este tipo de tormentas se precipitan partículas de agua en estado sólido en forma de copos, cuando las nubes se forman con cristales de hielo debido a que la temperatura del aire está por debajo del punto de congelación, se lleva a cabo el proceso de sublimación inversa del vapor del agua. Para que se presente una nevada, los cristales de hielo formados deben conglomerarse hasta alcanzar un peso que permita su precipitación (Eslava, 2001).

Generalmente este tipo de tormentas se presentan en temporada invernal, usualmente en los estados del norte de la república y en las regiones altas como montañas o sierras (Eslava, 2001), aunque históricamente se han presentado nevadas extraordinarias como la del 12 de marzo de 2015 en la autopista México – Puebla (Milenio, 2015) y en enero de 2016 en la zona del Ajusco, La Marquesa y otras zonas de la Ciudad de México y el Estado de México (El Financiero, 2016).

#### *Tormentas de granizo*

Es un tipo de tormenta de precipitación de piedras de hielo, estos pueden ser de diferentes tamaños que va desde los 5 milímetros hasta diámetros de pelotas de golf. Se forman en las nubes cumulonimbus que se encuentran a alturas superiores al nivel de congelación (Prieto, Avendaño, Matías, & Eslava, 2014). El granizo se origina por el arrastre vertical de gotas de agua o copos de nieve por corrientes de aire turbulento, las partículas de granizo van creciendo conforme se van conglomerando gracias a las colisiones entre las partículas, hasta que el peso es demasiado para que sean sostenidas por las corrientes de aire (Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz,

2013). En nuestro país es común que las granizadas se presenten en las zonas del altiplano (figura 17). Ciudades como Puebla, Pachuca, Tlaxcala, Zacatecas y la Ciudad de México son las de mayor incidencia (Eslava, 2001).

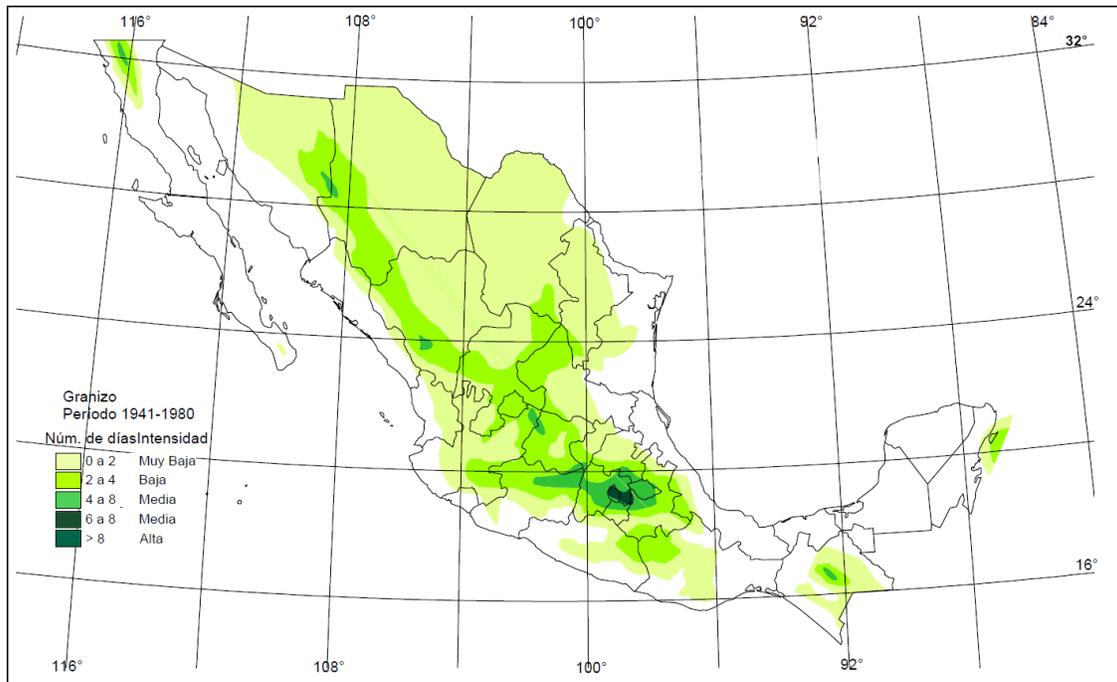


Figura 17. Tormentas de granizo en México. Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.

### Tornados

Una de las perturbaciones ocasionadas por las tormentas severas, son los tornados, considerada como la perturbación más violenta. Son originados por nubes de tipo cumuliforme cuando masas de aire con diferentes características de densidad, temperatura, humedad y velocidad, chocan provocando descenso de la presión y vientos girando en forma ciclónica. (Prieto, Avendaño, Matías, & Eslava, 2014). Este tipo de perturbaciones pueden tener un solo vórtice o un sistema de varios de ellos moviéndose alrededor de un centro único, la velocidad del viento del tornado puede rondar los 140 m/s. La mayoría de los tornados no son intensos y suelen ser efímeros, cuando una de estas perturbaciones se origina en los cuerpos de agua se les denomina trombas (Doswell III C., 2003). Las afectaciones que se pueden tener en las ciudades debido a la presencia de tormentas severas son diversas y dependen del tipo de tormenta que se presente. Una de las consecuencias de las tormentas severas son las inundaciones de las cuales ya se ha mencionado sus afectaciones en zonas urbanas. Los vientos que alcanzan a desarrollar las tormentas pueden dañar anuncios publicitarios,



árboles, afectar a viviendas y edificios, cortes de energía eléctrica y perturbaciones en los sistemas de transporte.

En 2007 se generó un tornado categoría F2 en la escala Fujita en la ciudad fronteriza Piedras Negras, Coahuila, considerado el más dañino de la temporada. Los vientos alcanzados se estimaron entre 130 y 160 km/h, causando daños en viviendas y edificaciones, fallas en techos de bodegas, arrastre de autos, árboles abatidos, daños a infraestructura educativa e infraestructura eléctrica. El tornado fue acompañado de una tormenta de granizo que alcanzó el tamaño de pelotas de golf ocasionando daños a viviendas, edificaciones y vehículos (CENAPRED, 2008).

El 28 de julio de 2017 se desarrolló una tormenta de lluvia y granizo en la Zona Metropolitana de Guadalajara, generando caos en la ciudad debido a las inundaciones de vías principales y a que los sistemas del Tren Ligero y Macrobus interrumpieron su servicio lo que, aunado a la caída de árboles, complicó la movilidad en la ciudad (El Universal, 2017). La fuerte granizada que acompañó a la tormenta duró varios minutos dejando vehículos atrapados debido a la acumulación del granizo que alcanzó en algunas zonas 20 cm (Uno TV, 2017).

## 2.5 HELADAS

Las heladas al igual que la sequía, son un fenómeno climatológico silencioso y de presencia destructiva lenta pero muy dañina, principalmente para las zonas de cultivo donde genera grandes pérdidas a la agroindustria. Se considera una helada cuando la temperatura del aire de la superficie terrestre alcanza los 0° o una temperatura menor, por lo menos en un lapso de cuatro horas o más. Como se ha mencionado en el análisis de los otros fenómenos hidrometeorológicos, la severidad de estos depende en gran medida de cómo reaccionan los sistemas o entes impactados por los fenómenos. En el caso de las heladas depende de que tanto disminuye la temperatura y la manera en la que resisten los seres vivos (Matías, Fuentes, & García, 2001).

Una helada es ocasionada por dos posibles factores: por un lado, se encuentra la radiación proveniente del sol. A lo largo del día la superficie terrestre absorbe calor mientras que en las noches este calor se va disipando, cuando las noches son más largas que los días, es decir, cuando se pierde



más calor del que se absorbe, la temperatura puede descender considerablemente hasta alcanzar los 0°C. Por otro lado, se tiene el factor de la convección, en donde ingresan grandes masas de aire frío que provocan que la temperatura de la superficie terrestre descienda considerablemente (Vázquez, 2001). Por lo anterior, las heladas pueden clasificarse por el proceso de formación que son: por radiación y por advección.

Existen tres diferentes tipos de heladas, la helada de aire que se presenta cuando el aire cercano a la superficie terrestre, aproximadamente a 1.5 m cercano al suelo, alcanza la temperatura de congelación, el suelo como tal puede tener una temperatura mayor; por otro lado, la helada de suelo que es mucho más fría que la de aire debido a que en esta el suelo si alcanza los 0 °C y el aire puede estar a una temperatura mayor. Cuando en la vegetación se aprecian cristales blancos se dice que se tiene una helada de escarcha, esta se forma cuando la humedad que contiene el aire se condensa y se deposita sobre la vegetación. Las heladas se pueden clasificar de acuerdo a su severidad en: ligeras, moderadas, severas y muy severas y el parámetro para clasificarlas es la temperatura bajo cero que llegan a alcanzar. La helada ligera es aquella donde la temperatura va de los 0 °C a los -3.5 °C; la moderada cuando la temperatura oscila entre -3.5 °C y -6.5 °C; severas cuando la temperatura ronda los -6.5 °C y -11.5 °C; y por último las heladas muy severas que son aquellas que alcanzan temperaturas por debajo de los -11.5 °C (Pereyra, Beltrán, Tiscareño, & Pérez , 2009).

También se pueden clasificar a las heladas de acuerdo a la época del año en la que se presentan. México puede tener heladas primaverales, otoñales e invernales. Las heladas primaverales se originan entre los meses de abril y mayo, representan un peligro debido a que amenazan el desarrollo y crecimiento de los cultivos de temporada. Las heladas otoñales son las que se presentan en septiembre y octubre, también representan un riesgo para los cultivos en los que no se ha terminado la cosecha. Por último, están las heladas invernales que se manifiestan entre los meses de noviembre y febrero, estas llegan a ser benéficas para ciertos tipos de cultivos que entran en dormancia o para los que son de clima frío (Pereyra, Beltrán, Tiscareño, & Pérez , 2009).

Una última clasificación se hace en función a su efecto visual, por lo que se pueden presentar heladas blancas o negras. Una helada blanca se presenta cuando la humedad cercana a la vegetación alcanza temperaturas de 0 °C o menos, presentándose la sublimación inversa del vapor del agua en



el aire, formando capas de color blanco en la superficie de la vegetación o en cualquier área expuesta. La helada negra se manifiesta cuando el aire tiene poca humedad, la temperatura de punto de rocío es inferior a los 0 °C, por lo que no existe formación de hielo, la baja temperatura llega a quemar los tejidos de la vegetación dejando una coloración negruzca (Matías, Fuentes, & García, 2001).

Es importante señalar la diferencia entre una helada y una nevada. Una tormenta de nieve es una precipitación de agua en estado sólido conocida como copos que son cristales de hielo cayendo en grupo, estas tormentas son consecuencia de la formación de nubes cumulonimbus que alcanzan alturas de la atmósfera con temperaturas cercanas a los 0 °C. En cambio, en una helada no se presenta precipitación alguna, en el caso más cercano se llegan a formar cristales de hielo debido a la sublimación inversa que sufre el vapor de agua y que se deposita en las superficies expuestas (Matías, Fuentes, & García, 2001).

En nuestro país son los estados de norte los que presentan temperaturas menores a 0 °C (figura 18), por los vientos que provienen del norte del continente americano, sin embargo, en algunas ocasiones los estados del centro también llegan a sufrir de heladas (Matías, Fuentes, & García, 2001).

De acuerdo al Reporte del Clima en México, en 2015, 26 % del territorio de la república registró al menos cinco días con temperatura menor a los 0 °C, siendo la población de Temósachic en Chihuahua la que registró más días (199). Los estados que más heladas presentaron fueron Chihuahua y Durango (Albanil, Pascual, López, Chablé, & Quiroz, 2015).

Generalmente los daños que causa una helada son en la agroindustria ya que los cultivos son vulnerables, deteriorando las plantas y ocasionando diferentes efectos como: internos, que tiene que ver con la ruptura de membranas de las células; externos, que es la muerte de tallos y hojas; inmediatos, que generalmente es deshidratación y acumulativos, que se presentan cuando las heladas no son de períodos prolongados (Matías, Fuentes, & García, 2001)

Algunas de las afectaciones que originan las heladas en las ciudades están relacionadas con el congelamiento de las tuberías, por lo que el suministro de agua potable a las poblaciones es

interrumpido. En febrero de 2011 en la ciudad de Saltillo, el suministro de agua potable se vio afectado debido al congelamiento de las tuberías del sistema y a la descompostura de medidores dejando sin servicio a parte de la población. El agua de los tinacos de almacenamiento de algunos domicilios presentó capas de hielo de 30 cm en la parte superior (EL UNIVERSAL, 2011). Suceso similar afectó a Chicago E.U.A. en 2014, en dónde algunos habitantes quedaron sin servicio de agua durante ocho días por el congelamiento de tuberías (Chicago Tribune, 2014).

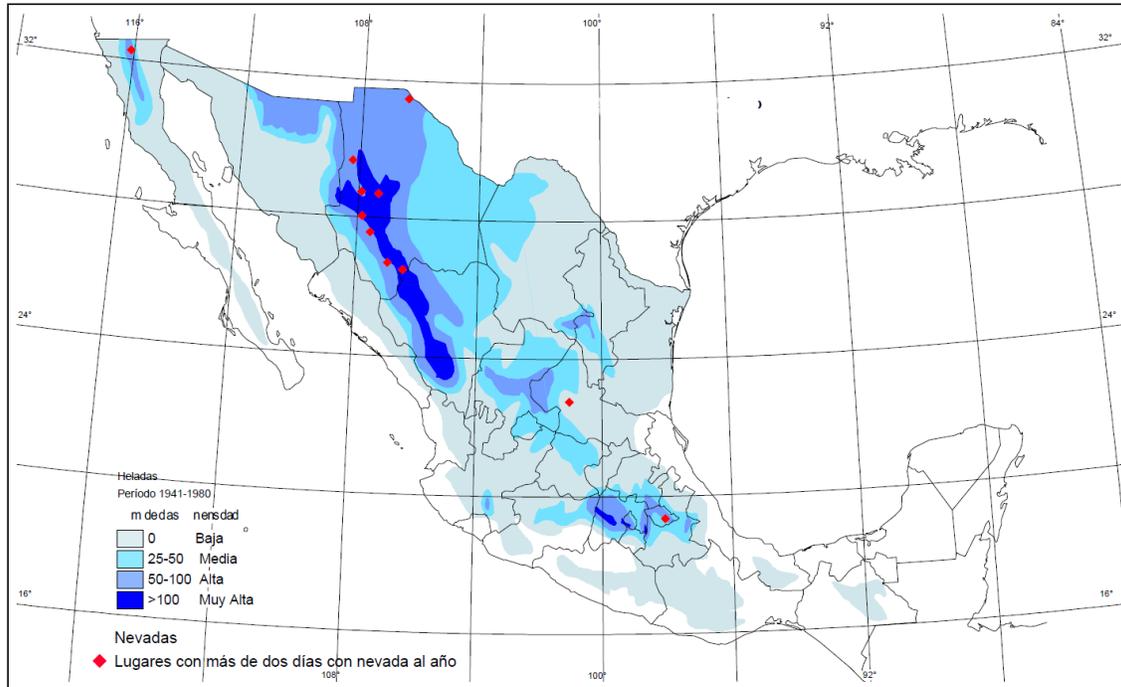


Figura 18. Heladas en México. Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.

Las heladas, al igual que otros fenómenos, también generan perturbaciones en los sistemas de transporte debido al congelamiento del pavimento de las calles y de las pistas de los aeropuertos, situación que se presentó en el 2011 en Ciudad Juárez (El Diario de Juárez, 2011). En el ámbito internacional se han presentado sucesos relacionados con heladas, por ejemplo, en Ucrania se interrumpió el servicio de tren de alta velocidad debido a que las bajas temperaturas ocasionaron fallas mecánicas en algunos trenes de la ruta que comunica a dos ciudades, Lvov y Kiev (Actualidad RT, 2016). En España, el embalse Navacerrada que es utilizado para abastecer a municipios de la sierra de Guadarrama, presentó una capa de hielo debido a los fuertes vientos y a las bajas temperaturas de la zona, afectando el suministro de agua (El País, 2015).



## CAPITULO 3. ÍNDICE Y PERFIL DE RESILIENCIA EN CIUDADES ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS – COMPONENTE TÉCNICA

### 3.1 HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS PARA DETERMINAR EL NIVEL DE RESILIENCIA

El primer paso antes de definir estrategias y medidas que coadyuven a crear o fortalecer la resiliencia actual es evaluar los aspectos que definen la resiliencia de una ciudad para conocer qué elementos se requiere fortalecer. Existen herramientas de evaluación que pueden ser aplicadas para diagnosticar si las ciudades están teniendo un desarrollo integral o se están rezagando en determinados aspectos, además son un indicador de la revisión, actualización e implementación efectiva de leyes y reglamentos de construcción, de ordenamiento territorial, ecológico, entre otros.

Llevar a cabo la evaluación de la resiliencia de una ciudad es un proceso complejo que involucra diversos aspectos, variables y amenazas, por lo que es necesario apoyarse en las herramientas necesarias para llevar a cabo una evaluación congruente. En este trabajo de investigación, se desarrollaron dos herramientas, una es el *índice técnico de resiliencia* y una complementaria que es el *perfil de resiliencia de la ciudad*. La primera enfocada a evaluar la resiliencia de la componente técnica y la segunda a complementar el resultado del *índice* a través de un análisis detallado de los elementos que pueden incrementar la resiliencia de la ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos, contempla la propuesta de medidas no estructurales y estructurales, y sienta las bases para desarrollar una estrategia de resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos.

En la literatura se encuentran diversas herramientas para evaluar la resiliencia en ciudades mediante un índice; muchas de ellas evalúan de manera conjunta las múltiples componentes presentes en la ciudad, como: salud, bienestar, economía, sociedad, organización, estrategia, infraestructura, ecosistemas, entre otros, y su comportamiento ante las diferentes situaciones críticas o agentes perturbadores a las que se puede enfrentar (figura 19). Algunas otras evalúan estas componentes en situaciones determinadas como terremotos, epidemias o tsunamis, por mencionar algunos. Por lo que es importante responder dos preguntas iniciales: ¿resiliencia de qué? y ¿resiliencia a qué? (Sharifi, 2016). Por ejemplo, el índice ResilUS creado por el Instituto de

Resiliencia de la Universidad Western Washington en 2011, está enfocado a evaluar la resiliencia ante terremotos de la componente socioeconómica y capital físico de una ciudad. El índice propuesto por la UNISDR, en 2014, evalúa diez aspectos ante amenazas de origen natural: organización y coordinación, inversión, evaluación del riesgo, infraestructura, protección de las instalaciones vitales, códigos de construcción, sociedad, ecosistemas, tecnologías y reconstrucción. Por otro lado, el índice desarrollado por la Fundación Rockefeller en 2015 evalúa ocho aspectos, agrupados en cuatro categorías, ante múltiples situaciones: economía y sociedad, infraestructura y ecosistemas, liderazgo y estrategia, salud y bienestar.

En este trabajo, se plantea una metodología que permite evaluar, mediante un índice, la componente técnica de una ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos. Contestando las preguntas planteadas, se trata de la resiliencia de la componente técnica de una ciudad ante el impacto de fenómenos hidrometeorológicos, es decir, los elementos físicos o normativos de origen ingenieril, que directa o indirectamente ayudan a la ciudad para que pueda resistir, adaptarse y recuperarse en caso de desastre por este tipo de amenazas de origen natural; elementos como infraestructura, planes de ordenamiento, de emergencia y reglamentos. El propósito del índice es medir y monitorear través de indicadores, las cuatro características que hacen que un sistema se pueda considerar resiliente: la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación.

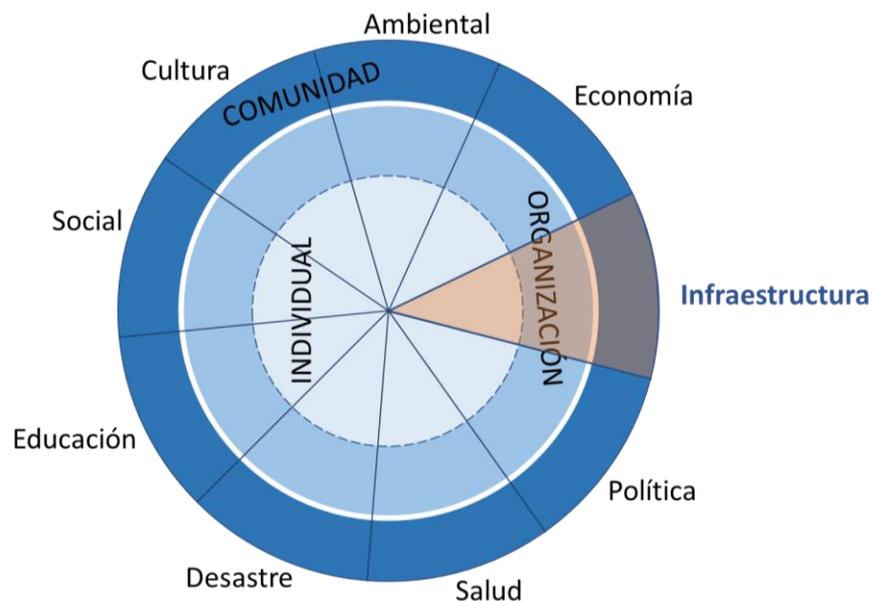


Figura 19. Circulo de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada de UNISDR.



Debido a que la resiliencia es multifactorial y polivalente, es decir, que puede haber resiliencia social o económica en una ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos, cada una dependiente de determinados factores, es necesario acotar el dominio y alcance de la evaluación de manera que el *índice* arroje resultados sobre cada componente a analizar. Esta acotación se refiere al propósito de la evaluación, el análisis jerárquico, la escala de la evaluación, la estructura de diseño, la selección de indicadores, el análisis de datos y proceso de cálculo, el reporte e interpretación de datos (Parsons, y otros, 2016); las cuales se describen a detalle en el apartado del *índice técnico de resiliencia*.

## 3.2 ÍNDICE TÉCNICO DE RESILIENCIA EN CIUDADES

### 3.2.1 PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN

El propósito es determinar cómo las ciudades, desde el punto de vista técnico, pueden resistir, adaptarse, prepararse y recuperarse ante el impacto de fenómenos hidrometeorológicos. Auditar el estado del sistema en un momento determinado y evaluar los criterios de desempeño, para detectar los efectos de las perturbaciones y valorar los esfuerzos de mitigación, restauración o aplicación de políticas, e incluso, predecir comportamientos y necesidades.

### 3.2.2 ANÁLISIS JERÁRQUICO

Existen dos enfoques de evaluación en función del sentido de la jerarquía, que puede ser de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo. Los enfoques ascendentes emplean datos secundarios, como censales o económicos, como proxy de los que se desean evaluar; además su escala es de carácter local. En este trabajo, las variables que integran a los indicadores, en su mayoría, emplean datos censales y económicos, por lo que el enfoque es ascendente, aunado a la escala local del índice.

### 3.2.3 ESCALA DE EVALUACIÓN

Se refiere al área que abarcará la evaluación. Como se ha mencionado, la propuesta de este trabajo está enfocada a ciudades, principalmente porque estas son los motores económicos de los países y las zonas donde se concentra la mayor cantidad de población mundial, y por lo tanto donde se pueden producir los mayores impactos socioeconómicos. En la literatura existen índices con escalas diferentes que pueden ser a nivel municipal, estatal o nacional.



### 3.2.4 ESTRUCTURA DE DISEÑO DEL ÍNDICE TÉCNICO DE RESILIENCIA

Esta acotación tiene que ver con la sensibilidad a los elementos de cálculo de datos. Puede ser deductivo o inductivo. Para este caso, y debido a que se tienen menos de diez indicadores, la estructura de diseño es deductiva.

Cuando se desea evaluar un concepto como la *resiliencia*, la cual no es posible medir directamente, es necesario realizar una abstracción y recurrir a indicadores que si se pueden medir y que llegan a tener una aproximación. Los indicadores son expresiones concretas y funcionales que resumen la información, brindan un referente de la situación y orientan en la toma de decisiones. Técnicamente, un indicador es una función de una o más variables, que en conjunto miden una característica o atributo de la variable principal en estudio (CEPAL, 2009). El cálculo de los indicadores debe ser fácil, confiable, comparable en el tiempo y en el espacio, con una interpretación sencilla y de fácil comunicación (INEGI, 2014). Es importante que en la selección de los indicadores se escojan los que directamente reflejen el concepto de interés y que los datos sean de fácil acceso (OCDE, 2008).

La integración de la información que aporta cada indicador debe ser sintetizada para llegar a un valor único que represente lo que ocurre con la variable principal que se está midiendo; para este caso de estudio, la variable principal es la resiliencia. El valor total de la suma ponderada de varios indicadores se denomina *índice* (figura 20). Los índices son utilizados para realizar comparaciones del desempeño de las unidades de análisis. Los índices son una representación simplificada de un concepto multidimensional con base en un modelo conceptual subyacente. Puede ser de carácter cuantitativo o cualitativo dependiendo el requerimiento del analista (CEPAL, 2009).

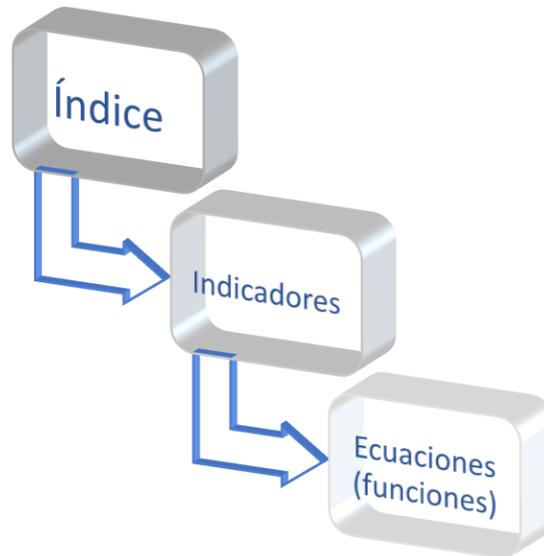


Figura 20. Esquema de la estructura de un índice. Fuente: Elaboración propia.

El índice técnico de resiliencia pretende ser una herramienta para la toma de decisiones que tengan como consecuencia el incremento en la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de una ciudad. El índice permite identificar las unidades geográficas resilientes ante fenómenos hidrometeorológicos y da la pauta para realizar estudios específicos y desarrollar estrategias.

Una forma de analizar las cuatro características fundamentales es dar respuesta a las siguientes interrogantes:

1. ¿Cómo resiste la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos?
2. ¿Cómo se recupera la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos?
3. ¿Cómo se adapta la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos?
4. ¿Cómo se prepara la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos?

En el caso de la resiliencia es necesario utilizar un determinado número de indicadores *proxy*. Es a través de cada indicador que se obtendrán los datos que se deben llevar a una escala adecuada para ordenarlos. Se diseñaron 28 ecuaciones para el cálculo de los indicadores, algunas de ellas son utilizadas para más de un indicador, por lo que en total se usan 52 ecuaciones que llevan al cálculo del índice.

### 3.2.5 SELECCIÓN DE INDICADORES DEL ÍNDICE TÉCNICO DE RESILIENCIA

Tiene que ver con los integrantes del sistema a evaluar. Estos pueden estar en función de una o más variables. En este trabajo de investigación, se plantea evaluar la componente técnica de una ciudad ante el impacto de fenómenos hidrometeorológicos (figura 21). Se han seleccionado nueve indicadores, siete son indicadores a los que se les ha asignado un peso para la calificación del índice (1 a 7), y dos indicadores complementarios (A y B) que no aportan a la calificación directa del índice, pero sirven para caracterizar el enfoque que debe llevar el perfil de resiliencia y evaluar la velocidad de recuperación, respectivamente. Del análisis que se ha llevado a cabo se desprende que los indicadores que integran la componente técnica son los siguientes:

- A. Amenaza principal.
  - 1. Infraestructura.
  - 2. Programas de ordenamiento territorial, ecológico y códigos normativos de construcción.
  - 3. Evaluaciones del riesgo.
  - 4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD).
  - 5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias.
  - 6. Institución relacionada con la reducción del riesgo de desastre (RRD).
  - 7. Servicios vitales.
- B. Evaluación de daños, tiempo y velocidad de recuperación.



Figura 21. La componente técnica es una integrante del círculo de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada del círculo de la resiliencia UNISDR.

Los indicadores que integran el índice han sido seleccionados cuidadosamente con la finalidad de que puedan medir las cuatro características esenciales de la resiliencia: resistencia, adaptación,



recuperación y preparación. En la tabla 11 se especifica cómo cada indicador se relaciona con cada una de las características y proporciona información sobre estas.

### 3.2.6 ANÁLISIS DE DATOS Y PROCESO DE CÁLCULO

A continuación (de la tabla 2 a la 10), se presentan los indicadores y sub indicadores que integran el índice y las ecuaciones para calcularlos. Todo los sub indicadores, tanto del nivel 1 como del nivel 2, tienen un rango de 0 a 1, y son adimensionales.

Tabla 2. Indicador de fenómenos hidrometeorológicos.

INDICADOR			
A. Indicador de amenaza principal	PESO	ECUACIÓN	RANGO
A.1 Sequías	--	$Ind_{se} = \left[ \frac{Se_{imp}}{FH_{imp}} \right]$	0 A 1
A.2 Ciclones tropicales	--	$Ind_{ci} = \left[ \frac{Ci_{imp}}{FH_{imp}} \right]$	0 A 1
A.3 Inundaciones	--	$Ind_{inun} = \left[ \frac{Inun_{imp}}{FH_{imp}} \right]$	0 A 1
A.4 Tormentas intensas	--	$Ind_{tor} = \left[ \frac{Tor_{imp}}{FH_{imp}} \right]$	0 A 1
A.5 Heladas	--	$Ind_{he} = \left[ \frac{He_{imp}}{FH_{imp}} \right]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>FH_{imp}</math> es el impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos en la ciudad (\$)</p> <p><math>Se_{imp}</math> es el impacto económico por sequías en la ciudad (\$)</p> <p><math>Ci_{imp}</math> es el impacto económico por ciclones tropicales en la ciudad (\$)</p> <p><math>Inun_{imp}</math> es el impacto económico por inundaciones en la ciudad (\$)</p> <p><math>Tor_{imp}</math> es el impacto económico por tormentas intensas en la ciudad (\$)</p> <p><math>He_{imp}</math> es el impacto económico por heladas en la ciudad (\$)</p>			
<p><i>Justificación.</i></p> <p>Este indicador sirve para identificar el fenómeno hidrometeorológico que mayor impacto tiene en la ciudad. El FH que obtenga el mayor rango es el que mayor impacto tiene y es sobre el cual se deben enfocar el análisis del perfil de resiliencia, las medidas y las estrategias a implementar. A este indicador no se le ha asignado ningún peso ya que su función es priorizar el fenómeno más dañino para la ciudad en estudio.</p>			



Tabla 3. Indicador de infraestructura.

INDICADOR				
1. Infraestructura	Peso=30	PESO	ECUACIÓN	RANGO
1.1 Inversión en nueva infraestructura*		7.0	$Ind_{infra} = \frac{I_{ac}}{[(100+(t_{ac}-t_{an}))(I_{an})]^{*0.01}}$	0 A 1
1.2 Inversión en mantenimiento*		7.0	$Ind_{mant} = \frac{M_{ac}}{[(100+(t_{ac}-t_{an}))(M_{an})]^{*0.01}}$	0 A 1
1.3 Supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura *		7.0	$Ind_{sup} = \left[ \frac{r}{2} \right]$	0 A 1
1.4 Infraestructura crítica		9.0		0 A 1
1.4.1 Hospitales*		5.0	$Ind_{hos} = \left[ \frac{N_{camas}/(Pob_r/10000)}{F_i} \right]$	0 A 1
1.4.2 Escuelas*		4.0	$Ind_{esc} = \left[ \frac{F_{i2}}{Pob_{est}/N_{esc}} \right]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>I_{ac}</math> es la inversión en infraestructura en el periodo actual (\$)</p> <p><math>t_{ac}</math> es la tasa de crecimiento del periodo actual (%)</p> <p><math>I_{an}</math> es la inversión en infraestructura en el periodo anterior (\$)</p> <p><math>t_{an}</math> es la tasa de crecimiento del periodo anterior (%)</p> <p><math>M_{ac}</math> es la inversión en mantenimiento en el periodo actual (\$)</p> <p><math>M_{an}</math> es la inversión en mantenimiento en el periodo anterior (\$)</p> <p><math>r</math> es el número de supervisiones realizadas al año</p> <p><math>F_i</math> es el factor de relación en américa entre número de camas de hospital y población</p> <p><math>Pob_r</math> es el número de habitantes en la ciudad</p> <p><math>N_{camas}</math> es el número de camas de hospital en la ciudad</p> <p><math>Pob_{est}</math> es el número de estudiantes de educación básica en la ciudad</p> <p><math>N_{esc}</math> es el número de escuelas de educación básica en la ciudad</p> <p><math>F_{i2}</math> es el factor de relación a nivel nacional de población estudiantil y número de escuelas</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>				
<p>Justificación.</p> <p>La infraestructura es el principal elemento físico que incrementa la resiliencia, así mismo, la generación de esta es indicador de desarrollo y crecimiento económico. Es el indicador que más peso se le ha asignado, con 30 % del valor del índice. Este valor fue asignado mediante un análisis que se realizó de la información contenida en los informes de "Impactos Socioeconómicos de los Desastres en México" del CENAPRED sobre los recursos que ha destinado el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) desde 1996 a 2014. El análisis se basó en cuantificar que porcentaje del recurso que destina el FONDEN a la atención de desastres naturales es destinado al sector de infraestructura urbana, sin considerar carreteras ni viviendas.</p>				



Tabla 4. Indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos.

INDICADOR			
2. Programas de ordenamiento y códigos normativos Peso=10	PESO	ECUACIÓN	RANGO
2.1 Territoriales	2.50		0 A 1
2.1.1 Existentes	1.25	$Ind_{ter\_e} = [si] [no]$	0 A 1
2.1.2 Actualización*	1.25	$Ind_{ter\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
2.2 Ecológico	2.50		0 A 1
2.2.1 Existentes	1.25	$Ind_{eco\_e} = [si] [no]$	0 A 1
2.2.2 Actualización*	1.25	$Ind_{eco\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
2.3 Códigos normativos y de construcción	2.50		0 A 1
2.3.1 Existentes	1.25	$Ind_{cod\_e} = [si] [no]$	0 A 1
2.3.2 Actualización*	1.25	$Ind_{cod\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
2.4 Aplicación de planes y códigos normativos	2.50	$Ind_{DRO} = 1 - \left[ \frac{O_e - O_{DRO}}{O_e} \right]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>N_{act}</math> es el número de años máximo para considerar actualizado un documento</p> <p><math>A_{ac}</math> es el año en que se realiza la evaluación</p> <p><math>A_{edi}</math> es el año de edición del documento</p> <p><math>O_e</math> es el número de obras ejecutadas</p> <p><math>O_{DRO}</math> es el número de obras ejecutadas con Director Responsable de Obra</p> <p>Si equivale a 1</p> <p>No equivale a 0</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación <math>&gt; 1 \rightarrow 1</math></p>			
<p>Justificación.</p> <p>La existencia de un marco legal y normativo es importante para sentar las bases del desarrollo territorial, ecológico y la construcción de infraestructura en una ciudad, dando claridad hacia donde deben estar encaminadas las acciones de las autoridades y la población. El peso de este indicador es del 10 %, por la relevancia que se le desea asignar a la generación de información y la aplicación de planes y códigos normativos.</p>			



Tabla 5. Indicador de evaluaciones del riesgo.

INDICADOR				
3. Evaluaciones del riesgo	Peso=10	PESO	ECUACIÓN	RANGO
3.1 Proyecciones y tendencias climáticas de riesgo		2.0		0 A 1
3.1.1 Existentes		1.0	$Ind_{cli\_e} = [si] [no]$	0 A 1
3.1.2 Actualización*		1.0	$Ind_{cli\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
3.2 Mapas de amenazas, exposición y riesgo		2.0		0 A 1
3.2.1 Existentes		1.0	$Ind_{map\_e} = [si] [no]$	0 A 1
3.2.2 Actualización*		1.0	$Ind_{map\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
3.3 Estadísticas de cobertura de seguros		2.0		0 A 1
3.3.1 Existentes		1.0	$Ind_{est\_e} = [si] [no]$	0 A 1
3.3.2 Actualización*		1.0	$Ind_{est\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
3.4 Historial de impactos socioeconómicos		2.0		0 A 1
3.4.1 Existentes		1.0	$Ind_{his\_e} = [si] [no]$	0 A 1
3.4.2 Actualización*		1.0	$Ind_{his\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
3.5 Población en zonas de riesgo		2.0	$Ind_{pob\_ries} = 1 - \left[ \frac{Pob_{riesgo}}{Pob_r} \right]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>N_{act}</math> es el número de años máximo para considerar actualizado un documento</p> <p><math>A_{ac}</math> es el año en que se realiza la evaluación</p> <p><math>A_{edi}</math> es el año de edición del documento</p> <p><math>Pob_r</math> es el número de habitantes en la ciudad</p> <p><math>Pob_{riesgo}</math> es el número de habitantes asentados en zonas de riesgo en la ciudad</p> <p>Si equivale a 1</p> <p>No equivale a 0</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>				
<p><i>Justificación.</i></p> <p>La existencia de información que ayude a entender cómo, cuándo y dónde se generan los impactos sociales y económicos de los fenómenos, permite desarrollar medidas y planes que ayuden a mitigar el riesgo de desastre, por lo que evaluar la existencia de esta información y su actualización, es relevante para poder diseñar estrategias de resiliencia adecuadas con base en información confiable. El peso de este indicador es del 10 %. Este valor se asignó por considerar lo valioso de la generación de información que ayuden a la priorización y toma de decisiones.</p>				



Tabla 6. Indicador de planes de reducción del riesgo de desastre (RRD).

INDICADOR			
4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD) Peso=10	PESO	ECUACIÓN	RANGO
4.1 Proactivo	3.50		0 A 1
4.1.1 Existentes	1.75	$Ind_{pro\_e} = [si] [no]$	0 A 1
4.1.2 Actualización*	1.75	$Ind_{pro\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
4.2 Reactivo	3.00		0 A 1
4.2.1 Existentes	1.50	$Ind_{rea\_e} = [si] [no]$	0 A 1
4.2.2 Actualización*	1.50	$Ind_{rea\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
4.3 Post desastre	3.50		0 A 1
4.3.1 Existentes	1.75	$Ind_{post\_e} = [si] [no]$	0 A 1
4.3.2 Actualización*	1.75	$Ind_{post\_a} = \left[ \frac{N_{act}}{[A_{ac} - A_{edi}]} \right]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>N_{act}</math> es el número de años máximo para considerar actualizado un documento</p> <p><math>A_{ac}</math> es el año en que se realiza la evaluación</p> <p><math>A_{edi}</math> es el año de edición del documento</p> <p><math>N_{act}</math> es el número de años considerado actualizado</p> <p>Si equivale a 1</p> <p>No equivale a 0</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>			
<p>Justificación.</p> <p>El marco normativo de cómo prevenir un desastre, cómo atenderlo y qué hacer después de presentarse es muy importante porque da los lineamientos y las acciones a seguir para asegurar una preparación adecuada antes del desastre que garantice resistencia y adaptación ante el embate de una amenaza y contribuya a una recuperación adecuada y bien planeada. A este indicador se le asignó un peso de 10 %, al igual que otros indicadores que evalúan la existencia y actualización de información, sin embargo, cabe destacar que el porcentaje que destina el FONDEN para el desarrollo de proyectos preventivos es del 0.5%, pero se decidió darle un mayor peso a la generación de medidas, planes y estrategias como parte fundamental para la reducción del riesgo de desastre.</p>			



Tabla 7. Indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias.

INDICADOR			
5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias Peso=10	PESO	ECUACIÓN	RANGO
5.1 Presupuesto asignado a emergencias *	5.0	$Ind_{pre\_emer} = \left[ \frac{P_{emer}}{0.75 [P_{ciudad} * \%_{his}]} \right]$	0 a 1
5.2 Presupuesto asignado a programas de prevención *	5.0	$Ind_{pre\_pro} = \left[ \frac{P_{pro}}{0.25 [P_{ciudad} * \%_{his}]} \right]$	0 a 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>P_{emer}</math> es el presupuesto destinado a la atención de emergencias</p> <p><math>P_{pro}</math> es el presupuesto destinado a la elaboración de planes y programas de RRD</p> <p><math>P_{ciudad}</math> es el presupuesto de la ciudad</p> <p><math>\%_{his}</math> es el porcentaje histórico de inversión en instituciones RRD</p> <p>0.75 es el factor para atención de emergencias</p> <p>0.25 es el factor para programas de prevención</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>			
<p>Justificación.</p> <p>Es importante que los gobiernos tengan en consideración un fondo para la atención de emergencias que genere una recuperación adecuada, así como a programas de prevención que orienten a la población sobre qué hacer antes, durante y después de un desastre. Del análisis de la información del CENAPRED respecto al recurso que destina el FONDEN para la atención de emergencias, en promedio llega a ser el 9 %, por lo que el peso que se le asignó a este indicador es del 10 %.</p>			



Tabla 8. Indicador de institución relacionada con RRD.

INDICADOR					
6. Institucion relacionada con RRD		Peso=10	PESO	ECUACIÓN	RANGO
6.1	Personal capacitado (atención de emergencias) *		2.5	$Ind_{RRD\_per} = \left[ \frac{F_{i3}}{[Pob_r/N_{personal}]} \right]$	0 A 1
6.2	Equipamiento *		2.5	$Ind_{RRD\_equ} = \left[ \frac{I_{equ}}{3\% (P_{ciudad} * \%_{his})} \right]$	0 A 1
6.3	Unidades *		2.5	$Ind_{RRD\_amb} = \left[ \frac{F_{i4}}{[Pob_r/N_{amb}]} \right]$	0 A 1
6.4	Sistema de alerta temprana		2.5	$Ind_{SIAT} = [si] [no]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>F_{i3}</math> es el factor de relación entre población y personal capacitado</p> <p><math>F_{i4}</math> es el factor de relación entre población y número de unidades</p> <p><math>Pob_r</math> es el número de habitantes de la ciudad</p> <p><math>N_{personal}</math> es el número de personal capacitado</p> <p><math>I_{equ}</math> es el presupuesto destinado a la adquisición de equipo</p> <p><math>\%_{his}</math> es el porcentaje histórico de inversión en instituciones RRD</p> <p><math>P_{ciudad}</math> es el presupuesto de la ciudad</p> <p><math>N_{amb}</math> es el número de ambulancias</p> <p>Si equivale a 1</p> <p>No equivale a 0</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>					
<p>Justificación.</p> <p>El personal de las instituciones de reducción del riesgo de desastre debe estar capacitado para atender cualquier emergencia; el equipo y las unidades con las que cuentan debe ser el apropiado en cantidad y calidad para que puedan brindar un servicio acorde a la emergencia. Una respuesta eficaz e inmediata reduce notablemente las pérdidas humanas y económicas. Del análisis de la información del CENAPRED respecto al recurso que destina el FONDEN para la atención de emergencias, en promedio llega a ser el 9 %, más el porcentaje que se le destina a la adquisición de equipo especializado que representa el 2.4 %, por lo que el peso que se le asignó a este indicador, redondeando los valores, es del 10 %.</p>					



Tabla 9. Indicador de servicios vitales.

INDICADOR				
7. Servicios vitales	Peso=20	PESO	ECUACIÓN	RANGO
7.1 Agua potable		7.0		0 A 1
7.1.1 Cobertura del servicio		1.0	$Ind_{agua} = \left[ \frac{Pob_{agua}}{Pob_r} \right]$	0 A 1
7.1.2 Cobertura del servicio de 24 h		1.0	$Ind_{agua\_24} = \left[ \frac{Pob_{24agua}}{Pob_r} \right]$	0 A 1
7.1.3 Eficiencia Global PIGOO		2.0	$Ind_{PIGOO} = \left[ \frac{E_{global}}{100} \right]$	0 A 1
7.1.4 Grado de presión hidrológica PRONACOSE*		2.0	$Ind_{PRONACOSE} = \left[ \frac{RG - (V_{na} + D_u)}{OD} \right]$	0 A 1
7.1.5 Dotación		1.0	$Ind_{DOTACIÓN} = 1 - \left[ 10\% \left( \frac{D_{CIUDAD}}{D_{OMS}} \right) \right]$	0 A 1
7.2 Saneamiento		7.0		0 A 1
7.2.1 Cobertura del servicio de alcantarillado		3.0	$Ind_{alcantarillado} = \left[ \frac{Pob_{alcantarillado}}{Pob_r} \right]$	0 A 1
7.2.2 Agua residual vs Agua tratada		2.0	$Ind_{tratamiento} = \left[ \frac{H_2O_{residual}}{H_2O_{tratada}} \right]$	0 A 1
7.2.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales		2.0	$Ind_{PTAR} = \left[ \frac{PTAR_{servicio}}{PTAR_{total}} \right]$	0 A 1
7.3 Energía		6.0	$Ind_{elec} = \left[ \frac{Pob_{electricidad}}{Pob_r} \right]$	0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><i>Pob<sub>r</sub></i> es el número de habitantes de la ciudad</p> <p><i>Pob<sub>agua</sub></i> es el número de habitantes con servicio de agua potable</p> <p><i>Pob<sub>24agua</sub></i> es el número de habitantes con servicio de agua potable las 24 hr</p> <p><i>E<sub>global</sub></i> es el indicador de eficiencia global del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO)</p> <p><i>RG</i> son los recursos garantizados disponibles (hm<sup>3</sup>)</p> <p><i>V<sub>na</sub></i> es las demandas ambientales (hm<sup>3</sup>)</p> <p><i>D<sub>u</sub></i> es la demanda para abastecimiento urbano (hm<sup>3</sup>)</p> <p><i>OD</i> son las otras demandas (hm<sup>3</sup>)</p> <p><i>D<sub>ciudad</sub></i> es la dotación por habitante por día en la ciudad (l/hab/día)</p> <p><i>D<sub>OMS</sub></i> es la dotación por habitante por día recomendada por la Organización Mundial de la Salud (l/hab/día)</p> <p><i>Pob<sub>alcantarillado</sub></i> es el número de habitantes con alcantarillado</p> <p><i>H<sub>2</sub>O<sub>residual</sub></i> es la cantidad de agua utilizada por la ciudad (hm<sup>3</sup>)</p> <p><i>H<sub>2</sub>O<sub>tratada</sub></i> es la cantidad de agua tratada en la ciudad (hm<sup>3</sup>)</p> <p><i>PTAR<sub>servicio</sub></i> es el número de plantas de tratamiento en servicio</p> <p><i>PTAR<sub>total</sub></i> es el número de plantas de tratamiento en la ciudad</p> <p><i>Pob<sub>electricidad</sub></i> es el número de habitantes con servicio de electricidad</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>				
<p>Justificación.</p> <p>Los servicios de agua potable, luz y saneamiento son muy importantes para garantizar resiliencia. Si se garantiza el suministro de estos recursos a la población, se está fortaleciendo su capacidad de resistencia y recuperación. Mediar la calidad de estos y a que zonas de la población se les está suministrando es una parte importante para poder diseñar estrategias de resiliencia. A este indicador se le asignó un peso del 20 % resultado del análisis que se llevó a cabo de los recursos que destina en FONDEN, obteniendo un 5 % para cada servicio (agua potable, alcantarillado, saneamiento y electricidad).</p>				

Tabla 10. Indicador de evaluación de daños, tiempo y velocidad de recuperación.

INDICADOR		
B. Evaluación de daños, tiempo y velocidad de recuperación	ECUACIÓN	UNIDADES
B.1 Infraestructura dañada		
B.1.1 Actualización del importe de la infraestructura afectada	$Ind_{costo\_obra\_ac} = (Monto_{original}) * (1 + ((A_{act} - A_{con}) * (0.04)))$	PESOS
B.1.2 Tiempo de ejecución actualizado	$Ind_{t\_act} = (Tiempo\ original\ de\ ejecución\ de\ la\ obra) * (\% \text{ de daño})$	MESES
B.2 Evaluación global		
B.2.1 Costo del desastre	$Ind_{imp\_eco} = \sum_{i=1}^n Ind_{costo\_obra\_ac}$	PESOS
B.2.2 Tiempo estimado de recuperación	$Ind_{t\_rec} = \sum_{i=1}^n Ind_{t\_act}$	MESES
B.3 Velocidad de recuperación*	$Ind_{vel\_rec} = \left[ \frac{Ind_{t\_rec}}{T_{real\_rec}} \right]$	RANGO 0 A 1
<p><i>Variables</i></p> <p><math>A_{act}</math> es el año en el que se presenta el desastre</p> <p><math>A_{con}</math> es el año en el que se construyó la infraestructura dañada</p> <p><math>T_{real\_rec}</math> es el tiempo que le toma a la ciudad recuperar su infraestructura dañada (meses)</p> <p>* El subindicador tiene la condición de: si valor de la ecuación &gt; 1 → 1</p>		
<p>Justificación.</p> <p>Como se ha mencionado la recuperación “rápida” no es una característica que la UNISDR le confiere a la resiliencia, pero se ha decidido aportar un indicador que nos permita evaluar la velocidad de recuperación de una ciudad ante un desastre. A este indicador no se le asignó un peso, debido a que su función es caracterizar si la recuperación es lenta, normal o rápida, además de que solo será posible medir la velocidad de recuperación después de haber ocurrido un desastre. Los sub indicadores B1 y B2 son necesarios para calcular el B3, el cuál es el que determina la velocidad de recuperación, tiene un rango de 0 a 1, una calificación de 0 a 0.33 se considera una velocidad de recuperación lenta, un rango de 0.34 a 0.66 se considera una velocidad de recuperación media y un rango de 0.67 a 1 una velocidad de recuperación rápida.</p>		

Los indicadores y sub indicadores están acotados en un rango entre 0 y 1. El valor que arroje cada ecuación debe ser multiplicado por el peso que se le ha asignado. Este trabajo plantea 2 niveles de sub indicadores (figura 22).

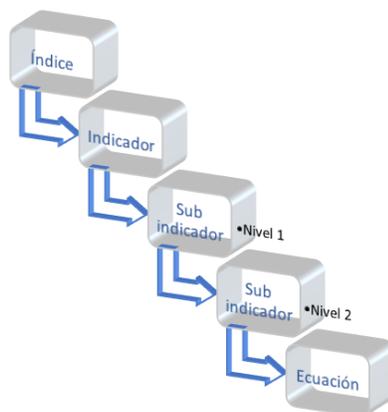


Figura 22. Estructura del índice técnico de resiliencia. Fuente: Elaboración propia.



Tabla 11. Estructura de los indicadores que integran el índice técnico y su correspondiente aporte a las características fundamentales de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Ayyoob & Yamagata, 2016).

INDICADORES	PESO	PREPARACIÓN	RESISTENCIA	RECUPERACIÓN	ADAPTACIÓN	
<b>A. Indicador de Fenómenos Hidrometeorológicos</b>						
A.1 Sequías		✓			✓	
A.2 Ciclones tropicales		✓			✓	
A.3 Inundaciones		✓			✓	
A.4 Tormentas intensas		✓			✓	
A.5 Heladas		✓			✓	
<b>1. Infraestructura</b>						
1.1 Inversión en nueva infraestructura	30	✓	✓	✓	✓	
1.2 Inversión en mantenimiento		✓	✓	✓		
1.3 Supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura		✓				
1.4 Infraestructura crítica						
1.4.1 Hospitales		✓	✓	✓	✓	
1.4.2 Escuelas						
<b>2. Programas de Ordenamiento y Códigos Normativos</b>						
2.1 Territorial	10					
2.1.1 Existencia		✓		✓	✓	
2.1.2 Actualización						
2.2 Ecológico						
2.2.1 Existencia		✓		✓	✓	
2.2.2 Actualización						
2.3 Códigos normativos y de construcción						
2.3.1 Existencia		✓		✓	✓	
2.3.2 Actualización						
2.4 Aplicaciones de planes y códigos normativos		✓		✓	✓	
<b>3. Evaluaciones del Riesgo</b>						
3.1 Proyecciones y tendencias climáticas de riesgo	10					
3.1.1 Existencia		✓			✓	
3.1.2 Actualización						
3.2 Mapas de amenazas, exposición y riesgo						
3.1.1 Existencia		✓			✓	
3.1.2 Actualización						
3.3 Estadísticas de cobertura de seguros						
3.1.1 Existencia		✓			✓	
3.1.2 Actualización						
3.4 Historial de impactos socioeconómicos						
3.1.1 Existencia		✓			✓	
3.1.2 Actualización						
3.5 Población en zona de riesgo			✓			✓



INDICADORES	PESO	PREPARACIÓN	RESISTENCIA	RECUPERACIÓN	ADAPTACIÓN
<b>4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)</b>					
4.1 Proactivo	10				
4.1.1 Existencia		✓	✓		✓
4.1.2 Actualización					
4.2 Reactivo					
4.1.1 Existencia			✓		✓
4.1.2 Actualización					
4.3 Post desastre					
4.1.1 Existencia			✓	✓	
4.1.2 Actualización					
<b>5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias</b>					
5.1 Presupuesto asignado a emergencias	10		✓	✓	✓
5.2 Presupuesto asignado a programas de prevención		✓			
<b>6. Institución relacionada con RRD</b>					
6.1 Personal capacitado (atención de emergencias)	10	✓	✓	✓	✓
6.2 Equipamiento		✓	✓	✓	
6.3 Número de unidades		✓	✓	✓	
6.4 Sistemas de alerta temprana		✓	✓		
<b>7. Servicios vitales</b>					
7.1 Agua potable	20				
7.1.1 Cobertura del servicio					
7.1.2 Cobertura del servicio 24 h		✓	✓	✓	
7.1.3 Eficiencia Global PIGOO					
7.1.4 Grado de presión hidrológica					
7.1.5 Dotación					
7.2 Saneamiento					
7.2.1 Cobertura del servicio de alcantarillado		✓	✓	✓	
7.2.2 Agua residual vs agua tratada					
7.2.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales					
7.3 Energía		✓	✓	✓	
<b>B. Evaluación de daños, tiempo y velocidad de recuperación</b>					
B.1 Infraestructura dañada	--				
B.1.1 Actualización del importe de la infraestructura afectada				✓	
B.1.2 Tiempo de ejecución actualizado					
B.2 Evaluación Global					
B.2.1 Costo del desastre				✓	
B.2.2 Tiempo estimado de recuperación					
B.3 Velocidad			✓		



En la tabla 12 se ejemplifica el indicador de *infraestructura* que, está integrado por cuatro sub indicadores de nivel 1, uno de ellos, el de *infraestructura crítica*, a su vez está conformado por dos sub indicadores nivel 2. El cálculo de este indicador con los siguientes datos, a modo de ejemplo, se realiza a continuación:

Tabla 12. Ejemplo del cálculo del indicador de *infraestructura*.

INDICADOR				
1. Infraestructura	Peso=30	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
1.1 Inversión en nueva infraestructura		7.00	0.51	3.57
1.2 Inversión en mantenimiento		7.00	0.28	1.96
1.3 Supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura		7.00	1.00	7.00
1.4 Infraestructura crítica		9.00		
1.4.1 Hospitales		5.00	0.38	1.90
1.4.2 Escuelas		4.00	0.22	0.88
<i>Variables</i>				15.31
$I_{ac}$ = \$	30,000,000.00 (pesos)		$F_{i2}$ =	103.00 (alum/esc)
$t_{ac}$ =	2 (%)		$Pob_r$ =	800,000 (hab)
$I_{an}$ = \$	60,000,000.00 (pesos)		$Pob_{est}$ =	70,000 (hab)
$t_{an}$ =	3.50 (%)		$N_{camas}$ =	900 (camas)
$r$ =	2 (supervisiones)		$N_{esc}$ =	152 (escuelas)
$F_i$ =	30.00 (camas/10 mil hab)			

La calificación obtenida de 15.31 de 30 nos indica, para este ejemplo, que la falta de infraestructura disminuye la capacidad de prepararse, resistir, recuperarse y adaptarse de la ciudad ante desastres. Las autoridades deben de incrementar la inversión en infraestructura, el mantenimiento que realizan, las supervisiones de las condiciones físicas, así como construir infraestructura hospitalaria y educativa con la finalidad de incrementar la resiliencia de la ciudad.



### 3.2.7 NIVEL DE RESILIENCIA TÉCNICO GLOBAL

El índice es la suma ponderada de los indicadores y tiene un rango de 0 a 100, para representaciones geoespaciales el rango se ha dividido en 5 niveles (tabla 13). Por lo que, el mapa de resiliencia se define en muy alta, alta, media, baja y muy baja resiliencia.

Tabla 13. Nivel de resiliencia de acuerdo a la calificación del índice. Fuente: Elaboración propia.

RANGO	NIVEL DE RESILIENCIA	
81 A 100		MUY ALTA
61 A 80		ALTA
41 A 60		MEDIA
21 A 40		BAJA
0 A 20		MUY BAJA

### 3.2.8 MAPA DE NIVEL DE IMPACTO ESPERADO

En el Capítulo I se menciona que la resiliencia es un factor de reducción del riesgo, por lo que es necesario llevar a cabo un ajuste en su estimación o cálculo, que considere este factor. En la siguiente tabla se propone un ajuste en la estimación del riesgo incluyendo el factor resiliencia. A partir de este ajuste es posible obtener el mapa del nivel de impacto esperado, el cual es la unión del mapa de riesgo y el mapa de resiliencia con base al criterio cualitativo y esquemático de la tabla 14.

Tabla 14. Matriz de criterio para obtener el nivel de impacto esperado. Fuente: Elaboración propia.

NIVEL DE IMPACTO ESPERADO						
NIVEL		R I E S G O				
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
R E S I L I E N C I A	MUY BAJA	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	BAJA	BAJO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	MEDIA	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	ALTA	MUY BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO
	MUY ALTA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

### 3.2.9 SISTEMA COMPUTACIONAL DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES (IRC) ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS – COMPONENTE TÉCNICA

Se diseñó un sistema computacional de libre acceso y código abierto, como herramienta para realizar el cálculo del *Índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos*. Por lo que para llevar a cabo la evaluación solo será necesario introducir datos al sistema para obtener el nivel de resiliencia. Esta interfaz proporciona un reporte de la calificación del índice y de cada indicador. Los datos del reporte pueden ser procesados en una hoja de cálculo prediseñada para obtener una gráfica radial, así como en un sistema de información geográfica para obtener el mapa de resiliencia y de riesgo. El manejo de la interfaz de usuario, la obtención del reporte y el procesamiento de datos se describe en el Anexo A de este trabajo de investigación.



Figura 23. Carátula del sistema computacional desarrollado para calcular el Índice de Resiliencia en Ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos – Componente técnica. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.10 REPORTE E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Tiene que ver con la forma en que se interpretarán y presentarán los resultados a través de un informe detallado. Es una explicación de la evaluación y los resultados de ésta.

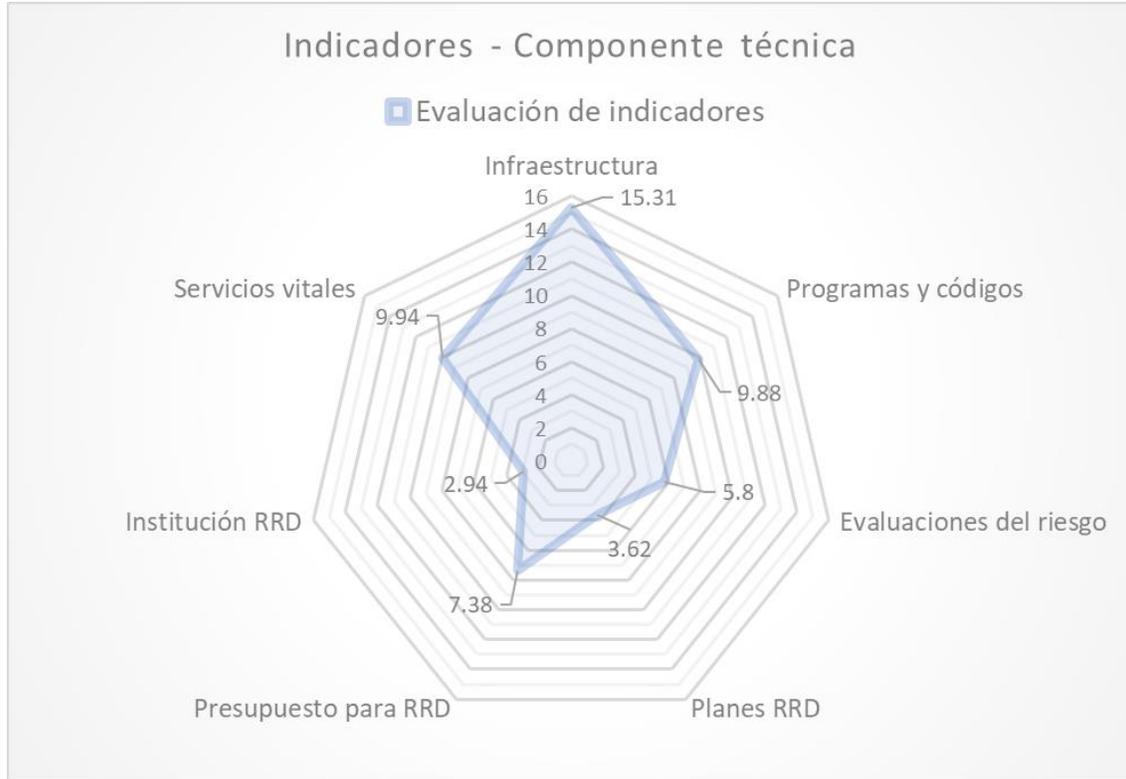


Figura 24. Simulación de los resultados de la evaluación de los indicadores que integran la componente técnica de una ciudad. Fuente: Elaboración propia.

La gráfica radial de la figura 24 muestra los resultados de las calificaciones de los indicadores del índice, es parte del informe de los resultados de la evaluación. En la gráfica radial un nivel *muy alto de resiliencia* presenta un área sombreada amplia y uniforme, caso contrario con los niveles bajos de resiliencia. En primera instancia, la evaluación proporciona un diagnóstico preliminar de las fortalezas de la ciudad y de los indicadores a fortalecer. Conociendo los indicadores a fortalecer, se podrán planear las estrategias a seguir para incrementar la resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos.



### 3.3 PERFIL TÉCNICO DE RESILIENCIA EN CIUDADES

El perfil de resiliencia de la ciudad es una herramienta metodológica para analizar la información existente como los impactos socioeconómicos que ha sufrido la ciudad, las herramientas de ordenamiento con las que cuenta, los códigos normativos, las evaluaciones existentes del peligro, riesgo, así como las vulnerabilidades de la población; contempla la propuesta de medidas no estructurales y estructurales y sienta las bases para elaborar una estrategia de construcción o incremento de resiliencia, complementando la evaluación del índice. Esta herramienta también propone la generación de información no existente como mapas e historiales y su principal objetivo es alimentar el proceso de toma de decisiones.

El análisis que se lleva a cabo va dirigido a identificar si la información existente contempla la creación de resiliencia o si, de alguna forma la información y los instrumentos de ordenamiento, los códigos de construcción pueden incrementar la resiliencia de la ciudad en la componente técnica.

#### 3.3.1 METODOLOGÍA DEL PERFIL TÉCNICO DE RESILIENCIA EN CIUDADES

1. Análisis de los impactos socioeconómicos de la ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos.
2. Análisis de información sobre vulnerabilidad, peligro y riesgo existentes de la ciudad.
3. Análisis de la amenaza predominante.
4. Análisis de estudios de disponibilidad del recurso hídrico.
5. Análisis de los instrumentos de ordenamiento territorial y ecológico, así como códigos normativos con los que cuenta la ciudad.
6. Generación y actualización de información faltante como mapas, estadísticas, tablas y gráficos.
7. Propuesta de medidas no estructurales y estructurales para incrementar la resiliencia.

El *perfil de resiliencia de la ciudad* detalla los atributos que se analizan para evaluar la resiliencia, como los rasgos hidrográficos, fisiográficos, los elementos que la componen como la infraestructura básica, la infraestructura crítica, las instituciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con la reducción del riesgo de desastre. Esta descripción del *perfil de resiliencia de la*



*ciudad* permite entender las singularidades de la zona de estudio y por ende identificar los rasgos que le permiten a la ciudad incrementar su resiliencia.

Es importante aclarar que la herramienta de ONU-HABITAT, del Programa “Perfiles de Ciudades Resilientes”, CRPP (por sus siglas en inglés), denomina al perfil de resiliencia de una ciudad como la herramienta de evaluación, con la finalidad de medir la capacidad de recuperación después de haber sufrido una situación crítica e inusual, asociada a fenómenos naturales o antrópicos. En este trabajo, el perfil de resiliencia de la ciudad es la descripción y el análisis de los atributos y elementos actuales de la ciudad que contribuyen a la resiliencia y que complementan a la herramienta de evaluación diseñada en este trabajo, el *Índice de Resiliencia*, cuyo propósito es medir y monitorear la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación a través de indicadores dando como resultado un nivel de resiliencia de la ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos en la componente técnica.

## CAPITULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA

La zona de estudio en donde se aplicará la metodología propuesta es la ciudad de Cuernavaca en el estado de Morelos. Esta ciudad fue elegida por ser un centro de población importante y por su cercanía con la Ciudad de México, por el crecimiento acelerado y desordenado que tuvo a partir del terremoto de 1985, por las evidentes zonas de riesgo en los asentamientos de las laderas de los cauces (barrancas) y por el comportamiento de tormentas con intensidad en aumento que han sobrepasado la capacidad del drenaje urbano.



Figura 25. Ubicación de la ciudad de Cuernavaca dentro de la subcuenca R. Apatlaco RH18Fd.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

La ciudad de Cuernavaca (vocablo de origen náhuatl *Cuaunáhuac*, *Cuauitl* -árbol, nahuan - junto, alrededor), es la capital del estado de Morelos, se encuentra en la región centro de la República Mexicana entre los paralelos 18°50' y 19°10' (norte); los meridianos 99°11' y 99°21' (oeste), a 86



km al sur de la Ciudad de México y 288 km al norte del puerto de Acapulco (INEGI, 2009). La superficie total es de 207.8 km<sup>2</sup> (Gobierno del Estado, 2012), aproximadamente el 4.1 % del territorio Morelense (UAEM, 2007). Administrativamente, Cuernavaca está compuesta por ocho delegaciones con 241 colonias urbanas con conjuntos habitacionales, fraccionamientos, doce pueblos históricos, dos barrios tradicionales y el centro histórico.

#### 4.1 FISIOGRAFÍA

El 53.32 % de Cuernavaca se ubica en la provincia del Eje Neovolcánico, subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, y el 46.68 % en la provincia de la Sierra Madre del Sur, subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses. Al situarse entre estas dos provincias las diferencias altitudinales van desde los 1100 a 3000 msnm. El 45.44 % del territorio es lomerío en cañadas, 30.27 % sierra volcánica con estrato de volcanes aislados, 23.04 % lomerío de basalto y 1.25 % de llanura aluvial con lomerío (INEGI, 2009).

#### 4.2 HIDROGRAFÍA

Cuernavaca se encuentra en la Región Hidrológica Balsas, en la cuenca del río Grande Amacuzac (figura 25) y drena sus aguas en tres subcuencas: 2.26 % del territorio en el río Coatlán, 90.89 % del territorio en el río Apatlaco y 6.85 % del territorio en el río Yautepec (INEGI, 2009). Las corrientes perennes de Cuernavaca son: El Túnel, Los Sabinos, Cocotzina, La Tilpeña, San Antón, Apatlaco y Tembembe (figura 26). Mientras que las intermitentes son (figura 27): Ahuatlán, Amacuzac, Atzingo, Balada, Chalchihuapan, El Alguacil, El Cabellito, El Cerro, El Mango, El Tecolote, La Fundición, El Sabino, Panocheras, Pollo, Puente Blanco, Salada, Tres Cruces y Zempantle (INEGI, 2009).

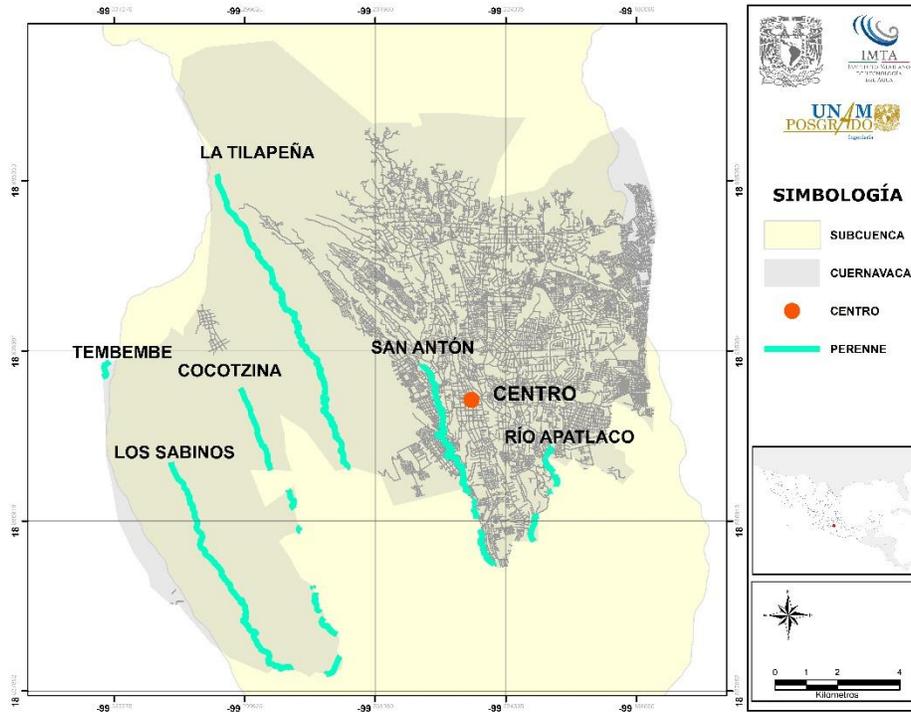


Figura 26. Corrientes perennes de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

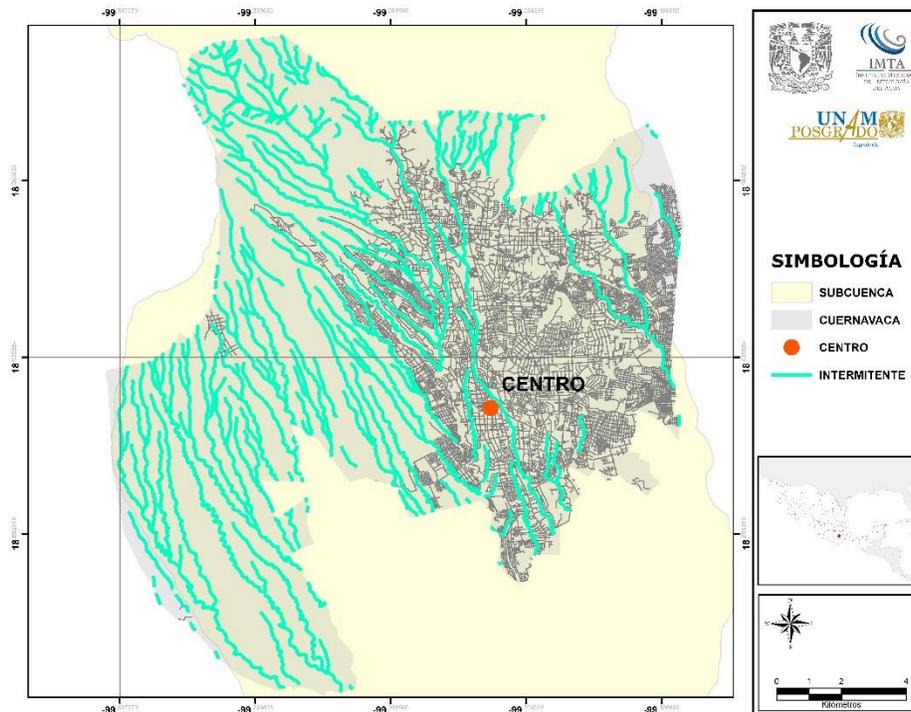


Figura 27. Corrientes intermitentes de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

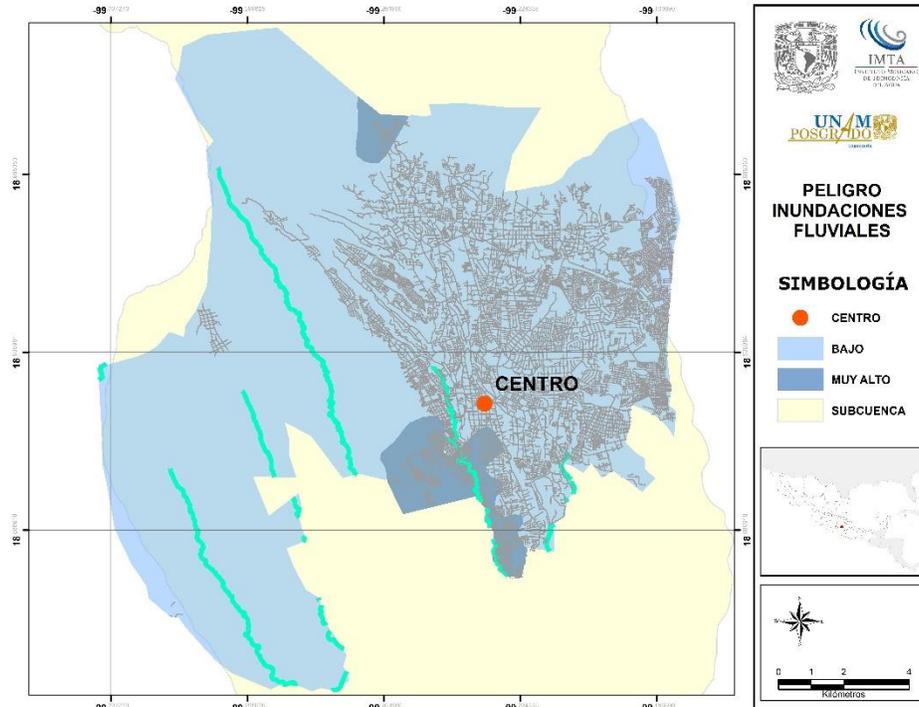


Figura 28. Peligro por inundaciones fluviales y corrientes perennes. Fuente: Elaboración propia con información del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos e INEGI.

### 4.3 RED DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO

Dentro de la zona de estudio se localizan cuatro estaciones climatológicas: La estación 17002 Colonia El Empleado (en operación), la estación 17004 Cuernavaca DGE (en operación), la estación 17037 Escuela de Biología UAEM (suspendida) y la estación 17067 Cuernavaca OBS (en operación). Así como siete estaciones climatológicas muy cercanas a Cuernavaca. La estación 15173 Ahuatenco (en operación), la estación 17009 Huitzilac (en operación), la estación 17014 Temixco (en operación), la estación 17022 Tres Cumbres (suspendida), la estación 17058 Cuatepec (en operación), la estación 17071 Progreso (en operación), la estación 17078 Alameda Solidaridad (en operación) (CONAGUA, 2014).

Solo existe una estación hidrométrica dentro de la zona de estudio, la estación 18557 El Túnel con 12 años de registro, localizada en la corriente del mismo nombre. En las zonas aledañas se encuentran la estación 18323 Tetlama, la estación 18272 Temixco01 y la estación 18272 Temixco02 (figura 29) (CONAGUA, 2014).

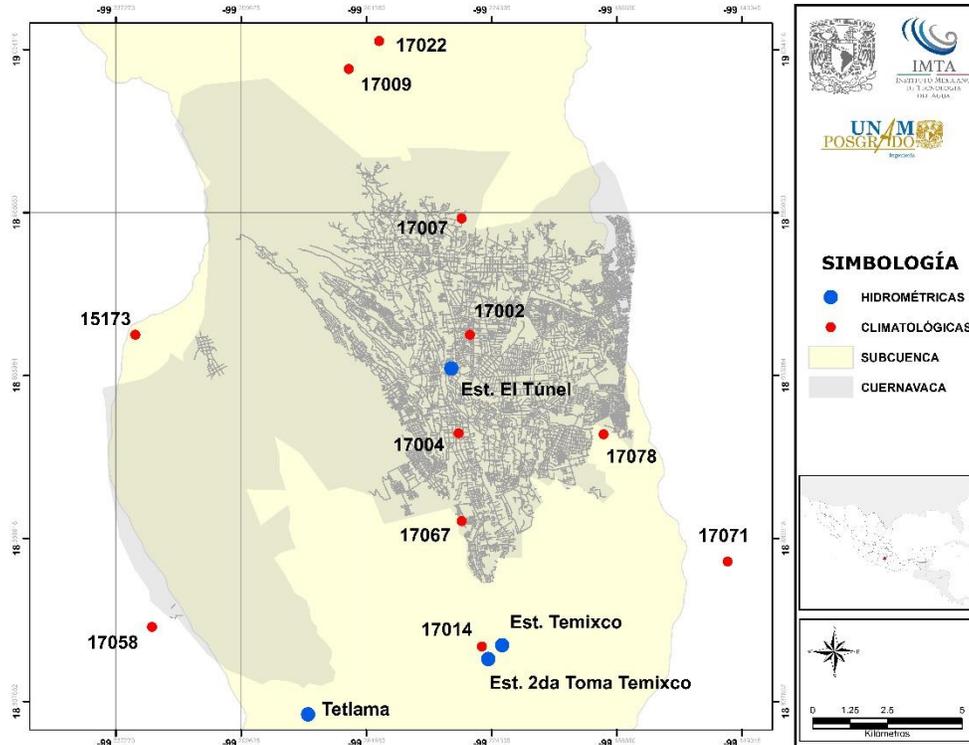


Figura 29. Estaciones climatológicas e hidrométricas en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CONAGUA.

#### 4.4 CLIMA

La ciudad de Cuernavaca tiene cuatro tipos de clima: semifrío húmedo, templado subhúmedo, semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo (clasificación Köppen). Por lo que el clima es caracterizado como templado debido principalmente a los vientos anabáticos y catabáticos que circulan por la topografía en las barrancas (Contreras & Mora, 2009). La temperatura oscila entre los 12 y 24 °C. El rango de precipitación anual fluctúa entre 88 – 1600 mm, siendo la precipitación anual promedio de 1208 mm, con temporada de lluvias entre los meses de mayo a octubre (INEGI, 2009).

## 4.5 USO DE SUELO, VEGETACIÓN Y EDAFOLOGÍA

A partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación con imágenes satelitales Landsat TM5 implementadas por la CONAGUA, apoyado por trabajos de campo; se tiene la siguiente información: Bosque de Coníferas, ubicándose en la parte norte de Cuernavaca en la zona de la reserva del Chichináutzin, uso agrícola en la parte norte del río Apatlaco. Suelo urbano en la zona central (CONAGUA, 2014). La zona de estudio presenta principalmente suelos acrisoles al norte, suelos podzoles, luvisoles y suelo urbano (INEGI, 2009). Figura 30.

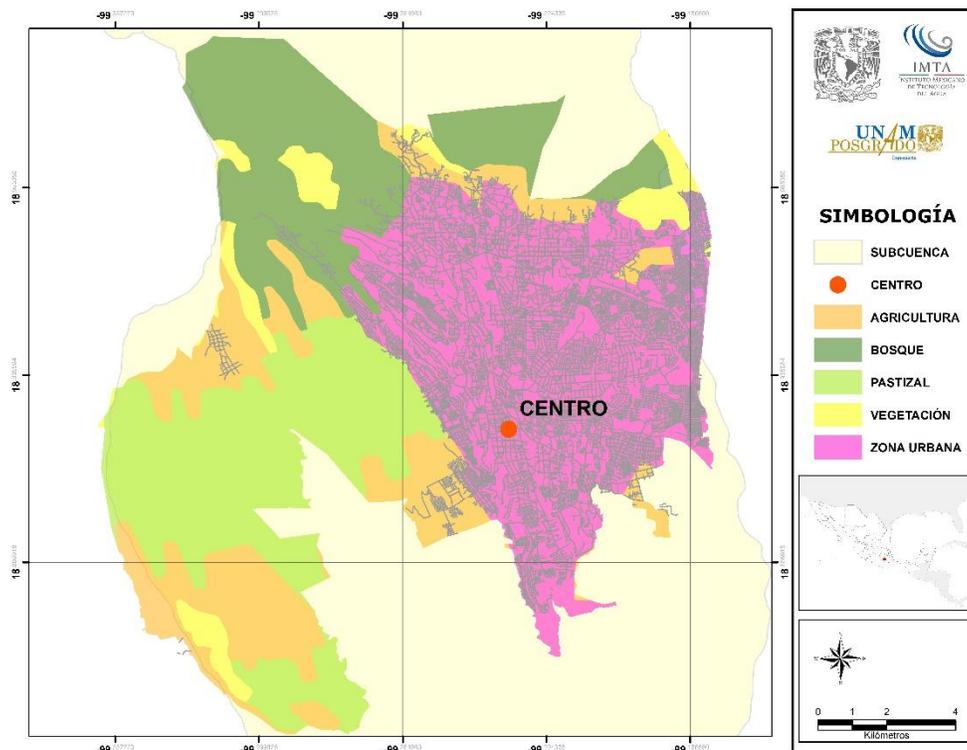


Figura 30. Uso de suelo en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

## 4.6 POBLACIÓN Y ECONOMÍA

La población de la zona de estudio suma un total de 366,321 habitantes (INEGI, 2016) y asciende un 15% más debido a la población flotante (Monroy, 2006). La principal actividad económica es la prestación de servicios, seguida por el comercio y el turismo. El uso del suelo urbano se distribuye en habitacional, comercial, industrial y mixto. El uso habitacional corresponde al 63 % del área

urbana y se compone de 17 % de tipo residencial, 16 % de tipo medio, 25 % de tipo popular y 5 % corresponde a interés social de alta densidad (UNAM, 2011).

#### 4.7 SISTEMA DE BARRANCAS

El sistema está compuesto por 293 barrancas visibles e inmersas en la mancha urbana (H. Ayuntamiento Cuernavaca, 2007). Las barrancas son paso de corrientes perennes e intermitentes, que van rodeando o cruzando la ciudad para finalmente formar parte del río Apatlaco, que es afluente del Amacuzac en la zona sur del estado de Morelos (García B. R., 2008). En la zona oriente y en la zona norponiente de la ciudad se ubican dos de las principales barrancas de Cuernavaca, la barranca de “Amanalco” y la barranca de “Analco”, cuyos afluentes contribuyen al Río Apatlaco (Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM). Otras de las barrancas destacadas es la de Tetela, que es afluente de la de Atzingo o Salto de San Antón, ubicada al poniente; al noroeste también se encuentran las barrancas del Tecolote, la Tilpeña, la Colorada, los Sabinos y Tembembe (figura 31).

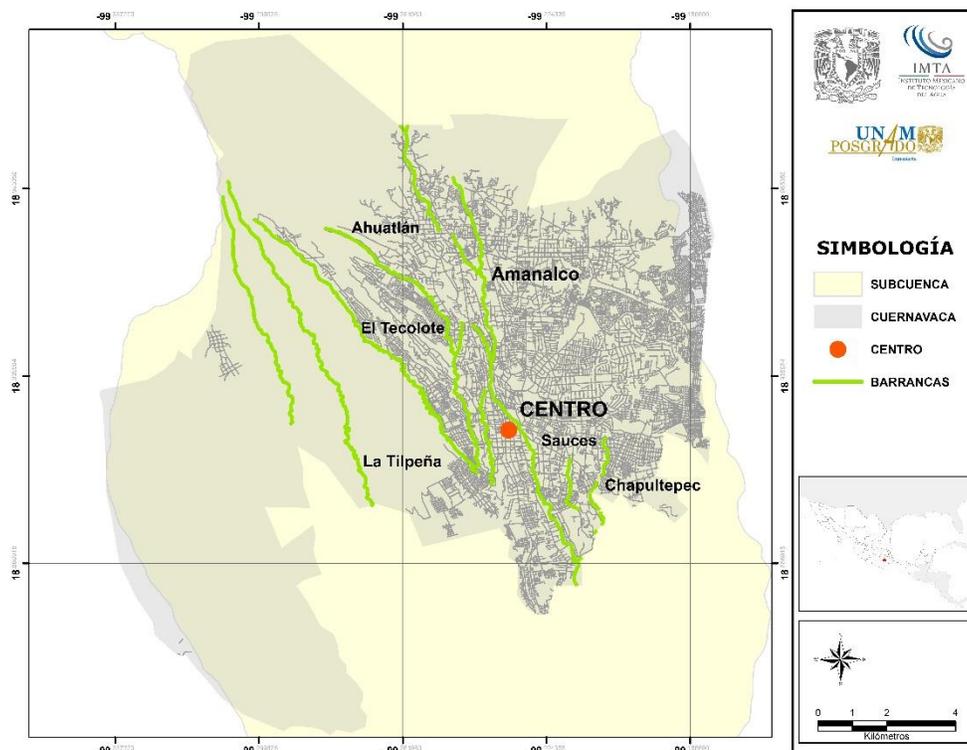


Figura 31. Principales barrancas de la Ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

## 4.8 INFRAESTRUCTURA VIAL

La capacidad de la red vial de la ciudad de Cuernavaca (figura 32 y 33), de acuerdo al índice de Engel, que relaciona la longitud de la infraestructura vial con la superficie de la ciudad y la cantidad de población, alcanza el 2.82%, valor relativamente bajo. Mientras que el grado de accesibilidad a carretera pavimentada es del 91.9 %, considerándose un grado muy alto (H. Ayuntamiento Cuernavaca, 2016).

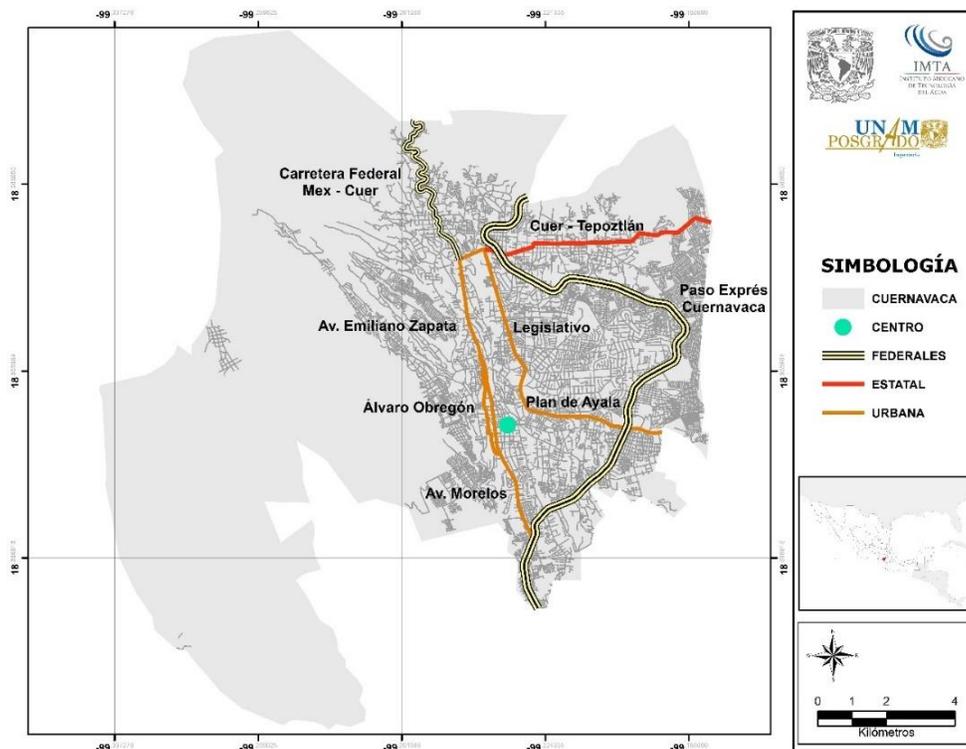


Figura 32. Principales vías de comunicación en la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

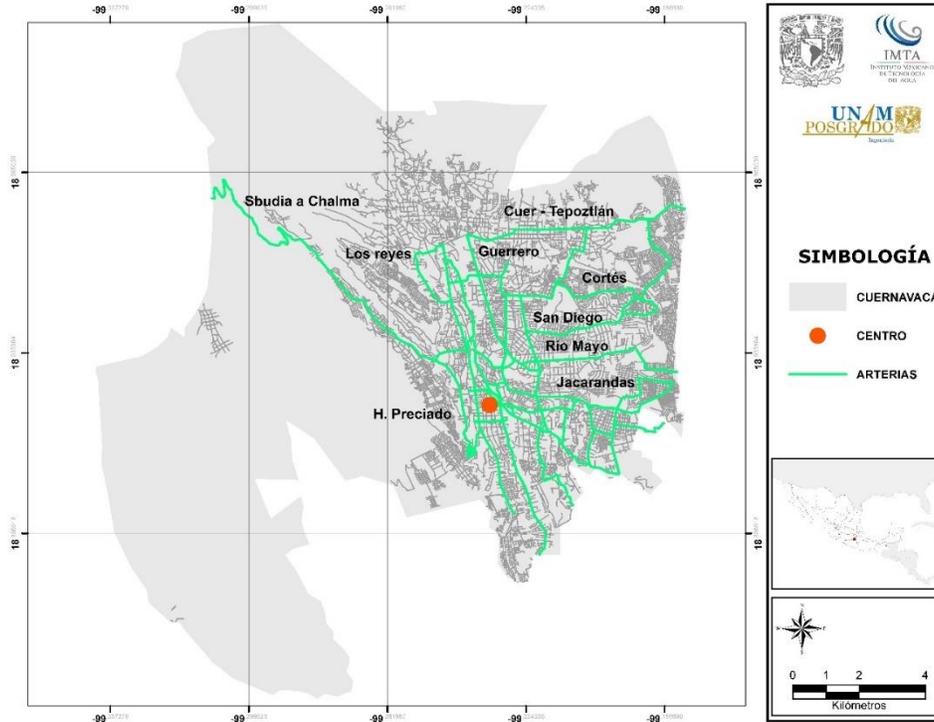


Figura 33. Arterias urbanas de la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI.

#### 4.9 ESTADÍSTICAS

Cuernavaca es la ciudad con mayor población de Morelos con 366,321 habitantes, y con la tasa de crecimiento poblacional más baja del estado, con 0.2 % promedio anual, esto debido a que las ciudades aledañas como Jiutepec, Temixco, Emiliano Zapata y Xochitepec han absorbido el crecimiento poblacional de la región, de alguna forma, desahogando la concentración existente en la capital Morelense (INEGI, 2016).

La población de Cuernavaca tiene una edad mediana de 32 años, por encima de la edad mediana del Estado que alcanza los 28 años. Los principales factores de este rasgo es la disminución de la mortalidad y el descenso de la fecundidad. Así mismo, Cuernavaca es la ciudad con menos razón de dependencia económica, es decir, la relación entre la población con edad de trabajar y sus dependientes, con un indicador de 46, mientras que la media estatal está en 52 (INEGI, 2016).



Otro rasgo importante, es la población nacida en otra entidad o país que radica en Cuernavaca, en donde el 36.9 % de la población residente en la ciudad es foránea.

En materia de educación, de cada 100 niños, entre 6 y 14 años, 97 asisten a la escuela. Mientras que el promedio de escolaridad de la población de más de 15 años es segundo grado de educación media superior. En cuestiones de salud, el 81.6 % de la población de Cuernavaca se encuentra afiliada a servicios de salud.

El número de viviendas particulares habitadas en Cuernavaca asciende a 107,190, de las cuales el 98.4 % cuenta con piso diferente de tierra y con un promedio de 3.4 ocupantes por vivienda. Así mismo, el 98.6 % de las viviendas dispone de agua entubada, el 98.9 % dispone de drenaje y el 99.7 % de las viviendas cuentan con energía. Por otro lado, el 2.2 % de las viviendas usan leña o carbón para cocinar (INEGI, 2016).



#### 4.10 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA.

Tabla 15. Resumen de la caracterización de la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia adaptada de UNISDR.

CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA			
CONCEPTO	EXISTENCIA	DATO	FUENTE
Población total de la ciudad (hab)	SI	366,321	(INEGI, 2016)
Extensión territorial (km <sup>2</sup> )	SI	207.79	(Gobierno del Estado de Morelos, 2008)
Densidad de población (personas/km <sup>2</sup> )	SI	1763	CÁLCULADO
Riesgo de desastre más probable	SI	Deslizamiento de laderas	(CENAPRED, 2017)
Desastre potencialmente más grave	SI	Inundaciones y sequías	(SINAPROC, 2007)
Porcentaje de la población con respecto a la población nacional (%)	SI	0.31	(INEGI, 2016)
Porcentaje de niños y niñas en la población (%)	SI	25	(INEGI, 2015)
Porcentaje de jóvenes en la población (%)	SI	26	(INEGI, 2015)
Porcentaje de adultos en la población (%)	SI	41	(INEGI, 2015)
Porcentaje de población que pertenece a la tercera edad (%)	SI	8	(INEGI, 2015)
Porcentaje de mujeres y de hombres (%)	SI	46.3% - 53.7%	(INEGI, 2016)
Hombres por cada 100 mujeres	SI	86.1	(INEGI, 2016)
Edad mediana de la población (años)	SI	32	(INEGI, 2016)
Crecimiento anual de la población (%)	SI	0.2	(INEGI, 2016)
Promedio de escolaridad (años escolares)	SI	10.8	(INEGI, 2016)
Hogares encabezados por mujeres (%)	SI	35.8	(INEGI, 2016)
Tasa de marginación (%)	SI	1.8	(INEGI, 2016)
PIB Cuernavaca (MMP)	SI	121.4	(BANAMEX, 2017)
PIB del Estado de Morelos (MMP)	SI	227.7	(BANAMEX, 2017)



CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA			
CONCEPTO	EXISTENCIA	DATO	FUENTE
Porcentaje de población fluctuante (%)	SI	15	(UNAM, 2011)
Viviendas	SI	107,190	(INEGI, 2016)
Personas por unidad de vivienda (hab)	SI	3.4	(INEGI, 2016)
Pobreza extrema (%)	SI	2.3	(Gobierno del Estado, 2016)
Pobreza moderada (%)	SI	24.2	(Gobierno del Estado, 2016)
Vulnerabilidad por carencia social (%)	SI	41.5	(Gobierno del Estado, 2016)
Rezago educativo (%)	SI	15.2	(Gobierno del Estado, 2016)
Acceso a los servicios de salud (%)	SI	30.2	(Gobierno del Estado, 2016)
Acceso a la seguridad social (%)	SI	52.1	(Gobierno del Estado, 2016)
Calidad y espacios en la vivienda (%)	SI	8.3	(Gobierno del Estado, 2016)
Acceso a los servicios básicos en la vivienda (5)	SI	11.3	(Gobierno del Estado, 2016)
Acceso a la alimentación (%)	SI	18.4	(Gobierno del Estado, 2016)
Índice de ENGEL (%)	SI	2.82	H. Ayuntamiento de Cuernavaca
Grado de accesibilidad a carretera pavimentada (%)	SI	91.9	H. Ayuntamiento de Cuernavaca
Índice de Desarrollo Humano (ONU)	SI	0.828	(PNUD, 2014)



## CAPITULO 5. ÍNDICE Y PERFIL DE RESILIENCIA DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA – COMPONENTE TÉCNICA

El cambio global y específicamente, el cambio climático como una de sus componentes, han incrementado la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos (Advancing Science, Serving Society, 2015), como inundaciones, sequías, ciclones tropicales, tormentas y heladas. Por lo que existe un consenso general, a nivel mundial, de que las ciudades siendo los principales centros de la economía de los países y los núcleos de altas concentraciones poblacionales estén mejor preparadas ante la incidencia de fenómenos naturales, desarrollando capacidades proactivas y preventivas por encima de las reactivas.

Dichas capacidades proactivas son alcanzadas a través de la implementación de estrategias o planes de resiliencia que les permitan a las ciudades incrementar su capacidad de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse ante desastres de origen natural. Para poder diseñar dichas estrategias es necesario conocer el nivel de resiliencia con el que cuenta la ciudad. Este estudio propone una metodología para calcular el *índice de resiliencia de una ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos*, así como una serie de análisis complementarios que contribuyen a la determinación del *perfil de resiliencia de la ciudad* que permita robustecer la evaluación de las características de la resiliencia.

Como caso de estudio se propuso a la ciudad de Cuernavaca, una ciudad con 366,321 habitantes (INEGI, 2016), que en general presenta una actitud pasiva ante la gestión integral del riesgo de desastre pero que ante las condiciones cambiantes e impredecibles de los fenómenos hidrometeorológicos, principalmente por el cambio climático, así como del crecimiento poblacional exponencial, es importante iniciar con la toma de medidas necesarias para estar preparados ante cualquier nueva situación que ponga en crisis a la ciudad en el futuro.

Uno de los objetivos de esta investigación es evidenciar que existe necesidad de crear resiliencia en ciudades que no presentan todavía, impactos severos por fenómenos hidrometeorológicos en la actualidad, pero que dicha estabilidad no está garantizada para un futuro inmediato, como es el caso de Cuernavaca. Otra de las premisas es que si se demuestra que es necesario crear resiliencia



en ciudades que presentan cierta estabilidad lo es, ineludiblemente, para ciudades que si tienen alta exposición ante fenómenos hidrometeorológicos, como las ciudades costeras o las ciudades asentadas en las llanuras de inundación de los ríos caudalosos. El que algunas ciudades tengan cierta estabilidad en la actualidad, no garantiza que en el futuro próximo cuenten con las mismas condiciones, considerando los factores del cambio climático y la creciente concentración de población en zonas urbanas con escasa planeación, que demandará mayor cantidad de recursos hídricos y mayor cantidad de área para asentarse, propiciando la generación de nueva infraestructura, la cual debe ser diseñada de tal forma que ayude a incrementar la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de la ciudad.

## 5.1 ÍNDICE TÉCNICO DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA

De acuerdo a la información y datos recopilados, se realizó la siguiente evaluación de la resiliencia de la componente técnica de la ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos.

### 5.1.1 INDICADOR DE AMENAZA PRINCIPAL

Las instituciones relacionadas con la reducción del riesgo de desastre como la Dirección de Protección Civil de Cuernavaca y la Coordinación Estatal de Protección Civil no cuentan con un historial de impacto socioeconómico por lo que, para este caso de estudio, este indicador fue seleccionado de manera cualitativa en base a información recopilada para elaborar el *historial de impactos socioeconómicos por fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en Cuernavaca*, que se muestra en el Anexo B de este trabajo de investigación, resultando que las inundaciones y las sequías operativas son las principales amenazas a las que se enfrenta la ciudad.



### 5.1.2 INDICADOR DE INFRAESTRUCTURA

Las instituciones que generan infraestructura en la ciudad relacionada con la reducción del riesgo de desastre son la Secretaría de Infraestructura Urbana, Obras y Servicios y la Comisión Estatal del Agua. De la información proporcionada, se seleccionaron las obras que de alguna manera incrementan la resiliencia en la ciudad como el saneamiento de las barrancas, la rehabilitación de PTAR, incremento de redes de agua potable y alcantarillado y obras para reducir el riesgo de desastre como bordos de protección en márgenes de cauces.

Tabla 16. Indicador de infraestructura para Cuernavaca.

INDICADOR				
1. Infraestructura	Peso=30	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
1.1 Inversión en nueva infraestructura		7.00	0.71	4.97
1.2 Inversión en mantenimiento		7.00	0.00	0.00
1.3 Supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura		7.00	0.00	0.00
1.4 Infraestructura crítica		9.00		
1.4.1 Hospitales		5.00	0.67	3.35
1.4.2 Escuelas		4.00	0.81	3.24
<i>Variables</i>				11.56
$I_{ac} = \$$	28,525,086.76 (pesos)		$F_{i2} =$	103.00 (alum/esc)
$t_{ac} =$	6.77 (%)		$Pob_r =$	366,321 (hab)
$I_{an} = \$$	38,483,769.48 (pesos)		$Pob_{est} =$	81,201 (hab)
$t_{an} =$	2.13 (%)		$N_{camas} =$	737 (camas)
$r =$	0 (supervisiones)		$N_{esc} =$	641 (escuelas)
$F_i =$	30.00 (camas/10 mil hab)			

De la calificación del indicador, 11.56 de 30, se concluye que Cuernavaca requiere mayor inversión en infraestructura que incremente su resiliencia. Debe considerar la supervisión de las condiciones



físicas de la infraestructura existente, así como recurso para el mantenimiento de la misma, ya que en estos dos sub indicadores la calificación fue cero. La suma de la calificación de los sub indicadores de infraestructura crítica es aceptable (6.59), considerando que la máxima es 9.

### 5.1.3 INDICADOR DE PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO Y CÓDIGOS NORMATIVOS

La ciudad de Cuernavaca se encuentra rezagada en cuanto a la existencia y actualización de documentos. Cuenta con un Programa de Ordenamiento Ecológico del año 2009 y carece de un Programa de Ordenamiento Territorial Municipal. La ventaja es que existen instrumentos de ordenamiento a nivel regional como el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional (POEREM) del Estado de Morelos del año 2014 (Secretaria de Desarrollo Sustentable, 2014), y el Programa de Ordenación de la Zona Conurbada (POZC) con los municipios de Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco y Xochitepec del año 2008 (Gobierno del Estado de Morelos, 2008). En cuanto al Reglamento de Construcción, la última reforma se realizó en 2012 por lo que es necesario llevar a cabo una actualización, así como la elaboración de Normas Técnicas Complementarias, de las cuales adolece este documento.

Este indicador obtuvo una calificación alta, debido a las siguientes consideraciones: la SEDATU considera un documento actualizado cuando está dentro de un periodo de cinco años a partir de la fecha de emisión y la Secretaria de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos (SDS) permite trabajar con el instrumento de ordenamiento más actualizado independientemente del nivel que sea (municipal, regional o estatal). Por lo anterior, el reglamento de construcción se considera actualizado en esta evaluación. Así mismo, para el sub indicador del programa de ordenamiento ecológico se tomó en consideración el POEREM en lugar del municipal, lo cual le suma calificación a al indicador; mismo caso se presentó para el programa de ordenamiento territorial en dónde se tomó en cuenta el POZC, que, de no existir la condición anterior de la SDS, el sub indicador del plan de ordenamiento territorial sería cero.



Tabla 17. Indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos.

INDICADOR			
2. Programas de ordenamiento y códigos normativos Peso=10	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
2.1 Territorial	2.50		
2.1.1 Existentes	1.25	1.00	1.25
2.1.2 Actualización	1.25	0.56	0.70
2.2 Ecológico	2.50		
2.2.1 Existentes	1.25	1.00	1.25
2.2.2 Actualización	1.25	1.00	1.25
2.3 Códigos normativos y de construcción	2.50		
2.3.1 Existentes	1.25	1.00	1.25
2.3.2 Actualización	1.25	1.00	1.25
2.4 Aplicación de planes y códigos normativos	2.50	1.00	2.5
			9.45
<i>Variables</i>			
		$A_{ac} = 2017$	(años)
Programa de Ordenamiento Territorial (POZC)		$A_{edi} = 2008$	(años)
Programa de Ordenamiento Ecológico (POEREM)		$A_{edi} = 2014$	(años)
Reglamento de Construcción		$A_{edi} = 2012$	(años)
		$O_e = 25$	(obras)
		$O_{DRO} = 25$	(obras)

#### 5.1.4 INDICADOR DE EVALUACIONES DEL RIESGO

La ciudad de Cuernavaca tiene una actitud pasiva ante la generación de información que documente los impactos de fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, por lo que no cuenta con un Atlas de Riesgo Municipal. Así mismo, uno de los elementos importantes para analizar el comportamiento



histórico de los desastres es el historial de impactos socioeconómicos, con el que tampoco cuenta la ciudad de Cuernavaca.

Tabla 18. Indicador de evaluaciones del riesgo.

INDICADOR				
3. Evaluaciones del riesgo	Peso=10	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
3.1 Proyecciones y tendencias climáticas de riesgo		2.00		
3.1.1 Existentes		1.00	1.00	1.00
3.1.2 Actualización		1.00	1.00	1.00
3.2 Mapas de amenazas, exposición y riesgo		2.00		
3.2.1 Existentes		1.00	1.00	1.00
3.2.2 Actualización		1.00	0.50	0.50
3.3 Estadísticas de cobertura de seguros		2.00		
3.3.1 Existentes		1.00	1.00	1.00
3.3.2 Actualización		1.00	1.00	1.00
3.4 Historial de impactos socioeconómicos		2.00		
3.4.1 Existentes		1.00	0.00	0.00
3.4.2 Actualización		1.00	0.00	0.00
3.5 Población en zonas de riesgo		2.00	0.00	0.00
				5.50
<i>Variables</i>				
		$A_{ac} = 2017$	(años)	
Proyecciones y tendencias climáticas		$A_{edi} = 2015$	(años)	
Mapas de amenazas, exposición y riesgo		$A_{edi} = 2007$	(años)	
Estadísticas de cobertura de seguros		$A_{edi} = 2017$	(años)	
Historial de impactos socioeconómicos		$A_{edi} = \text{No existe}$	(años)	
		$Pob_r = 366,321$	(hab)	
		$Pob_{riesgo} = \text{Sin dato}$	(hab)	



Este indicador obtuvo una calificación ligeramente arriba de la mitad del total, debido a la falta de información y a la actualización de esta. Esta falta de información debilita la toma de decisiones en la ciudad; no conocer los riesgos a los que están expuestos, ni las vulnerabilidades que se tienen imposibilita saber que elementos de resiliencia fortalecer. Los documentos que se tomaron en consideración son de escala nacional y estatal que contiene información de Cuernavaca y que son de utilidad, pero es necesario contar con estudios a escala local que detallen las condiciones de la ciudad. Los documentos empleados fueron *El Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México Ante el Cambio Climático* (IMTA, 2015) para el sub indicador 3.1; mientras que para el sub indicador 3.2 se tomó en consideración el *Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos* (SINAPROC, 2007). Para el sub indicador 3.3 se utilizó la información de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS, 2017) y debido a que las autoridades no cuentan con información para determinar la cantidad de población asentada en zonas de riesgo, el sub indicador 3.5 quedó en cero.

#### 5.1.5 INDICADOR DE PLANES DE REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE (RRD)

La ciudad de Cuernavaca solo cuenta con un plan de acción reactiva. El desarrollo de un plan proactivo permite anticiparnos ante una catástrofe incrementando la capacidad de resiliencia de una ciudad, mientras que el plan post desastre permite tener una recuperación adecuada ante el impacto de un fenómeno hidrometeorológico; por lo que la elaboración de estos documentos es importante dentro de la gestión integral del riesgo.

Este indicador obtuvo una calificación baja debido a que la ciudad de Cuernavaca no cuenta con los instrumentos antes mencionados, esta situación propicia que las autoridades no sepan como anticiparse a una emergencia o como deben recuperarse a un desastre. Esta última situación genera una mala coordinación para gestionar, distribuir y optimizar los recursos y apoyo para recuperar los servicios, reconstruir la infraestructura y atender a las personas damnificadas.



Tabla 19. Indicador de planes de reducción del riesgo de desastre (RRD).

INDICADOR			
4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD) Peso=10	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
4.1 Proactivo	3.50		
4.1.1 Existentes	1.75	0.00	0.00
4.1.2 Actualización	1.75	0.00	0.00
4.2 Reactivo	3.00		
4.1.1 Existentes	1.50	1.00	1.50
4.1.2 Actualización	1.50	1.00	1.50
4.3 Post desastre	3.50		
4.3.1 Existentes	1.75	0.00	0.00
4.3.2 Actualización	1.75	0.00	0.00
			3.00
<i>Variables</i>			
	$A_{ac} = 2017$	(años)	
Proactivo	$A_{edi} = \text{No existe}$	(años)	
Reactivo	$A_{edi} = 2017$	(años)	
Post desastre	$A_{edi} = \text{No existe}$	(años)	



5.1.6 INDICADOR DE PRESUPUESTO ASIGNADO A LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

De la información proporcionada por la Dirección de Protección Civil de Cuernavaca, se identificó que no se tiene un monto considerado para la atención de una emergencia, ni para la elaboración de documentos como estrategias, programas o planes.

Tabla 20. Indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias.

INDICADOR			
5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias Peso=10	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
5.1 Presupuesto destinado a emergencias	5.00	0.00	0.00
5.2 Presupuesto destinado a programas de prevención	5.00	0.00	0.00
			0.00
<i>Variables</i>			
$P_{emer}$	= \$	-	(pesos)
$P_{pro}$	= \$	-	(pesos)
$P_{ciudad}$	= \$	1,492,158,896.00	(pesos)
$\%_{his}$	= 0.5		(%)

Este indicador obtuvo una calificación de cero porque no se tiene considerado en el presupuesto de la ciudad asignaciones a la atención de emergencias o a la creación de programas de prevención. El Programa Operativo Anual de Cuernavaca 2015 y 2016 no consideraron un presupuesto para Protección Civil, lo que evidencia el poco interés para la gestión del riesgo. La nula o baja inversión en la gestión del riesgo disminuye la resiliencia de la ciudad.



5.1.7 INDICADOR DE INSTITUCION RELACIONADA CON RRD

En Cuernavaca existe la Dirección de Protección Civil, institución encargada de contribuir a la prevención y mitigación de desastres, pero debido a que no se tiene asignado un recurso directo para esta institución no tiene la capacidad de atender las emergencias que se puedan presentar en la ciudad, generando que el nivel de resiliencia baje.

Tabla 21. Indicador de institución relacionada con RRD.

INDICADOR				
6. Institucion relacionada con RRD	Peso=10	PESO	CÁLCULO	CALIFICACIÓN
6.2 Personal		2.50	0.33	0.83
6.3 Equipamiento		2.50	0.00	0.00
6.5 Número de unidades		2.50	1.00	2.50
6.6 Sistema de alerta temprana		2.50	0.00	0.00
				3.33
<p><i>Variables</i></p> <p><math>F_{i3} = 1,000</math> (hab/personal)</p> <p><math>F_{i4} = 25,000</math> (hab/ambulancia)</p> <p><math>Pob_r = 366,321</math> (hab)</p> <p><math>N_{personal} = 122</math> (persona)</p> <p><math>I_{equ} = \\$</math> - (pesos)</p> <p><math>\%_{his} = 0.5</math> (%)</p> <p><math>P_{ciudad} = \\$ 1,492,158,896.00</math> (pesos)</p> <p><math>N_{amb} = 15</math> (ambulancias)</p>				



### 5.1.8 INDICADOR DE SERVICIOS VITALES

Este indicador obtuvo una calificación de 12.60 de 20 posibles; los sub indicadores que ayudaron a la calificación, aportando para incrementar a la resiliencia de Cuernavaca, fueron: la cobertura de energía, agua potable y alcantarillado, así como el grado de presión hidrológica que evalúa el estado del acuífero con el que se abastece la ciudad. También es importante mencionar que hay factores que disminuyen la resiliencia en Cuernavaca, como que el organismo operador de agua tenga una eficiencia global de 43.53 % de acuerdo al Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), lo que evidencia una mala gestión del recurso hídrico, así como que la población utilice un volumen mayor de recurso (per cápita) en comparación a lo recomendado por la OMS. Otro factor importante es que el porcentaje de agua tratada es muy bajo en comparación con el agua residual y que solo se encuentran dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) operando de las seis existentes, repercutiendo en la resiliencia de la ciudad.



Tabla 22. Indicador de servicios vitales.

INDICADOR				
7. Servicios vitales	Peso=20	PESO	CÁLCULO	RANGO
7.1 Agua potable		7.00		
7.1.1 Cobertura del servicio		1.00	0.87	0.87
7.1.2 Cobertura del servicio de 24 h		1.00	0.00	0.00
7.1.3 Eficiencia Global PIGOO		2.00	0.44	0.88
7.1.4 Grado de presión hidrológica PRONACOSE		2.00	1.00	2.00
7.1.5 Dotación		1.00	0.62	0.62
7.2 Saneamiento		7.00		
7.2.1 Cobertura del servicio		3.00	0.49	1.47
7.2.2 Agua residual vs Agua tratada		2.00	0.12	0.24
7.2.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales		2.00	0.33	0.66
7.3 Energía		6.00	0.99	5.94
				12.68
<i>Variables</i>				
$Pob_r = 366,321$ (hab)		$D_{ciudad} = 480$		(l/hab/día)
$Pob_{agua} = 318,750$ (hab)		$D_{OMS} = 125$		(l/hab/día)
$Pob_{24agua} = 1,530$ (hab)		$Pob_{alcantarillado} = 178,132$		(hab)
$Index_{PIGOO} = 43.53$ (%)		$H_2O_{residual} = 64.2$		( $hm^3$ )
$RG = 344.2$ ( $hm^3$ )		$H_2O_{tratada} = 7.41$		( $hm^3$ )
$V_{na} = 0$ ( $hm^3$ )		$PTAR_{servicio} = 2$		(PTAR)
$D_u = 70.35$ ( $hm^3$ )		$PTAR_{total} = 6$		(PTAR)
$OD = 211.4$ ( $hm^3$ )		$Pob_{electricidad} = 363,352$		(hab)



### 5.1.9 EVALUACIÓN DE DAÑOS, TIEMPO Y VELOCIDAD DE RECUPERACIÓN

Como se comentó en el Capítulo III, este indicador solo puede ser implementado después de la ocurrencia de un desastre y en el caso del sub indicador de velocidad solo es posible estimarlo después de algunos meses de haberse suscitado el evento.

### 5.1.10 RESULTADOS DEL ÍNDICE E INDICADORES

Los resultados permiten identificar los elementos que aportan a la resiliencia técnica de la ciudad y los elementos que se deben fortalecer. Para esta evaluación realizada, se deben fortalecer cada uno de los elementos que integran a los indicadores, especialmente el indicador 5. *Presupuesto asignado a la atención de emergencias*, 4. *Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)* y 6. *Institución de reducción del riesgo de desastre (RRD)*. En el *Capítulo IV* de este trabajo de investigación se analiza a detalle los elementos a fortalecer para incrementar la resiliencia técnica de Cuernavaca.

*Tabla 23. Resultados del índice e indicadores de la resiliencia en Cuernavaca – Componente técnica. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).*

ÍNDICE DE RESILIENCIA DE CUERNAVACA – COMPONENTE TÉCNICA	
INDICADOR	RESULTADOS
A. Amenaza principal	Inundaciones y sequía operativa
1. Infraestructura	11.56
2. Programas de ordenamiento y códigos normativos	9.45
3. Evaluaciones del riesgo	5.50
4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)	3.00
5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias	0.00
6. Institución de reducción del riesgo de desastre (RRD)	3.33
7. Servicios Vitales	12.68
B. Velocidad de recuperación	-
	45.52



## 5.2 PERFIL DE RESILIENCIA DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA – COMPONENTE TÉCNICA

De acuerdo a la metodología propuesta se llevó a cabo la siguiente recopilación y análisis de la información, así como generación de información faltante, como mapas en archivo editable (SHP); todo esto con la finalidad de complementar la evaluación de la resiliencia de la ciudad de Cuernavaca. Por lo que se procede a desarrollar cada uno de los puntos que componen el *perfil de resiliencia de la componente técnica de la ciudad*.

### 5.2.1 ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA CIUDAD ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Los impactos socioeconómicos por fenómenos hidrometeorológicos representan en México el 92 % de las pérdidas por los diferentes fenómenos (geológicos, hidrometeorológicos, químico-biológicos y socio-organizativos) que impactan a nuestro país cada año. Estas pérdidas llegan a representar un porcentaje considerable del PIB Nacional. En el año 2010 los impactos económicos por este tipo de eventos representaron el 72 % de lo que erogó ese mismo año la Ciudad de México.

El Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), no cuenta con información sobre los impactos socioeconómicos que ha sufrido la ciudad de Cuernavaca por eventos hidrometeorológicos. Se llevó a cabo una revisión de la *“Serie impacto socioeconómico de los desastres en México”*, con documentos que registran datos de los principales desastres ocurridos desde 1980 a 2016, y en ninguno de estos documentos se encontró información relacionada con algún desastre ocurrido en la ciudad de Cuernavaca.

La Coordinación de Protección Civil del Estado de Morelos tampoco cuenta con un registro detallado de los impactos socioeconómicos de la ciudad, en las mismas condiciones se encuentra la entidad de Protección Civil de Cuernavaca. Esta situación es característica de la mayoría de las direcciones de Protección Civil en los municipios, carecen de un historial detallado de los eventos hidrometeorológicos y de sus impactos socioeconómicos.



La ausencia de registros sistemáticos homogéneos y comparables sobre la tipología de los desastres, aunado al considerar solo desastres aquellos eventos de gran envergadura y de grandes impactos, han contribuido a hacer menos visibles los miles de pequeños y medianos desastres que anualmente ocurren en los países (DESINVENTAR, 2013).

Se procedió a recopilar información del Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DESINVENTAR), que es una base de datos de la ocurrencia de desastres cotidianos de pequeño y mediano impacto, que permite analizar los desastres desde una perspectiva local, esta plataforma fue creada por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red). En esta base de datos se pudo obtener la siguiente información:

Se tiene registro de inundaciones en agosto de 1970 debido a tormentas intensas, en junio de 1981 se tiene registro de cuatro inundaciones, resultando damnificadas diez familias y en otra un registro de impacto económico por 2 millones de pesos. En 1983 se presentó otra inundación, anegándose un centro comercial y algunas avenidas principales. En 1988, 1999, 2004, 2005 y 2008 también se presentaron inundaciones en la ciudad. En 2007 se presentaron cuatro inundaciones, una de ellas provocando el derrumbe de un bordo afectando al Hospital General “Dr. José G. Parres”. La inundación de 2009 ocasionó que un Jardín de Niños fuera desalojado. En 2012, 36 viviendas se vieron afectadas por inundaciones y lodo, así como algunas vialidades principales. En 2013, cinco bardas y 30 viviendas sufrieron daños, alcanzando el agua cerca de 2 metros en algunas zonas.

Debido a las tormentas intensas que se han presentado en la ciudad se tienen registros de deslizamientos de laderas, la combinación de asentamientos en las laderas de las barrancas y el reblandecimiento del suelo producto de las intensas precipitaciones ponen en riesgo a la población. En el 2009, en el Panteón Municipal “La Paz” ocurrió deslizamientos en la parte trasera del panteón, afectando criptas, las cuales tuvieron que ser reubicadas. En el 2010 la comunidad de Buenavista del Monte quedó incomunicada por un derrumbe en la carretera. En 2011, se presentó un derrumbe en la carretera Cuernavaca – Ocuilan bloqueando parcialmente el acceso.

Las intensas lluvias que se llegan a presentar en la ciudad provocan el reblandecimiento de algunas estructuras, como sucedió en 1998, que a causa de las precipitaciones tres personas fallecieron al caerles un muro reblandecido. En el 2005 se registró una muerte por la caída de un rayo (la ciudad



de Cuernavaca presenta tormentas eléctricas constantes).

En Cuernavaca es común que cada año se presenten tormentas intensas, tormentas eléctricas, vientos fuertes y granizo. Muchas de las veces se ocasionan apagones en la ciudad, afectando el tránsito vehicular debido a la falta de operación de semáforos y a los encharcamientos, caída de árboles, cables y daños en transformadores. De acuerdo a la base de datos DESINVENTAR, en 1990 se presentó una tormenta intensa que ocasionó la evacuación de 250 personas, afectando 50 casas y daños por 200 millones de pesos.

En cuanto a las sequías, la información que se obtuvo de esta plataforma fue que en 1980 cerca de 15 mil campesinos se vieron afectados por siniestrarse miles de hectáreas. En 1982, la sequía provocó que se afectaran cultivos de maíz, frijol, sorgo, jitomate y tomate, sumando cerca de 60 mil hectáreas de cultivo. En 1989 se presentó una sequía con daños globales. Estas sequías mencionadas se produjeron por la falta de lluvias y altas temperaturas, ocasionando encarecimiento de la canasta básica y migración de población rural a zonas urbanas.

En cuanto a las heladas que se han presentado en Cuernavaca, se tiene registro en esta base que en el mes de noviembre de 2008 la temperatura bajó drásticamente provocando la muerte de una persona.

### 5.2.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SOBRE VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO EXISTENTES DE LA CIUDAD.

La ciudad de Cuernavaca no cuenta con un atlas de riesgos, sin embargo, la Coordinación Estatal de Protección Civil cuenta con el “Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos” elaborado en 2007. La información contenida en el documento clasifica a Cuernavaca con una vulnerabilidad alta por fenómenos naturales (figura 35), un riesgo muy alto por inundaciones pluviales (figura 36), un riesgo alto por sequías (figura 37), riesgo muy alto por granizadas (figura 38), riesgo alto por heladas (figura 39) y un riesgo muy alto por inundaciones fluviales (figura 40), como se puede observar en las siguientes imágenes extraídas de dicho Atlas (SINAPROC, 2007).



Tabla 24. Nivel de riesgo y vulnerabilidad para Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (SINAPROC, 2007; IMTA, 2015).

NIVEL DE RIESGO Y VULNERABILIDAD PARA CUERNAVACA		
AMENAZA	CLASIFICACIÓN	FUENTE
Vulnerabilidad social (figura 34)	Muy bajo	Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante Cambio Climático
Vulnerabilidad por fenómenos naturales (figura 35)	Alta	Atlas de Riesgos y Peligros del estado de Morelos
Riesgo por inundaciones pluviales (figura 36)	Muy alto	Atlas de Riesgos y Peligros del estado de Morelos
Riesgo por sequías (figura 37)	Alto	Atlas de Riesgos y Peligros del estado de Morelos
Riesgo por granizadas (figura 38)	Muy alto	Atlas de Riesgos y Peligros del estado de Morelos
Riesgo por heladas (figura 39)	Muy alto	Atlas de Riesgos y Peligros del estado de Morelos
Riesgo por inundaciones fluviales (figura 40)	Muy alto	Atlas de Riesgos y Peligros del estado de Morelos
Riesgo por lluvias y ciclones tropicales (figura 41)	Muy bajo	Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante Cambio Climático
Vulnerabilidad hídrica global (figura 42)	Media	Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante Cambio Climático
Vulnerabilidad por capacidad de adaptación al cambio climático (figura 43)	Media	Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante Cambio Climático

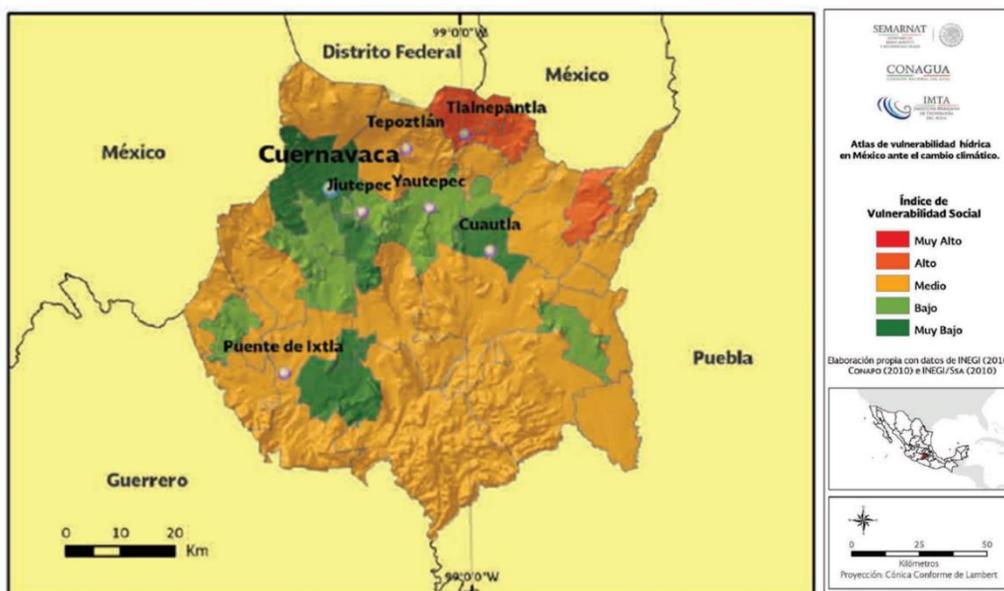


Figura 34. Mapa de vulnerabilidad social. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy baja vulnerabilidad social. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático.

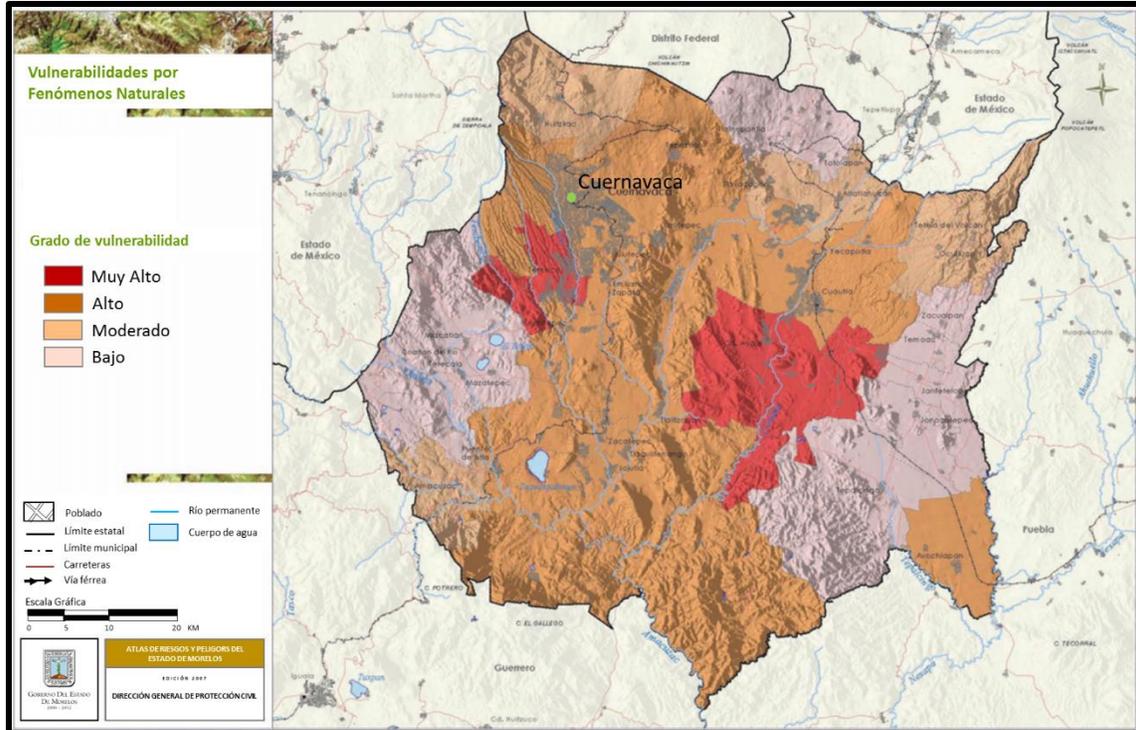


Figura 35. Mapa vulnerabilidad por fenómenos hidrometeorológicos. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en condiciones de alta vulnerabilidad. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.

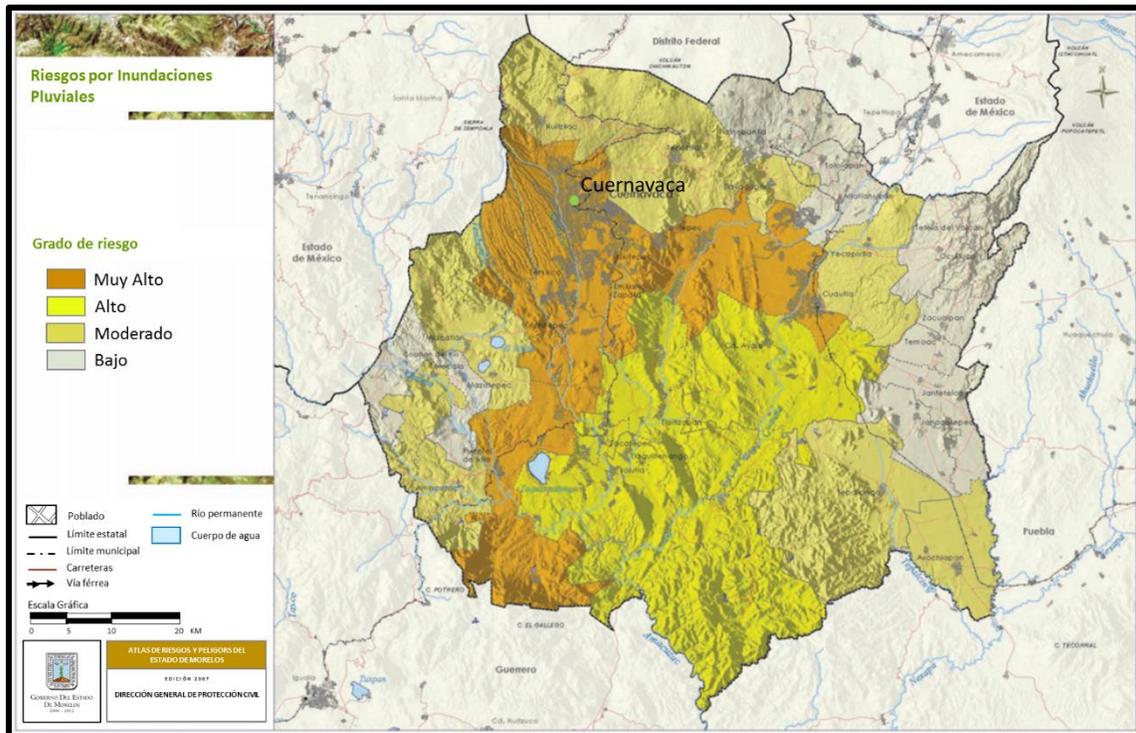


Figura 36. Mapa de riesgo por inundaciones pluviales. La ciudad de Cuernavaca se encuentra identificada como de muy alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.

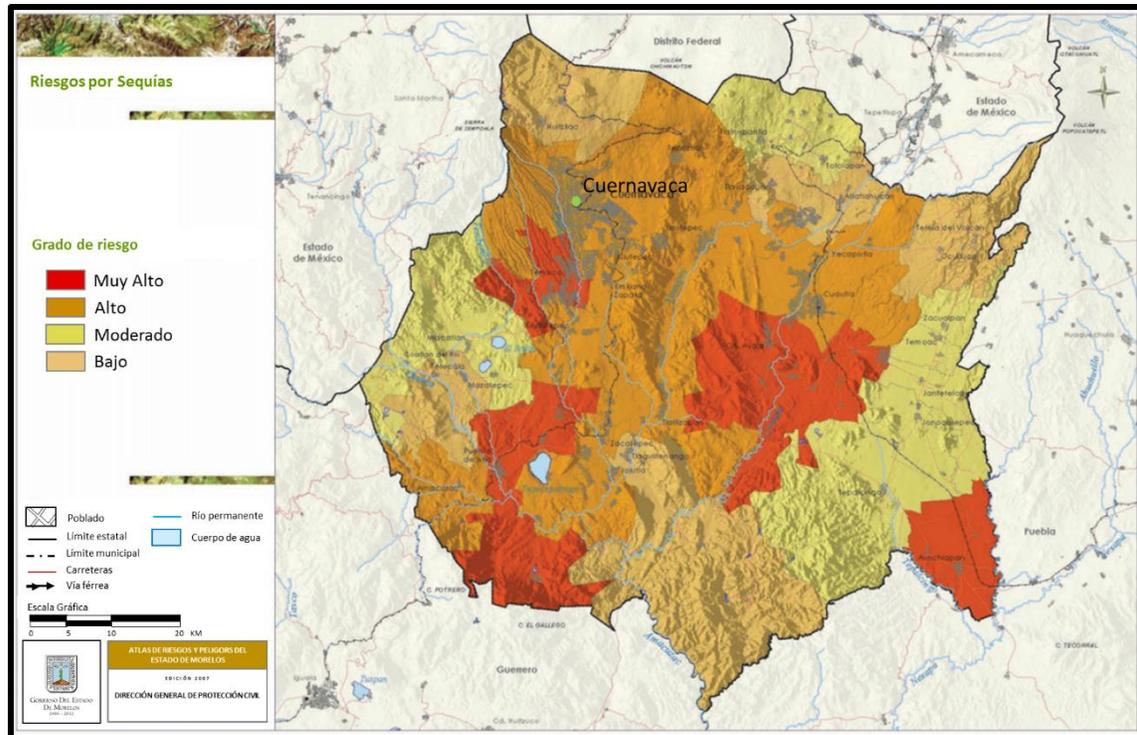


Figura 37. Mapa de riesgo por sequías. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.

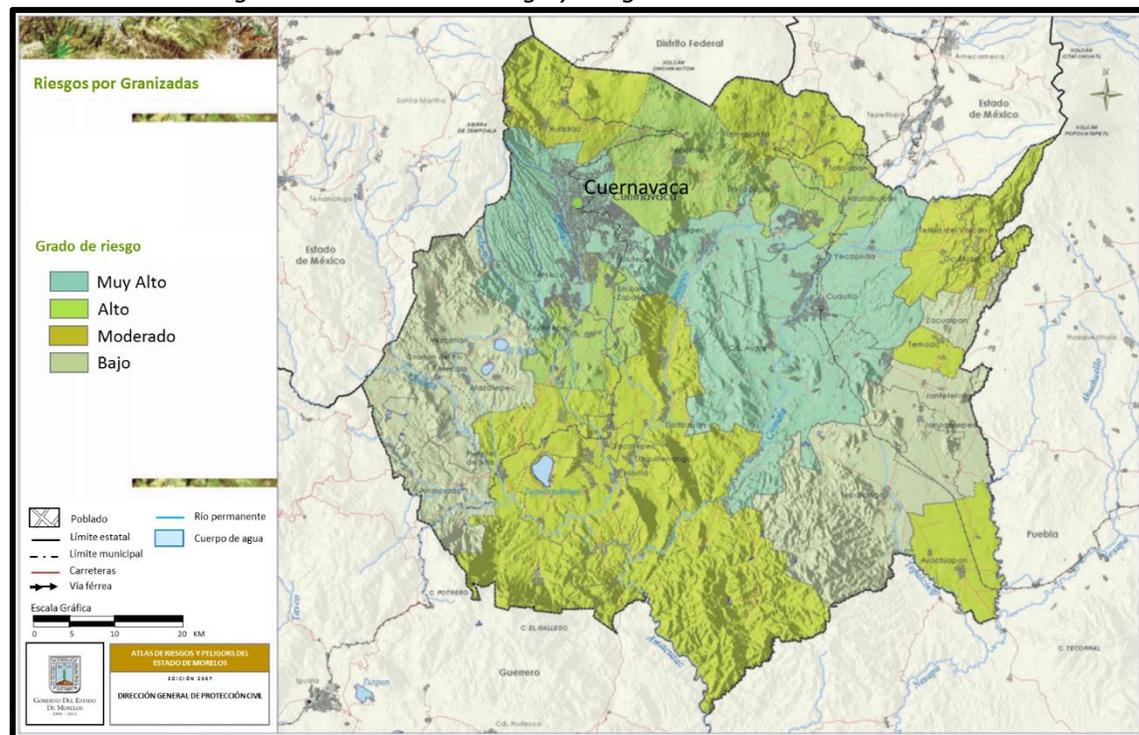


Figura 38. Mapa de riesgo por granizadas. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.

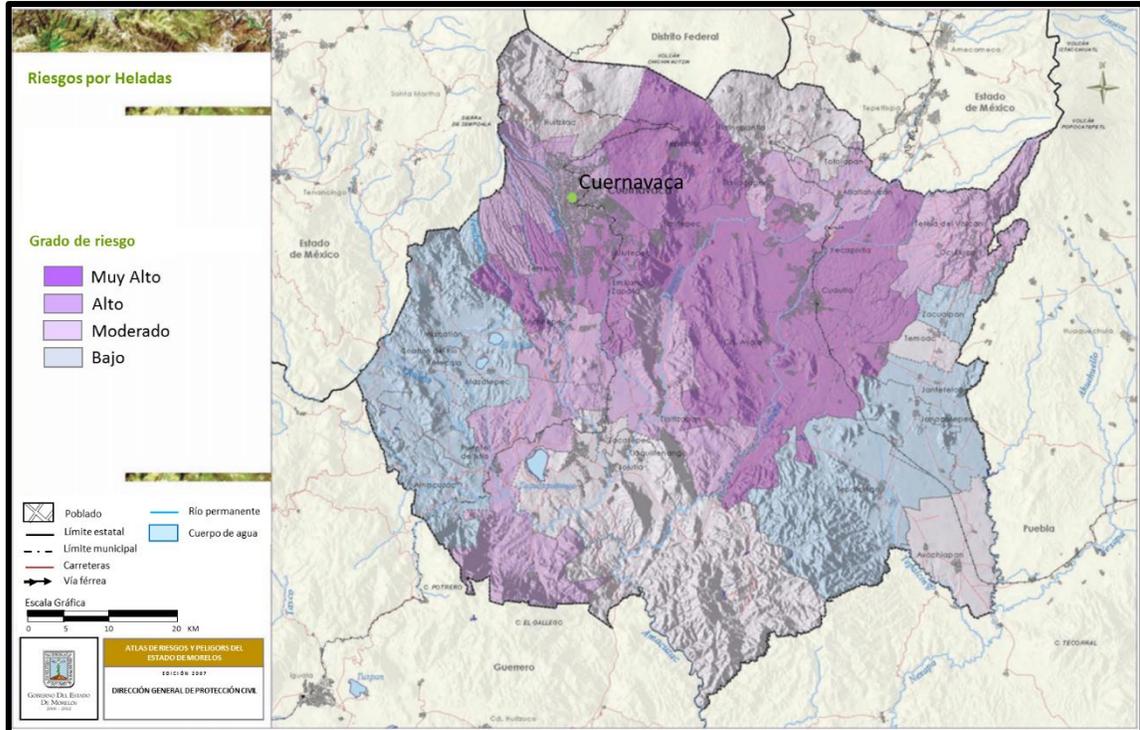


Figura 39. Mapa de riesgo por heladas. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.

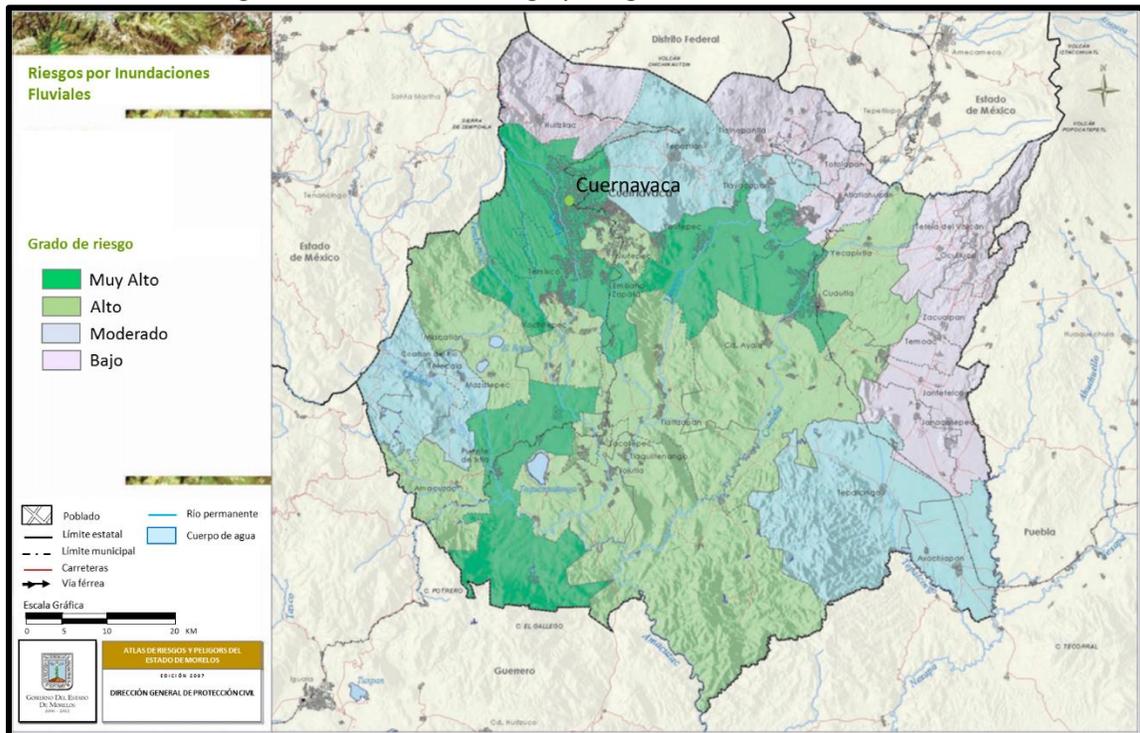


Figura 40. Mapa de riesgo por inundaciones fluviales. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy alto riesgo. Fuente: Atlas de Riesgo y Peligros del Estado de Morelos.

Del “Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante Cambio Climático” se sabe que la ciudad de Cuernavaca presenta un índice de vulnerabilidad social muy bajo (figura 34), un riesgo bajo por lluvias y ciclones tropicales (figura 41), un nivel medio de vulnerabilidad hídrica global (figura 42) y un nivel medio de vulnerabilidad por capacidad de adaptación al cambio climático (figura 43), como se puede observar en las siguientes imágenes extraídas de dicho documento (IMTA, 2015).

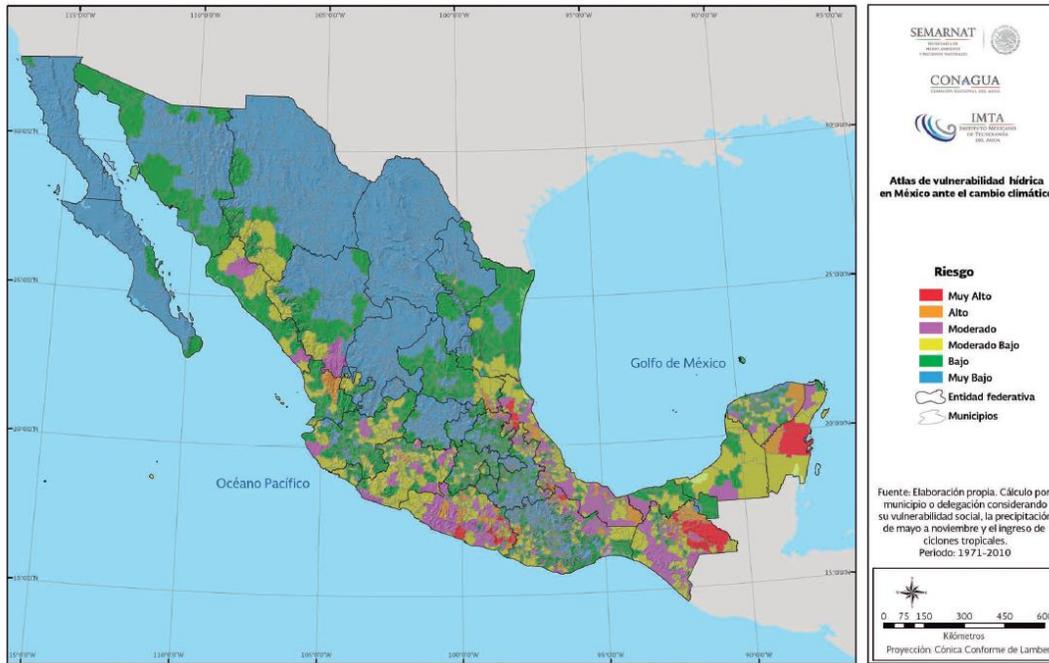


Figura 41. Mapa de riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en situación de muy bajo riesgo. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático.

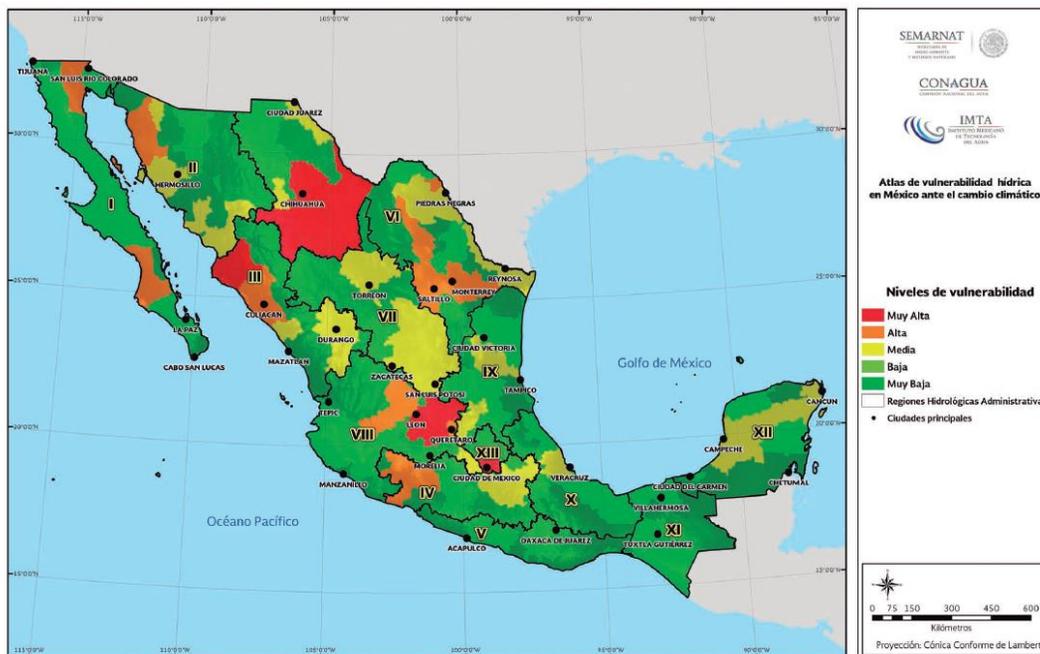


Figura 42. Mapa de vulnerabilidad hídrica global. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en un nivel medio de vulnerabilidad hídrica global. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático.

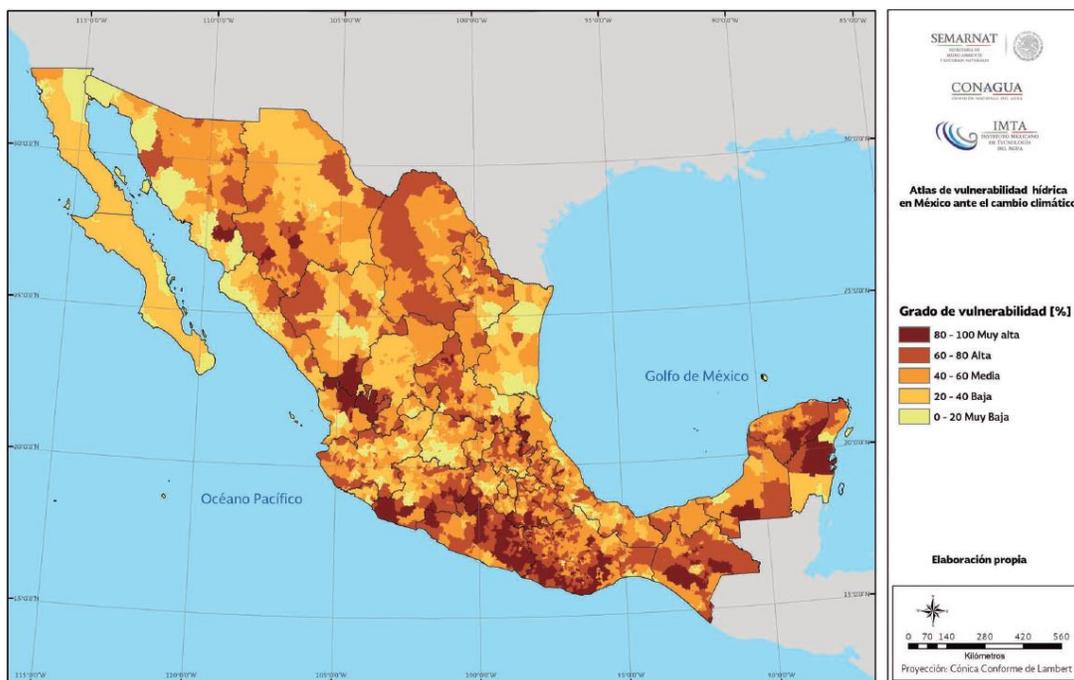


Figura 43. Mapa de vulnerabilidad por capacidad de adaptación al cambio climático. La ciudad de Cuernavaca se encuentra en un nivel medio de vulnerabilidad por capacidad de adaptación al cambio climático. Fuente: Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático.



### 5.2.3 ANÁLISIS DE LA AMENAZA PREDOMINANTE

Del análisis del impacto por fenómenos hidrometeorológicos en Cuernavaca, así como de la información recopilada de los atlas consultados, se concluye que son dos fenómenos las principales amenazas para la ciudad, la sequía operativa y las inundaciones. Esto se reafirma con los estudios sobre Cuernavaca elaborados por la CONAGUA para este tipo de eventos, uno denominado *“Evaluación del riesgo por inundación a través del cálculo del DAE municipal – regional (RH)”* y el otro denominado *“Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) para la ciudad de Cuernavaca”* ambos de fecha de diciembre de 2014. Estos documentos son producto del desarrollo de las estrategias nacionales para la gestión de inundaciones y sequías en México, el Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas (PRONACCH) y el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE).

#### 5.2.3.1 INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE CUERNAVACA

De acuerdo a la evaluación del riesgo de inundación en la ciudad de Cuernavaca, los principales problemas que ocasionan inundaciones en la ciudad son los asentamientos irregulares, la invasión y estrechamiento de cauces, la baja capacidad de drenaje, taponamiento por basura y acumulación de azolves en corrientes y barrancas. La evaluación se realizó con avenidas de cinco diferentes eventos ocurridos en la zona de estudio, el evento de 1976 que tiene el registro de la avenida máxima histórica de 251 m<sup>3</sup>/s, el evento de 1982 con una avenida superior a los 200 m<sup>3</sup>/s, el evento de 1988 con una avenida de 245 m<sup>3</sup>/s, el evento de 1996 con una avenida de 220 m<sup>3</sup>/s y 2001 con una avenida de 200 m<sup>3</sup>/s.

De los resultados que se obtuvieron, se puede concluir que la cuenca donde se ubica la ciudad de Cuernavaca no sufre de problemas serios de inundación relacionada con la capacidad de conducción de los ríos, el principal problema que se encontró es la inundación pluvial sobre el área urbana debido a la baja capacidad del sistema de drenaje y colectores pluviales, así como al taponamiento de los mismos. En la zona metropolitana cercana a Temixco, si puede existir desbordamiento del río Apatlaco, debido al estrechamiento del cauce por acumulación de escombros. El daño anual esperado en la zona del río Apatlaco, se calculó en \$611.3 millones de pesos (CONAGUA, 2014).

Por otra parte, la Comisión Estatal del Agua, ha identificado ciertas zonas de la ciudad donde se han

presentado inundaciones (figura 44). Esta información fue recopilada del Observatorio Estatal de la Sustentabilidad de la Secretaría de Desarrollo Sustentable.

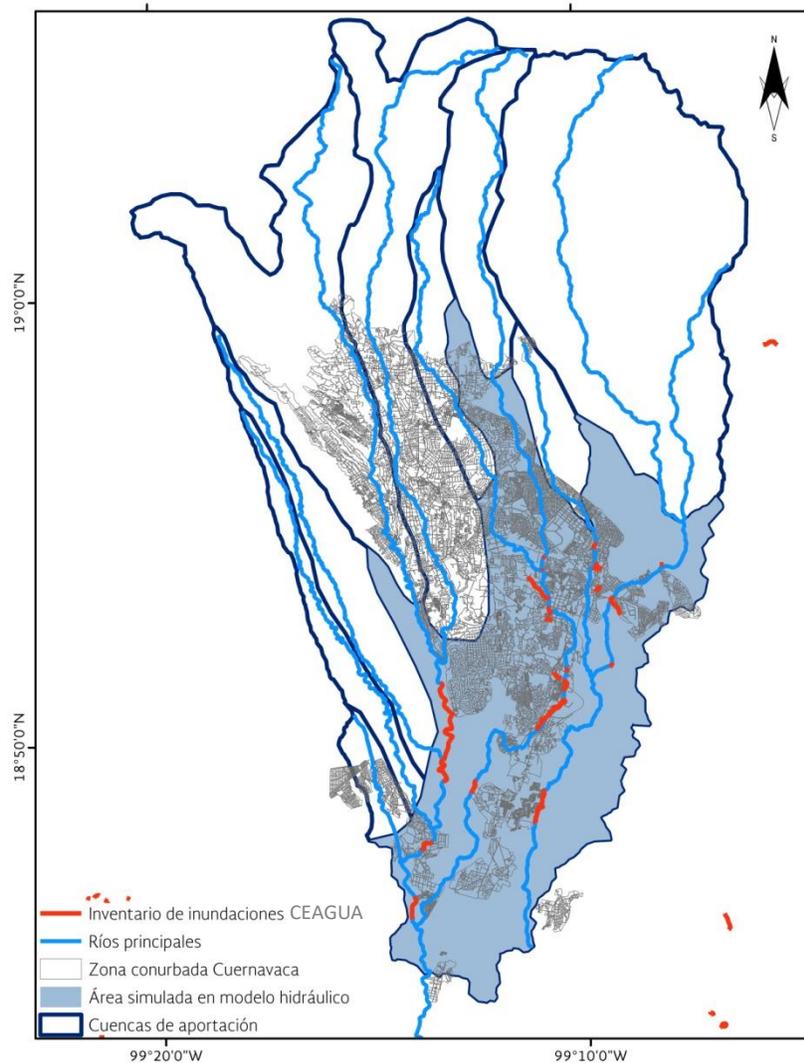


Figura 44. Zonas de inundación identificadas por la CEAGUA Morelos. Fuente (CONAGUA, 2014).

### 5.2.3.2 SEQUÍAS EN LA CIUDAD DE CUERNAVACA

Uno de los factores que incrementan el impacto de las sequías son la falta de estrategias en los sectores afectados para actuar de manera preventiva, proactiva y post desastre ante este tipo de fenómeno climático, que es silencioso, que carece de una delimitación espacial claramente definida y generalmente se desconoce cuando inicia y termina (IMTA, 2014).

Recientemente, entre el 2010 y 2012, México sufrió la sequía más severa en los últimos 70 años,



abarcando el 80% de la República y afectando la economía de diferentes estados. En México, son los estados del norte los que más expuestos se encuentran, pero también han sido afectados estados del centro y sur (IMTA, 2014). La cuenca del Río Balsas, en donde se encuentra la ciudad de Cuernavaca, no ha sido la excepción; se han dado afectaciones económicas en dicha región, como pérdidas de cosechas y muerte de ganado, incrementando los precios en los productos agropecuarios en la zona urbana.

El Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía presenta una metodología para medir la vulnerabilidad del sector hídrico a través de indicadores sobre el uso y la gestión del agua. La evolución de los índices de vulnerabilidad ante la sequía en Cuernavaca se muestra a continuación:

*Tabla 25. Índices de vulnerabilidad ante la sequía en la ciudad de Cuernavaca. Fuente: (IMTA, 2014).*

ÍNDICES DE VULNERABILIDAD ANTE LA SEQUÍA EN LA CIUDAD DE CUERNAVACA			
INDICADOR	EVAL 2013	EVAL 2030	INTERPRETACIÓN
Grado de presión hidrológica	1.96	1.57	Un valor cercano a 0 es un valor crítico. Un valor mayor a 1 se considera que la presión sobre el acuífero está en un grado estable.
Sobreexplotación de acuíferos	0	0	Un valor igual a cero significa que no existe acuíferos explotados.
Volumen de agua residual tratada	0.93	0.7	Un valor cercano a 1 refleja poco volumen de agua tratada en comparación con el concesionario.

El estudio señala que mientras no se garantice un cambio en la tendencia del manejo del recurso para el año 2030, cuando se estima que la población llegará a los 390,708 habitantes, el rezago en el abastecimiento y saneamiento se incrementará, impactando la calidad de vida de los pobladores, así como en la calidad del líquido en el acuífero; incrementando la vulnerabilidad ante el impacto de futuras sequías. Cuernavaca es una de las ciudades que menos afectaciones por sequías meteorológicas han registrado, de hecho, las precipitaciones se encuentran cercanas al promedio o por encima de este (IMTA, 2014), pero debido a la mala gestión del recurso hídrico de la ciudad, es vulnerable a sequías operativas que pueden derivar en sequías socioeconómicas.

Debido a la inadecuada gestión del recurso hídrico por parte del organismo operador,



principalmente por las deficiencias de la infraestructura actual y financiera, la ciudad de Cuernavaca está propensa a sufrir, lo que el CENAPRED llama, sequías operativas. Recientemente el organismo operador de la ciudad (SAPAC), sufrió un corte de energía en equipos de bombeo de 37 pozos de un total de 97, debido a una deuda de más de 70 millones de pesos, dejando a 135 mil habitantes sin agua, cerca del 35 % de la población, conflicto que llegó a prolongarse por más de un mes.

Cuando se toca el tema de la sequía es correlativo a las condiciones en la que se encuentran las fuentes de abastecimiento. La ciudad de Cuernavaca se encuentra dentro del acuífero 1702 Cuernavaca, en donde la relación de extracción/recarga es de 3/5 aproximadamente, es decir, se extrae una cantidad menor a la que se recarga.

El Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) para la ciudad de Cuernavaca, declara en su documento: *“Es importante conocer la resiliencia de los centros urbanos pues en algunos casos éstos pueden resistir el impacto de la sequía sin perturbar el abasto hasta en algunos años”* (pág. 27).

#### 5.2.4 ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.

De la información recopilada se obtuvo la actualización de la disponibilidad media anual de agua del acuífero de Cuernavaca (1701) publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015. Este acuífero abarca los municipios de Cuernavaca, Huitzilac y Jiutepec, casi la totalidad de Emiliano Zapata y Temixco y parte de Miacatlán, Xochitepec y Tepoztlán.

Los estudios realizados con anterioridad son: *Estudio Geohidrológico de Evaluación Preliminar de la Zona de Cuernavaca en el Estado de Morelos* en el año de 1981 y uno en el año 2010 denominado *Actualización Geohidrológica de los Acuíferos Cuernavaca, Cautla-Yautepec, Tepalcingo-Axochiapan y Zacatepec, en el Estado de Morelos*.

El acuífero cuenta con tres decretos de veda, el primero llamado *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona no vedada del Estado de Morelos, para el mejor control de las extracciones, uso o aprovechamiento de aguas del subsuelo de dicha región”* data de 1973, rige la parte norte y suroeste, veda tipo II y solo permite extracciones para



uso doméstico.

En 1960 fue publicado el *“Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas de subsuelo, establecida en la zona del Estado de Morelos, según decreto de 1° de junio de 1960”*. Rige la parte sureste, veda tipo III, permite extracciones para uso doméstico.

El tercero publicado el 26 de marzo de 1962 denominado *“Decreto que amplía la zona de veda para alumbramientos de aguas del subsuelo, establecida en la zona del Estado de Morelos, según decreto de 1° de Junio de 1960”*, de veda tipo III, permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales y de riego y otros en la parte central del acuífero.

El cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas correspondiente al estudio de 2015, se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. La recarga total media anual para el acuífero es de 344.2 hm<sup>3</sup>/año, siendo 300.3 unidades de recarga natural y 43.9 hm<sup>3</sup> recarga inducida. La descarga natural comprometida es de 125.1 hm<sup>3</sup>/anual, 103 hm<sup>3</sup> son de descarga de manantiales comprometida para uso agrícola y 22.1 unidades por flujo subterráneo horizontal. El volumen concesionado es de 211,443,930 m<sup>3</sup>/año. Por lo que el volumen anual disponible es de 7,656,070 m<sup>3</sup> para nuevas concesiones.

El SAPAC solo cuenta con datos de volumen extraído en 2007 y 2008 con 76,925,554 m<sup>3</sup> y 76,541,396 m<sup>3</sup>, respectivamente, lo que representa una reducción del 0.5 %. Para el PMPMS, la CONAGUA tomó en consideración esta tendencia a la baja proyectando volúmenes para los siguientes 13 años. El volumen de extracción para 2017, basados en la proyección es de 73,169,094 m<sup>3</sup>. En el 2010 se proyectó una extracción de 75,778,809 m<sup>3</sup>, pero solo facturó el 50.44 % del volumen, lo cual genera problemas financieros para la institución (IMTA, 2014).

De acuerdo al número de tomas y al factor de hacinamiento, el organismo operador abastece al 87 % de la población, alrededor de 318,750 personas, dejando sin cobertura a cerca de 47,571 personas. Aunado a lo anterior, solo el 0.49 % de las tomas cuentan con un servicio de 24 horas. La dotación para cada habitante de la ciudad se estima en 480.38 l/hab/día de acuerdo al PIGOO. La Organización Mundial de la salud recomienda una dotación de 100 l/hab/día, como acceso óptimo para cubrir todas las necesidades del ser humano, es decir, consumo, saneamiento



personal, lavado de ropa, preparación de alimentos, higiene personal y limpieza del hogar (WHO, 2003).

#### 5.2.5 ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y ECOLÓGICO, DESARROLLO URBANO Y CÓDIGOS NORMATIVOS CON LOS QUE CUENTA LA CIUDAD.

El ordenamiento territorial es una herramienta diseñada para recuperar, mantener e incrementar el capital natural disponible. Representa un proceso para distribuir de manera equilibrada y sustentable a la población, así como las actividades económicas del territorio, su objetivo es incrementar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural. El programa de ordenamiento territorial es el instrumento dónde se especifican los lineamientos del modelo territorial deseable. El marco normativo mexicano rige al ordenamiento territorial en dos sectores, el urbano y el ambiental (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017).

Los programas de ordenamiento *ecológico* son procesos que buscan alcanzar un balance de las actividades productivas y la protección de los recursos naturales, mediante la regulación del uso del suelo, protegiendo el medio ambiente y promoviendo el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. El ordenamiento *urbano* tiene la finalidad de regular los asentamientos humanos, así como el mejoramiento, conservación, crecimiento y fundación de los centros de población y de los espacios urbanos.

Cuernavaca cuenta con dos instrumentos para el ordenamiento territorial ecológico, uno a nivel municipal denominado "*Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Cuernavaca*" (POET) creado en 2009 y el "*Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos*" (POEREM) de 2014. Para el ordenamiento territorial urbano el municipio cuenta con el "*Programa de Ordenación de Zona Conurbada Intermunicipal en su Modalidad de Centro de Población de Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco y Xochitepec*" (POZC) del año 2008. De acuerdo a la SEDATU, el número de años para considerar vigentes a este tipo de documentos son cinco desde su creación por lo que los instrumentos de ordenamiento con los que cuenta Cuernavaca como el POET y el POZC se encuentran desactualizados. Adicional a lo anterior, los instrumentos normativos ambientales y urbanos vigentes deben de actualizarse a las disposiciones de la nueva Ley General de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, la cual entró en vigor en noviembre del 2016.



La ciudad de Cuernavaca cuenta con un Reglamento de Construcción publicado en 1999 y reformado en diciembre de 2012, en general este reglamento da los lineamientos y disposiciones de las obras de construcción, instalación, modificación, ampliación, reparación y demolición, así como los usos, destinos y reservas de los predios de Cuernavaca. La aplicación correcta de la normatividad garantiza que las decisiones del diseño, construcción y operación de la infraestructura disminuya el riesgo. Este documento debe ser actualizado y complementado con sus respectivas Normas Técnicas Complementarias, ya que en algunos casos hace referencia a normas referentes a ciertos aspectos técnicos y estas no existen.

### 5.2.6 GENERACIÓN DE INFORMACIÓN FALTANTE.

Debido a que el *Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos* solo se encuentra disponible en formato pdf, se realizó la vectorización de la zona de estudio, debido a que es el único documento con información espacial sobre los riesgos ante fenómenos hidrometeorológicos en Cuernavaca. Esta información vectorizada es importante para obtener el mapa de nivel de impacto esperado para la zona de estudio; la metodología para obtener dicho mapa se describe en el apartado 3.2.10 MAPA DE NIVEL DE IMPACTO ESPERADO. A continuación, se presenta la tabla de los mapas vectorizados del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos para la ciudad de Cuernavaca, así como los mapas de inundaciones pluviales y sequía.

*Tabla 26. Mapas vectorizados del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos para la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos.*

NIVEL DE RIESGO POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS EN CUERNAVACA	
AMENAZA	RIESGO
Vulnerabilidad por fenómenos naturales	Alta
Inundación pluvial (figura 45)	Muy alto
Sequía (figura 46)	Alto
Granizadas	Muy alto
Heladas	Alto
Inundaciones fluviales	Muy alto

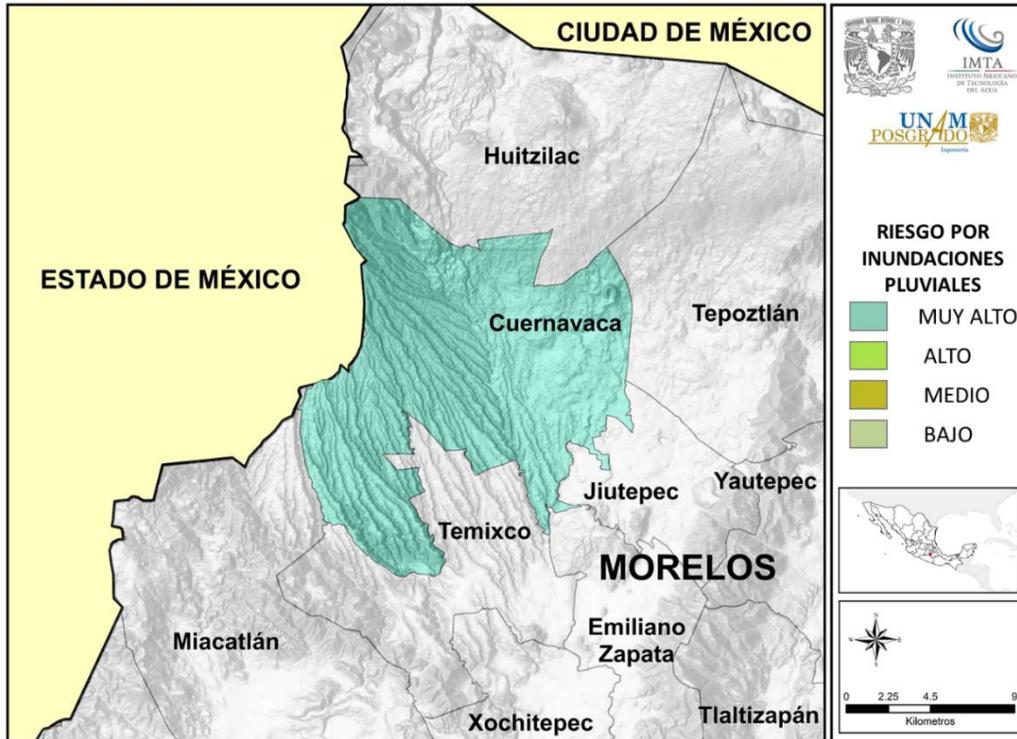


Figura 45. Riesgo por inundaciones pluviales en Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos.

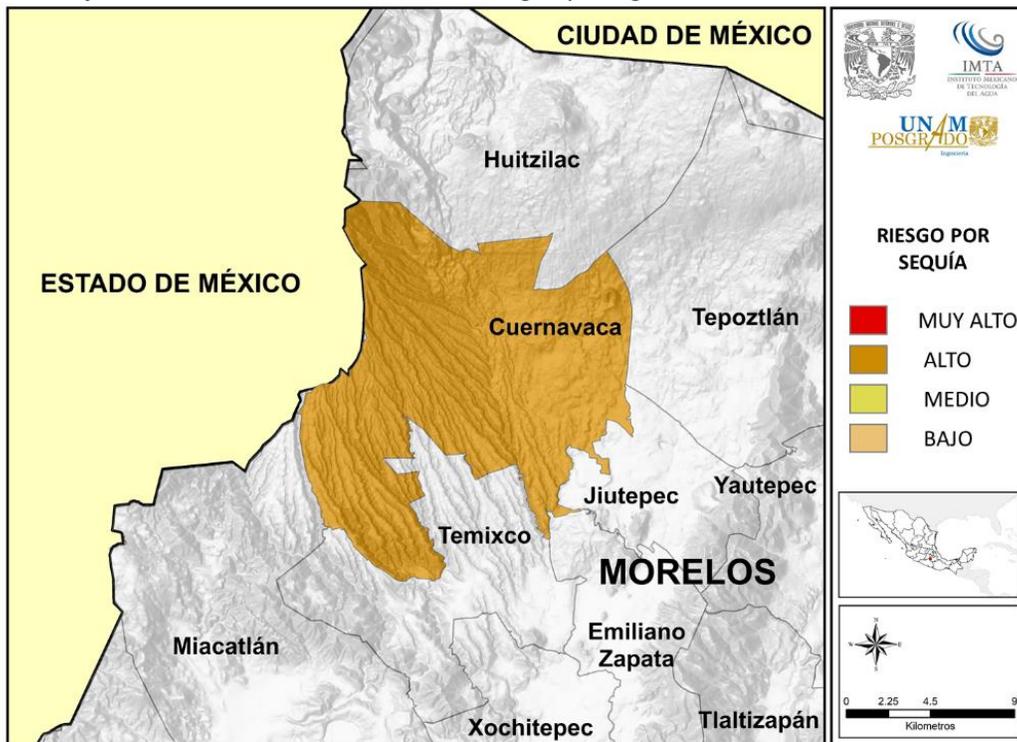


Figura 46. Riesgo por sequías en Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con información obtenida del Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos.



### 5.2.7 PROPUESTA DE MEDIDAS NO ESTRUCTURALES Y ESTRUCTURALES PARA INCREMENTAR LA RESILIENCIA EN CUERNAVACA.

En base a la información recopilada y del análisis llevado a cabo para conformar el perfil de resiliencia de la componente técnica de Cuernavaca, se proponen las siguientes medidas no estructurales y estructurales.

#### Medidas no estructurales:

1. Elaborar el atlas de riesgos hidrometeorológicos de la ciudad de Cuernavaca.
2. Llevar un registro histórico y actualizado de los impactos sociales y económicos de los eventos hidrometeorológicos.
3. Asignar mayor recurso a la Dirección de Protección Civil a nivel municipal que sea invertido en mejores instalaciones, adquisición de unidades y equipo, así como la contratación de personal capacitado y la actualización del que ya tiene experiencia.
4. Alinear los instrumentos de ordenamiento con la nueva Ley General de Asentamientos Humanos.
5. Medir las extracciones que realiza el organismo operador en el acuífero de la ciudad.
6. Disminuir la dotación (l/hab/día) a través de campañas de cultura del agua.
7. Ajustar las tarifas de acuerdo al costo del servicio y al consumo del usuario. Concientizar sobre el pago de tarifas.
8. Reubicar a los habitantes que están asentados en zonas de alto riesgo.

#### Medidas estructurales:

1. Desazolve y limpieza de cauces, cada año antes de la época de lluvias.
2. Estabilización lateral de cauces.
3. Invertir en modernización y mantenimiento de los pozos del organismo operador.
4. Invertir en mantenimiento para la infraestructura existente de la red de agua potable. Detección de fugas.
5. Reactivar pozos abandonados.
6. Incrementar el porcentaje de saneamiento de agua.
7. Incrementar la capacidad de drenaje de la red de alcantarillado pluvial.



## CAPITULO 6. RESULTADOS DE LA RESILIENCIA DE CUERNAVACA ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

### 6.1 NIVEL DE RESILIENCIA DE CUERNAVACA

La metodología del índice de resiliencia de la componente técnica aplicada a la ciudad de Cuernavaca dio como resultado 45.52 %, que de acuerdo a la tabla 13 corresponde a un nivel medio. El índice técnico de resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en la ciudad de Cuernavaca se resume de la siguiente manera:

*Tabla 27. Resultados de la evaluación de la resiliencia de la ciudad de Cuernavaca– componente técnica. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).*

ÍNDICE DE RESILIENCIA DE CUERNAVACA - COMPONENTE TÉCNICA			
INDICADOR	PESO	CALIFICACIÓN	PORCENTAJE DE LA CALIFICACIÓN RESPECTO AL PESO
A. Amenaza principal	-	Inundaciones y sequías operativas	-
1. Infraestructura	30.00	11.56	38.53
2. Programas de ordenamiento y códigos normativos	10.00	9.45	94.50
3. Evaluaciones del riesgo	10.00	5.50	55.00
4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)	10.00	3.00	30.00
5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias	10.00	0.00	0.00
6. Instituciones de reducción del riesgo de desastre (RRD)	10.00	3.33	33.30
7. Servicios vitales	20.00	12.68	63.40
B. Velocidad de recuperación	-	-	-
	100.00	45.52	

Los resultados fueron obtenidos del reporte de la interfaz del índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos (IRC) – componente técnica. Las calificaciones del índice, indicadores y sub indicadores nos permiten identificar las fortalezas y debilidades de la componente técnica de la ciudad de Cuernavaca. Del análisis de los resultados, se observa que los principales indicadores que ayudan a la calificación final son el indicador 2. *Programas de ordenamiento y códigos normativos*, el indicador 7. *Servicios vitales* y el indicador 1. *Infraestructura*. Todos los elementos que integran a los siete indicadores deben ser fortalecidos para alcanzar niveles de

resiliencia técnica más altos, especialmente el indicador 5. *Presupuesto asignado a la atención de emergencias*, 4. *Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)* y 6. *Institución de reducción del riesgo de desastre (RRD)*. Aunque el cálculo arroja una resiliencia de nivel medio, es importante aclarar, que la calificación es muy cercana a un nivel bajo y que si no se toman acciones correctivas, como la supervisión de las condiciones de la infraestructura existente y su mantenimiento o la elaboración de documentos como el *Atlas de Riesgo Municipal* y las respectivas adecuaciones y actualizaciones a los documentos existentes, la resiliencia media que presenta Cuernavaca para esta evaluación decrecerá a niveles inferiores en próximas evaluaciones.

Con las calificaciones de los indicadores se obtiene la gráfica radial (figura 47), la cual presenta una forma irregular debido al nivel medio alcanzado.

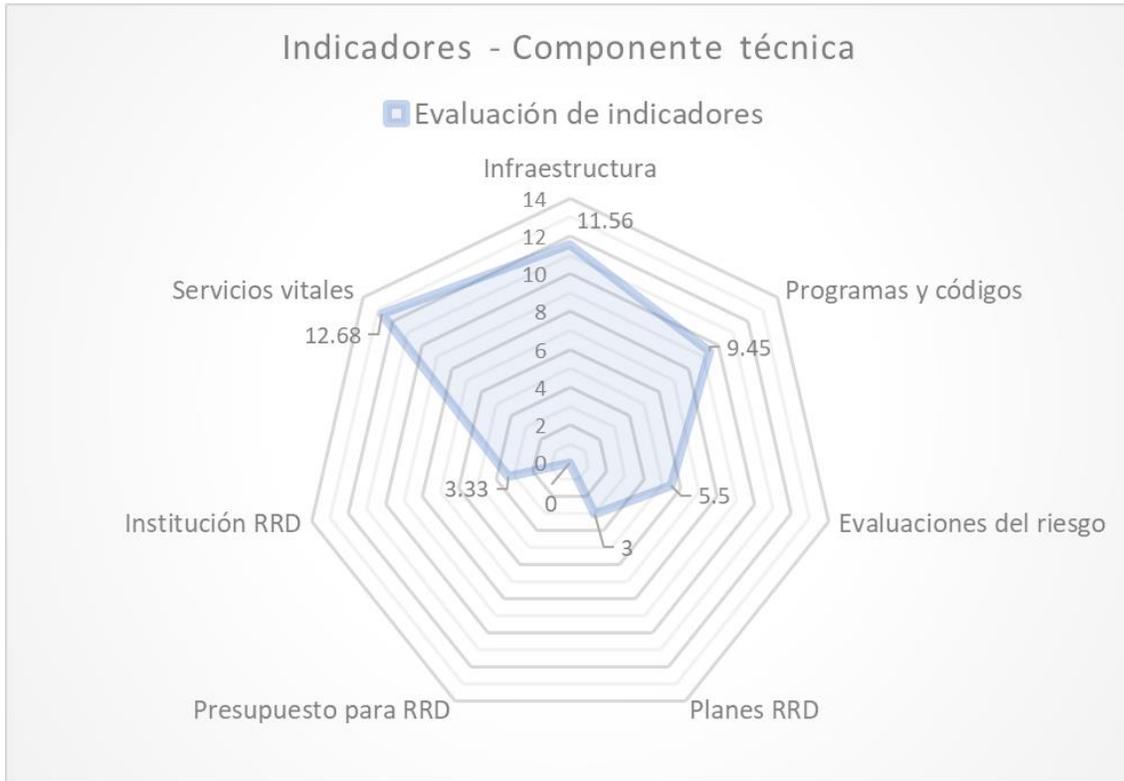


Figura 47. Gráfica de resultados de la evaluación para la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).

## 6.2 MAPAS DE RESILIENCIA

Con el resultado de la evaluación para la ciudad de Cuernavaca se obtuvo el siguiente mapa de resiliencia:

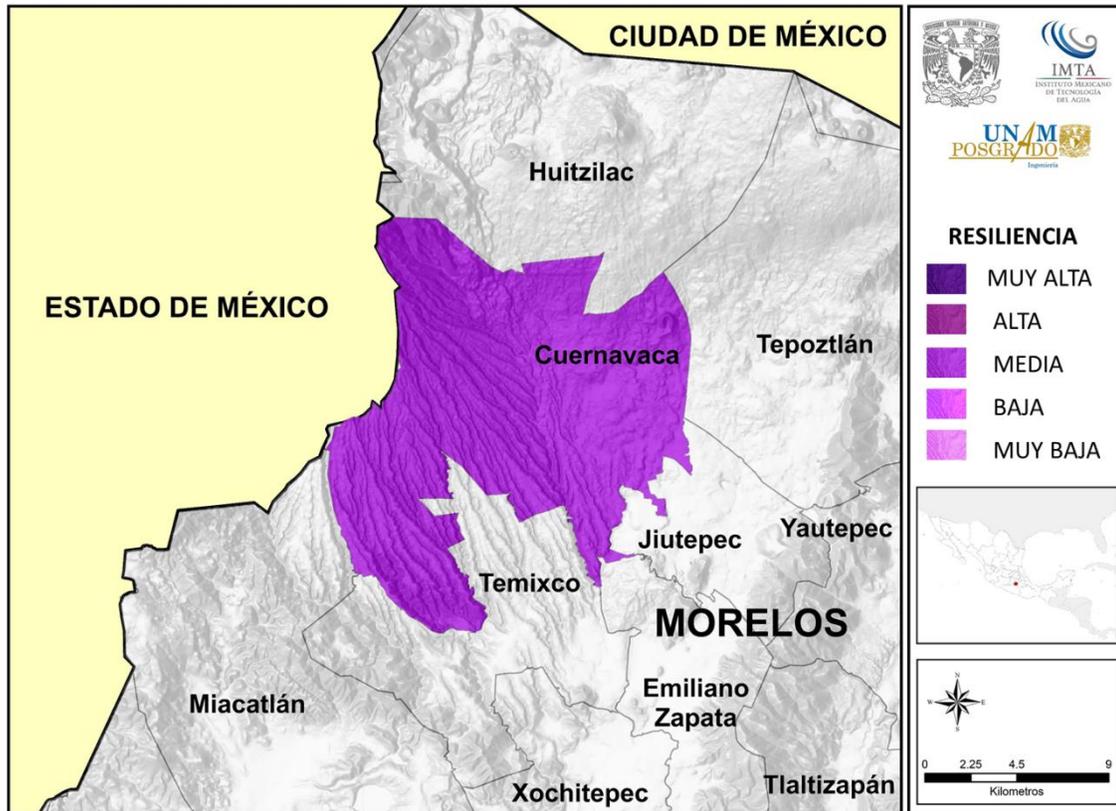


Figura 48. Mapa de resiliencia de la ciudad de Cuernavaca. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del sistema computacional del índice de resiliencia en ciudades (IRC).

Y se realizaron los ajustes al riesgo calculado en el *Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos*, de acuerdo a la matriz de la tabla 14. Por lo que, el riesgo muy alto ante inundaciones pluviales pasó a ser un riesgo alto, mismo caso para granizadas y para inundaciones fluviales.

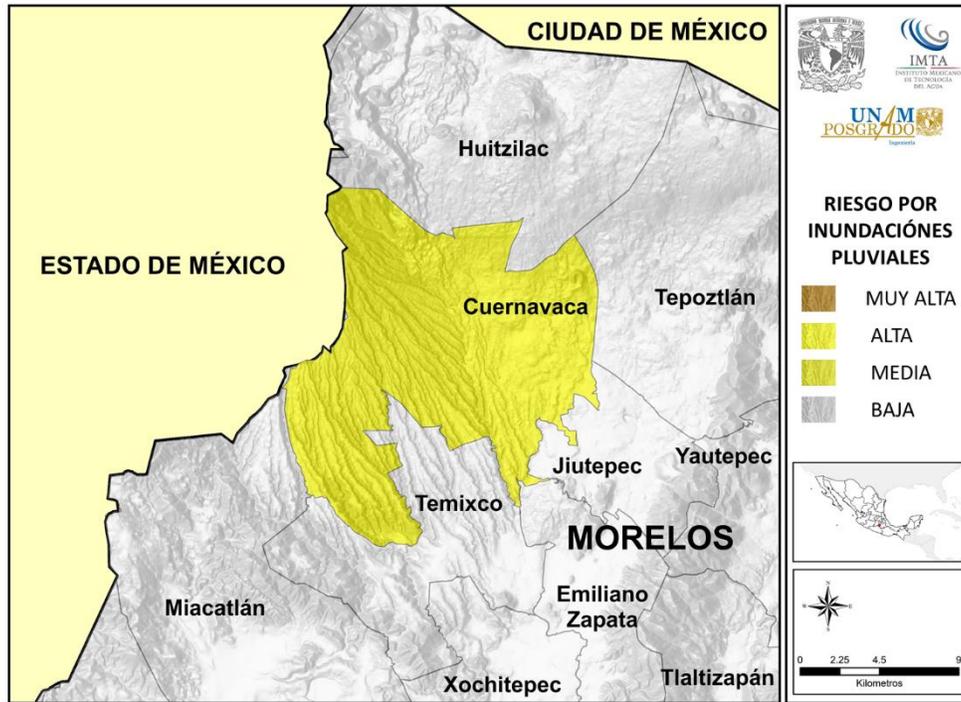


Figura 49. Mapa de riesgo por inundaciones pluviales ajustado de acuerdo al nivel de resiliencia. Fuente: Elaboración propia.

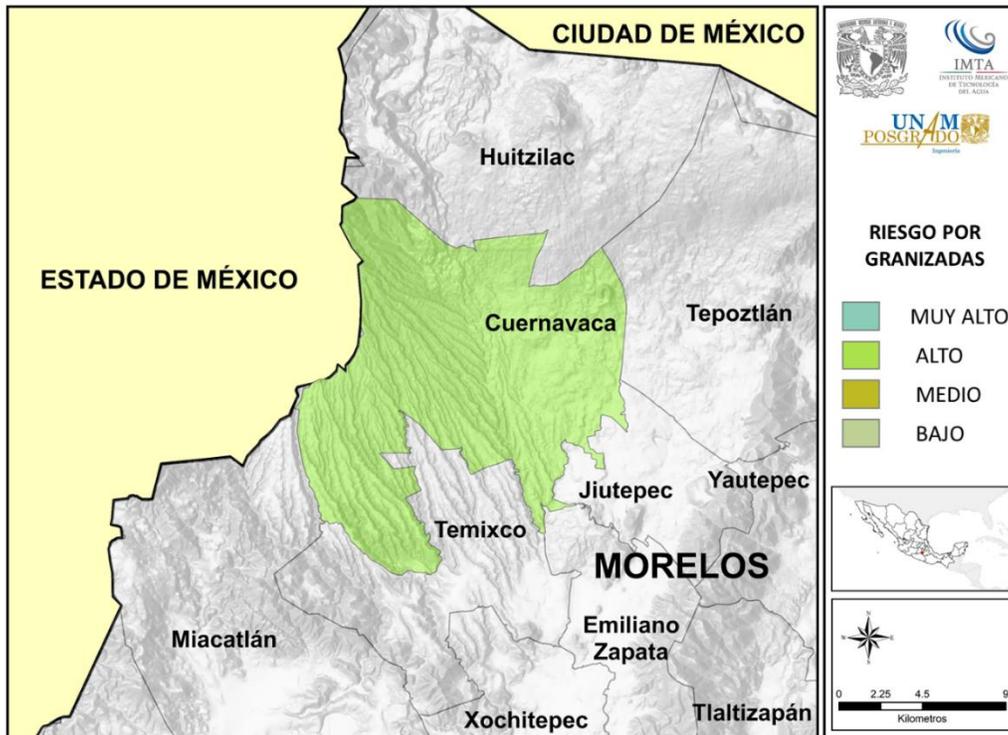


Figura 50. Mapa de riesgo por granizadas ajustado de acuerdo al nivel de resiliencia. Fuente: Elaboración propia.

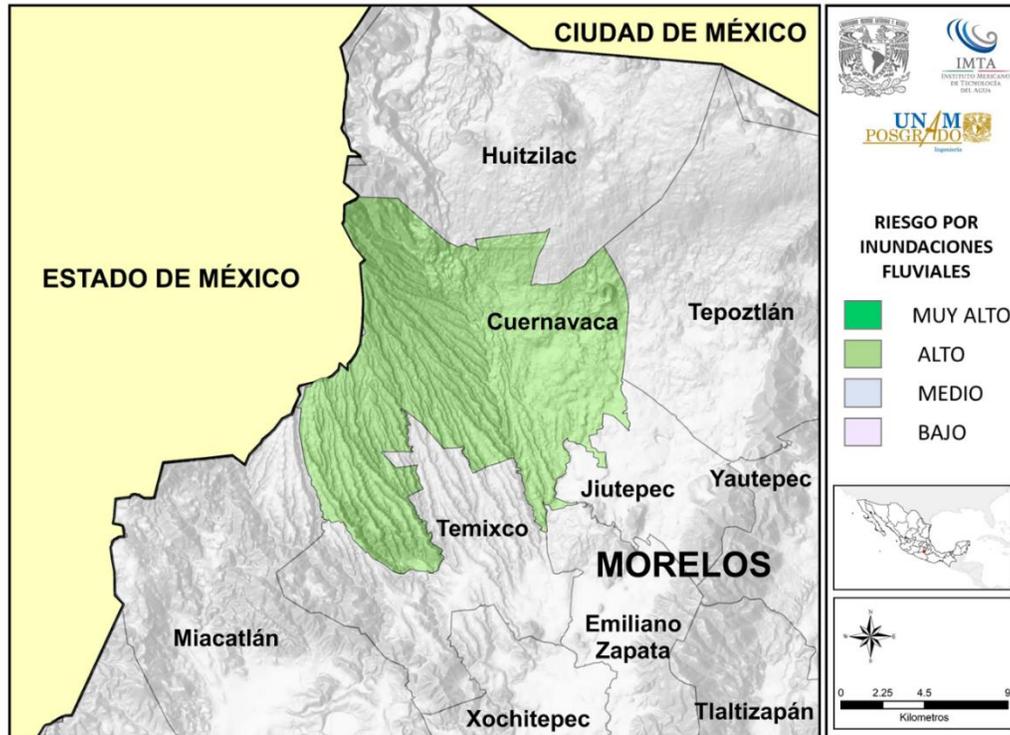


Figura 51. Mapa de riesgo por inundaciones fluviales ajustado de acuerdo al nivel de resiliencia.  
Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 COMENTARIOS FINALES

Los principales problemas ante fenómenos hidrometeorológicos que ha enfrentado, enfrenta y enfrentará la ciudad de Cuernavaca son las inundaciones, debido a la escasa planeación urbana, la invasión de zonas de regulación y estrangulamiento de corrientes naturales y los asentamientos no regulados; así como sequías operativas cada vez más frecuentes debido a la mala gestión del recurso hídrico. La población asentada en las laderas de las barrancas está expuesta a escorrentías de alta velocidad, así como a reblandecimientos de suelo y deslizamientos que ponen en riesgo a los habitantes, a las viviendas y a la poca infraestructura de servicios instalada en esas zonas.

En el caso de inundaciones, existe pocos esfuerzos por parte de las autoridades para mitigar sus impactos, generalmente estas inundaciones son pluviales en las principales vialidades de la ciudad generando caos vial. En el caso de las sequías, estudios realizados en el acuífero de Cuernavaca revelan que la ciudad presenta una saludable administración en cuanto a los recursos hídricos



explotados, pero se menosprecia los cada vez más recurrentes impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico y por lo tanto en la disponibilidad de los recursos hídricos, así mismo, existe el escenario que a futuro exista suficiente cantidad, pero no con la calidad suficiente. La mala gestión del recurso hídrico ha propiciado la existencia de sequías operativas derivando, en algunos casos, en sequías socioeconómicas. No existe una conciencia de las autoridades ni de la población en general sobre la importancia de la gestión integral del recurso hídrico de la ciudad, en dónde el sistema operador, trabaja en números rojos, y el sistema de drenaje ha sido superado por la intensidad de las tormentas que se presentan cada año. Existe un descuido en el sistema de saneamiento, ya que algunas de las plantas de tratamiento con las que cuenta la ciudad no están en operación, adicional a que el 100% de las PTAR solo tiene capacidad de sanear un pequeño porcentaje del agua que utiliza la ciudad.

La falta de presupuesto para el mantenimiento de la infraestructura existente y la ausencia de supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura, es otro de los problemas detectados. Estos dos puntos son importantes porque no basta con generar nueva infraestructura que incremente la resiliencia, sino que es necesario revisar su estado físico y analizar si es necesario llevar a cabo trabajos de mantenimiento con la finalidad de que se encuentre en condiciones óptimas, más aún ante el impacto de un FH, evitando una falla que derive en desastre.

Por otro lado, es importante considerar la generación de documentos que den lineamientos a las acciones que deben emprender las autoridades y la población, así como su actualización con base en las nuevas disposiciones del marco legal. Tal es el caso de los programas de ordenamiento territorial y ecológico de Cuernavaca los cuales deben ser actualizados de acuerdo a la nueva Ley General de Asentamientos Humanos. Los códigos normativos como el reglamento de construcción son importantes para que la construcción de nueva infraestructura esté acorde con las especificaciones técnicas y se reduzcan riesgos de falla por procedimientos constructivos incorrectos, por lo que no es un documento que se encuentra en condiciones de reglamentar las condiciones actuales del desarrollo de infraestructura

Las Naciones Unidas recomiendan que existan planes de reducción del riesgo de desastre que especifiquen que hacer antes, durante y después de una catástrofe, por lo que contar con planes de carácter proactivo, reactivo y post desastre son instrumentos para incrementar la resiliencia.



Cuernavaca solo cuenta con un plan reactivo, lo que provoca que las medidas que toman las instituciones relacionadas con la reducción del riesgo de desastre sean de corto plazo con la finalidad de subsanar de manera momentánea las situaciones de riesgo.

Para poder crear los planes correspondientes es necesario contar con información confiable, con registros sistemáticos homogéneos y comparables, históricos, mediciones, en general con datos que den la pauta de hacia donde deben de ir encaminados los planes, programas y estrategias que incrementen la resiliencia a corto y largo plazo. Cuernavaca carece de registros históricos de impactos socioeconómicos, así como de un atlas de riesgos, este es un punto importante ya que es requisito para acceder al Fondo de Desastres Naturales

Se encontró que en el presupuesto de Cuernavaca no se tienen contemplado recursos para protección civil por lo que esto disminuye la capacidad para prepararse de la ciudad, así como su capacidad de respuesta. Es importante que las autoridades tomen conciencia que invertir en la reducción del riesgo de desastre es garantizar que el desarrollo que se tenga en la ciudad permanezca y no se pierda ante el impacto de un fenómeno natural, por lo que se debe tener instituciones relacionadas con la reducción del riesgo del desastre bien preparadas, con personal capacitado, con equipo especializado y con unidades adecuadas.

Uno de los elementos más importantes para tener un nivel de resiliencia alto es el suministro de servicios básicos a la ciudadanía, como agua, luz, alcantarillado y saneamiento en cantidad y calidad suficientes. Garantizar el suministro de estos, garantizará resiliencia a largo plazo. Una ciudad con una administración sana en recursos hídricos es una ciudad con futuro, preparada para hacer frente a fenómenos de cualquier índole, como las sequías que son cada vez más frecuentes. Una ciudad sin agua es una ciudad destinada a desaparecer. Tanto las autoridades como la ciudadanía deben de asignarle el verdadero valor que tiene el agua, se debe de pagar lo que se consume, un pago justo y se debe consumir lo necesario, no en condiciones de desperdicio. El tema del agua debe ser un tema no politizado, las autoridades deben poner costos justos al suministro del agua y la ciudadanía debe analizar que invertir en un mejor servicio de abastecimiento de agua significa una mejor calidad de vida.



## CAPITULO 7. CONCLUSIONES

La metodología diseñada para determinar el nivel de resiliencia de la componente técnica de una ciudad, ante fenómenos hidrometeorológicos, se basó en el desarrollo de dos herramientas, la principal, el *índice de resiliencia* con un enfoque cuantitativo y una complementaria denominada *perfil de resiliencia*, con un enfoque cualitativo. El *índice* compuesto de nueve indicadores y 67 sub indicadores seleccionados cuidadosamente para evaluar la resiliencia, así como 52 funciones diseñadas para llevar a cabo su cálculo.

Una de las dudas que se tenían después de haber realizado la evaluación de Cuernavaca era si el resultado representaba la realidad. Por lo que se tomó como suceso de análisis los hechos ocurridos en la ciudad el 12 de julio de 2017, en dónde se produjo un socavón en la vialidad denominada *Paso Exprés*, debido al reblandecimiento de tierra por las lluvias presentadas en esas fechas, cobrando la vida de dos personas. Dicho acontecimiento evidenció el nivel de respuesta de las instituciones y la capacidad para atender este tipo de emergencias. Por lo que el nivel medio de resiliencia calculado para la ciudad de Cuernavaca va acorde a lo experimentado en este evento. La metodología planteada y las herramientas de evaluación diseñadas si representan un medio confiable para obtener el nivel de resiliencia de la componente técnica de las ciudades. Del resultado del *índice* y del análisis del *perfil* se pudieron identificar las debilidades de la ciudad ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, las cuales se mencionaron en el Capítulo V y VI.

La hipótesis planteada en este trabajo de investigación se cumple debido a que la metodología propuesta si representa de manera adecuada el nivel de resiliencia técnico de la ciudad en estudio. Dicha afirmación se comprobó con los acontecimientos recientes en la ciudad como el socavón del *Paso Exprés* y el *sismo* del 19 de septiembre de 2017. La resiliencia es un proceso dinámico por lo que el nivel de resiliencia calculado para Cuernavaca no es permanente y además tiende a una resiliencia *baja*; si se desea incrementar la resiliencia será necesario tomar acciones a la brevedad, algunas recomendaciones se comentan en el Capítulo VI.

El desarrollo de un sistema computacional como soporte para realizar el cálculo del índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos permite a las instituciones



gubernamentales y no gubernamentales llevar a cabo un análisis de la resiliencia técnica de la ciudad en donde se aplique, para identificar fortalezas y debilidades, por lo que es un instrumento valioso para los tomadores de decisiones. Toda herramienta puede ser perfectible, y en este caso el IRC, puede evolucionar a una herramienta que considere todas las componentes de la resiliencia que permita llevar a cabo una evaluación integral desde el punto de vista técnico, económico, social, político y ambiental.

Este trabajo de investigación, confirmó que los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos son las principales amenazas de origen natural para las ciudades y que históricamente son los eventos que mayores pérdidas ocasionan a nivel mundial y en México. Esta tendencia se incrementará debido al cambio climático: investigadores coinciden que se está teniendo una variación en la intensidad y frecuencias de estos fenómenos debido a este. En 2015 las sequías superaron a las inundaciones como el fenómeno de mayor impacto y esta situación será patente en el futuro.

La resiliencia es un concepto que cambiará la forma tradicional de ver el riesgo, al transitar de una mentalidad reactiva a una proactiva, al considerar la gestión del riesgo como una inversión para un desarrollo integral. Debe existir un consenso sobre lo que engloba un ente resiliente y qué características debe cumplir. Organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, internacionales, nacionales y locales coinciden en que es fundamental crear resiliencia en las ciudades para reducir la probabilidad de catástrofes y evitar que el riesgo se convierta en desastre. La resiliencia es una solución para disminuir este tipo de pérdidas en el entendido que el riesgo cero no existe. En los próximos años se tendrán densas concentraciones urbanas que potencializarán los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos, por lo que la probabilidad de pérdidas socioeconómicas se elevará exponencialmente. Las características que acompañan a la resiliencia (resistencia, adaptación, recuperación y preparación), la hacen idónea para poder crear ciudades más seguras, eficientes y dinámicas.

Tres temas se deben resolver en las ciudades, uno es la urbanización que debe ser adecuada y bien planeada, otro es la sostenibilidad y uno más que es la resiliencia, pensando en las crisis que enfrentan las urbes. Si se atienden estos tres ejes, se podrán construir ciudades seguras, dinámicas, inteligentes, funcionales y estéticas, con capacidad de enfrentar las crisis que se presenten en los diferentes sectores, principalmente en el tema de seguridad hídrica al tener como principio que una



ciudad con agua es una ciudad con futuro; por lo que la reutilización del agua y la captación de agua pluvial son y serán temas recurrentes para dar sostenibilidad y resiliencia a las ciudades, así como generar valor en ellas. Se deberá estar preparados para las próximas décadas pues se espera que habrá mayor estrés hídrico, en dónde la demanda superará a la oferta.

En el último año, instituciones de todos los niveles y sectores, a nivel mundial, han invertido recursos en el desarrollo de ciudades resilientes, por lo que el diseño de instrumentos de medición de resiliencia es importante para conocer hacia dónde deben ser dirigidas las estrategias de construcción e incremento de resiliencia y medir también si las implementaciones de estas generan el resultado deseado.

Estas estrategias deben contemplar el desarrollo de infraestructura multipropósito y sostenible, es decir, que una inversión nos permita resolver varios problemas a la vez desde la perspectiva social, económica y ambiental. El desarrollo de infraestructura debe garantizar resiliencia a largo plazo, así como las decisiones de diseño, ubicación y operación de la misma. Infraestructura mal planeada, mal construida y mal operada lleva a la construcción de riesgo. Los proyectos de desarrollo de las ciudades deben incluir el riesgo ante fenómenos hidrometeorológicos y ante el cambio climático, para dar certeza a las inversiones que se están realizando.

Los desastres no solo dañan los sistemas y la infraestructura existente, crean un rezago en el desarrollo, aletargan el proceso de crecimiento, crean fuga de inversiones, demandan recursos; algunos países tardan décadas en recuperar el nivel de funcionamiento que tenían antes del desastre. Incrementar la resiliencia de las ciudades reducirá las pérdidas humanas y económicas, permitirá que el desarrollo alcanzado en los países no se pierda. Reducir el riesgo de desastre atraerá nuevas inversiones e impulsará el desarrollo.

Las urbes tienen la necesidad de crear resiliencia en ciudades, tanto en aquellas que están altamente expuestas al impacto de este tipo de fenómenos como aquellas que no presentan, todavía, impactos severos por fenómenos hidrometeorológicos en la actualidad, pero que dicha estabilidad no está garantizada para un futuro inmediato. El que algunas ciudades tengan cierta estabilidad en la actualidad, no garantiza que en el futuro próximo cuenten con las mismas condiciones, considerando los factores del cambio climático y la creciente concentración de población en zonas



urbanas con escasa planeación, que demandará mayor cantidad de recursos hídricos, mayor alimento y mayor cantidad de área para asentarse, propiciando la generación de nueva infraestructura.

México es un país históricamente eficiente para atender emergencias desde una perspectiva reactiva, lo que lo ha llevado a gestionar el desastre y no el riesgo. Por lo que debe transitar a una organización proactiva que le permita gestionar integralmente el riesgo. Debe existir mayor inversión en la elaboración de planes que incrementen la resiliencia de los centros urbanos, que delineen las acciones que se deben implementar para disminuir las pérdidas por fenómenos naturales. Las autoridades de los tres niveles de gobierno deben estar conscientes que las acciones que emprendan en el presente garantizarán bienestar en el futuro y que las acciones de sostenibilidad que se dejen de hacer encaminan a un futuro incierto. Con la implementación de programas como el PRONACOSE y el PRONACCH, nuestro país camina hacia una actitud proactiva y resiliente.



## BIBLIOGRAFÍA

- Actualidad RT. (Enero de 2016). Ucrania: Un tren de alta velocidad se "congela" debido a las bajas temperaturas.
- Advancing Science, Serving Society. (2015). *What We Know. The reality, risks, and response to climate change*. Rhode Island: Advancing Science, Serving Society.
- Albanil, E. A., Pascual, R. R., López, Q. M., Chablé, P. L., & Quiroz, A. C. (2015). *Reporte del Clima en México*. Coordinación General Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Meteorología y Climatología. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Obtenido de <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2015.pdf>
- AMIS. (Marzo de 2017). *Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros*. Obtenido de [http://www.amis.com.mx/amis/reportes\\_resultados.html](http://www.amis.com.mx/amis/reportes_resultados.html).
- Aparicio, M. F. (2015). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Ciudad de México: Limusa. Recuperado el 11 de Agosto de 2016
- Arregín Cortés, F. (29 de Febrero de 2016). Aguas Subterráneas. (J. Solórzano, Entrevistador) Once Noticias. Ciudad de México. Recuperado el 29 de Febrero de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=GiS74q5qEZ4>
- Arreguín Cortés, F. (2016). Resiliencia y ciudades sostenibles. *Alternativas verdes. Ciudades sustentables* (pág. 20). Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos.
- Arreguín Cortés, F. (2017). Vulnerabilidad hídrica en México. *Foro Seguridad Hídrica y Gestión del Riesgo de Desastre*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Arreguín et al. (2016b). La política pública contra la sequía en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 63-76.
- Arreguín, C., López, P., & Marengo, M. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(5), 5-13.
- Arreguín, C., López, P., Ortega-Gaucin, D., & Ibañez, H. (2016). La política pública contra la sequía en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(5), 63-76.
- Arreguín, F. C., & García, E. R. (2014). Índices de Vulnerabilidad a la Sequía en la Cuenca del Río Bravo. (F. I. Arreguín Cortés, Ed.) *Avances en la Hidráulica*, 381. Recuperado el Febrero de 2016, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/7043>
- Ayyoob, S. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological Indicators*, 629-647.
- Ayyoob, S., & Yamagata, Y. (2016). On the suitability of assessment tools for guiding communities towards disaster resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*(18), 115-124.
- BANAMEX. (2017). *Indicadores Regionales de Actividad Económica*. Ciudad de México: Grupo Financiero Banamex.



- Barakat, F., & Handoufe, A. (1998). *Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. Sécheresse*, 201-8.
- Breña, P. A. (2004). *Precipitación y Recursos Hidráulicos en México*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado el Julio de 2016, de <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/precipitacion/PRHMO4-libro.pdf>
- CENAPRED. (2006). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la republica mexicana en el año 2005*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2008). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la republica mexicana en el año 2007*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2011). *Características e Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la Republica Mexicana en el Año 2010*. Secretaria de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: CENAPRED. Recuperado el febrero de 2016, de [http://www.cenapred.unam.mx:8080/PublicacionesWeb/buscar\\_buscaSubcategoria.action](http://www.cenapred.unam.mx:8080/PublicacionesWeb/buscar_buscaSubcategoria.action)
- CENAPRED. (2014). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la republica mexicana en el año 2013*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2015). *Impacto Socioeconómico de los Desastres en México*. Secretaria de Gobernación. Ciudad de México: Coordinación Nacional de Protección Civil. Recuperado el 31 de octubre de 2016
- CENAPRED. (2015). *Índice de Resiliencia a Nivel Municipal*. Ciudad de México: Sistema Nacional de Protección Civil. Recuperado el Septiembre de 2016, de <http://www.anr.gob.mx/Descargas/Methodologias/Resiliencia.pdf>
- CENAPRED. (2016). *Características e Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la Republica Mexicana en el Año 2010*. Secretaria de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: CENAPRED. Recuperado el febrero de 2016, de [http://www.cenapred.unam.mx:8080/PublicacionesWeb/buscar\\_buscaSubcategoria.action](http://www.cenapred.unam.mx:8080/PublicacionesWeb/buscar_buscaSubcategoria.action)
- CENAPRED. (2017). *Atlas Nacional de Riesgos*. Ciudad de México: CENAPRED.
- CENAPRED. (2017). *Impacto Socioeconómico de los Desastres en México durante 2016*. Secretaria de Gobernación. Ciudad de México: Sistema Nacional de Protección Civil. Recuperado el 31 de octubre de 2016
- Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM. (s.f.). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. (J. R. García Barrios, M. G. Torres Gómez, & F. Jaramillo Monroy, Edits.) Recuperado el 2 de Agosto de 2016, de [http://www.inecc.gob.mx/http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/pon\\_barranca\\_cuernavaca.pdf](http://www.inecc.gob.mx/http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/pon_barranca_cuernavaca.pdf)
- CEPAL. (2009). *Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.



- Chicago Tribune. (27 de Febrero de 2014). Cientos sin agua por tuberías congeladas en Chicago.
- CONAGUA. (2014). *Evaluación del riesgo de inundación a través del cálculo del DAE municipal-regional (RH), y elaboración de tres programas de prevención contra contingencias hidráulicas para tres ciudades/cuenca prioritarias CNA-SGT-GASIR-07/2014*. Cuernavaca: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2014). *Guía de elaboración para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento*. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2014). *PRONACOSE*. Ciudad de México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2017). *Cuenta oficial de twitter de la Comisión Nacional del Agua*. Recuperado el 17 de Octubre de 2017
- Constantino, R., & Dávila, H. (2011). Una aproximación a la vulnerabilidad y la resiliencia ante eventos hidrometeorológicos extremos en México. *Política y Cultura*(36), 15-44.
- Contreras, M. T., & Mora, P. V. (2009). *Barrancas Urbanas de Cuernavaca*. Cuernavaca: H. Ayuntamiento de Cuernavaca.
- CRED. (2016). *Annual Disaster Statistical Review 2015*. Brussels: Institute of Health and Society.
- DESINVENTAR. (2017). *DESINVENTAR.org*. Obtenido de <http://www.desinventar.org/es/>: <http://www.desinventar.org/es/>
- Discovery Channel, C. (Dirección). (2012). *Sabiduría y antigüedad. Los japoneses* [Película].
- Doswell III, C. (2003). *Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Severe Storms* (Vol. 5). (J. R. Holton, J. A. Curry, & J. A. Pyle, Edits.) España: Elsevier Science. Recuperado el Febrero de 2016
- Doswell III, C. A. (2003). *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (Vol. 2). (J. R. Holton, J. A. Curry, & J. A. Pyle, Eds.) España: Elsevier Science. Retrieved Febrero 2016
- El Diario de Juárez. (10 de Diciembre de 2011). Pistas congeladas en el aeropuerto retrasan vuelos.
- El Financiero. (13 de Enero de 2016). Así fue la nevada en la Ciudad de México. *El Financiero*, 1. Recuperado el Agosto de 2016, de <http://www.elfinanciero.com.mx/nacional/la-ciudad-de-mexico-se-pinta-de-blanco.html>
- El Financiero. (07 de Septiembre de 2017). Los 7 huracanes más devastadores que han golpeado a México.
- El País. (09 de Febrero de 2015). El frío congela el embalse de Navacerrada.
- El País. (27 de Febrero de 2015). Sao Paulo se ahoga en la peor sequía del último siglo.
- EL UNIVERSAL. (03 de Febrero de 2011). Frío truena 2 mil 500 medidores de agua en Saltillo.
- El Universal. (Agosto de 2015). Sequía. Cinco años sin lluvia en Baja California.
- El Universal. (30 de Agosto de 2017). Captan encharcamiento en pistas del AICM.



- El Universal. (28 de Julio de 2017). Lluvia y granizo causan inundaciones en Guadalajara.
- Escalante, S. C., & Reyes, C. L. (1998). Identificación y análisis de las sequías en la región hidrológica No. 10, Sinaloa. *Ingeniería Hidraulica en México*, 13. Recuperado el Agosto de 2016, de [https://www.imta.gob.mx/tyca/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=282&category\\_id=58&option=com\\_virtuemart&Itemid=68&lang=es](https://www.imta.gob.mx/tyca/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=282&category_id=58&option=com_virtuemart&Itemid=68&lang=es)
- Eslava, M. H. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, Riesgos hidrometeorológicos, Precipitación Pluvial y Tormentas de Granizo*. Secretaría de Gobernación, Coordinadora General de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Marzo de 2016, de <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieEspecial/diagnostico.pdf>
- Estrela, M. T. (2006). La gestión de las sequías en España. *I.T. N° 74*, 52-57.
- Excelsior. (01 de Septiembre de 2017). "Lidia" azota a BCS; causa estrago en San José del Cabo - Tormeta "Lidia" deja 4 muertos; BCS y Sinaloa en peligro máximo.
- Farreras, S., Domínguez, M. R., & Gutiérrez, M. C. (2005). *Serie Fascículos, Tsunamis*. Secretaria de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el 11 de Agosto de 2016
- García, B. R. (2008). *Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano*. Unidad de Apoyo a la Investigación en Facultades y Escuelas, Secretaria de Desarrollo Institucional. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 17 de Agosto de 2016, de [http://campus.iztacala.unam.mx/mmrg/mega/info/info\\_FINAL2008/info\\_2005\\_2008\\_EXT ENSO.pdf](http://campus.iztacala.unam.mx/mmrg/mega/info/info_FINAL2008/info_2005_2008_EXT ENSO.pdf)
- García, F. J. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. Secretaría de Gobernación, Coordinación General de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Marzo de 2016, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/8-FASCCULOSEQUAS.PDF>
- García, F. J., Fuentes, Ó. M., & Matías, L. R. (2014). *Serie Fascículos, Sequías*. Secretaría de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Enero de 2016, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/8-FASCCULOSEQUAS.PDF>
- Gere, J., & Goodno, B. (1972). *Mecánica de materiales*. Stanford: Universidad de Stanford.
- Gobierno del Estado. (2012). *Programa de Ordenamiento de la Zona Conurbada Intermunicipal*.
- Gobierno del Estado. (2016). *Diagnóstico Municipal 2015*. Cuernavaca: Secretaria de Hacienda de Gobierno del Estado de Morelos.
- Gobierno del Estado de Morelos. (2008). *Programa de Ordenación de Zona Conurbada Intermunicipal de Centro de Población de Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco y Xochitepec*. Cuernavaca: Secretaria de Desarrollo Social.



- H. Ayuntamiento Cuernavaca. (2007). *Saneamiento*. Secretaría de Servicios Públicos y Medio Ambiente, Cuernavaca. Recuperado el Diciembre de 2015, de <https://drive.google.com/drive/folders/OB1MWWiokjabgdWlzeVpqbVNFbFU>
- H. Ayuntamiento Cuernavaca, 2016. (s.f.). Datos estadísticos.
- Holling, C. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1-23.
- IFRC. (Diciembre de 2015). *Annual report 2014*. Geneva: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. Recuperado el 9 de Agosto de 2016, de Annual report 2014: [http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201601/1296700-IFRC%20Annual%20Report%202014-EN\\_LR.pdf](http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201601/1296700-IFRC%20Annual%20Report%202014-EN_LR.pdf)
- IMT. (2001). *Modulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares*. Sanfandila, Qro.: Secretaria de Comunicaciones y Transporte.
- IMTA. (2014). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía*. Jiutepec: SEMARNAT.
- IMTA. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante cambio climático*. Jiutepec, Mor: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cuernavaca, Morelos*. México: INEGI.
- INEGI. (2014). Construcción de un índice. *Reality, Data and Space. International Journal of Statistics and Geography*, 104-115.
- INEGI. (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2015*. Aguascalientes: INEGI.
- INEGI. (2015). Distribución de la población por tamaño de localidad y su relación con el medio ambiente. En M. Cervera Flores , & J. Rangel González (Ed.), *Seminario-taller "Información para la toma de decisiones: Población y Medio Ambiente"*. Ciudad de México.
- INEGI. (2016). *Panorama sociodemográfico de Morelos 2015*. Cuernavaca: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2016). *Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015. Morelos*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jímenez, E. M., Matías, R. L., Fuentes, M. Ó., & Prieto, G. R. (2014). *Serie Fascículos, Ciclones Tropicales*. Secretaria de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Febrero de 2016, de <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/5-FASCCULOCICLONESTROPICALES.PDF>
- Maliva, R., & Missimer, T. (2012). *Arid Lands Water Evaluation and Management*. Springer.
- Marks, F. (2003). Hurricanes. En J. R. Holton, J. A. Curry, & J. A. Pyle, *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (págs. 942-965). España: Elsevier Science. Recuperado el Febrero de 2016



- Matías, R. L., Fuentes, M. Ó., & García, J. F. (2001). *Serie Fascículos, Heladas*. Secretaría de Gobernación, Coordinación General de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Enero de 2016, de <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieFasciculos/heladas.pdf>
- Matthai, H. (1979). *Hydrologic and Human Aspects of the 1976-77 Drought*. Whashington: United States Government Printing Office.
- McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Anaheim: Eighth Conference on Applied Climatology.
- Méndez, R. (2011). Ciudades y metáforas: sobre el concepto de resiliencia urbana. *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*, 215-231.
- Milenio. (2015). Helada y nieve en la autopista México - Puebla. *Milenio*, 1. Recuperado el 31 de Agosto de 2016, de [http://www.milenio.com/estados/Nevada\\_carretera\\_Mexico-Puebla-nevada\\_Puebla-nevada\\_Ixtapaluca-Mexico-Puebla\\_5\\_480001998.html](http://www.milenio.com/estados/Nevada_carretera_Mexico-Puebla-nevada_Puebla-nevada_Ixtapaluca-Mexico-Puebla_5_480001998.html)
- Milenio. (18 de Julio de 2016). Lluvias en Interlomas y Santa Fe cuasa deslaves e inundaciones.
- Monroy, O. R. (2006). El agua en Cuernavaca. La ruta de la insustentabilidad. *Economía informa*, 46.57.
- Naciones Unidas. (2012). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. (pág. 3). Río de Janeiro: ONU. Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de [http://www.un.org/es/sustainablefuture/pdf/Rio+20\\_FS\\_DisasterResilience\\_SP.pdf](http://www.un.org/es/sustainablefuture/pdf/Rio+20_FS_DisasterResilience_SP.pdf)
- NOAA. (2012). *The Saffir - Simpson Hurricane Wind Scale*. NOAA.
- OCDE. (2008). *Hanbook on Constructing Composite Indicators*. París: European Commission.
- OECD. (2017). *Climate-resilient infrastructure: Getting the polices right*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Oficina de Resiliencia CDMX. (2016). *Estrategia de Resiliencia de la CDMX*. Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente.
- ONU-Agua. (Diciembre de 2010). *Programa de ONU-Agua para la promoción y la Comunicación en el marco del Decenio*. Recuperado el 9 de Agosto de 2016, de Naciones Unidas.
- ONU-AGUA. (2015). *Agua y desarrollo sostenible*. Ginebra: ONU.
- ONU-HABITAT. (2016). *Urbaization and development. Emerging Futures*. Ginebra: ONU.
- ONU-HABITAT. (2017). *ONU-HABITAT. POR UN MEJOR FUTURO URBANO*. Obtenido de [es.unhabitat.org](http://es.unhabitat.org): <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/resiliencia/>
- Oroville Forensic Investigation. (2017). *Preliminary findings concerning candidate physical factors potentially contributing to damage of the service and emergency spillways at Oroville dam*. Oroville Dam Spillway Incident Forensic Investigation Team.



- Ortega-Gaucin, D. (2014). Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera Norte*, 141-148.
- Ortega-Gaucin, D., Mejía, S. E., Palacios, V. E., Rendón, P. L., Exebio, G. A., & QUITAR, Q. Q. (2006). *Modelo de optimización de recursos para un distrito de riego*. Terra Latinoamericana.
- Parsons, M., Glavac, S., Hastings, P., Marshall, G., McGregor, J., McNeill, J., . . . Stayner, R. (2016). Top-down assessment of disaster resilience: A conceptual framework using coping and adaptive capacities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 11. doi:10.1016/j.ijdr.2016.07.005
- Pereyra, D. D., Beltrán, C. S., Tiscareño, L. M., & Pérez, S. J. (Diciembre de 2009). Periodo libre de heladas para el Estado de Aguascalientes y su relación con El Niño. *Investigación y Ciencia*(45), 12. Recuperado el Septiembre de 2016, de <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista45/Articulo%202.pdf>
- PNUD. (2014). *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología*. Ciudad de México: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2015). *Informe sobre Desarrollo Humano 2015*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de [http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_2015\\_report\\_sp.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2015_report_sp.pdf)
- Prieto, G. R., Avendaño, G. M., Matías, R. L., & Eslava, M. H. (2014). *Serie Fascículos, Tormentas Severas*. Secretaría de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Enero de 2016, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF>
- PRONACOSE. (2014). *Programa Nacional Contra la Sequía*. Ciudad de México: CONAGUA.
- Rockefeller, & ARUP. (2016). *City Resilience Index*. Londres: ARUP.
- Rosengaus, M. M. (2007). Impactos de los Ciclones Tropicales en la Cuencas de México. En *Las Cuencas Hidrográficas de México* (págs. 32-37). Obtenido de <http://cuencas.inecc.gob.mx/cuenca/diagnostico/08-impacto-ciclones.pdf>
- Rosengaus, M. M., Jiménez, E. M., & Vázquez, C. M. (2014). *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*. Secretaría de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. Ciudad de México: Centro. Recuperado el Mayo de 2016, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>
- Salas, S. M. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, Riesgos hidrometeorológicos, Inundaciones*. Secretaria de Gobernación, Coordinación General de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Marzo de 2016
- Salas, S. M., & Jiménez, E. M. (2014). *Serie Fascículos, Inundaciones*. Secretaria de Gobernación, Coordinación Nacional de Protección Civil. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Enero de 2016, de <http://www.cenapred.gob.mx/>



<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>

Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2014). *Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos*. Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos.

Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2017). *Planeación Territorial*. Obtenido de <http://sustentable.morelos.gob.mx/categoria/temas/pt/ordenamiento-territorial>.

Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz. (2013). *Tormenta de granizo, "Granizada"*. Xalapa: Gobierno del Estado de Veracruz. Recuperado el 1 de Septiembre de 2016, de [http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/swbcalendario\\_ElementoSeccion/720/RECOM...\\_POR\\_GRANIZADAS.PDF](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/swbcalendario_ElementoSeccion/720/RECOM..._POR_GRANIZADAS.PDF)

SEDEMA. (2015). *Creación de Capacidades y Política Pública para la Construcción de Resiliencia en la Infraestructura Urbana e Inmobiliaria de la Ciudad de México*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.

Sharifi, A. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological Indicators*, 629-647.

SINAPROC. (2007). *Atlas de Riesgos y Peligros del Estado de Morelos*. Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos.

The National Academies. (2012). *Disaster Resilience: A National Imperative*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. (2012). *Disaster Resilience: A National Imperative*. Washington: National Academy of Sciences.

UAEM. (2007). *Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Cuernavaca*. Cuernavaca: UAEM.

UN - Habitat. (2012). *STATE OF THE WORLD'S CITIES 2012/2013*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme. Recuperado el 7 de Octubre de 2016, de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/745habitat.pdf>

UN DESA. (2014). *World Urbanization Prospects*. New York: United Nations Secretariat, Department of Economic and Social Affairs. Recuperado el 7 de Octubre de 2016, de <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>

UN Water. (2015). *Agua para un mundo sostenible*. Colombella: ONU.

UNAM. (2011). *Relaciones de sistemas de alcantarillado con cauces y barrancas en la ciudad de Cuernavaca, Morelos*. Ciudad de México: Facultad de Ingeniería.

UNAM. (2011). *Relaciones de sistemas de alcantarillado con cauces y barrancas en la ciudad de Cuernavaca, Morelos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

UNISDR. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Ginebra: Naciones Unidas.



- UNISDR. (2012). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes*. Ginebra: La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- UNISDR (Dirección). (2012). *El Poder del Saber* [Película].
- Uno TV. (28 de Julio de 2017). Lluvia y granizada causan caos en Guadalajara.
- Vázquez, T. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, Riesgos Hidrometeorológicos - Heledas*. Secretaría de Gobernación, Coordinación General de Protección Civil. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el Marzo de 2016, de <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieEspecial/diagnostico.pdf>
- WHO. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. Geneva: World Health Organization.
- Wilhite, D. (2003). Drought. En J. R. Holton, J. A. Curry, & J. A. Pyle, *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (Vol. 2, págs. 650 - 658). España: Elsevier Science. Recuperado el Febrero de 2016
- Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of Definitions. *Water International*, 111-120.



## ANEXO A. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA COMPUTACIONAL DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES (IRC) ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

El programa IRC es un instrumento para llevar a cabo el cálculo del índice, desarrollado en una interfaz gráfica amigable con el usuario. Este manual es una guía básica del uso del programa, el cual está integrado por 10 módulos, uno para cada uno de los nueve indicadores que integran el índice y uno más para llevar a cabo el cálculo del índice.

El programa es una App ejecutable diseñada en la plataforma de Visual Basic por lo que no es necesario llevar a cabo una instalación previa. El uso de la aplicación es sencillo, el proceso es introducir datos en cada una de las celdas y presionar el botón calcular en cada uno de los módulos.



Figura 52. Ventana principal del sistema computacional desarrollado para calcular el Índice de Resiliencia en Ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos – Componente Técnica. Fuente: Elaboración propia.



### 1. INDICADOR DE AMENAZA PRINCIPAL

En este módulo se debe ingresar los montos del impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos y de cada uno de los fenómenos. El programa nos indica cuál es la amenaza principal de la ciudad en función del impacto económico.

Variables	Sub - indicadores Nivel 1
1. Impacto económico por fenómenos hidrometeorológicos 82540 (\$)	A.1 Sequías 0.03
2. Impacto económico por sequías 2869.3 (\$)	A.2 Ciclones Tropicales 0.61
3. Impacto económico por ciclones tropicales 49965.4 (\$)	A.3 Inundaciones 0.35
4. Impacto económico por inundaciones 29051.5 (\$)	A.4 Tormentas intensas 0.01
5. Impacto económico por tormentas intensas 507.12 (\$)	A.5 Heladas 0
6. Impacto económico por heladas 146.78 (\$)	

**Calcular**

**Amenaza Principal: Ciclones Tropicales**

Figura 53. Ventana del indicador de amenaza principal. Fuente: Elaboración propia.

### 2. INDICADOR DE INFRAESTRUCTURA

En este módulo se debe ingresar los montos que se invierten en el periodo actual (año en que se lleva a cabo la evaluación) y periodo anterior para generar nueva infraestructura, mantenimiento, supervisiones de las condiciones existentes y condiciones de la infraestructura crítica.



Variable	Valor	Unidad
1. Inversión en infraestructura del periodo actual	31556690.97	(\$)
2. Tasa de crecimiento económico del periodo actual	5.37	(%)
3. Inversión en infraestructura del periodo anterior	38508867.13	(\$)
4. Tasa de crecimiento económico del periodo anterior	4.12	(%)
5. Inversión en mantenimiento del periodo actual	5364637.47	(\$)
6. Inversión en mantenimiento del periodo anterior	8086862.1	(\$)
7. Número de supervisiones realizadas por año	1	
8. Factor de relación óptimo	30	(camas/10 mil hab)
9. Factor de relación óptimo	103	(hab/escuelas)
10. Población actual en la ciudad	892517	(hab)
11. Número de estudiantes (educación básica)	112869	
12. Número de camas de hospital en la ciudad	1024	
13. Número de escuelas	962	

Sub indicador	Valor
1.1 Inversión en nueva infraestructura	5.67
1.2 Inversión en mantenimiento	4.62
1.3 Supervisión	3.5
1.4 Infraestructura crítica	
1.4.1 Hospitales	1.9
1.4.2 Escuelas	3.52

**Calcular**      **19.21**

Figura 54. Ventana del indicador de infraestructura. Fuente: Elaboración propia.

### 3. INDICADOR DE PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO Y CÓDIGOS NORMATIVOS

En este módulo se evalúa la existencia y actualización de documentos como los planes de ordenamiento ecológico y territorial, así como del reglamento de construcción. También se evalúa la aplicación que se lleva a cabo de los códigos normativos.

Variable	Valor
Año actual	2017
No de años considerado Actualizado	5
Existencia de Plan de Ordenamiento Territorial	<input checked="" type="checkbox"/>
Año de edición	2009
Existencia de Plan de Ordenamiento Ecológico	<input checked="" type="checkbox"/>
Año de edición	2015
Existencia de Códigos Normativos de Construcción	<input checked="" type="checkbox"/>
Año de edición	2000
Obras ejecutadas en el periodo actual	101
Obras ejecutadas con Director Responsable de Obra	67

Sub indicador	Valor
2.1 Plan de Ordenamiento Territorial	
Sub indicadores - Nivel 2	
2.1.1 Existencia	1.25
2.1.2 Actualización	0.78
2.2 Plan de Ordenamiento Ecológico	
Sub indicadores - Nivel 2	
2.2.1 Existencia	1.25
2.2.2 Actualización	1.25
2.3 Código Normativo de Construcción	
Sub indicadores - Nivel 3	
2.3.1 Existencia	1.25
2.3.2 Actualización	0.36
2.4 Aplicación de los planes y códigos	1.65

**Calcular**      **7.79**

Figura 55. Ventana del indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos. Fuente: Elaboración propia.

#### 4. INDICADOR DE EVALUACIONES DEL RIESGO

En este módulo se lleva a cabo la evaluación de existencia y actualización de documentos como proyecciones climáticas, atlas de riesgos, estadísticas, historial de impactos socioeconómicos y la población que se encuentra en riesgo en la ciudad. Al igual que los módulos anteriores, se deben ingresar datos en las celdas correspondientes para llevar a cabo el cálculo del indicador.

The screenshot shows a software window titled 'Indicadores' with several tabs: 'Amenaza Principal', 'Infraestructura', 'Planes y Códigos', 'Evaluaciones del Riesgo', 'Planes PEP', 'Inversiones en RRD', and 'Instituciones RRC'. The 'Evaluaciones del Riesgo' tab is active. It is divided into two main sections: 'Variables' and 'Sub indicadores - Nivel 1'.

**Variables:**

- No de años considerado actualizado: 5
- Año actual: 2017
- Proyecciones y tendencias climáticas: Año de edición 2007
- Mapas de riesgo: Año de edición 2005
- Estadísticas de cobertura de seguros: Año de edición 2003
- Historial de impactos socioeconómicos: Año de edición 1999
- Población de la ciudad: 892517 (hab)
- Población asentada en zonas de riesgo: 223129 (hab)

**Sub indicadores - Nivel 1:**

- 3.1 Proyecciones y tendencias climáticas de riesgo
  - Sub indicadores - Nivel 2
    - 3.1.1 Existencia: 1
    - 3.1.2 Actualización: 0.5
- 3.2 Mapas de riesgo
  - Sub indicadores - Nivel 2
    - 3.2.1 Existencia: 1
    - 3.2.2 Actualización: 0.42
- 3.3 Estadísticas de cobertura de seguros
  - Sub indicadores - Nivel 2
    - 3.3.1 Existencia: 1
    - 3.3.2 Actualización: 0.36
- 3.4 Historial de impactos socio económicos
  - Sub indicadores - Nivel 2
    - 3.4.1 Existencia: 1
    - 3.4.2 Actualización: 0.28
- 3.5 Población en zonas de riesgo: 0.75

**Calcular**      **7.06**

Figura 56. Ventana del indicador de evaluaciones del riesgo. Fuente: Elaboración propia.

#### 5. INDICADOR DE PLANES DE REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE (RRD)

En este módulo del programa se lleva a cabo la evaluación de existencia y actualización de documentos como. Al igual que los módulos anteriores, se deben ingresar datos en las celdas correspondientes para llevar a cabo el cálculo del indicador.



Variable	Valor
Año actual	2017
No de años considerado actualizado	5
Plan proactivo (Año de edición)	2002
Plan reactivo (Año de edición)	2000
Plan post desastre (Año de edición)	2005
4.1.1 Existencia	1.75
4.1.2 Actualización	0.58
4.2.1 Existencia	1.5
4.2.2 Actualización	0.44
4.3.1 Existencia	1.75
4.3.2 Actualización	0.74
<b>Resultado</b>	<b>6.76</b>

Figura 57. Ventana del indicador de evaluaciones del riesgo. Fuente: Elaboración propia

## 6. INDICADOR DE PRESUPUESTO ASIGNADO A LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

En este módulo se ingresan los montos de las inversiones para atender emergencias y para la creación e implementación de programas de mitigación y prevención.

Variable	Valor
Presupuesto anual de la ciudad	2536670123.2 (\$)
Presupuesto destinado a emergencias	1402500 (\$)
Presupuesto destinado a planes de emergencia	355400 (\$)
5.1 Indicador de presupuesto destinado a emergencias	0.75
5.2 Indicador de presupuesto destinado a planes de emergencias	0.55
<b>Resultado</b>	<b>1.3</b>

Figura 58. Ventana del indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias. Fuente: Elaboración propia.



## 7. INDICADOR DE INSTITUCIÓN RELACIONADA CON LA REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES (RRD)

En este módulo se ingresan datos para evaluar el personal, la inversión en equipamiento, la cantidad de unidades (ambulancias) y la existencia de sistemas de alerta temprana.

The screenshot shows a software window titled 'Indicadores' with several tabs: 'Infraestructura', 'Planes y Códigos', 'Evaluaciones del Riesgo', 'Planes PEP', 'Inversiones en RRD', 'Instituciones RRD', 'Servicios', and 'Velocidad'. The 'Instituciones RRD' tab is active. It is divided into two main sections: 'Variables' on the left and 'Sub - Indicadores Nivel 1' on the right. The 'Variables' section contains seven numbered input fields with their respective units and a checkbox for 'Sistemas de alerta temprana'. The 'Sub - Indicadores Nivel 1' section contains four numbered input fields. A 'Calcular' button is located at the bottom right, next to the calculated result '4.97'.

Variable	Valor	Unidad
1. Personal técnico (capacitado)	257	
2. Factor de relación óptimo	1000	(hab/personal)
3. Población de la ciudad	892517	(hab)
4. Número de unidades	7	(ambulancias)
5. Presupuesto anual de la ciudad	2536670123.2	(\$)
6. Inversión en equipamiento	190250.26	(\$)
7. Factor de relación óptimo	25000	(hab/unidades)

Sub - Indicador	Valor
6.1 Personal	0.72
6.2 Equipamiento	1.25
6.3 Unidades	0.5
6.4 Sistema de alerta temprana	2.5

**Calcular**      **4.97**

Figura 59. Ventana del indicador de institución relacionada con la reducción de riesgo de desastre.  
Fuente: Elaboración propia.

## 8. INDICADOR DE SERVICIOS VITALES

En este módulo se evalúan los servicios vitales de la ciudad, como agua potable, alcantarillado, saneamiento y energía eléctrica.



Variables	
1. Población actual	892517 (hab)
2. Población con agua	830040 (hab)
3. Población con servicio las 24 horas	294530 (hab)
4. Eficiencia Global PIGOO	77.42 (%)
5. Recursos garantizados disponibles en el acuífero	763 (hm3)
6. Demandas ambientales	6.78 (hm3)
7. Demanda para abastecimiento urbano	249.14 (hm3)
8. Otras demandas a considerar	539.34 (hm3)
9. Dotación por habitante por día	175 (l/hab/día)
10. Población con alcantarillado	651537 (hab)
11. Agua residual generada en la ciudad	115.23 (hm3)
12. Agua tratada en la ciudad	54.87 (hm3)
13. PTAR en servicio	7
14. PTAR en la ciudad	10
15. Población con electricidad	874666 (hab)

Sub Indicadores Nivel 1	
7.1 Agua Potable	
7.1.1 Indicador cobertura del servicio	0.93
7.1.2 Indicador del servicio de 24 hr	0.33
7.1.3 Eficiencia global PIGOO	1.54
7.1.4 Grado de presión hidrológica PRONACOSE	1.88
7.1.5 Dotación	0.86
7.2 Saneamiento	
7.2.1 Indicador de cobertura	2.19
7.2.2 Agua residual Vs Agua tratada	0.96
7.2.3 Indicador de PTAR	1.4
7.3 Energía	
	5.88

**Calcular**      **15.97**

Figura 60. Ventana del indicador de servicios vitales. Fuente: Elaboración propia.

### 9. INDICADOR DE VELOCIDAD DE RECUPERACIÓN

La función principal de este módulo es definir si la velocidad de recuperación de la ciudad es lenta, normal o rápida.

Variables	
Año actual: 2017	
1. Número de obras afectadas	3
2. Monto de la obra	275.66 (\$)
3. Tiempo de ejecución de la obra	18 (meses)
4. Porcentaje de daño de la obra	0.67 (%)
5. Año de conclusión de la obra	2005
6. Tiempo real de recuperación anterior	29

Sub Indicadores Nivel 1	
B.1 Infraestructura dañada	
B.1.1 Actualización del monto de la obra afectada	407.98
B.1.2 Tiempo de ejecución actualizado	12.06
B.2 Evaluación global	
B.2.1 Costo del desastre	407.98
B.2.2 Tiempo estimado de recuperación	12.06

**B.3 Velocidad de recuperación**

**Calcular**      **MEDIA**

Figura 61. Ventana del indicador de velocidad de recuperación. Fuente: Elaboración propia.

## 10. ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES – COMPONENTE TÉCNICA

Este módulo tiene la finalidad de resumir los cálculos de cada uno de los indicadores y calcular el índice de resiliencia de la ciudad. Es en este módulo dónde se puede generar el reporte de la evaluación. En la parte de resultado de la evaluación realiza un resumen de la amenaza principal, el nivel de resiliencia y la velocidad de recuperación de la ciudad evaluada.

Indicadores

Evaluaciones del Riesgo | Planes PEP | Inversiones en RRD | Instituciones RRD | Servicios | Velocidad de recuperación | INDICE

### Índice de Resiliencia en Ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos

A. Amenaza principal  
Ciclones Tropicales

IRC: 63.06

Calcular

RANGO	NIVEL DE RESILIENCIA
81 A 100	MUY ALTA
61 A 80	ALTA
41 A 60	MEDIA
21 A 40	BAJA
0 A 20	MUY BAJA

Resultado de la evaluación:

La amenaza principal de la ciudad es **Ciclones Tropicales** y tiene un nivel de resiliencia **ALTO** con una velocidad de recuperación **MEDIA**

Generar reporte

1. Indicador de infraestructura: 19.21  
2. Indicador de leyes, planes de ordenamiento y códigos normativos: 7.79  
3. Indicador de evaluaciones del riesgo: 7.06  
4. Planes de reducción del riesgo de desastre RRD: 6.76  
5. Inversiones para reducción del riesgo de desastre RRD: 1.3  
6. Instituciones relacionadas con RRD: 4.97  
7. Servicios vitales: 15.97  
B. Evaluación global, tiempo y velocidad de recuperación: MEDIA

Figura 62. Ventana del índice de resiliencia en ciudades (IRC) – componente técnica. Fuente: Elaboración propia.

El sistema computacional IRC puede solicitarse al siguiente correo:

M.I. Rabindranath Bahena Ayala [dranath@posgrado.imta.edu.mx](mailto:dranath@posgrado.imta.edu.mx)



## ANEXO B. HISTORIAL DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS EN CUERNAVACA

No.	EVENTO	FECHA	IMPACTO SOCIAL	IMPACTO ECONÓMICO	COMENTARIOS	FUENTE
1	Inundación	15/08/1970			Inundaciones en colonias populares. Daños a menaje.	(DESINVENTAR,2013)
2	Tormenta intensa	12/10/1976	Cortes de luz, afectando el flujo vehicular por descompostura de semáforos.			(DESINVENTAR,2013)
3	Sequía	04/01/1980	Afectaciones a campesinos por hectáreas de cultivo siniestradas.		Encarecimiento de la canasta básica para la región.	(DESINVENTAR,2013)
4	Sequía	07/05/1981			Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
5	Inundación	01/06/1981	10 familias, damnificadas	\$ 2,000,000.00	Cuatro eventos de inundación en el mismo mes	(DESINVENTAR,2013)
6	Inundación	26/08/1981			Se tiene registro de daños a cultivos.	(DESINVENTAR,2013)
7	Sequía	07/09/1982	Cultivos de maíz, frijol, sorgo, jitomate y tomate resultaron afectados		Encarecimiento de la canasta básica para la región.	(DESINVENTAR,2013)
8	Inundación	26/06/1983	Una persona fallecida		Se anegó un centro comercial y avenidas principales. Drenaje taponeado por basura.	(DESINVENTAR,2013)
9	Tormenta intensa	06/09/1983	Se registraron cuatro personas fallecidas.			(DESINVENTAR,2013)
10	Tormenta intensa	18/08/1988			Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
11	Sequía	20/06/1989	Daños globales para el estado.		Encarecimiento de la canasta básica para la región.	(DESINVENTAR,2013)
12	Tormenta intensa	18/09/1990	Se realizaron evacuaciones en las laderas de barrancas debido al reblandecimiento de tierra.			(DESINVENTAR,2013)
13	Tormenta intensa	07/06/1992			Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
14	Tormenta intensa	13/09/1993	Gente damnificada localizada en asentamiento irregular.		Deslizamiento de tierra en cerro dónde se encontraba un asentamiento informal.	(DESINVENTAR,2013)
15	Tormenta intensa	11/09/1998	Tres personas fallecidas		El reblandecimiento de un muro cayó sobre una familia.	(DESINVENTAR,2013)
16	Inundación	24/09/1998			Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
17	Inundación	07/07/1999	40 personas resultaron damnificadas.		Evacuación de colonias afectadas. 10 casas resultaron con daños severos.	(DESINVENTAR,2013)
18	Tormenta intensa	21/08/1999			Árboles y postes afectados por los intensos vientos.	(DESINVENTAR,2013)
19	Helada	08/11/2002	Una persona fallecida		Muerte por hipotermia. Frente frío #10	(DESINVENTAR,2013)
20	Tormenta intensa	02/09/2003	125 viviendas resultaron afectadas		Automóviles, inmuebles y un panteón municipal resultaron afectados.	(DESINVENTAR,2013)
21	Inundación	22/07/2004			Daños globales. Los pavimentos de algunas calles resultaron afectadas por las velocidades altas de los escurrimientos.	(DESINVENTAR,2013)
22	Inundación	07/07/2005			Inundación ocasionada por lluvias de la onda tropical 16. Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
23	Inundación	01/09/2005			Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
24	Tormenta intensa	20/07/2005	Una persona fallecida		Persona muere por rayo. Cortes de energía y calles bloqueadas por las inundaciones.	(DESINVENTAR,2013)
25	Inundación	26/07/2005			Algunas colonias de la ciudad de Cuernavaca resultaron afectadas con anegaciones.	(DESINVENTAR,2013)
26	Inundación	01/09/2005			15 casas resultaron afectadas	(DESINVENTAR,2013)
27	Inundación	16/06/2007	1000 personas resultaron afectadas		La inundación provocó el derrumbe de un bordo de protección afectando al Hospital General G. Parres. 20 casas resultaron afectadas.	(DESINVENTAR,2013)



ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

No.	EVENTO	FECHA	IMPACTO SOCIAL	IMPACTO ECONÓMICO	COMENTARIOS	FUENTE
28	Inundación	19/07/2007	Tres colonias fueron afectadas		El taponamiento del drenaje ocasionó calles inundadas. La Colonia Tezontepec, Ampliación Satélite y El Empleado resultaron afectadas.	(DESINVENTAR,2013)
29	Inundación	18/08/2007			Cortes en el servicio eléctrico y taponamiento por basura en el sistema de alcantarillado.	(DESINVENTAR,2013)
30	Inundación	29/08/2007	11 casas resultaron afectadas		El agua alcanzó 1.5 m de altura. Vehículos, enseres domésticos y muebles resultaron dañados.	(DESINVENTAR,2013)
31	Inundación	03/07/2008	30 casas resultaron afectadas		Remanentes de la onda tropical No. 8. El agua alcanzó 1.0m de altura.	(DESINVENTAR,2013)
32	Inundación	30/08/2008	12 casas afectadas		Colonias afectadas. Inundación en calles y una barda colapsada. Falla de sistema de drenaje por taponamiento con basura	(DESINVENTAR,2013)
33	Tormenta intensa	16/09/2008	Dos personas desaparecidas			(DESINVENTAR,2013)
34	Tormenta intensa	18/09/2009			Deslizamiento en el panteón municipal "La Paz". Afectación de calles.	(DESINVENTAR,2013)
35	Inundación	12/09/2009	Jardín de niños evacuado. 74 casas afectadas			(DESINVENTAR,2013)
36	Inundación	16/09/2009			Daños en menaje de viviendas.	(DESINVENTAR,2013)
37	Tormenta intensa	05/02/2010			Habitantes de varias colonias resultaron afectados por los cortes de luz debido a la tormenta y los intensos vientos.	(DESINVENTAR,2013)
38	Tormenta intensa	08/09/2010			Debido a los intensos vientos se presentaron derrumbes de árboles. La lluvia y los taponamientos por basura ocasionaron encharcamientos.	(DESINVENTAR,2013)
39	Tormenta intensa	20/08/2010			Deslizamiento en carretera Buenavista - Cuernavaca, cerrando a la circulación por 48 hrs. La comunidad de Buenavista quedó incomunicada.	(DESINVENTAR,2013)
40	Tormenta intensa	11/03/2011			Anuncios espectaculares en el libramiento de Cuernavaca fueron dañados por las intensas ráfagas de viento.	(DESINVENTAR,2013)
41	Tormenta intensa	12/10/2011			Deslizamiento provocando bloqueo parcial de la carretera Cuernavaca - Ocuilán	(DESINVENTAR,2013)
42	Inundación	13/09/2012	36 viviendas afectadas		Vialidades afectadas. Tres bardas colapsadas. Siete vehículos dañados. El agua alcanzó 2.5 m de altura en calle Zacatecas y Laurel en la Col. Bellavista	Diario de Morelos
43	Inundación	22/10/2013	30 viviendas resultaron afectadas		Cinco bardas colapsaron. El agua alcanzó hasta 2 m en algunas zonas.	(DESINVENTAR,2013)
44	Inundación	14/11/2013			Fuertes vientos derribaron dos árboles en un Jardín de Niños.	La Policiaca
45	Inundación	08/06/2014			Inundaciones en distintas colonias como Alta Vista, Tulipán, Flores Magón, Centro, Carolina y Subida a Chalma. Colapso de barda en Lomas de Cortés, así como interrupciones en el servicio eléctrico.	Diario de Morelos
46	Tormenta intensa	23/06/2014			Se tiene el registro del evento, pero no de las afectaciones.	(DESINVENTAR,2013)
47	Sequía	2014			Debido a las escasas lluvias se registraron pérdidas de cultivos, ocasionando el encarecimiento de productos básicos.	(DESINVENTAR,2013)
48	Tormenta de granizo	23/03/2015			Fuerte lluvia acompañada de granizo en zona de Huitzilac, afectando la Carretera Federal y la Autopista México - Cuernavaca.	Excelsior
49	Tormenta intensa	30/06/2015			Árbol de 25 m de altura cayó sobre tres autobuses. Así como de un árbol en la colonia Rancho Cortés afectando el cableado de electricidad.	Diario 21



ÍNDICE DE RESILIENCIA EN CIUDADES ANTE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

No.	EVENTO	FECHA	IMPACTO SOCIAL	IMPACTO ECONÓMICO	COMENTARIOS	FUENTE
50	Tormenta intensa	23/07/2015	Cinco personas quedaron atrapadas en su coche, las cuales fueron auxiliadas.	\$ 600,000.00	Colapso de barda en fraccionamiento afectando tres vehículos.	Diario de Morelos
51	Sequía	2015			40 mil hectáreas del estado de Morelos resultaron siniestradas por la sequía	El Universal
52	Inundación	23/07/2015			Desborde de un canal de riego en Acapantzingo. Inundaciones registradas en la colonia Antonio Barona y Ahuatepec.	La Unión
53	Tormenta intensa	18/09/2015			Afectación a casas habitación por caídas de árboles en colonia Ahuatepec, Miraval, Acapantzingo y Chipitlán. Incremento de los niveles de los cauces.	Diario de Morelos
54	Sequía Operativa	10/01/2016			Falta de abastecimiento de agua a 15 colonias de Cuernavaca debido al adeudo que tiene el organismo operador con la CFE. 13 pozos sin servicio.	Diario de Morelos
55	Tormenta de granizo	10/03/2016	Afectaciones en el flujo vehicular de la autopista México - Cuernavaca. Cierre de la autopista por congelamiento de la superficie de rodamiento.		Caída de nieve en el poblado de Fierro de Toro y Tres Marías del municipio de Huitzilac. Caída de arboles	El Universal
56	Tormenta intensa	12/06/2016			Barda de local colapsada por reblandecimiento de tierra. Dicho comercio se encontraba sobre la barranca El Pilancón.	Diario de Morelos
57	Tormenta intensa	09/03/2017			Lluvias causan daños en escuelas por lo que se suspenden labores. Caída de árboles y encharcamientos en las principales avenidas de la ciudad.	Diario de Morelos
58	Tormenta de granizo	09/03/2017			Caída de granizo en la zona de Tres Marías en Huitzilac. Fueron alrededor de 30 minutos de caída de granizo.	Noticieros Televisa
59	Sequía operativa	15/03/2017			Sequía operativa debido al corte de energía eléctrica en 37 pozos que bastecen a la población. Afectación a 37 colonias. Situación que prevaleció más de un mes.	Noticieros Televisa
60	Tormenta de granizo	19/04/2017			Fuerte granizada se registró entre los Km 42 y 44 de la Autopista México - Cuernavaca.	El Universal
61	Tormenta intensa	02/07/2017			Colapso de dos bardas debido al reblandecimiento de la tierra derivado de las lluvias acontecidas.	Diario de Morelos
62	Tormenta intensa	06/07/2017			Debido a las lluvias el número de baches se ha incrementado hasta en 45 % en comparación con otras épocas del año de acuerdo a la Secretaría de Infraestructura, Obras y Servicios Públicos.	La Unión
63	Tormenta intensa	12/07/2017	2 personas fallecieron	\$150,000,000.00	El libramiento de la autopista México - Cuernavaca (Paso Exprés) en el Km 93 colapsó provocando un socavón en el terraplén de dicho tramo.	El Financiero
64	Inundación	19/07/2017			Inundación en la carretera federal México Cuernavaca Km 40.	Excelsior
65	Tormenta intensa	19/07/2017			Las intensas lluvias provocaron el colapso de árboles, bardas y el deslizamiento de tierra en diferentes puntos de la ciudad, especialmente en la colonia Lagunilla cuyo deslizamiento estuvo acompañado de rocas.	Zona Centro Noticias