



Universidad Autónoma del Estado de México

Doctorado en Ciencias Ambientales

Tesis doctoral

Metodología de estimación de zonas inundables y su
impacto socioeconómico en el Estado de México

Caso de estudio: Subcuenca Oztolotepec - Atlacomulco

Alumna: Mariana Mancino

Directores

Dr. Salvador Adame Martínez

Dr. Edel Cadena Vargas

Dra. Raquel Hinojosa Reyes



Agradecimientos

A mis tutores Dr. Edel Cadena Vargas, Dr. Salvador Adame Martínez y Dra. Raquel Hinojosa Reyes, por su apoyo incondicional, tiempo y dedicación.

A mis revisores, Dra. Verónica Miranda Rosales. y Dr. Carlos Alberto Pérez Ramírez por sus comentarios y propuestas de mejoras para la investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de México, especialmente a la Facultad de Química, que a lo largo de estos últimos años me acompañaron en mi formación académica.

A mi familia y amigos de acá, de allá y de todos lados que, a pesar de la distancia, siempre estuvieron presentes.

A leo por su amor y apoyo incondicional.

Muchas gracias a todos por acompañarme.



Indice de contenido

Introducción	10
Planteamiento del problema	12
Justificación	14
Objetivos e hipótesis	16
Capítulo 1. Marco teórico conceptual	17
1.1 Las cuencas hidrográficas como sistemas	17
1.2 El riesgo, su construcción social	20
1.3 Medidas de mitigación del riesgo	25
1.4 Las inundaciones: características y clasificación	27
1.4.1 Inundaciones en zonas urbanas	29
1.4.2 Aspectos socioeconómicos de las inundaciones-	30
1.4.3 Modelos para la determinación de zonas inundables	36
1.4.4 Las inundaciones y su representación espacial	37
1.5 Las precipitaciones e inundaciones en México	40
1.6 Organización hidrológica en México	44
Capítulo 2. Marco territorial como sistema	
Caracterización de subsistemas como componentes de la vulnerabilidad	46
2.1 Descripción general del sistema	46
2.2 Subsistema hidrológico	47
2.3 Subsistema climático	52
2.4 Subsistema morfoestructural y geomorfológico	55
2.5 Subsistema edafológico	60
2.6 Análisis de los subsistemas físico-naturales como componentes de la vulnerabilidad ambiental y física	62
2.6.1 Degradación de la zona lacustre	62
2.6.2 Implementación de medidas estructurales	63
2.6.3 Uso y cobertura del suelo	65
2.7 Subsistema social. Estructuración del espacio y organización social	68
2.8 Infraestructura sanitaria, pluvial y vial	72
2.9 Subsistema económico. Dinámica y actividades económicas	73
2.9.1 Actividades primarias	74
2.9.2 Actividades secundarias y terciarias	77
2.10 Subsistema político e institucional	78
2.11 Análisis de la historicidad de inundaciones	80
Capítulo 3. Propuesta metodológica	83
3.1 Recolección de datos y elección de escalas	85
3.2 Componentes del peligro y elección del modelo	87
3.2.1 Parámetros morfométricos de la cuenca y cauce principal	87
A. Parámetros estructurales y geomorfológicos	88
B. Parámetros asociados a la forma	90
C. Parámetros relativos a la red de drenaje	92
3.2.2 Análisis de gasto y precipitación	95
3.2.3 Análisis del suelo y condición hidrológica	97
3.3 Estimación de zonas de peligro de inundación	99
3.3.1 Delimitación de zonas de peligro	99



3.3.2 Relación de las zonas de peligro con el uso y ocupación del suelo	100
3.4 Análisis de exposición y vulnerabilidad	102
3.4.1 Exposición y vulnerabilidad ambiental	102
3.4.2 Vulnerabilidad social	103
3.4.3 Vulnerabilidad económica	103
3.5 Estimación de costos de daños tangibles directos e indirectos más probables	104
3.5.1 Propuesta metodológica para zonas habitacionales	105
3.5.2 Propuesta metodológica para zonas agrícolas	117
3.5.3 Propuesta metodológica para zonas de industriales, comerciales y servicios	119
Capítulo 4. Resultados. Validación de metodología en la Subcuenca hidrográfica RH 12 Ab	128
4.1 Parámetros morfométricos	132
4.2 Análisis de precipitaciones	142
4.3 Condiciones edafológicas e hidrológicas	146
4.4 Delimitación de las zonas de peligro	148
4.5 Relación de las zonas de peligro con el uso y ocupación del suelo	151
4.6 Análisis de la exposición y vulnerabilidad	158
4.7 Estimación de costos de daños tangibles directos más probables	164
Discusión	166
Conclusiones	168
Bibliografía	175
Anexos	191



Indice de Figuras

Figura 1. La cuenca hidrográfica como sistema	18
Figura 2. Modelo de respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica en ámbito urbano y rural	22
Figura 3. Impacto socioeconómico en millones de pesos mexicanos producidos por desastres naturales hidrometeorológicos en México 1980-2016	33
Figura 4. Esquema de elaboración de Mapas de Riesgo de daños por Inundación	38
Figura 5. Proceso de formación de ciclones tropicales	41
Figura 6. Proceso de formación de frente frío	41
Figura 7. Proceso de formación de precipitaciones orográfica	42
Figura 8. Procesos de formación de tormentas convectivas	43
Figura 9. Organización hidrológica superficial en México	45
Figura 10. Localización del Estado de México a escala nacional y regional	47
Figura 11. Organización hidrológica superficial en el Estado de México	48
Figura 12. Organización hidrológica superficial de la Cuenca Alta del río Lerma	50
Figura 13. Subsistema hidrográfico de la Cuenca Alta del río Lerma	51
Figura 14. Subsistema climático de la Cuenca Alta del río Lerma	54
Figura 15. Climograma de la Cuenca Alta del río Lerma, valores promedio mensuales, periodo 1980 - 2003	54
Figura 16. Marco morfoestructural de la Cuenca Alta del río Lerma	57
Figura 17. Ciénagas del Lerma, Cuenca Alta del río Lerma	59
Figura 18. Subsistema edafológico de la Cuenca Alta del río Lerma	61
Figura 19. Uso del Suelo, Serie V, Cuenca Alta del río Lerma	66
Figura 20. Grado de Marginación por Sección Electoral 2010 y localidades urbanas, CARL	71
Figura 21. Infraestructura vial y férrea, Cuenca Alta del río Lerma	72
Figura 22. Superficie agrícola por forma de cultivo 2014 en hectáreas, Cuenca Alta del río Lerma	75
Figura 23. Distribución de unidades Económicas de Servicios, DNUE 2016, CARL	78
Figura 24. Esquema metodológico-	84
Figura 25. Cauces y márgenes en el estudio de los ríos	89
Figura 26. Efectos de la forma de cuenca en el tiempo de concentración	91
Figura 27. Principales modelos de drenaje	92
Figura 28. Densidad de drenaje	93
Figura 29. Respuesta hidrológica de la cuenca según Relación de Bifurcación	94
Figura 30. Curva de daños de bienes en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Muy Alto	106
Figura 31. Curva de daños de bienes en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Alto	108
Figura 32. Curva de daños de bienes en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Medio	110
Figura 33. Curva de daños de bienes en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Bajo	112
Figura 34. Curva de daños de bienes en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Muy bajo	115
Figura 35. Curva de daños en el maíz de grano según la duración de la inundación en días	117
Figura 36. Curva de daños en el maíz forrajero según la duración de la inundación en días	118
Figura 37. Curva de daños en establecimientos industriales	123
Figura 38 a. Curva de daños en establecimientos comerciales al por mayor de micro y pequeñas empresas	123
Figura 38 b. Curva de daños en establecimientos comerciales al por mayor de mediana y gran empresa	124
Figura 39 a. Curva de daños en establecimientos comerciales al por menor de micro y pequeñas empresas	124



Figura 40 a. Curva de daños en establecimientos de servicios de micro y pequeñas empresas	125
Figura 40 b. Curva de daños en establecimientos de servicios de mediana y gran empresa	126
Figura 41. Localización de la subcuenca RH12Ab dentro del ámbito estatal y de la RH12 A	127
Figura 42. Municipios que conforman la RH12 Ab	128
Figura 43. Marco morfoestructural de la RH12 Ab	129
Figura 43 B. Marco morfoestructural de la RH12 Ab	130
Figura 44. Curva Hipsométrica de la RH12 Ab	132
Figura 45. Pendientes en porcentaje de la RH12 Ab	133
Figura 46. Red de Drenaje de la RH12 Ab	135
Figura 47. Modelos de Drenaje de la RH12 Ab	136
Figura 48. Localización de los perfiles topográficos de la RH12 Ab	137
Figura 49. Perfiles topográficos de la RH12 Ab	138
Figura 50. Características geológicas de la RH12 Ab	139
Figura 51. Cauce de crecida, llanura de inundación y aluvial de la RH12 Ab	140
Figura 52. Precipitación media anual y rangos de precipitación de la RH12 Ab	142
Figura 53. Precipitación media anual de las EMA's, periodo 1980 – 2015, RH12 Ab	143
Figura 54. Distribución de las precipitaciones medias anuales en la RH 12 Ab	143
Figura 55. Precipitación media mensual de la RH 12 Ab, periodo 1980-2015	144
Figura 56. Características edafológicas de la RH12 Ab	145
Figura 57. Condiciones hidrológica del suelo correspondiente a la RH12 Ab	146
Figura 58. Índice Topográfico de humedad de la RH12 Ab	147
Figura 59. Grados de peligro de inundación de la RH12 Ab	150
Figura 60. Usos del Suelo de la RH12 Ab	152
Figura 61. Zonas urbanas y zonas pobladas no urbanas de la RH12 Ab	153
Figura 62. Zonas industriales de la RH12 Ab	154
Figura 63. Zonas comerciales al por menor y al por mayor de la RH12 Ab	155
Figura 64. Zonas de servicios de la RH12 Ab	156
Figura 65. Grados de Marginación de la RH12 Ab	158
Figura 66. Zonas urbanas, pobladas no urbanas y agrícolas – ganaderas con grado de peligro de inundación Muy alto en un sector de la RH12 Ab	160
Figura 67. Zonas industriales, comerciales y de servicios con grado de peligro de inundación Muy alto en un sector de la RH12 Ab	161
Figura 68. Figura 66. Zonas urbanas, pobladas no urbanas y agrícolas – ganaderas con grado de peligro de inundación Alto en un sector de la RH12 Ab	162
Figura 69. Zonas industriales, comerciales y de servicios con grado de peligro de inundación Alto en un sector de la RH12 Ab	163



Índice de Tablas

Tabla 1. Impacto socioeconómico en cantidad muertes y millones de pesos mexicanos, producidos por desastres naturales hidrometeorológicos en México 1980-2016	33
Tabla 2. Organización hidrológica superficial del Estado de México	48
Tabla 3. Cantidad de habitantes y densidad poblacional de los municipios del CARL 2010	70
Tabla 4. Parques industriales y/o tecnológicos por municipio 2016, Cuenca Alta del río Lerma	76
Tabla 5. Sitios afectados por inundación por temporada de lluvias 1994- 2017 en la CARL	80
Tabla 6. Clasificación del cauce principal según pendiente media	89
Tabla 7. Intensidad de las precipitaciones en función de la cantidad de agua en mm en 24 hs	96
Tabla 8. Condición hidrológica del suelo según textura y composición	97
Tabla 9. Grado de potencial inundable según Uso y Cobertura del suelo, pendiente y condición hidrológica del suelo	101
Tabla 10. Porcentaje de afectaciones por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con grado de marginación Muy alto	105
Tabla 11. Valor de los bienes según porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Muy alto	106
Tabla 12. Costo de una vivienda según altura de la lámina de agua con GM Muy alto	106
Tabla 13. Porcentaje de afectaciones por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con grado de marginación Alto	107
Tabla 14. Valor de los bienes según porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Alto	107
Tabla 15. Costo de una vivienda según altura de la lámina de agua con GM Alto	108
Tabla 16. Porcentaje de afectaciones por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con grado de marginación Medio	109
Tabla 17. Valor de los bienes según porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Medio	109
Tabla 18. Costo de una vivienda según altura de la lámina de agua con GM Medio	110
Tabla 19. Porcentaje de afectaciones por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con grado de marginación Bajo	111
Tabla 20. Valor de los bienes según porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Bajo	111
Tabla 21. Costo de una vivienda según altura de la lámina de agua con GM Bajo	112
Tabla 22. Porcentaje de afectaciones por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con grado de marginación Muy bajo	113
Tabla 23. Valor de los bienes según porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Muy bajo	114
Tabla 24. Costo de una vivienda según altura de la lámina de agua con GM Muy bajo	115
Tabla 25. Costo de inundación más probable en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Muy alto-----	115
Tabla 26. Costo de inundación más probable en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Alto	115



Tabla 27. Costo de inundación más probable en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Medio	115
Tabla 28. Costo de inundación más probable en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Bajo	115
Tabla 29. Costo de inundación más probable en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Muy bajo	116
Tabla 30. Porcentaje de afectaciones del maíz temporal según duración de la inundación	117
Tabla 31. Costo de la cosecha de maíz temporal (grano y forrajero) según duración de la inundación en pesos Mx 2017	118
Tabla 32. Establecimientos seleccionados para la estimación de daños tangibles directos según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN, 2013)	119
Tabla 33. Calculo del valor de empresas manufactureras por empleado	120
Tabla 34. Calculo del valor de comercios al por mayor y al por menor por empleado	120
Tabla 35. Calculo del valor de empresas de servicios de transportes, correos y almacenamiento	120
Tabla 36. Estratificación de empresas propuestas por el DOF, 2009	121
Tabla 37. Valor de los establecimientos por sector según cantidad de empleados	121
Tabla 38. Porcentaje de afectaciones por inundación en establecimientos industriales comerciales y de servicios según altura de la lámina de agua	121
Tabla 39. Costos de daños tangibles directos por inundación según altura de la lámina de agua en establecimientos industriales en pesos Mx 2017	122
Tabla 40. Costos de daños tangibles directos por inundación según altura de la lámina de agua en establecimientos comerciales en pesos Mx 2017	122
Tabla 41. Costos de daños tangibles directos por inundación según altura de la lámina de agua en establecimientos de servicios en pesos Mx 2017	122
Tabla 42. Datos referentes a los niveles altitudinales de la RH12 Ab	132
Tabla 43. Precipitación media mensual de la RH12 Ab, periodo 1980-2015	144
Tabla 44. Precipitación media mensual del mes de julio según Periodos de Retorno para la RH12 Ab, periodo 1980-2015	144
Tabla 45. Superficie en km2 y porcentaje de superficie de los grados de peligro de inundación de la RH12 Ab	149
Tabla 46. Superficie en km2 de zonas habitacionales, agrícolas y cantidad viviendas afectadas según el grado de peligro de inundación	159
Tabla 47. Cantidad de establecimientos industriales, comerciales y de servicios afectados según el grado de peligro de inundación	160
Tabla 48. Cantidad viviendas afectadas según el grado de peligro de inundación por grado de marginación	164
Tabla 49. Costos de daños potenciales tangibles directos e intangibles más probables en establecimientos industriales con grado de peligro de inundación Muy Alto en la RH12Ab	164



Introducción

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, las tormentas severas y consecuentes inundaciones son los fenómenos naturales que mayores incrementos han tenido durante los últimos años, causando grandes desastres tanto económicos como humanos en diversas regiones del mundo. Entre 1980 y 2011 se han producido aproximadamente 2,165 inundaciones de gran magnitud en diversas regiones del planeta (UNISDR, 2013).

El estudio de las inundaciones y el cálculo económico de sus daños no es una tarea sencilla. La planificación, gestión y mitigación de las zonas con riesgo de inundación está dado por el conocimiento profundo de las cuencas hidrográficas y los procesos físico - naturales que las generan, haciendo referencia tanto a conceptos climatológicos como hidrológicos. Por ello, es imprescindible, a nivel local, regional y estatal, una adecuada planificación, gestión y ordenación del territorio, dando un uso apropiado de las zonas sometidas al riesgo, así como la también la identificación de nuevas zonas potenciales de inundación a una escala detallada.

La presente investigación corresponde al diseño de una metodología para la estimación de nuevas zonas inundables y su impacto en los bienes materiales y actividades económicas en el Estado de México a través de la validación metodológica de un estudio de caso, la Subcuenca Hidrográfica Río Otzolotepec – Río Atlacomulco (RH 12 Ab), localizada en la Región Hidrológica 12 A Lerma – Toluca (RH12 A).

Para lograr el diseño de dicha metodología, se estimaron en primer lugar las zonas potenciales de inundación, a través del análisis de variables físicas relacionadas con las inundaciones. En una segunda fase de trabajo, se aplicó una metodología, modificada de una ya existente, para el cálculo de daños económicos producidos por una inundación en zonas habitacionales de áreas urbanas. Acto seguido se estimaron con una metodología propia, los daños en establecimientos industriales, comerciales y de servicios, así como en las zonas agrícolas. Para lograrlo se utilizó el programa estadístico IBM SPSS 22.0 y Sistemas de Información Geográfica SIG.

El propósito del diseño de la metodología, es contar con una herramienta para la gestión y la planeación del territorio para uso gubernamental y de protección civil, ya que permite determinar las zonas de inundación probables, a fin de actuar de manera rápida y eficaz, estimando costos y diseñar medidas preventivas para su mitigación.



A pesar de que solo se realizó la estimación zonas inundables y costos de daños para una zona concreta del Estado de México, la metodología que se presenta, pueden replicarse en distintos ámbitos, considerando los parámetros naturales y socioeconómicos necesarios particular de cada territorio.

Teniendo en cuenta las premisas consideradas anteriormente, esta investigación se organiza de la siguiente manera: planteamiento del problema, seguido de la justificación de la investigación, objetivos e hipótesis de trabajo. Luego, el primer capítulo, se compone del Marco Teórico Conceptual y antecedentes del tema a nivel nacional e internacional. En el segundo capítulo se presentan las características físico-naturales y socioeconómicas del área general de estudio, además, se describen los aspectos de la peligrosidad física y vulnerabilidad ante las inundaciones en la RH12 A. En el tercer capítulo, se presenta la propuesta metodológica, con los respectivos datos e información necesaria. En el cuarto capítulo se muestran los resultados mediante la validación de la metodología en la RH 12Ab, seguido de un apartado de discusiones, conclusiones y recomendaciones. Por último, la bibliografía consultada y utilizada para la investigación. Además, en la sección Anexos se presentan las constancias de producción científica y certificaciones de la participación de eventos académicos realizados durante el periodo de estudios doctorales.



Planteamiento del problema

Después de los años cincuenta, gran parte de la población de los municipios que conforman del Estado de México ha crecido de manera acelerada, y con dicho crecimiento, las actividades que requieren la utilización del agua. Actualmente existe un desequilibrio hidrológico regional en el Estado, principalmente en la cuenca Alta del Río Lerma (CARL). La desecación de las zonas lacustres; modificación estructural, reducción y contaminación de los cursos y cuerpos de agua; pérdida de la cobertura vegetal y de los suelos por procesos de degradación, son algunos de los principales problemas que afectan la cuenca.

Teniendo en cuenta el régimen e intensidad de las precipitaciones a nivel regional y que las unidades litológicas de la cuenca poseen condiciones naturales para infiltración y almacenamiento de las aguas, las condiciones actuales en las que se encuentra el sustrato, no son del todo favorables para cumplir su función como área de infiltración. La interacción de todos estos factores y características, le confieren a esta zona una tendencia natural a inundarse, la cual es acentuada por los cambios antropogénicos, los cuales la hacen una zona vulnerable ante el fenómeno de las inundaciones.

Las inundaciones causan daños económicos importantes a través del tiempo debido a su ocurrencia periódica en zonas específicas de la cuenca. Es por ello que, debido a su complejidad, dichos factores y componentes deben ser analizados desde una perspectiva sistémica y teniendo en cuenta las dinámicas socioculturales y económicas de cada espacio en particular. Analizar las características generales y particulares de cada uno de los subsistemas, así como también los procesos que suceden dentro de la cuenca, es fundamental para entender su funcionamiento y respuesta frente a las inundaciones.

Las autoridades gubernamentales y habitantes de la cuenca no son indiferente a este fenómeno natural. Los gobiernos municipales y estatal, reconocen a las inundaciones como un problema que pone en juego la integridad física y económica de la población, sus bienes y actividades productivas. Sin embargo, la irresponsabilidad de ambos actores, ha generado un desarrollo urbano desordenado y poco respetuoso del equilibrio hidrológico de la región, siendo común encontrar construcciones en las zonas de restricción federal y estatal de los cursos de agua y escurrimientos. Al problema de invasiones en los cauces, se le suma la obstrucción por grandes cantidades de basura, principalmente en las zonas rurales donde la población no tiene acceso al servicio municipal de limpieza.



En la validación de la presente investigación se trabajó con un área reducida dentro de la Cuenca RH12 A, la subcuenca RH 12 Ab seleccionada como un área de aplicación para la propuesta metodológica. Por otro lado, la RH12 A es entendida como un sistema dentro del Estado de México, motivo por el cual se realiza la descripción físico-natural, socio-cultural y económica; base para la descripción de la zona de aplicación. En la RH 12 Ab se aplican los pasos planteados en el Capítulo 3.



Justificación

Las inundaciones son un fenómeno recurrente en países como México, donde cada año hay pérdidas económicas de consideración y en algunos casos, humanas. Pese a ello, no es factible encontrar estudios o metodologías para determinar nuevas zonas de inundación ni su impacto socioeconómico.

De ahí que la estimación de los costos por daños producidos por una inundación resulta de gran importancia en la administración de riesgos, ya que las aseguradoras podrían categorizar las zonas de mayor susceptibilidad y con ello establecer el monto de las primas, y los bancos utilizarían estos análisis como criterio para la valuación de las propiedades (Baró y otros, 2012). Además, a escala regional y local, este tipo de análisis son decisivos, ya que las entidades gubernamentales, son las que deben tomar la decisión e implementar, a través de leyes y documentación oficial, las medidas preventivas, elaboración de un sistema de alerta temprana, ordenación racional del territorio y medidas post desastre.

Sin embargo, en el caso particular del Estado de México, tanto el Atlas de Inundación, como los Atlas de Riesgo Municipales, ambas herramientas gubernamentales importantes en la temática de los riesgos, no poseen ningún tipo de cálculo o estimación de las pérdidas económicas, así como tampoco la estimación de probables zonas que podrían padecer futuras inundaciones. Siendo que, según Keller y Blodgett (2007) la mayoría de los riesgos son predecibles a partir de una evaluación científica y algunos de los procesos y sucesos peligrosos pueden seguirse, trazarse y predecir su actividad futura basándose en la frecuencia de los sucesos pasados, pautas de su incidencia y tipo de sucesos precursores

En este sentido, hay que tener en cuenta que el modelo de valoración económica de cálculo de daños potenciales tangibles directos por inundación realizado por Baró y otros (2012) posee una limitante espacial, ya que se utilizaron los Índices de Marginación (IM) por Área Geo-Estadística Básica (AGEB) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). En el caso de la presente investigación, se utilizará el IM por Sección Electoral (Mancino, 2015) a fin de lograr una mayor precisión.

El punto de partida para la realización de los estudios físico/naturales, con la posterior determinación de zonas inundables y el costo económico que produciría según la zona afectada (habitacional, industrial, de servicios o agrícolas) se realiza en primer lugar, a través del análisis de



los factores de peligro, en segundo lugar, con el análisis y determinación de los bienes expuestos y por último, con el análisis de la estimación de daños.

A partir de los datos colectados y con el uso de SIG y software especializados, es posible estimar las zonas inundables y el costo económico que conlleva su ocurrencia. Lograrlo significaría un aporte importante para la planeación del territorio a mediano y largo plazo por parte de las autoridades estatales y municipales. Existen, como ya se mencionan en el apartado teórico, algunos aspectos que pueden ser retomados, pero que, en la mayoría de los casos no están adaptados a la realidad Latinoamericana, ya que requieren de cartografía muy detallada y bases estadísticas complejas con las que no se cuentan. Por este motivo, la propuesta metodológica que se realiza en esta investigación, está adaptada principalmente al espacio Latinoamericano, pudiéndose aplicar con los recursos disponibles en cada territorio.



Objetivos e hipótesis

En el presente trabajo de investigación se establecieron los siguientes objetivos e hipótesis de trabajo.

Objetivo general

- Diseñar una metodología que permita estimar las nuevas zonas inundables y su impacto socioeconómico en zonas habitacionales, industriales, comerciales, de servicios y agrícolas, aplicado a la Subcuenca hidrológica RH 12 Ab R. Oztolotepec – R. Atlacomulco, Estado de México.

Objetivos particulares

- Analizar los factores de peligro de inundación a través del estudio de las características físico-naturales particulares.
- Estimar las zonas con diferentes grados de peligro de inundación.
- Determinar la exposición de bienes materiales y componentes de vulnerabilidad a través del análisis de las características sociales y económicas.
- Diseñar una metodología de estimación de costos de daños directos tangibles producidos por una inundación en zonas habitacionales, de servicios, industriales y agrícolas.
- Aplicar y validar la metodología propuesta en la RH12 Ab.
- Estimar los daños económicos mediante la metodología planteada.

Hipótesis

Es factible, a partir del análisis detallado de los factores de peligro, bienes expuestos y componentes de la vulnerabilidad, diseñar una metodología que permita estimar zonas inundables en el Estado de México y a partir de ello, con el uso de información censal, es posible estimar el impacto económico de las inundaciones en zonas habitacionales, industriales, comerciales, de servicios y agrícolas.



Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual

El agua es el principal recurso natural renovable y la fuente indiscutible de vida. Sin embargo, su abundancia o escasez, puede presentarse como un problema para el desarrollo normal de una sociedad, pero a la vez se le considera como un fenómeno natural que puede representar un desastre natural.

Los desastres producidos por fenómenos naturales más frecuentes en el mundo, son los hidrometeorológicos, especialmente las inundaciones que se derivan de ellos¹. A pesar de que en algunas ocasiones aportan beneficios a determinados ecosistemas y modos de producción alimentaria, sin embargo, el incremento desordenado de la población en zonas urbanas y el asentamiento en lugares inadecuados, ha incrementado el riesgo de desastre por inundaciones, elevando la exposición física e impacto socioeconómico a tales fenómenos (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres en América Latina UNISDR- EIRD, 2013). Según la International Disaster Database EM-DAT, las tendencias a nivel mundial muestran, como con el paso del tiempo la cantidad de desastres “socio-naturales” continúa en aumento (EM-DATA, 2017).

En la actualidad, en donde existe una plasmación territorial ya consolidada, la cual se puede considerar adecuado o no, no es posible pretender que las comunidades humanas abandonen las áreas inundables. Por lo tanto, es necesario encontrar un equilibrio, a través de la gestión y ordenación de dichos territorios, entre las necesidades de la población, el impulso al desarrollo territorial y los riesgos, sin dejar de lado la presencia latente a dichos fenómenos naturales.

1.1 Las cuencas hidrográficas como sistemas

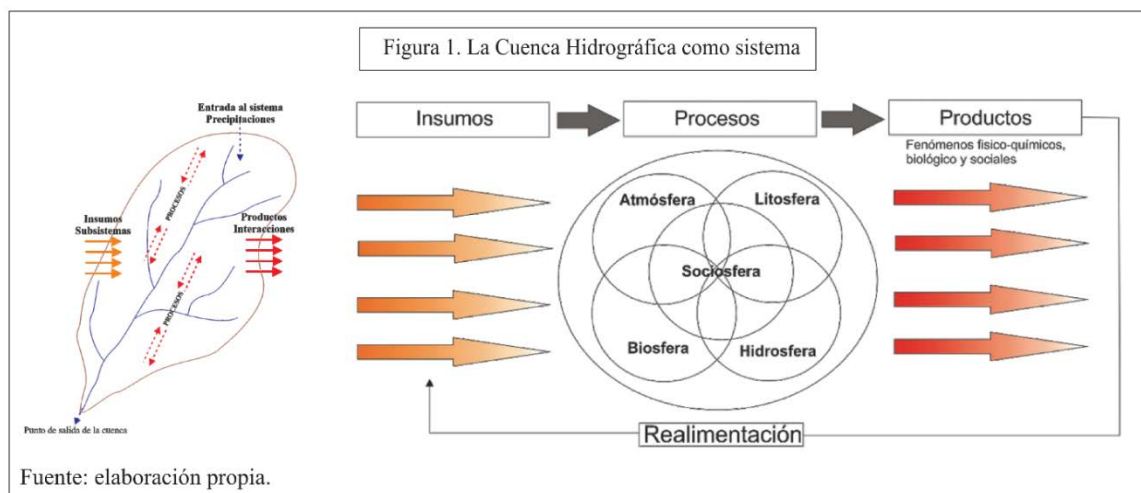
Cuando se realizan estudios relacionados con el medio natural y el análisis de los riesgos naturales, se debe tener en cuenta la relación que existe entre el hombre y el medio ambiente, ya que la misma implica una interacción recíproca. No existe un medio ambiente natural independiente del hombre, la naturaleza resiste siempre su acción transformadora dando lugar a un proceso lógico de acciones e interacciones.

¹ Según la EM-DAT 2012 a nivel mundial en el periodo 1914 - 2010, el 77% de los desastres naturales son derivados de fenómenos hidrometeorológicos, de los cuales el 42% corresponde a inundaciones.

La historia del hombre ha sido la búsqueda constante de instrumentos y formas de establecer relaciones con la naturaleza, utilizándola y adaptándola a sus necesidades. Dicha modificación influye sobre el hombre, originando cambios en sus condiciones de vida y en las relaciones con las otras partes. Dentro de este proceso no existe una ruptura entre sociedad y naturaleza debiendo éstos ser concebidos como partes de un todo, como dos subsistemas interrelacionados, integrados a un sistema mayor.

La Teoría General de Sistemas TGS o Enfoque Sistémico, establecida por el biólogo Ludwig Von Bertalanffy, permite el análisis integral de los hechos y fenómenos que ocurren en cualquier sistema, en donde todos los entes de la realidad son considerados como sistemas y entendidos como el conjunto de interrelaciones, las cuales le dan estructura a una determinada unidad. Este enfoque es un instrumento metodológico que permite aprehender los objetos, sus relaciones y reconocer su estructura dentro de las distintas categorías de sistemas (Cathalifaud y Osorio, 1998).

Por otra parte, la cuenca hidrográfica es la unidad natural para un tratamiento integrado de la planificación y gestión del territorio en el cual se enmarca (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO, 2009). Su estructura se basa, según el enfoque sistémico, en el ordenamiento y la interrelación de los subsistemas, elementos, miembros y partes, que lo componen: Atmósfera, Litósfera, Hidrósfera, Biósfera y Sociosfera. Son consideradas como un sistema sometido a un proceso productivo que recibe dos tipos de aportes, por un lado, los naturales en forma de precipitación e incidencia de la energía solar y por otro lado de carácter antrópico, es decir inducidos por el hombre en forma de trabajo e incorporación de nuevas tecnologías para su control y manejo (Figura 1).





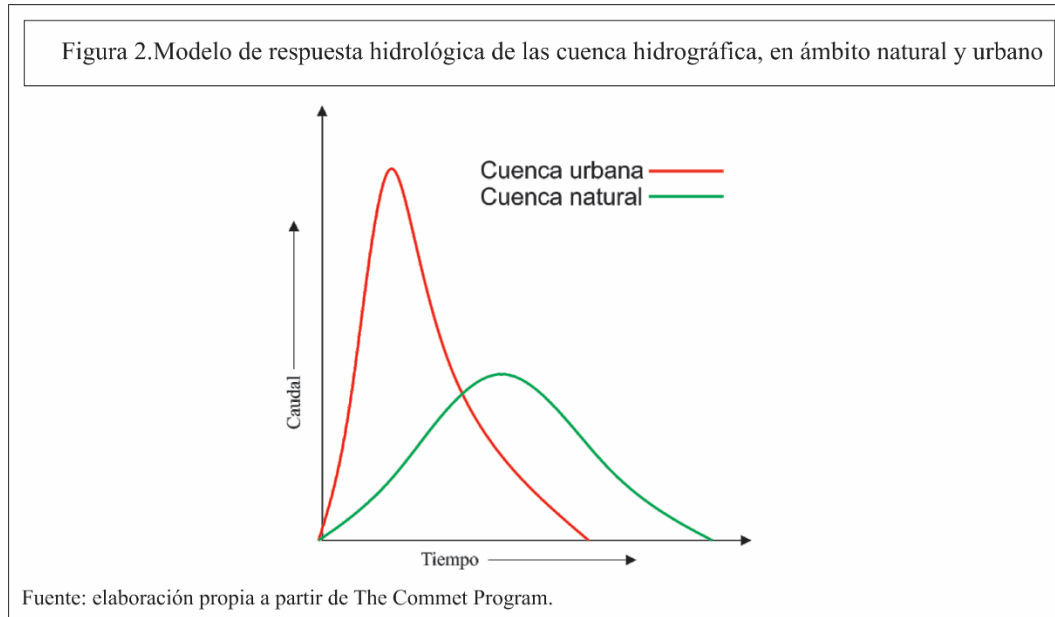
Debido a la transformación de estos espacios, el funcionamiento del mismo es modificado y por consecuencia, el resto del sistema. Por este motivo es necesario encontrar el equilibrio necesario que desde el punto de vista ecológico se expresa como el balance ingreso/egresos de materia y energía y desde el punto de vista social como la estabilidad económica/ cultural. Constituyen un sistema que integra factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales muy complejos, interrelacionados, que varía en el tiempo y espacio, considerándose, desde un punto de vista económico, un proceso productivo (Granados y otros, 2005).

A partir de los conceptos y aspectos anteriores, existen herramientas para la planificación y el diagnóstico de las cuencas, basadas principalmente en la combinación de las características fisiográficas de la cuenca (longitud de la red de drenaje, pendiente, área y forma geográfica de la cuenca, tipo de vegetación, densidad de corrientes y drenaje) que son de gran utilidad en la predicción de producción de sedimentos, escurrimientos superficiales e inundaciones.

Otro aspecto a considerar, es el medio biofísico, ya que este se relaciona con los componentes bióticos y abióticos. Las características de los cauces del río, la velocidad de la corriente debido a la pendiente del terreno y el tipo de sustrato, tienen gran influencia en la dinámica conjunta de las cuencas. La vegetación es fundamental en el marco del ciclo hidrológico, dinámica de los escurrimientos, infiltración y evapotranspiración.

Por otro lado, en las últimas décadas, la acción del hombre ha generado conflictos o problemas ambientales que surgen a partir una inadecuada gestión y relación entre las partes, reflejándose en la degradación (pérdida de productividad de suelos, erosión y desertificación), eutrofización de las aguas, deforestación, pérdidas de la vegetación baja y biodiversidad (Gaspari, 2013). Todo ello, en su conjunto, provoca la modificación de la respuesta hidrológica de la cuenca (Figura 2), incrementado de esta forma, las zonas, magnitud y ocurrencia de inundación (Salas y Jiménez, 2013).

Con el aumento de la actividad ganadera dentro de las cuencas, aumenta consecuentemente el pastoreo, la quema de pastizales, la formación de terrazas en las laderas de las montañas, impactando en la capacidad de infiltración suelo y ocasionando con ello la producción de escurrimientos superficiales y a la vez a la formación de picos de caudal (gastos máximos). Asimismo, la disminución de la infiltración tiene como consecuencia un abatimiento de agua de los acuíferos de las cuencas.



Según los documentos de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres EIRD/UNISDR realizada por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2000, entre el 30 y 50 por ciento de la población de países en desarrollo se asientan dentro del área o zona de influencia de una cuenca, lo cual provoca que el entorno natural, cada vez más frágil, este sujeto a permanentes presiones y modificaciones. Además, existe una tendencia a que la población, en continuo crecimiento y muchas veces asociada a la pobreza, emigran a zonas de alto peligro (UNISDR /EIRD, 2014).

La pérdida progresiva de la masa boscosa se manifiesta en el hecho de que las lluvias impactan la superficie del suelo, debido a la falta de cobertura vegetal. Todo ello provoca un aumento en la velocidad de los escurrimientos superficiales poniendo en peligro a la población, sus bienes materiales e infraestructura de servicios y comunicación, entre otros.

Según Aldama (2004), sin lugar a duda, el agua es el recurso natural más importante del sistema en el que estamos inmersos, sin agua no hay producción agrícola y no puede existir la actividad industrial. Sin agua no hay vida. La escasez trae consigo sufrimiento y desolación. En contraste, la ocurrencia de exceso de agua puede representar un riesgo.

1.2 El riesgo, su construcción social

Los desastres no son naturales, sino socialmente contruidos, ya que la ocurrencia del mismo implica la conjunción de dos factores: un fenómeno natural que alcanza proporciones



extraordinarias y, ciertos asentamientos humanos y sistemas físicos expuestos a la acción de dicho fenómeno. Es decir, si se genera una inundación en una zona deshabitada, no constituye un desastre en sí, ya que la profundidad del agua sobre el terreno no afectará a asentamiento humanos y no producirán un desastre. En todo el mundo las inundaciones están aumentando más rápidamente que ningún otro desastre, ya que el acelerado desarrollo de las comunidades modifica los ecosistemas locales, o bien los sistemas urbanos crecen de manera caótica en zonas donde no debiera ocurrir (Salas, 2014).

Los impactos negativos a la población son causados por acciones como: falta de restricciones a los asentamientos en áreas de peligro de inundación; la invasión de tierras gubernamentales cerca de los cauces y llanuras de inundación de los ríos, principalmente por la población de escasos recursos, y por último, el asentamientos de población en las áreas de riesgo medio de inundación, que igualmente sufren daños significativos (Díaz y otros, 2012).

Según Olcina y otros (2002) *“El riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita puede verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario”*. En este sentido, según los autores *“El Riesgo es la plasmación territorial de una actuación humana poco acorde con los rasgos del medio donde tiene lugar. Es una infracción que el hombre comete sobre el territorio por la implantación inadecuada de actividades o asentamientos”*.

En términos económico, el Riesgo, valor de los daños o pérdida anual esperada se define y expresa mediante la Ecuación General del Riesgo:

$$R = \sum P * E * V$$

Donde:

P= probabilidad del fenómeno catastrófico

E=por la exposición al riesgo o valor económico de los bienes expuestos

V= vulnerabilidad, expresada como tanto por uno de las pérdidas ante un fenómeno catastrófico.

Dicha ecuación permite considerar los dos aspectos que confluyen en el riesgo: la peligrosidad natural *P* (reducida al concepto de probabilidad del fenómeno) y los aspectos sociales que se consideran reducidos al producto del valor económico de los bienes expuestos por su vulnerabilidad (*E * V*) (Pujadas, 2002).



La forma más común de representar el carácter probabilístico del fenómeno natural es en términos de periodos de retorno o de recurrencia, definido como el lapso que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. En cuanto al análisis del riesgo en sí, es necesario abarcar los tres grandes campos de estudio, el peligro, la vulnerabilidad y el costo (Salas, 2012).

Según la CEPAL, la vulnerabilidad se define como “*la propensión interna de un sistema o de algunos de sus componentes a sufrir daños ante la presencia de determinada fuerza o energía potencialmente destructiva*”. Si no hay vulnerabilidad, no hay destrucción o pérdida. Existen tres variables que forman parte de la vulnerabilidad: la exposición destructiva ante una determinada amenaza (tomada a su vez como una variable independiente), la incapacidad de reaccionar adecuadamente cuando la amenaza se presenta, denominada susceptibilidad y la resiliencia o capacidad para lograr la recuperación de las condiciones normales de vida (CEPAL, 2002).

El análisis del riesgo, desde el punto de vista económico y metodológico, comprende dos etapas principales: análisis del peligro y análisis de la vulnerabilidad relacionada directamente con la exposición de bienes. El primer análisis implica la identificación, estudios y evaluación de peligros para determinar sus características, comportamiento y posibilidad de que se transforme en un evento destructor de las actividades económicas y humanas. Los criterios que se deben tener en cuenta son: a) la zona origen o el elemento desencadenante del proceso; b) la zona afectada o área susceptible de sufrir los efectos; c) las acciones o causas que provocan el problema y d) las consecuencias o efectos que resultan del problema. A través de la selección de aquellos atributos que permitan jerarquizar y ponderar los efectos que generan las distintas situaciones de riesgo (PNUD y otros, 2017).

El segundo análisis, con mayor complejidad analítica, abarca las dimensiones que se vinculan a las características de una comunidad expuesta y bienes materiales a determinada amenaza. Existen múltiples dimensiones de vulnerabilidad, dependiendo del aspecto que se esté evaluando, sin embargo, existe una *vulnerabilidad global*, concepto propuesto por Wilches-Chaux (1989) la cual integra todas las dimensiones analizadas. Las dimensiones de la vulnerabilidad son la física, comúnmente denominada exposición, social, económica, ambiental, institucional, cultural y política. Siendo las tres primeras, las más importantes de determinar las pérdidas económicas, sin quitar importancia a las restantes. Se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad es una condición o circunstancia dinámica y cambiante en el tiempo y espacio. De esta forma se formularía como



un proceso acumulativo de fragilidades, deficiencias y limitaciones que inciden en que exista o no, una mayor o menor vulnerabilidad (Cardona, 2001; PNUD y otros, 2017).

En este sentido, la *vulnerabilidad física o exposición* está determinada por el sitio y localización de las actividades productivas y los asentamientos humanos en zonas de peligro, densidad y distribución de la población y las deficiencias de la infraestructura (diseño y los materiales de construcción) para "absorber" los efectos. El aspecto de localización y deficiencia en la infraestructura, pueden provenir bien, de las condiciones de precariedad y la falta de opciones para una ubicación que implique menos peligro o debido a la gran extensión espacial que ocupa determinada amenaza en un territorio. La *vulnerabilidad ambiental* se refiere a la explotación inadecuada, presión excesiva y destrucción de los recursos naturales, aumentando cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia con la naturaleza, conduciendo al deterioro de los ecosistemas e incapacidad de resiliencia (Cardona, 2001, 2006, 2007; Cardona y otros, 2005; PNUD y otros, 2017).

La *vulnerabilidad social* se vincula a las condiciones de vida generales de una comunidad e incluye aspectos relacionados a los niveles de educación, acceso a salud, equidad social y seguridad. Dentro de un mismo nivel de análisis, coexisten grupos sociales que son más vulnerables que otros a sufrir en mayor grado los impactos del desastre: los grupos menos privilegiados en la estructura de clases, las minorías étnicas, niños y ancianos u otros segmentos de la población en desventaja son los más susceptibles.

Ligada a la anterior, se deben analizar la *vulnerabilidad educativa, cultural e ideológica*. La primera de ellas, se expresa en una educación deficiente en cuanto a calidad y cobertura en una comunidad propensa. Aspectos como la falta de conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres, como también el desconocimiento de la historia y falta de preparación ante un evento, hacen que una comunidad sea más vulnerable. La dimensión cultural de la vulnerabilidad se refiere a la forma en que los individuos se insertan en la sociedad de forma individual o colectiva, siendo primordiales los medios de comunicación, que en ocasiones influyen de manera negativa debido a la falta de transmisión de información, muchas veces imprecisa sobre el medio ambiente y los desastres.

Por último, relacionado a la vulnerabilidad social, se debe analizar la *dimensión ideológica*, relacionada con las ideas o creencias que tienen las personas sobre los hechos del mundo, la cual se expresa en actitudes fatalistas y creencias religiosas que limitan la capacidad de actuar de los



individuos en ciertas circunstancias, generando percepción de las cosas genere confusión y falta de reacción (Cardona, 2001, 2006, 2007; Cardona y otros, 2005; PNUD y otros, 2017).

En cuanto a la *vulnerabilidad económica*, los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables y que el grado de pobreza aumenta la vulnerabilidad. Dicho aspecto se expresa, a escala local, con las tasas de desempleo, falta de ingresos y dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios básicos. A escala nacional, se expresa principalmente mediante la dependencia económica, la falta de diversificación económica y restricciones al comercio internacional. Relacionada a esta, se encuentra la *dimensión política*, expresada en el nivel de autonomía que tiene una comunidad con respecto a sus recursos y toma de decisiones. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas y en la medida que la comunidad participa más en las decisiones que le atañen es menos vulnerable.

Por último, la *dimensión institucional* se relaciona con las dificultades que tienen las instituciones para hacer la gestión del riesgo. Situación que se refleja en la falta de preparación para responder ante un suceso, o cuando aun sabiendo que existe el riesgo no llevan a cabo acciones eficientes y efectivas para reducirlo o mitigarlo. Se expresa en la falta de flexibilidad de las instituciones, en el exceso de burocracia, en el hecho de que prevalecen la decisión política y el protagonismo (Cardona, 2001, 2006, 2007; Cardona y otros, 2005; PNUD y otros, 2017).

Según Gay y Rueda (2012), la vulnerabilidad de los grupos humanos ante un desastre natural es una construcción sociológica, ya que de manera natural no hay una condición implícita al medio ambiente que identifique como zona de vulnerabilidad a un espacio geográfico, siendo ésta una valoración subjetiva de las condiciones de una región determinada, luego de que el territorio ya ha sido simbólicamente apropiado por una comunidad social.

La vulnerabilidad ha estado directamente asociada a la idea de degradación del espacio biogeográfico y la incapacidad de respuesta de los individuos ante un fenómeno natural, lo cual ha llevado a identificarla como sinónimo de riesgo. Sin embargo, difieren, ya que el riesgo, tiene una relación con la exposición a peligros externos sobre los cuales las personas no tienen control.



1.3 Medidas de mitigación del riesgo

Según explica Salas (2014), en el pasado las poblaciones entendían la naturaleza de las inundaciones, no en términos estadísticos, sino como un elemento del medio natural. Los asentamientos se localizaban cerca de los ríos para aprovecharlos como medio de transporte y fuente de abastecimiento de agua para su consumo y cultivo de las fértiles llanuras de inundación, pero de ser posible sus hogares eran construidos en terrenos altos para evitar las afectaciones debidas a las inundaciones. Hoy en día, el aumento de la población y la falta de prevención, ha provocado que la población se asiente en las propias llanuras de inundación de los cursos de agua, aumentando, por un lado, la exposición y vulnerabilidad, y por otro, el aumento del costo económico que producen las inundaciones.

Como consecuencia de ello, la respuesta han sido la implementación de acciones de protección, mediante grandes inversiones por parte de las dependencias gubernamentales, para la construcción de obras de hidráulicas, denominadas medidas estructurales de mitigación, dejando a un lado, sin darles mayor importancia, a las medidas de mitigación no estructurales o institucionales.

En cuanto a las medidas estructurales, se puede decir que son aquellas obras hidráulicas que ayudan a evitar, lo menos posible, los efectos negativos de la inundación, manteniendo el agua dentro del cauce o evitando que el agua que ha salido de los cauces, alcance poblaciones o zonas de interés. Entre ellas están las obras de regulación como las presas de almacenamiento; obras de rectificación como encauzamiento y entubamiento de ríos, bordos, muros y lagunas de protección y regulación, rectificación de los ríos, etc. En el caso específico de México, las instituciones públicas encargadas de la construcción de dichas obras son la Comisión Nacional del Agua CONAGUA, Comisión Federal de Electricidad CFE y los Sistemas de Aguas Estatales SAE (Salas, 2014).

A diferencia de las anteriores, las medidas de mitigación no estructurales se basan principalmente en la planificación, organización, coordinación, gestión y ejecución de acciones que disminuyan los daños causados por una inundación. Entre ellas se encuentra la elaboración de cartografía de riego, sistemas de alerta temprana SAT, reglamentación de los usos del suelo en cuanto a demarcación de zonas, ordenamiento o reordenamiento territorial, planes de emergencia, etc. En el territorio mexicano, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), es el



encargado, junto con los gobiernos estatales, municipales y federal, de elaborar, promover, difundir y llevar a cabo dichas acciones.

Dentro del territorio mexicano, en materia legal a nivel federal, relacionada directa o indirectamente con las inundaciones, se presentan tres leyes generales y un plan estratégico de acciones. La *Ley General de Protección Civil* (DOF Diario Oficial de la Federación, 23-06-2017), Última Reforma DOF), tiene por objeto establecer las bases de coordinación en materia de protección civil ante fenómenos naturales, considerando como delito grave la construcción, edificación, realización de obras de infraestructura y los asentamientos humanos que se lleven a cabo en una zona determinada sin elaborar un análisis de riesgo y, en su caso definir las medidas para su reducción, tomado en consideración la normatividad aplicable y los Atlas municipales, estatales y el Nacional y no cuenten con la autorización de la autoridad correspondiente.

Por su parte, la *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano* (DOF, 28-11-2016) se centra en el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano de los centros de población. El objetivo principal es mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, mediante la prevención, control, atención de riesgos y contingencias ambientales que se presenten.

La *Ley General de Aguas Nacionales* (DOF, 24-03-2016) determina que, a través de los Organismos de Cuenca, se debe fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; los de riego o drenaje y los de control de avenidas y protección contra inundaciones. Además, deberán construir y operar, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes. Se decreta, que se clasificarán las zonas en atención a su riesgo de posible inundación, emitiendo las normas y recomendaciones necesarias para la operación, control y seguimiento del fenómeno. Además, el establecimiento de seguros contra daños por inundaciones en zonas de alto riesgo.

En la misma ley, se determina, a través del Organismo de Cuenca, la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas, tomando las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, y acrecienten los conocimientos sobre la ocurrencia del agua, en cantidad y calidad, en todas las fases del ciclo hidrológico.



Por último, en el *Programa Nacional Hídrico 2014-2018* (CONAGUA, 2013), diseñado y desarrollado durante el año 2013, se plantea reducir la vulnerabilidad de asentamientos humanos para evitar pérdida humana y daños materiales a la infraestructura por efecto de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Dicho objetivo, se realizará a través del reforzamiento de las acciones para evitar la invasión de cauces y zonas federales. De no ser posible dicha invasión, se construirá infraestructura de protección y control de avenidas. Además de fortalecer los programas de protección a la población, perfeccionamiento de los sistemas de alerta temprana y el vínculo con el Sistema Nacional de Protección Civil. Asimismo, se continuará con la modernización del Servicio Meteorológico Nacional para contar con mejor y más oportuna información meteorológica y fortalecer o establecer los centros hidrometeorológicos regionales.

1.4 Las inundaciones: características y clasificación

Según el Glosario Hidrológico Internacional, publicado por Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés), una inundación se define como “*el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce*” y una crecida como “*Elevación, generalmente rápida, del nivel de agua de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor*”. Las inundaciones son un proceso natural que se producen en la mayoría de los sistemas fluviales del planeta (WMO – UNESCO, 2012). El problema surge cuando el hombre se instala en las zonas inundables, lo cual convierte a estas áreas, en zonas de riesgo. Históricamente, las llanuras aluviales constituyen el sustrato idóneo para la ocupación humana, dada la disponibilidad de agua, la fertilidad de las tierras y su topografía llana (Camarasa, 2002).

El término encharcamiento o anegamiento, se refiere a una pequeña acumulación de agua del tamaño de una lámina delgada, debida principalmente a la saturación del suelo y estancada en lugares planos o con leve inclinación y de poca extensión, que puede permanecer por horas o por pocos días. La diferencia que se estableció entre inundación y encharcamiento fue básicamente el tirante de inundación, de tal manera que aquellos eventos menores a 0.30 metros, son considerados encharcamientos (Vera y López, 2010).

Según su origen, las inundaciones, de forma general, se clasifican en cinco tipos: a) inundaciones fluviales, cuando el nivel del agua supera en alguna sección del cauce, el nivel normal de las márgenes, invadiendo las márgenes alledañas, normalmente libres de agua; b) inundaciones pluviales, producidas por la acumulación de algún tipo de precipitación (lluvia, granizo o nieve) en



áreas de topografía plana o cóncava, incapaz de moverse por sí misma, o que han llegado a su máximo nivel de infiltración, en donde la infraestructura para el manejo de las aguas pluviales es deficiente, ejemplo de ello son las inundaciones en zonas urbanas generadas por tormentas de gran intensidad y corta duración; c) inundaciones lacustres, debido al desbordamiento extraordinario de las masas de agua continentales o cuerpos lacustres en sus zonas adyacentes; d) inundaciones costeras, producidas por el desbordamiento del mar sobre la costa sobrepasando la cota de marea alta; e) inundaciones derivadas de la insuficiencia de las obras construidas para el almacenamiento y control de las avenidas (Salas y Jiménez, 2013).

Según el tiempo de respuesta o tiempo de concentración y características fisiográficas de la cuenca, las inundaciones pueden ser lentas o súbitas, las primeras se presentan en zonas baja, cuencas de gran tamaño, con pendiente suave o planicies (menor a 3 por ciento o menor a 15° de inclinación) y tiempo de respuesta mayor a 6 horas, la duración del evento puede durar días o semanas, dependiendo principalmente de las características meteorológicas, abarcando grandes áreas y produciéndose daños materiales. En cuanto a las inundaciones súbitas o *Flashflood*, son el resultado de lluvias intensas y repentinas donde el factor más importante es la pendiente (mayor a 3 por ciento o 20° de inclinación, y una respuesta menor o igual a 6 horas) se dan en cuencas pequeñas, generalmente en zonas de laderas, sierras y zonas urbanas como consecuencia de la cubierta impermeable. Abarcan áreas de menor tamaño que las anteriores y por lo general la duración del evento es de unos minutos a horas, causando principalmente pérdida de vidas humanas en zonas pobladas (Prieto y otros, 2014).

Las abundantes precipitaciones son la causa principal de inundaciones en México, pero se deben tener en cuenta factores importantes de ello, como el exceso de las mismas en un lapso corto de tiempo, lo cual produce una saturación en la absorción y almacenamiento de los suelos, generando una escorrentía superficial que provoca el ascenso rápido del nivel medio de los cursos de agua.

Según el Instituto de Protección Civil del Estado de México (IPCEM), los efectos provocados por una inundación son extensas áreas cubiertas de agua; erosión de riveras y suelo, juntamente con una sedimentación excesiva lo cual dificulta el drenaje de las aguas e impide la productividad de los terrenos adyacente; viviendas afectadas e interrupción de vías de comunicación; pérdida de bienes, vidas y áreas de cultivo; y efectos derivados o secundarios, como



la proliferación de enfermedades y plagas, escasez de alimentos y contaminación del agua (IPCEM, 2005).

A nivel nacional, en los últimos años, diversos autores han realizados estudios generales, estudios de caso, proyectos e informes, relacionados con las inundaciones en México, ejemplo de ello es la investigación presentada por Domínguez-Mora y otros (2015); el caso de la cuenca del río Tuxpan, Veracruz (Ellis y otros, 2012); sur del estado de Guanajuato (Matías y otros, 2007); el caso del municipio de Iztapalapa (Vera y López, 2010); inundaciones en Tabasco (Zapata-Martí y García, 2008), entre otros.

1.4.1 Inundaciones urbanas

En Latinoamérica, el proceso de urbanización es muy significativo, ya que según los estudios realizados por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (DESA, por sus ingles) para 2009 el 77.5 por ciento de la población vivía en zonas urbanas. En el caso específico de México, el 79,9 por ciento de su población total, se considera urbana (Organización de Naciones Unidas ONU 2011; ONU- Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, 2002).

La principal causa de las inundaciones urbanas es la impermeabilización de superficies, acelerando de esta manera la escorrentía superficial, lo cual genera una alteración en los volúmenes y picos de los hidrogramas (gráfica que refleja la escorrentía total de la cuenca). Sin embargo, también es importante tener en cuenta otros factores, como la deforestación en zona alta de las cuencas, que modifica el comportamiento de los escurrimientos; la desecación de humedales; la mala disposición de residuos; la inadecuada ubicación de puentes e infraestructura hidráulica. Todo ello, son factores que pueden afectar la capacidad de drenaje de canales naturales y artificiales, favoreciendo la ocurrencia de inundaciones (Dirección General de Protección Civil DGPC, 2014).

La Ciudad de México (CDMX) es un ejemplo de ello, que muestra que, a pesar de las grandes inversiones en infraestructura para drenaje y control de las avenidas, cada año se producen enormes pérdidas debidas a las inundaciones (González, 2009). Otros ejemplos similares son los eventos de inundación sucedidos en los municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y ciudad de Los Cabos (Baja California Sur), donde, derivado de abundantes precipitaciones, sufrieron inundaciones históricas en el mes de agosto y principios de septiembre



de 2017, provocando daños tanto a viviendas como a infraestructura de drenaje y vial (Periódico Reforma 2/09/17).

La tendencia al incremento de las inundaciones parece obedecer, por un lado, al aumento de la exposición, es decir, una mayor concentración de la población en zonas urbanas y periurbanas, zonas artificialmente formadas por edificaciones caracterizadas por su cubierta impermeable en donde las corrientes naturales han sido canalizadas o cubiertas; a un uso intensivo del territorio y, por otro lado, a un incremento de la peligrosidad climática con la ocurrencia de fenómenos naturales extremos más frecuentes.

1.4.2 Aspectos socioeconómicos de las inundaciones

Según la WMO, entre 1970 y 2012, se reportaron 8,835 desastres relacionados con eventos hidrometeorológicos. Juntos, causaron la pérdida de 1,94 millones de personas y 2,4 trillones de dólares en daños económicos. Las inundaciones y tormentas, representaron el 79 por ciento del número total de desastres, causaron el 54 por ciento de las muertes y el 84 por ciento de las pérdidas económicas. Del total de eventos, los de mayor intensidad en términos de vidas perdidas, ocurrieron principalmente en países en desarrollo y poco desarrollados, mientras que las mayores pérdidas económicas ocurrieron en los países desarrollados o con economías en transición. Las inundaciones son el proceso que, en un corto espacio de tiempo, horas o días, generan el mayor volumen de pérdidas económicas y número de víctimas (WMO, 2014; Pujadas, 2002).

Desde el año 1975 la ONU, a través de la CEPAL y el Banco Mundial, aplica una metodología para la medición de los efectos socioeconómicos, luego de ocurrido un desastre natural. Mediante ella se ha podido realizar un diagnóstico de los daños directos totales ocasionados por los desastres naturales en América Latina y el Caribe durante dicho lapso para cada uno de los sectores económicos y sociales afectados (CEPAL, 2003). Estas evaluaciones generalmente han sido tomadas en cuenta por el gobierno federal mexicano, en una versión abreviada, para delinear planes de reconstrucción y para estimar las necesidades y tipo de colaboración externa necesarios para llevarlos a cabo (Bitrán, 2001; Bitrán y otros, 2002, 2014 A, B, C, D; García Arróliga y otros, 2006, 2014 A, B, C, D, E, F; Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos 2014; García Arróliga y otros, 2015, 2016 A, B, C).

Dentro del concepto general de daños cuantificables de dicha metodología, existen dos conceptos que deben diferenciarse antes de abordar temas sobre impactos socioeconómicos



derivados de fenómenos naturales. El primero es la magnitud de los daños ocasionados, los cuales se trata de bienes cuyo valor, al ocurrir el fenómeno, se encontraba depreciado, en función de su vida útil promedio. Y el segundo, es el costo de la reconstrucción de lo que fue destruido o dañado, el cual se refiere, al reemplazo de los bienes destruidos y construcciones como viviendas, centros educativos o de salud. Según la CEPAL (citado por Bitrán y otros, 2002) para la medición de los daños se han agrupado los efectos de un fenómeno natural en tres categorías principales:

- 1) Los daños directos, que son aquellos causados por un desastre en el patrimonio de las personas, empresas o instituciones, incluyendo las existencias de bienes terminados, en proceso y de materias primas. Se agregan a este tipo de daños las cosechas agrícolas que al ocurrir el desastre estaban a punto de ser levantadas.
- 2) Los daños indirectos, se refieren a los flujos de bienes y servicios que se dejan de producir durante el período en que se lleva a cabo la reconstrucción de la infraestructura física. Se incluyen los costos que significó la atención de la emergencia por parte de los gobiernos.
- 3) Los efectos macroeconómicos, miden el impacto del desastre sobre los grandes agregados macroeconómicos como son: crecimiento económico, desequilibrios en la balanza de pagos, incremento del gasto público, la inflación, disminución de las reservas internacionales, agravación de las desigualdades del ingreso en las familias y, los costos derivados del aislamiento de determinadas regiones agrícolas, entre otros.

En cuanto a su temporalidad y momento de ocurrencia, los daños directos se manifiestan en el momento del desastre o inmediatamente después de concluido este, en cambio los indirectos y macroeconómicos, se prolongan durante un cierto período, convencionalmente definido de dos años, pero dependiendo de la magnitud e intensidad del desastre, suele extenderse hasta por cinco (CEPAL, 2003).

Además de la anterior clasificación, existen otras, relacionadas en el análisis de impactos económicos producidos por una inundación. Según Estrada, pueden diferenciarse cuatro tipos de daños (citado en Baró y otros, 2012):

- 1) Daños directos hacen referencia a las pérdidas producidas por el contacto físico con el agua, y se valoran a través de los costes de reposición, reparación o rehabilitación de los bienes afectados.
- 2) Daños indirectos incluyen el costo adicional del área inundada, pérdidas derivadas de la interrupción de servicios, los daños en negocios, salarios, costos de limpieza después de la



inundación, etc. También se incluyen los incrementos de costes en tareas de previsión y alarma, evacuaciones y alojamientos temporales en zonas libres de peligro.

3) Daños intangibles, comprenden pérdidas de vidas humanas, perjuicios a la salud pública por contaminación de las aguas o proliferación de insectos, daños en sitios históricos y arqueológicos.

4) Daños de incertidumbre, se refieren a la inseguridad que sufren los habitantes de una zona inundable respecto al momento y magnitud de la próxima inundación. Representan la diferencia entre el valor de los daños esperados y lo que estarían dispuestos a pagar los ocupantes de la zona para evitar pérdidas altamente variables de unos años a otros y que, en ocasiones, pueden alcanzar proporciones catastróficas.

Según la clasificación de daños por desastres naturales presentada por James y Lee (1971), los daños tangibles pueden ser medidos con base en un valor monetario, mientras que los daños intangibles no. También se señala, que las diferencias entre estos dos tipos de daños se relacionan con la dificultad de asignar los valores monetarios a los bienes perdidos, por ejemplo, los daños físicos en las construcciones pueden ser estimados al evaluar el costo de reparación, por lo tanto, es un daño tangible. Sin embargo, el estrés y la ansiedad son ejemplos de daños intangibles, debido a la dificultad de evaluar estos estados emocionales de forma monetaria (citado en Baró y otros, 2012).

En las zonas urbanas, dentro de ellas las zonas comerciales, de servicios e industriales, los daños directos se reflejan por el contacto directo del agua con las viviendas, negocios, infraestructura industrial y edificios públicos, produciéndose su deterioro físico y pérdida de los bienes del interior del inmueble; y los daños indirectos se producen por los inconvenientes causados en el sistema productivo, reflejándose en la reducción de las actividades económicas así como en las pérdidas en la recaudación de impuestos, costos de servicios de emergencia y de protección civil, aumento de costos de seguro, desempleo y reducción de salarios, entre otros. En las zonas rurales, además de la infraestructura propia, se cuantifican las hectáreas de siembra afectadas según el tipo de cultivo y valor en el mercado en el momento de producido el evento.

La exposición de México a los desastres naturales va en aumento. Bajo la coordinación del CENAPRED, se realiza anualmente un informe sobre las características del impacto socioeconómico generado por los principales desastres ocurridos en México. En dichos informes, arrojan estadísticas generales del tipo de fenómeno natural que ha provocado el desastre, costos aproximados de daños, infraestructura pública y privada afectada, y cantidad de damnificados,

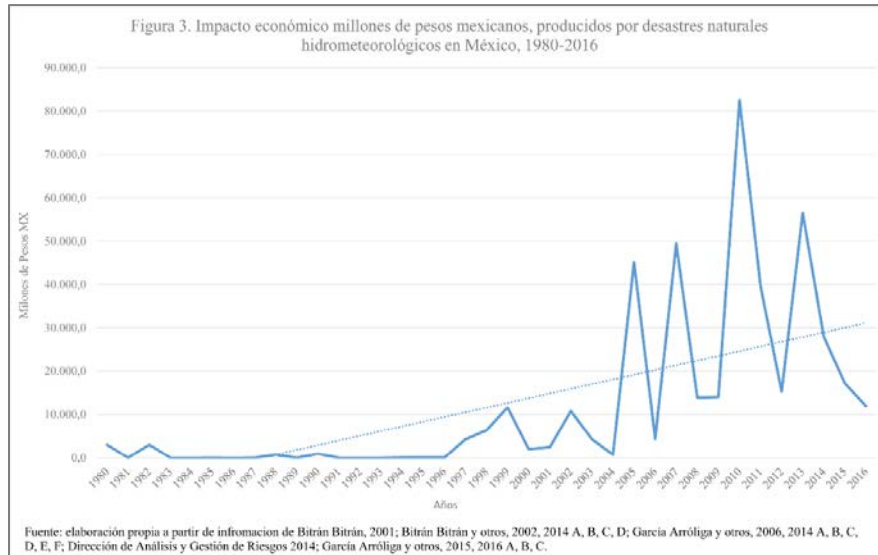


entre otras variables. Desde 1980 al 2016, los efectos producidos por los diferentes fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, inundaciones, granizadas, heladas y sequías, han sido los de mayor impacto. Esto se debe principalmente por su frecuencia, carácter recurrente y área geográfica afectada (más extensa que los de tipo geológico) que los caracteriza. El costo de daño total estimado en dicho periodo fue de \$ 427,889 millones de pesos mexicanos y un total de 4,924 muertes (Tabla 1 y Figura 3) (Bitrán, 2001; Bitrán y otros, 2002, 2014 A B C D; García y otros, 2006, 2014 A B C D E F, 2015, 2016 A B C; Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos, 2014).

Tabla 1. Impacto socioeconómico en cantidad de muertes y millones de pesos mexicanos, producidos por desastres naturales hidrometeorológicos en México, 1980-2016

Año	Cantidad de muertes	Total de daños \$
1980	3	2.986,8
1981	S/D	S/D
1982	50	2.983,0
1983	S/D	S/D
1984	S/D	S/D
1985	0	16,0
1986	S/D	S/D
1987	6	2,9
1988	225	722,0
1989	S/D	S/D
1990	391	897,8
1991	S/D	S/D
1992	S/D	S/D
1993	68	S/D
1994	S/D	36,1
1995	282	122,0
1996	224	50,4
1997	228	4.254,1
1998	321	6.348,9
1999	480	11.604,1
2000	100	2.019,6
2001	163	2.416,8
2002	120	10.764,0
2003	138	4.267,8
2004	104	714,7
2005	203	45.096,0
2006	220	4.373,3
2007	187	49.422,3
2008	148	13.890,1
2009	100	14.041,8
2010	199	82.540,0
2011	164	39.543,8
2012	140	15.265,9
2013	300	56.479,5
2014	118	27.962,3
2015	107	17.117,9
2016	135	11.947,9
Total	4.924	427.887,6

Fuente: elaboración propia a partir de información de Bitrán Bitrán, 2001; Bitrán Bitrán y otros, 2002, 2014 A, B, C, D; García Arróliga y otros, 2006, 2014 A, B, C, D, E, F; Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos 2014; García Arróliga y otros, 2015, 2016 A, B, C.



Desde 1996, el Fideicomiso Fondo de Desastres Naturales FONDEN creado por el Gobierno Federal Mexicano y abalado por el Banco Mundial, es el encargado de apoyar las actividades de emergencia, recuperación y reconstrucción después de la ocurrencia de un desastre. El programa permite aminorar y atender dichas actividades cuando los gobiernos estatales o municipales han superado la capacidad de atenderlos. En la actualidad, se pretende introducir las reformas necesarias a la operación del fondo de manera de contemplar también dentro de sus acciones, la prevención y mitigación de los riesgos (SEGOB, 2012).

Uno de los principales problemas para la estimación de costos de daños por inundación es la determinación de modelos y variables específicas, acordes y que se ajusten a la realidad espacial que permitieran su cálculo. Diversos factores dificultaban ese objetivo en México. Entre otros, que los sistemas de clasificación catastral son diferentes en cada estado, y no contienen el mismo número de estratos ni son comparables entre sí. Por ello, la utilización del Índice de Marginación se revela como instrumento útil, ya que clasifica la población y sus viviendas de manera uniforme a todo lo largo y ancho del país.

En cuanto a las metodologías para la estimación de costos, el gobierno federal, se basa en la metodología para la evaluación y cuantificación de daños del impacto socioeconómico de los desastres propuesta actualizada por la CEPAL (CEPAL-ONU, 2014), la cual fue adaptada según las características del territorio nacional. Además de ésta, existe otro método a escala nacional, propuesto por Baró *et al.* (2012) para la estimación de los costos, en este caso, solo de daños tangibles directos, dejando de lado los daños indirectos. Según los autores de dicha metodología, es una herramienta que facilita la planeación estratégica en la gestión de las inundaciones, siendo



útil para el análisis *ex post facto*, con el fin de estimar los recursos para la mitigación, rehabilitación y compensación ante estos eventos. Para lograrlo se analizaron los diferentes tipos de inundaciones y sus efectos solo para zonas habitacionales y agrícolas.

En el caso de la primera metodología, para determinar la vulnerabilidad social utilizan el índice de marginación a nivel localidad, municipal o estatal, dependiendo el caso; y la vulnerabilidad física mediante la tipología, en cuanto a parámetros de construcción para cada vivienda. En zonas rurales, se determina la mediante una inspección física de la misma, en cambio para las zonas urbanas, se obtiene a través de la información del Censo de Población y Vivienda publicado por INEGI.

En la metodología propuesta por Baró *et al.* (2012), para la identificación del tipo de vivienda habitada y condición de sus ocupantes, los autores se basaron en el índice de marginación por AGEB, escala de información en la solo se incluyen áreas urbanas. Para la determinación de bienes y estimación de valor de los mismos, se realizó una compilación de información el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINE 2000) e información proporcionada por diferentes casas comerciales y datos de la Procuraduría Federal del Consumidor PROFECO. En el caso de zonas agrícolas, la evaluación de los daños se realiza a partir del ingreso de los agricultores, el cual se ve afectado una vez producida la inundación. Según Estrela, citado en Baró *et al.* (2012), para conocer los costos económicos en una zona agrícola se debe tener presente otras variables como época del año que se produce la inundación, disminución o pérdida total o parcial de la cosecha, gastos por acondicionamiento de los terrenos, tipo, productividad y estacionalidad de los cultivos.

Analizadas las dos zonas, el resultado final fue la creación de diferentes curvas de daño basadas en regresiones lineales de tipo logarítmica y sus respectivas ecuaciones de cálculo, con el fin de establecer los daños tangibles directos máximos, mínimos y más probables, teniendo en cuenta la altura de la lámina de agua producida por la inundación. Dichas curvas, se construyeron en función del IM por AGEB en el caso de las zonas urbanas y en las zonas rurales teniendo en cuenta los daños en los cultivos de maíz, ya que es el principal cultivo en la zona piloto donde se aplicó este método, Cuenca Lerma-Chapala. También se consideró si el tipo de cultivo, era de riego o de temporal, ya que este hecho afecta a la producción en tonelada de grano por hectárea, y por lo tanto al valor de la cosecha.



1.4.3 Modelos para la determinación de zonas inundables

Si bien existen varios modelos para la determinación de zonas inundables, ampliamente utilizados, modelos basados en el estudio Geomorfológico, Hidrológico, Histórico e Hidráulico, se debe tener en cuenta que ninguno de ellos ha sido adoptado unánimemente, lo cual da idea de la complejidad de estos tipos de estudio. Ello se debe fundamentalmente a la falta de datos históricos, particularidades físico-naturales de la zona de estudio, finalidad del estudio y complejidad al momento de aplicar cada uno de los métodos (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente MAPAMA, 2009; Alcocer-Yamanaka y otros 2016).

El objetivo del Modelo Geomorfológico, es la caracterización de la cuenca vertiente e identificar elementos geomorfológicos, principalmente del cauce, a través de la utilización de MDE, los cuales permiten la delimitación de diferentes zonas y la red de drenaje. Tomando como base dichos datos, se realiza un análisis hidrológico básico mediante cálculo de superficies, medidas y parámetros morfométricos (área cuenca, longitud del cauce, altura media, pendiente media, cota máxima, cota mínima, etc.), delimitación de la morfología fluvial: llanura aluvial, llanura de inundación y cauce ordinario. Además, se analiza los aspectos climáticos (precipitaciones), edafológicos, morfoestructurales, y los usos suelo presentes en la zona a realizar el estudio. Este tipo de estudios conlleva el análisis del terreno de la forma más exacta posible, ya que los datos derivados de él, son necesarios para otros tipos de estudios, principalmente el estudio Hidrológico (motivo por el cual se le denomina Hidrogeomorfológico o Geomorfológico Integrado) (IGME, 2008, 20009; MAPAMA, 2011, 2013; Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INT, 2005).

En el Estudio Hidrológico, se deben determinar los caudales (datos de estaciones Hidrométricas o a partir de los datos de precipitación) para establecer las zonas inundables con sus diferentes niveles de probabilidad. Para llevarlo a cabo, se pueden aplicar dos metodologías diferentes, a través del Método Estadístico, mediante el análisis de máximos caudales en las estaciones de aforos o mediante el Método Racional, basado en el cálculo de la máxima avenida probable en la cuenca vertiente a través de la relación precipitación - escorrentía, es decir, la cantidad de precipitación caída que tras no ser infiltrada pasa a ser escorrentía directa o “lluvia neta (IGME, 2008, 20009; MAPAMA, 2011, 2013; Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio, 2015).



Mediante la aplicación del método Histórico, se determina la génesis y desarrollo de las inundaciones, la tipología de los procesos de inundación y localización de las zonas inundables, mediante eventos históricos de las mismas. Cuando se dispone de datos históricos adecuados, la delimitación de las áreas inundables es factible sin tener que recurrir a otros métodos, ya que permite evaluar de una manera precisa las áreas afectadas. La delimitación de estas zonas, resultan de la interpretación de fotografías aéreas o en su defecto imágenes satelitales obtenidas en el momento de la inundación, que conjuntamente con la recopilación periodística resulta imprescindible para la demarcación realista de las zonas inundables (Bescos y Camarasa, 2000; IGME, 2008, 2009; MAPAMA, 2011, 2013; Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio, 2015).

Por último, el Método Hidráulico, tomando como base los datos de los estudios geomorfológicos e hidrológicos, se realiza a través de la modelación hidráulica de secciones de un cauce. Para utilizarlo, se deben tener conocimientos de hidráulica y de herramientas necesarias para los cálculos (Bescos y Camarasa, 2000; IGME, 2008, 2009; MAPAMA, 2011, 2013; Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio, 2015).

1.4.4 Las inundaciones y su representación espacial

La determinación y representación espacial de todos los componentes del riesgo, es de suma importancia y por ello la cartografía se ha convertido en una herramienta indispensable para su evaluación, por un lado, como fuente de información y análisis de datos, y por otro, como soporte para la modelización de eventos. Sin embargo, no hay que dejar de lado, que la determinación de dichos escenarios depende de los recursos materiales, capacidad tecnológica y el equipo técnico disponible en una comunidad (PNUD y otros, 2017).

En este sentido, los mapas de riesgo representan la delimitación de zonas en las que existe la posibilidad de que ciertos elementos de la sociedad se vean afectados por una ocurrencia natural de tipo extremo. Por tanto, supone un proceso de integración de los mapas de peligro, cuyo objetivo es la delimitación de zonas afectadas por un determinado fenómeno natural, el mapa de exposición - vulnerabilidad que representa la situación de los elementos en riesgo (Pérez, 2012).

Según, Ribera (2004) lo más razonable es pensar que los mapas que pretendan representar el riesgo de que se produzcan daños, principalmente por una inundación, deberían seguir un patrón teórico basado en que, la vulnerabilidad presenta un comportamiento desigual según grupos



sociales, actividades productivas o territorios y por tanto, puede ser estudiada desde estas dimensiones. Sin presencia humana, no hay riesgo. Por este motivo, el potencial impacto de un suceso natural debe ser valorado a partir de la interrelación existente entre los aspectos sociales del espacio afectado y los aspectos físicos desencadenantes.

Los mapas de riesgo de inundación, según Pujadas (citado por Ribera Masgrau, 2004), se pueden agrupar en cinco tipologías:

1) *Mapas de áreas inundables y peligrosidad*, los más frecuentes y usuales, se limitan a localizar el área potencialmente afectada por las inundaciones. En definitiva, se trata de determinar la ocurrencia o no de un suceso en un punto del territorio a partir de la aplicación de los diferentes modelos.

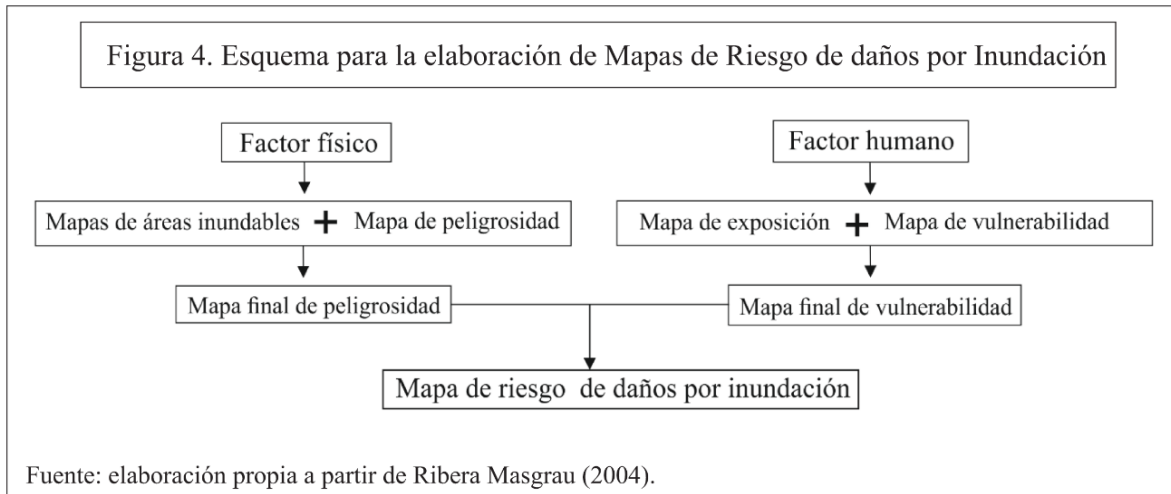
2) *Mapas de exposición*, determinan la localización de los elementos expuestos en un período temporal concreto. Esta información es útil para conocer la situación de aquellos elementos que, por sus características, pueden modificar su afectación respecto a un suceso determinado.

3) *Mapas de vulnerabilidad*, localizan y caracterizan los elementos expuestos. Describen aquellas características de los elementos a estudiar que incrementan o disminuyen el impacto de una inundación. Algunas de las variables a estudiar pueden ser las edades, el género, los ingresos económicos, el nivel de formación en el caso de los estudios de posibles afectaciones a la población o las características estructurales de las infraestructuras, las viviendas y las vías de comunicación.

4) *Mapas de riesgo de daños*. En un sentido estricto, se consideran los verdaderos mapas de riesgo, ya que muestran las inundaciones en relación con el impacto negativo que éstas pueden llegar a originar en personas, bienes y actividades productivas. Para su realización, se debe disponer de los mapas anteriores (Figura 4). Los mapas de riesgo de daños por inundación son una herramienta insustituible para detectar áreas y elementos sometidos a Riesgo. Permiten conocer el nivel potencial de impacto de la inundación sobre los diversos elementos distribuidos en el territorio ayuda a analizar, a tomar decisiones y a desarrollar medidas de gestión.

A nivel internacional, existen metodologías referidas a cartografía de inundaciones, como la “*Guía metodológica para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones*” (IGME, 2008); la “*Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*” (MAPAMA, 2011). De igual forma, está desarrollada por el Ministry of Forestal, Land and Natural Resource Operations de British Columbia Canadá (2011); la metodología elaborada por el gobierno británico mediante la *Rivers Agency* (2011); además, la

propuesta de Moel y otros (2008) “*Flood maps in Europe, methods, availability and use*”; y por último, entre otras, “*L’approche hydrogeomorphologique en milieux méditerranéens. Une méthode de détermination des zones inondables*” propuesto por el gobierno francés (Direction Régionale de l’Environnement, 2007). Todas estas metodologías fueron aprobadas y utilizadas con éxito en el territorio nacional en las que fueron propuestas, sin embargo, no son presentadas para poder ser aplicadas en cualquier ámbito territorial de estudio.



A nivel nacional, existen ciertos lineamientos referidos a la cartografía asociada al análisis de riesgos, como la más reciente actualización de la publicación del CENAPRED “*Metodologías para la elaboración de mapas de riesgo por inundación*”, tanto en zonas urbanas como rurales, en el cual se describe la metodología a seguir, en el caso específico de México, para la determinación de zonas inundables, vulnerabilidad y finalmente la obtención del mapa de riesgo, junto con los parámetros y variables físicas necesarias para el estudio, y las representaciones cartográficas resultantes. Además, existe una publicación específica para elaborar mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas, publicada por la misma entidad (Salas, 2014).

Dicha metodología es la utilizada para la realización de los *Atlas de Peligro y Riesgo* tanto estatales como municipales, considerado, según dicho organismo, como una herramienta fundamental para la gestión del riesgo, ya que, consideran que contar con mapas de riesgo que sustenten la toma de decisiones sobre una adecuada planeación, es fundamental para la ubicación de nuevos asentamientos humanos en zonas más seguras (Guevara y otros, 2014). Cabe destacar que dicha herramienta, no es debidamente utilizada, ya que no se cuenta con ningún tipo de zonificación o demarcación oficial con tal efecto, sin embargo, amparado por la Ley General de Protección Civil anteriormente expuesta.



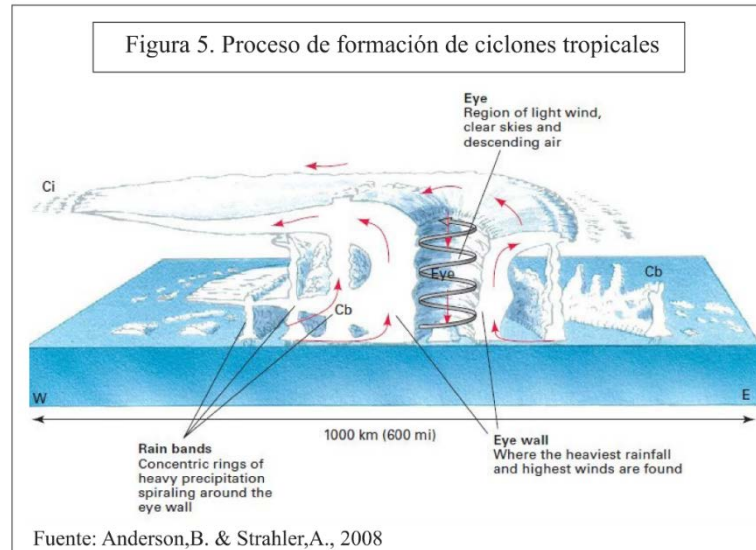
Además de ser la utilizada para la realización de los atlas, la metodología propuesta por el CENPARED, también fue aplicada por autores como Alcocer-Yamanaka y otros (2016), Gonzáles y otros (2014) y, Uribe-Alcántara y otros (2010) para la realización de proyectos o casos de estudio específicos sobre esta temática.

1.5 Las precipitaciones e inundaciones en México

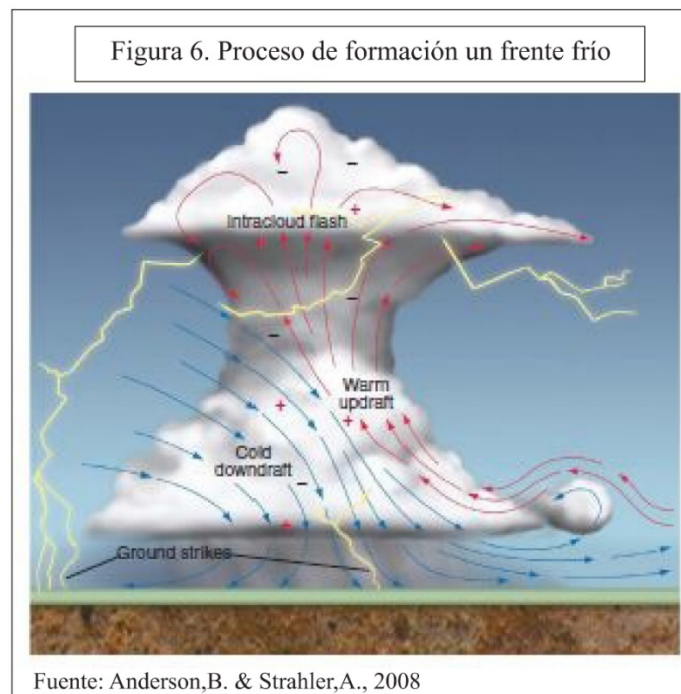
Anualmente en el territorio mexicano se precipita una lámina de agua promedio de 770 milímetros anuales derivados de diversos fenómenos meteorológicos, sin embargo, las dos terceras partes de ella ocurren en forma torrencial entre los meses de junio a septiembre, es decir que presentan un régimen irregular. Existe una clasificación sobre los tipos de precipitación, pero generalmente se puede hablar de tres tipos: lluvia, granizo y nieve. Las mismas, se producen cuando el vapor de agua, se condensa en las capas altas y frías de la atmósfera, se transforma en nubes que se presentan en diversas formas como cúmulos, cirros, estratos y nimbos; de acuerdo con el contenido de vapor de agua que se condensa, se convierte en gotas de agua. Al estar suficientemente grandes aumenta su peso y velocidad, haciendo que se precipiten hacia el suelo en forma de lluvia (Prieto, 2014).

Debido a su situación geográfica, México se localiza cerca de la Zona Intertropical de Convergencia (ZIC) y dentro de la zona de influencia de ciclones tropicales, lo cual provoca que el territorio nacional este sujeto a la incidencia de este tipo de tormentas en ambos litorales, Atlántico - Caribe y Pacífico Norte, principalmente en los meses de verano con mayor afluencia en agosto y septiembre.

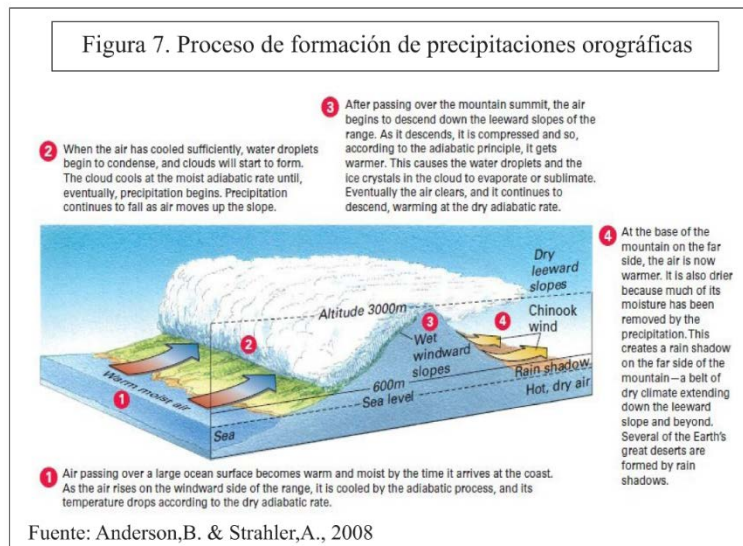
Se describen como fenómenos naturales hidrometeorológicos o climáticos, que se originan y desarrollan en mares de aguas cálidas y templadas. Se describe como una conformación de nubes en espiral con vientos fuertes y lluvias torrenciales. Por lo general poseen una trayectoria hacia el noroeste, aunque en ciertas ocasiones, su trayectoria es difícil de predecir. Regularmente su diámetro supera los 500 kilómetros, algunas veces acompañados de tormentas eléctricas (Figura 5). Cuando un ciclón tropical se desplaza próximo a las zonas costeras o penetra en tierra firme, suele generar marea de tempestad con oleaje intenso, hasta 6 metros de altura; vientos superiores a los 120 km/h con ráfagas de hasta 360 km/h; lluvias superiores a 250 mm en un área circular de 50 km de diámetro, inundaciones y desbordamiento de ríos (Prieto, 2014).



Además, el territorio mexicano, es afectado por tormentas de origen extra tropical y sistemas frontales o frentes (fríos, cálidos, estacionarios y ocluidos, según sus características) originados en latitudes altas, las cuales ocurren cuando dos masas de aire de diferentes temperaturas e índices de humedad se ponen en contacto debido al movimiento general y el aire se eleva en las superficies frontales (Figura 6). Dependiendo de la época del año, otoño, invierno o primavera, y de su localización geográfica dentro de México, los frentes fríos generalmente, pueden presentarse con un periodo de entre 5 a 7 días en promedio (Prieto, 2014).



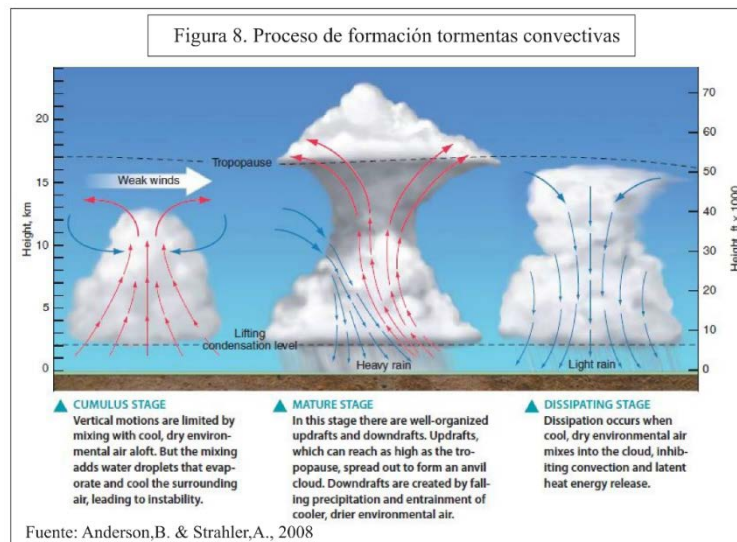
A estos fenómenos se suman los efectos orográficos y conectivos. En el caso de las precipitaciones orográficas (Figura 7) ocurren cuando una masa de aire se ve forzada a ascender debido al obstáculo de un sistema montañoso. Cuando esa masa de aire se eleva alcanza la presión de vapor saturado, dando como resultado un aumento en la precipitación a barlovento conforme se eleva en altitud. Una vez que dicha masa pasa la montaña se produce un descenso y calentamiento del aire, dando como resultado un efecto de falta de lluvia a sotavento del sistema montañoso (Granados y otros, 2005). En este caso, el relieve representa un importante factor en la distribución de las lluvias, ya que actúa como una barrera o un modificador de la dirección del viento. Usualmente esta distribución de la precipitación es muy irregular entre las dos vertientes de una misma cadena montañosa, sobre todo cuando su eje es más o menos perpendicular a la dirección de los vientos húmedos dominantes. El accidentado relieve de la República Mexicana y su orientación respecto a la circulación atmosférica trastoca enormemente las características de la lluvia.



Por su parte, las precipitaciones producidas por fenómenos convectivos son el resultado del excesivo calentamiento de la superficie de la tierra, ya que algunas áreas de la superficie de la tierra absorben mejor que otras los rayos solares, por ello, el aire en contacto con esas “zonas cálidas” llega a calentarse más que en los alrededores, lo que da lugar a corrientes verticales con las que asciende el aire caliente húmedo, a las capas de la troposfera provocando la condensación del vapor de agua y formándose nubes densas, por lo general del tipo Cúmulos y Cumulonimbus donde se libera el calor latente de la vaporización produciendo una mayor elevación de la misma. El aire que

se eleva rápidamente puede alcanzar grandes altitudes donde en algunos casos el agua alcanza el punto de congelación generando granizo (Figura 8). Las tormentas convectivas se caracterizan por su gran intensidad, corta duración y extensión debido a que su ascenso y descenso solo muestran un espacio local (Salas y Jiménez 2013).

Igual o más importante aún, es considerar la acción conjunta de estos mecanismos productores de lluvia, por ejemplo, la interacción de tormenta tropical y depresión tropicales y su evolución a huracán. Estas condiciones por lo general dan lugar a grandes intensidades de precipitación, las cuales causan severas inundaciones en las zonas de afluencia².



Para la medición de las variables meteorológicas, precipitación, temperatura, presión atmosférica, humedad, radiación solar, etc., los principales instrumentos que se utilizan son las estaciones meteorológicas, tanto automáticas como manuales, así como satélites y radares meteorológicos, entre otros. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependiente de la CONAGUA, la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en México, por medio de sus boletines e informes meteorológicos diarios, recabando información de la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) y Estación Sinóptica Meteorológica (ESIME), ambas bajo los estándares de la WMO.

²Tormenta tropical “Lidia” sobre las costas mexicanas del océano Pacífico y Huracán “Harvey” en la costa del Golfo de México, agosto de 2017. Huracán “Katia” sobre la costa del Golfo de México y Frente Frio N°2, septiembre 2017. Efectos derivados del huracán “Irma” en la zona del Caribe, septiembre 2017.



1.6 Organización hidrológica en México

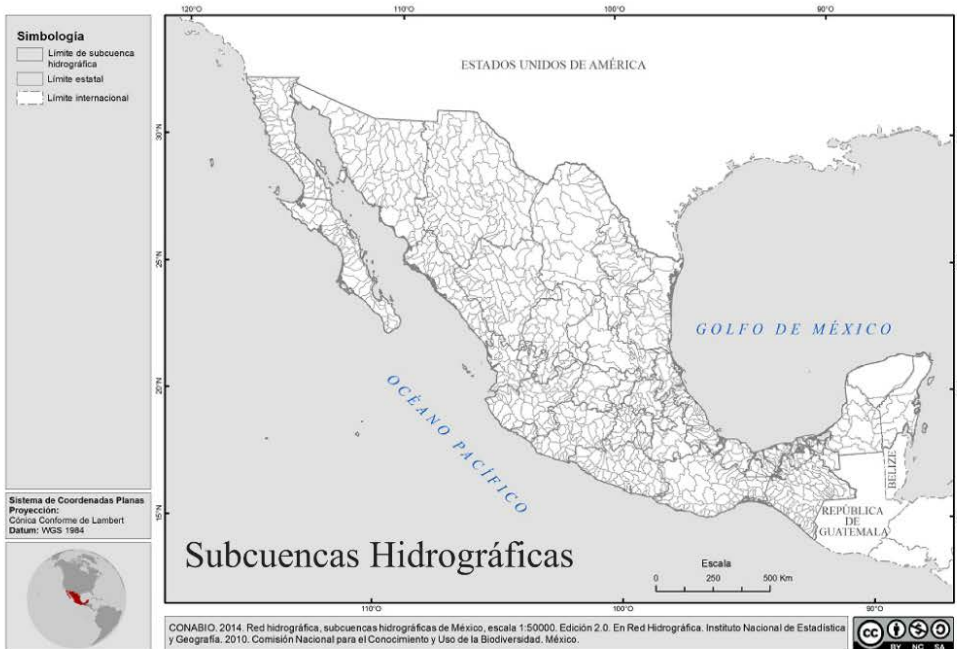
Según la organización hidrológica realizada por el CONAGUA, INEGI e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la cual determina la organización de los recursos hídricos en el país, el territorio mexicano se divide en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas RHA, también denominadas Organismos de Cuencas. Dichas regiones son las unidades básicas de gestión. Sus límites respetan los municipales dentro de cada estado que abarcan, para facilitar la administración e integración de la información socioeconómica.

Un segundo orden en la clasificación, también con un propósito administrativo, son las Regiones Hidrológicas RH, que representan los límites naturales de las grandes cuencas. México se divide en 37 RH, incluidas dentro de las RHA. A su vez, cada una de estas regiones, se divide en 1,471 cuencas hidrográficas, que incluyen los territorios mexicanos insulares. El último orden de la clasificación lo conforman las 987 subcuencas hidrográficas (solo incluyen la porción continental) las cuales corresponden a la subdivisión de las cuencas (Figura 9) (CONAGUA, 2015).

Las subcuencas representan la escala territorial (escala 1:50.000 de representación cartográfica) más precisa en cuestiones hidrológicas, ya que a hasta dicha escala se proporcionan datos por parte de los organismos encargados de la información referida a recursos hídricos. Esta categoría es la utilizada en la presente investigación, debido a la facilidad para la caracterización territorial como unidad de trabajo.

Para facilitar su identificación, esta clasificación tiene una nomenclatura específica que distingue a cada subcuenca, cuenca y Región Hidrológica según corresponda. Las RHA se distinguen con números romanos, pero no se incluyen dentro de la nomenclatura general. Las RH son identificadas con un número cardinal, según la localización dentro del territorio, las cuencas con letras mayúsculas dentro de cada RH y las subcuencas con letras minúsculas. Ejemplo de ello es la subcuenca RH 01 A c, la cual corresponde a la Región Hidrológica N° 1 Baja California Noroeste (Ensenada), Cuenca hidrográfica A: A. Escopeta – C. San Fernando, subcuenca c: A. del Rosario.

Figura 9. Organización hidrológica superficial en México



Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad a partir de datos del INEGI, 2010. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>



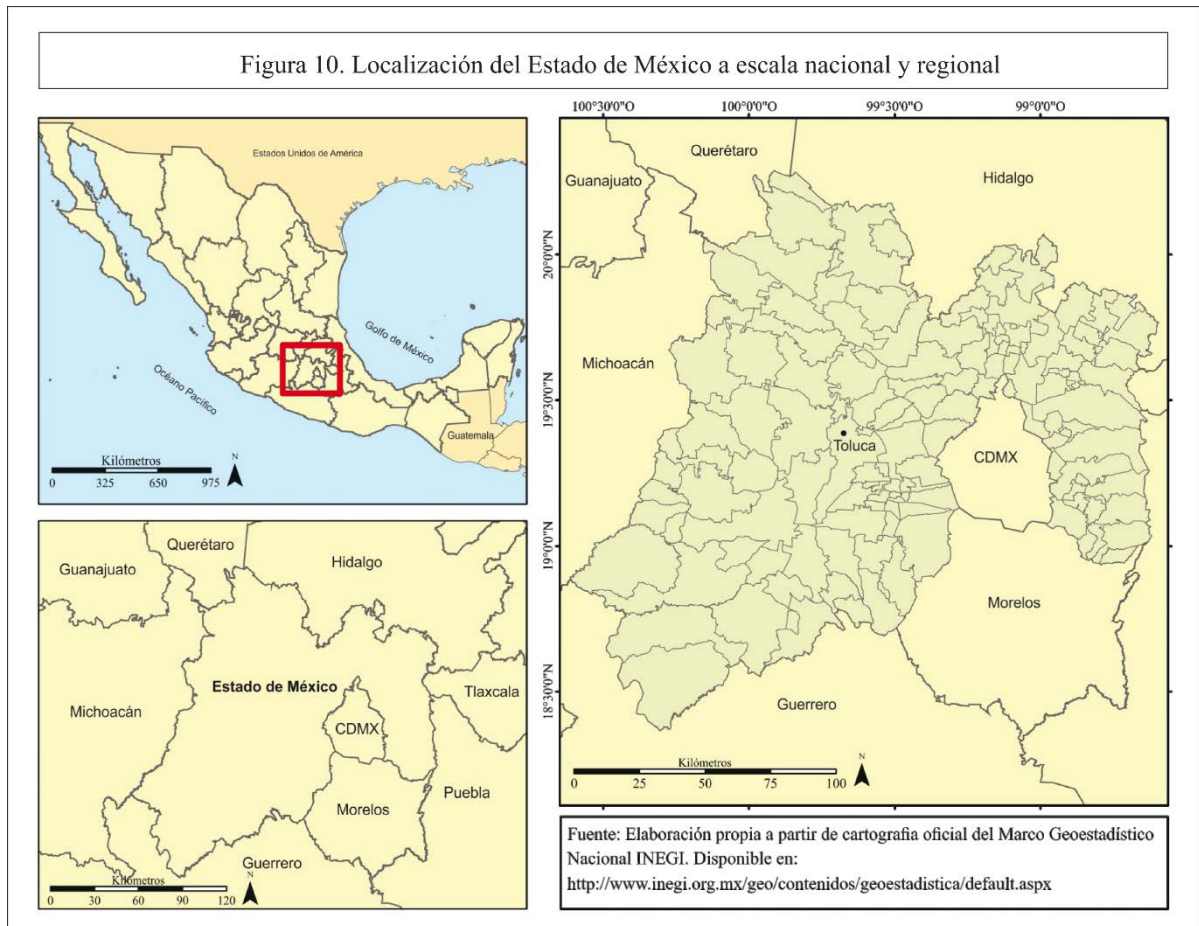
Capítulo 2. Marco territorial como sistema. Caracterización de los subsistemas

Las características biofísicas, socioeconómicas y políticas de un territorio, determinan su configuración y comportamiento ante determinados procesos y fenómenos naturales. Tal es el caso particular del Estado de México ante las inundaciones. Si bien las inundaciones ocurren prácticamente en todo el territorio nacional, en el Estado de México los registros de inundaciones con mediano y gran impacto fueron de 579 eventos en el periodo de 1980 a 2013 (Corporación OSSO y otros, 2017). A dicho recuento, se deben sumar los eventos ocurridos en el periodo 2014 – 2017, los cuales no se encuentran asentados en dicha base, sin embargo, según la recopilación datos de la CAEM, a través del Atlas de Inundaciones, se registraron 199 eventos de inundación en ámbito urbano, 13 en zonas rurales y 273 encharcamientos en ese periodo (CAEM 2015, 2016, 2017, 2018). Lo cual hace un total de 1,064 eventos de inundación en un periodo de 37 años.

Casi en su totalidad, los eventos se producen en la época estival entre los meses de junio a septiembre. Sus características y consecuencias varían según la superficie afectada, altura y duración de la lámina de agua y cantidad de viviendas, comercios, industrias, población y tierras de cultivo afectadas. A todo ello se deben sumar las afectaciones provocadas en vías de comunicación y actividades que se derivan del traslado de las personas, los cuales en su conjunto generaron pérdidas económicas según el tipo de daño que se haya ocasionado.

2.1 Descripción general del sistema

El Estado de México es uno de los 32 estados que conforman la República Mexicana, se localiza en el centro del país y limita al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo, al sur con los estados de Morelos y Guerrero; al oeste con el estado de Michoacán, al este con los estados de Tlaxcala y Puebla, y rodea a la Ciudad de México CDMX. Con una superficie total de 22, 499. 95 km² está conformado por 125 municipios y su ciudad capital es Toluca de Lerdo (Figura 10). Cuenta con una población total de 16 millones 187 mil 608 habitantes, siendo esta, la entidad más poblada del país (INEGI, 2015).



2.2 Subsistema hidrológico

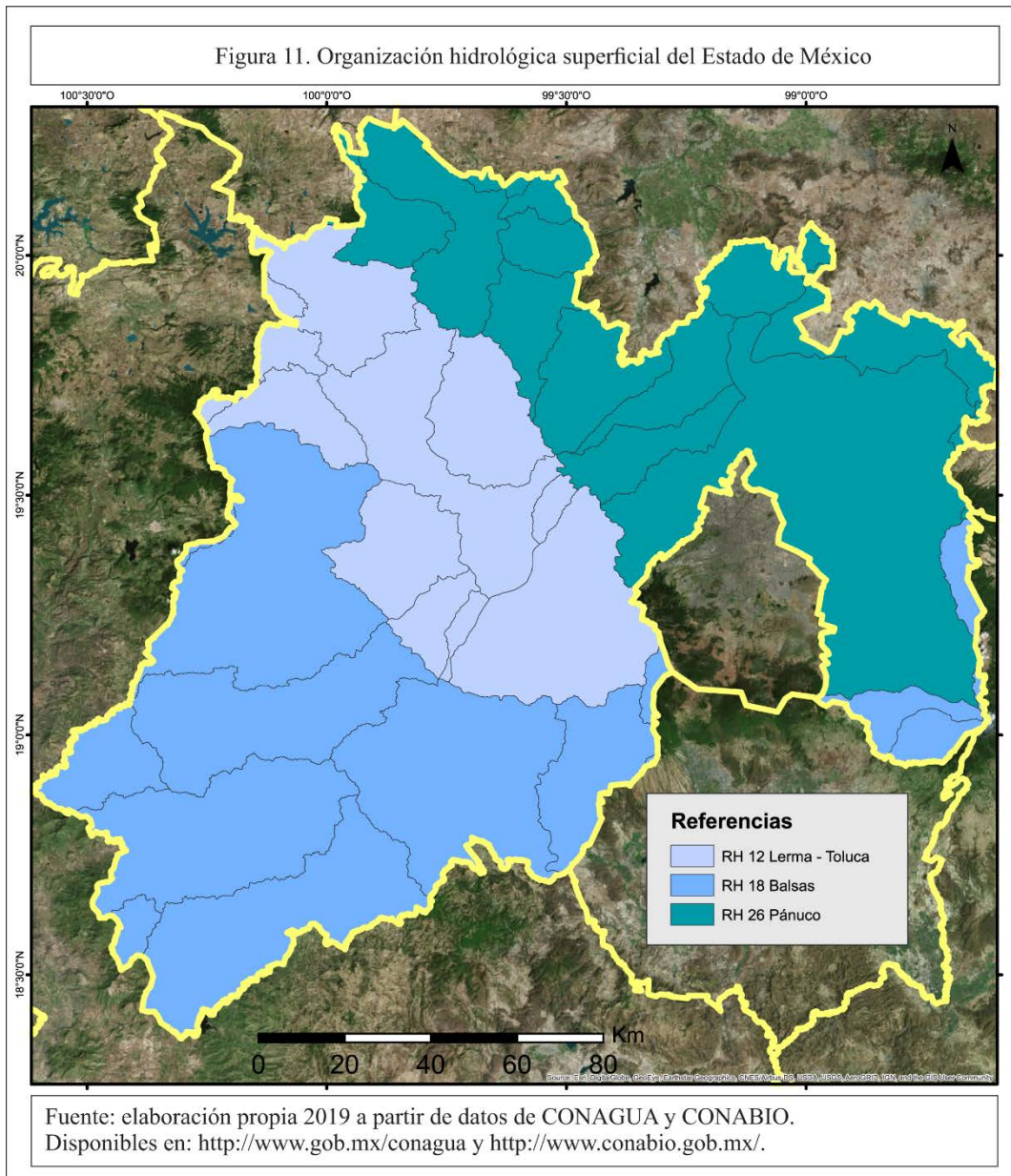
Debido a su configuración fisiográfica y desde el punto de vista hidrológico, el territorio mexiquense se encuentra enmarcado por siete cuencas hidrológicas, a saber: RH 12 A Río Lerma-Toluca; RH 26 D Río Moctezuma; RH18 G Río Cutzamala; RH18 A Río Atoyac – A; RH 18 F Río Grande de Amacuzac y RH 18 D Río Balsas-Zirándaro, las cuales se organizan dentro de tres RH. La primera cuenca pertenece a la Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala-Santiago, la cuenca Río Moctezuma a la RH 26 Pánuco y el resto de las cuencas a la RH 18 Balsas (Tabla 2 y Figura 11). Las RH Balsas y Lerma-Santiago, drenan al este, hacia el Océano Pacífico, mientras que la RH Panuco drena hacia el oriente, al Golfo de México. En cuanto los organismos de cuenca, el estado es administrado por cuatro RHA, IV Balsas, VIII Lerma-Santiago- Pacífico, IX Golfo Norte y XIII Aguas del Valle de México (CONAGUA, 2016).



Tabla 2. Organización hidrológica superficial del Estado de México

Regiones Hidrológicas Administrativas	Regiones Hidrológicas	Cuencas Hidrológicas	Subcuencas Hidrológicas
IV- Balsas	18-Balsas	Rio Cutzamala	R.Cutzamala - R.Zitacuaro - R.Tuxpan - R.Ixtapan - R.Temascaltepec - R.Tilostoc
		Rio Grande de Amacuzac	R.Cuatla- R.Yautepec- R.Apatlaco-R.Coatlán- R. Alto Amacuzac
		Rio Balsas-Zirándalo	R. Poliutla
		Rio Balsas - Mezcala	R. Coctla o Iguala
		Rio Atoyac - A	R. Atoyac - San Martin Texmelucan- R. Nexapa
VII-Lerma Santiago Pacífico	12- Lerma Chapala	Rio Lerma Toluca	R.Almolya Oztolotepec- R.Otzolotepec - R.Atacumulco- R.Atlacomulco - Paso de Ovejas- R. Cavichi- R. Tlalpujahua- R. Jaltepec- R. Gavia- R. Tejalpa- R. Verdiguél- R. Oztolotepec- R.Sila
IX- Golfo Norte	26- Panuco	Rio Moctezuma	R. Prieto- R. Arroyo Zarco- R. Tocozutla- R. Alfajayucan- R. Tula- R. Rosas- R. Tlautla- R. El Salto- R. Cuautitlán- R. Tepozotlan- R. Texcoco Zumpango- R. Salado- R. Tezontepac- R. Tochac Tecocomulco
XIII- Aguas del Valle de México			

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de datos de CONAGUA. Disponibles en: <http://www.gob.mx/conagua>





Dentro de esta configuración hidrológica estatal, la RH 12 A Río Lerma-Toluca es considerada una cuenca de gran importancia en país y la más importante del estado, debido a su ubicación, riqueza de recursos naturales y desarrollo económico (GEM, 1993, GEM y otros, 2013).

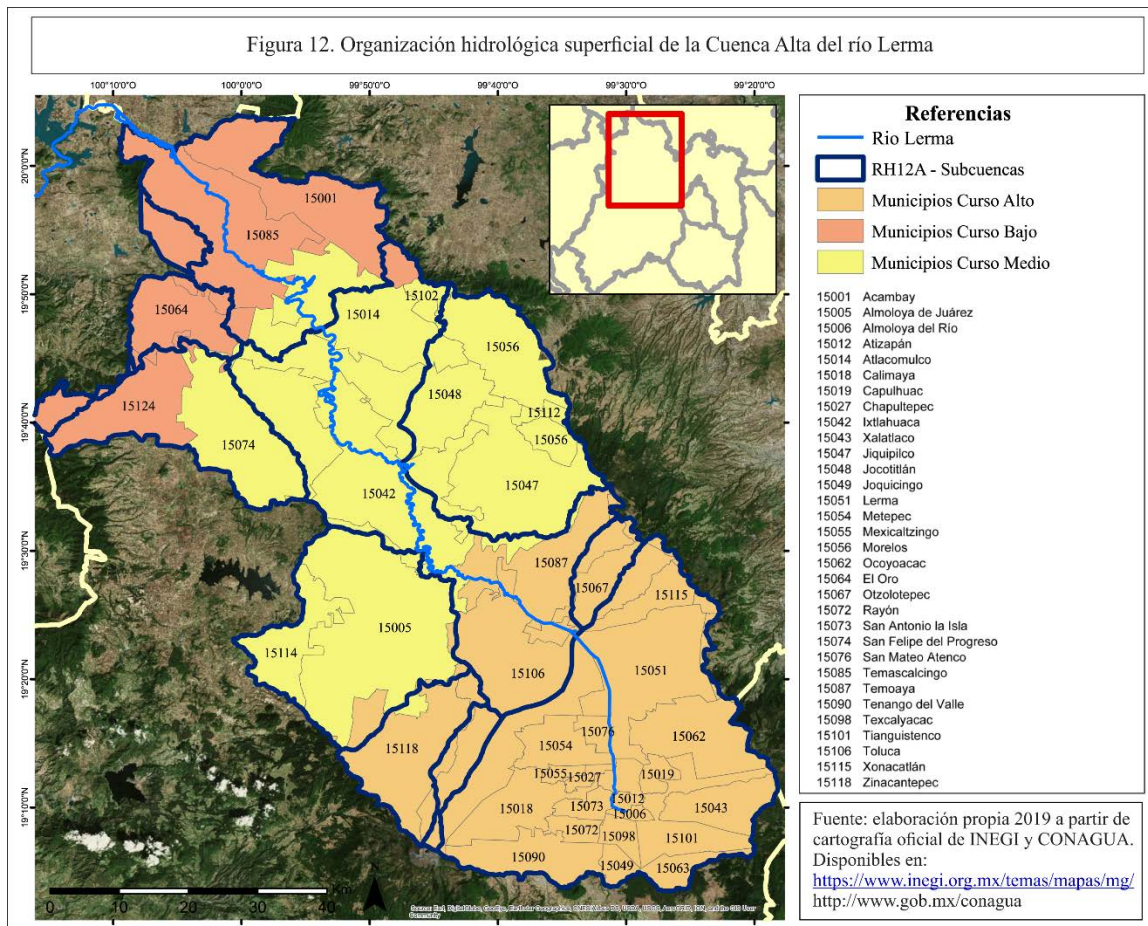
En su conjunto, constituye un sistema complejo conformado por subsistemas interrelacionados. Es un territorio con una configuración espacial compleja ante el fenómeno de las inundaciones, ya que tiene un alto grado de peligro de ocurrencia debido a la combinación de factores climáticos, geomorfológicos e hidrogeográficos, principalmente relacionados con su legado lacustre, en la actualidad desarticulado y deteriorado. Además, posee un alto grado de vulnerabilidad ante este fenómeno natural, debido a su importancia económica, social y política dentro del estado.

La RH 12 A abarca una superficie de 8,562.68 km², área que se divide en 14 subcuencas con características tanto físico-naturales y sociales particulares. De la totalidad de estas subcuencas, once se encuentran dentro de los límites de 37 municipios del Estado de México y las restantes están compartidas entre los estados de Michoacán, Querétaro y Guanajuato. La porción que alberga al territorio estatal, con una superficie de 5,354 km² es comúnmente denominada, tanto en el ámbito académico como administrativo, como Cuenca Alta del Río Lerma CARL o Sistemas Regional del Alto Lerma SRAL (Figura 12).

En su división interna es clasificada con diferentes criterios, según su finalidad. Uno de estos criterios es el hidrológico - tectónico, dividiendo su curso principal en tres porciones: Alto, Medio y Bajo. El *Curso Alto* inicia en el Nevado de Toluca en una cota de 2,580 msnm, la más elevada de la cuenca y culmina en la presa Antonio Alzate, ubicada en los municipios de Toluca y Temoaya. Allí comienza el *Curso Medio*, a 2,570 msnm donde el río desciende por el valle de Ixtlahuaca- Atlacomulco, atraviesa los bloques de la falla de Perales, la fosa Solís-Acambay y la falla Pastores, a 2,500 msnm. A partir de ese punto inicia el *Curso Bajo*, que culmina al salir del Estado de México y entrar en los límites entre los estados de Michoacán y Querétaro (Figura 12) (GEM, 2011b).

El sistema hidrográfico de la CARL lo conforman, el curso alto del río Lerma, 80 cursos de agua perennes clasificados en ríos o arroyos según su caudal, una densa red de corrientes intermitentes con escurrimiento estacional (1200 aproximadamente), cuerpos de agua naturales principalmente ciénagas y lagunas de pequeño tamaño y alrededor de 200 obras hidráulicas que

cumplen la función de almacenamiento y control de inundaciones los cuales regulan su régimen natural (Figura 13) (GEM, 2011b).

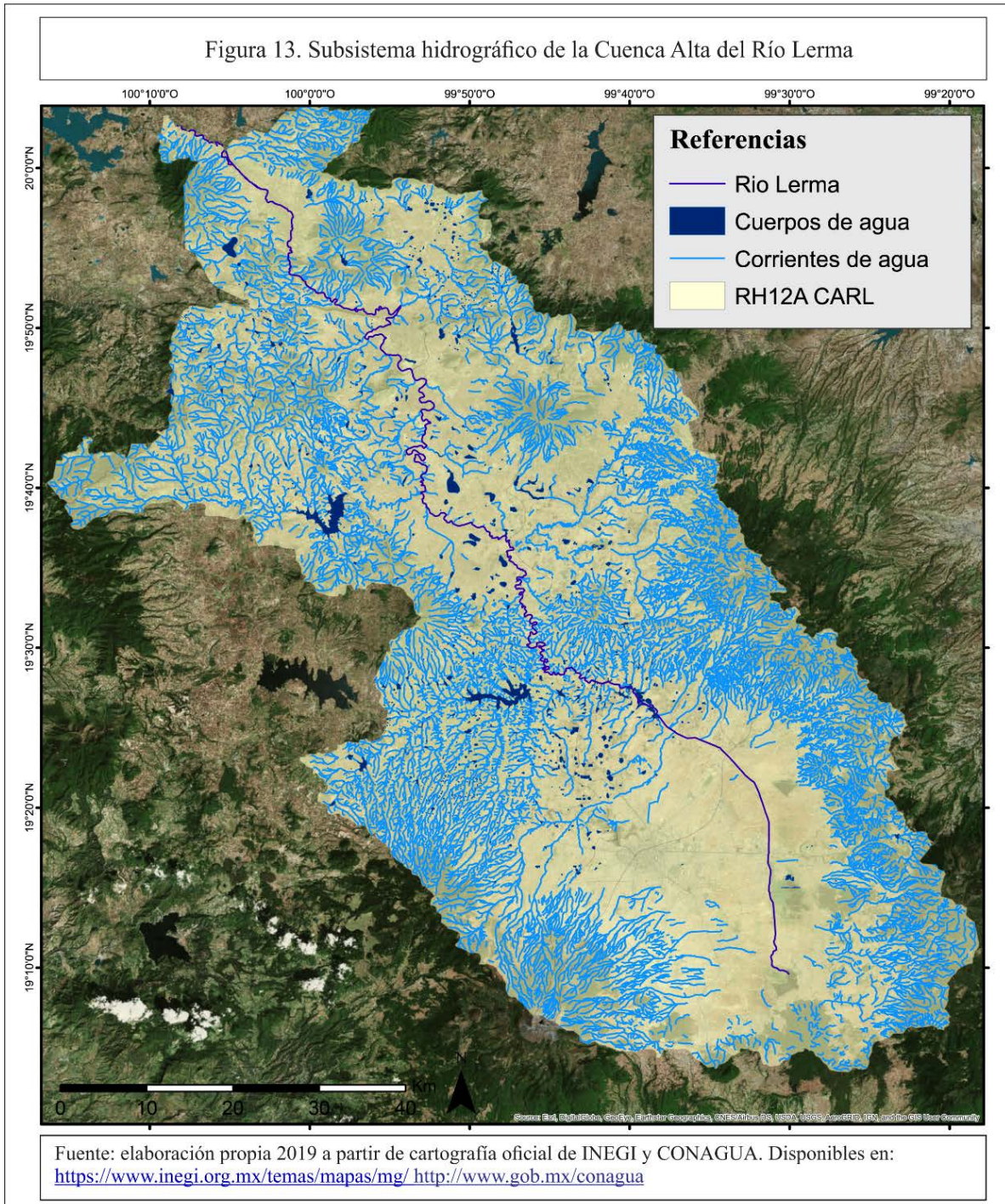


El río Lerma, con un escurrimiento medio superficial anual de 2,522.88 hm³/ año (80 m³/s), es el curso de agua superficial más importante de la cuenca y del estado, además de ser el río interior más largo de México. Dentro del Estado de México recorre 175 km desde su naciente, hasta que abandona la entidad en el municipio de Acambay, donde continua su curso 754 km por los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco donde desemboca en la laguna de Chapala (Figura 13) (Díez y Garfias, 2005; INEGI, 2001).

Los cursos de agua permanente y de mayor caudal (28 cursos), tributarios del cauce principal poseen una mayor concentración en la zona sur y central de la cuenca. El 71 por ciento de dichos cursos, confluyen en el Curso Alto, 21 por ciento en el Curso Medio y el ocho por ciento restantes en el Curso Bajo. En cuanto a arroyos, los de caudal más significativo son 45, de los cuales el 52 por ciento se encuentra en el Curso Alto, 43 en el Medio y 5 por ciento en el Bajo. Las



corrientes de la cuenca tienen un orden de 5° grado (Horton-Strahler). El mayor número de cauces de 1° y 2° orden y los de régimen torrencial se localizan en las zonas más elevadas del Curso Alto (Díaz y otros, 1999; GEM 2011 b).





La determinación del caudal de las corrientes de agua, se realiza a través de una Red de Estaciones Hidrométricas que mide diariamente el escurrimiento cada seis horas, durante el estiaje¹ (época invernal) y cada hora en temporada de lluvias (época estival). Los caudales máximos aforados se registran en época de lluvias con más del 70 por ciento del escurrimiento anual. Los caudales máximos aforados son de 33.5 m³/s (Pladeyra y otros, 2006; GEM 2011 b).

En cuanto a las obras hidráulicas de la CARL, se pueden diferenciar, presas, diques, bordos naturales y de mampostería². Se localizan en un 28 por ciento en el Curso Alto, 62 en el Curso Medio y 10 por ciento en el Curso Bajo. Dicha distribución se debe a una mayor concentración de actividades agropecuarias y asentamientos urbanos en la parte baja, correspondiente al valle de Toluca. Estos reservorios de agua cumplen la función de almacenamiento, control de avenidas, para riego o desarrollo de la acuicultura (GEM, 2011 b).

Las cuatro presas con mayor capacidad de almacenamiento son, la presa *San Andrés Tepetitlán* localizada al noroeste de la cuenca con una capacidad de 92 hm³ alimentada por el río Jaltepec; la presa *José Antonio Alzate* posee una capacidad total de 52.50 hm³ y se localiza en el centro de la cuenca, marcando el límite entre los Cursos Alto y Medio, es alimentada y drenada directamente por las aguas del río Lerma; la presa *Ignacio Ramírez o La Gavia* posee una capacidad de 36.60 hm³ y se localiza también en el centro de la cuenca, pero sobre el río La Gavia; y por último la presa *Francisco José Trinidad Fabela* o Isla de las Aves o El Salto de 10 hm³ al norte, drenada por el río Zacualpan. Los bordos San Lucas, San Clemente y Embajomuy, son considerados los de mayor capacidad de almacenamiento, aproximadamente 6 millones de m³. Sin embargo, en total suman alrededor de 200 obras de almacenamiento de este tipo (SAGARPA, 2016; GEM, 2011; CONAGUA 2009).

2.3 Subsistema climático

La localización latitudinal de la cuenca en la zona tropical (entre los paralelos 19° 05' y 19° 50') sumadas las elevadas altitudes de los valles y sistemas montañosos que la conforman (cotas máximas de 4,565 msnm y cota mínima de 2,470 msnm), así como también la relativa cercanía a las costas del Golfo de México y al Océano Pacífico, hacen posible el desarrollo de climas

¹ Nivel más bajo o caudal mínimo de una corriente de agua durante una época del año determinada

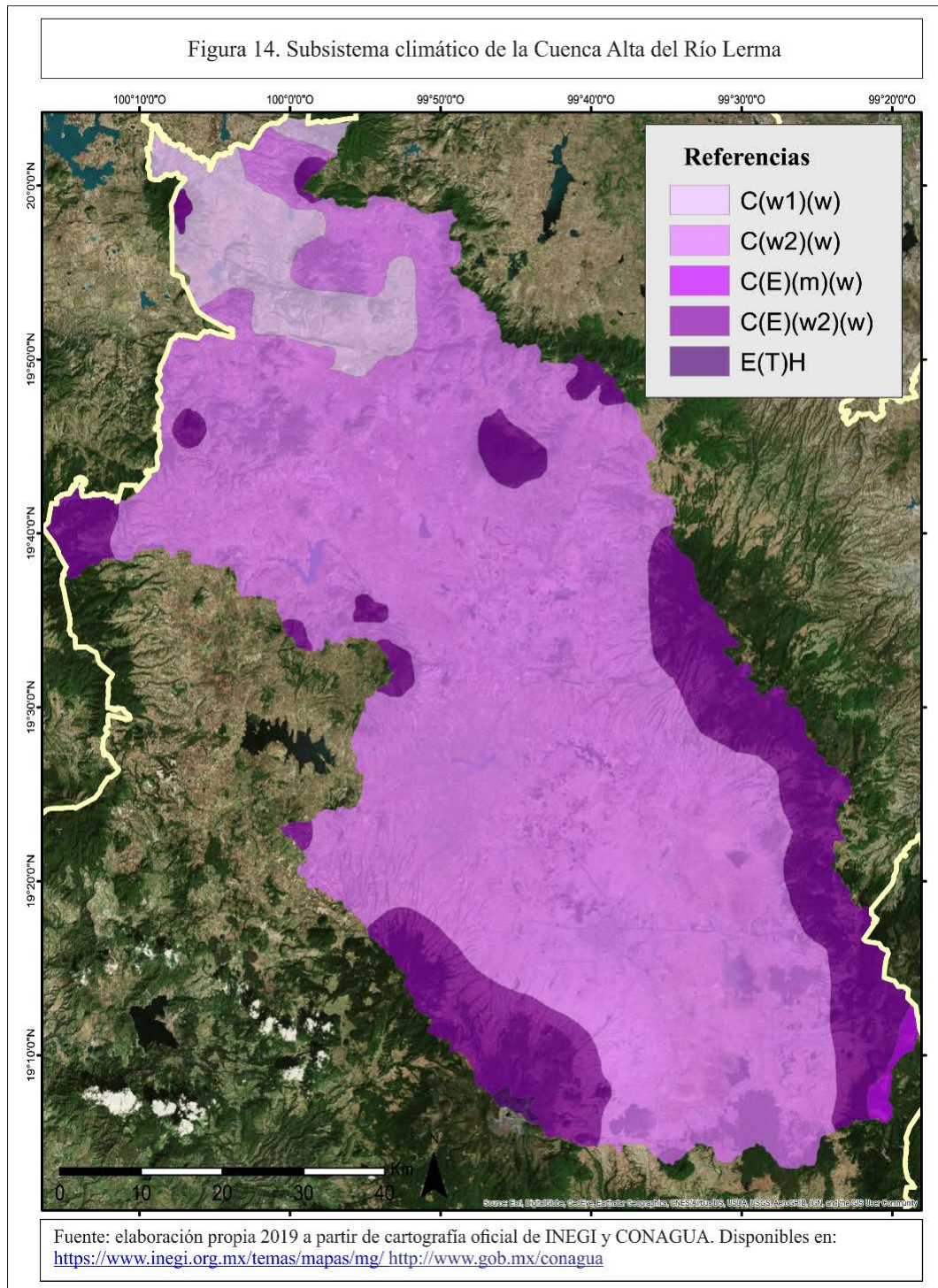
² Pequeñas presas con cortina de tierra compactada que almacena los escurrimientos superficiales provenientes de una corriente intermitente o un área de drenaje bien definida (SAGARPA, 2009).



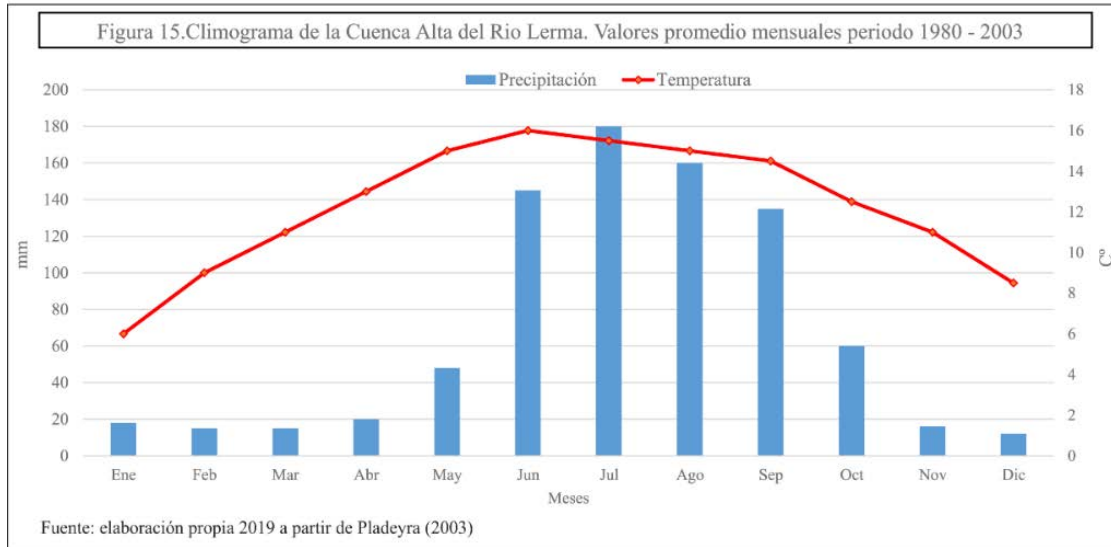
templados, semifríos y fríos con la manifestación de diversas condiciones atmosféricas a lo largo de todo el año (masas de aire cálido y frío, vientos alisios, monzónicos y polares e influencia de tormentas tropicales y huracanes). Los fenómenos de tipo convectivos son los más dinámicos en la región; sin embargo, la magnitud, frecuencia e intensidad de los mismos dependen de la estación del año y hora del día en que se desarrollen, influyendo notablemente en la dinámica atmosférica local y regional (GEM 2011b).

Según la clasificación climática de Köppen modificada por García de Miranda (1989), la cuenca se caracteriza con un clima de tipo C, templado subhúmedo con lluvias en verano y porcentaje de lluvias invernal menor a 5. El clima C (w2) (w) abarca el 90% de la superficie de la cuenca, con una precipitación anual de 800 mm con máximos en el mes de julio, y una temperatura media que oscila entre 12 a 16 °C con el mes más cálido en mayo (14-15 °C) y el mes más frío en enero (11-12°C). La transición climática al norte de la cuenca se da con el clima C (w1) (w), más seco que el anterior con una precipitación anual de 700 a 800 mm, temperaturas medias de 12 a 14 °C. En las zonas de altitud predomina el tipo C (E) (w2) (w), semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación anual de 900 mm y temperaturas medias de 4 a 12 °C. Los tipos C (E) (m) (w) y E (T) H, están presentes con una cobertura mínima. El primero se localiza en una pequeña porción del sistema de sierras con una precipitación media anual de 1000 mm y el segundo es un clima frío de altura localizado en la parte más alta de la cuenca (más de 4000 msnm) con una precipitación de 1200 mm y una temperatura media anual de -2 y 5°C (Figura 14).

El régimen, frecuencia e intensidad de la precipitación varía en tiempo y espacio. La variación espacial, tomando en cuenta la reducida continentalidad del lado del Pacífico y que la humedad proviene de ambos océanos, la precipitación media anual varía de sur a norte, según la disposición de los relieves predominantes en la cuenca. La precipitación máxima, se registra en el Curso Alto con registros de hasta 1,200 mm, descienden hacia el Curso Medio, con 800 mm y en el Curso Bajo las medias son de 700 mm. En cuanto a la variación temporal, la estación de lluvia, con un periodo de seis meses, inicia aproximadamente en la segunda quincena de mayo hasta la segunda quincena de octubre, coincidente con las temperaturas más elevadas. Los restantes seis meses del año, entre los meses de noviembre a abril, con mayor intensidad entre febrero y fines de marzo, se presenta un déficit pluvial (precipitación inferior a la evapotranspiración) donde se registran aisladas precipitaciones y bajas temperaturas (Peña y otros, 2000 en GEM, 2011b).



Según el climograma de la cuenca (Figura 15), se aprecia una relación directa entre la precipitación y la temperatura, correspondiéndose los meses de máxima precipitación con los de máximas temperaturas y de la precipitación con la evapotranspiración se relacionan estrechamente, ya que los registros máximos, medios y mínimos son casi paralelos. La evapotranspiración registrada, es el componente con menor variación a lo largo de la cuenca.



La génesis de las precipitaciones estivales, se gestan a finales de primavera y durante el comienzo del verano (mes de mayo y junio) con la llegada de los vientos Monzones y Alisios, los cuales transportan la humedad procedente de los océanos Pacífico y Atlántico al territorio mexicano. De forma conjunta crean las condiciones atmosféricas necesarias para dar inicio al periodo de lluvias. En el mes de agosto se registra un corto periodo de descenso de la precipitación, llamada sequía intraestival. En el mes de septiembre vuelve a incrementarse la precipitación, con el desarrollo de tormentas eléctricas a través de fenómenos convectivos, produciéndose la máxima turbulencia meteorológica, debido a que los huracanes y las tormentas tropicales se acercan a ambas costas, dando origen a los llamados “temporales” con una duración entre dos y cinco días en la CARL, favoreciendo a que se produzcan situaciones pluviométricas extremas (Gil y Rico, 2008; Peña y otros, 2000 en GEM, 2011b).

La intensidad de precipitaciones estivales, la región se caracteriza por presentar eventos con una altura de agua de 100 a 120 mm en un día, concentradas en un corto lapso de tiempo (2 a 3 horas). Las escasas precipitaciones invernales, son ocasionadas por frentes fríos provenientes del centro de Canadá y Estados Unidos o remanentes de una perturbación tropical extemporánea (Gil y Rico, 2008; Peña y otros, 2000 en GEM, 2011b).

2.4 Subsistema morfoestructural y geomorfológico

Conjuntamente con las condiciones climáticas, las morfoestructuras del relieve influye en la hidrografía de una cuenca determinando, además de las precipitaciones, la forma, dimensión,

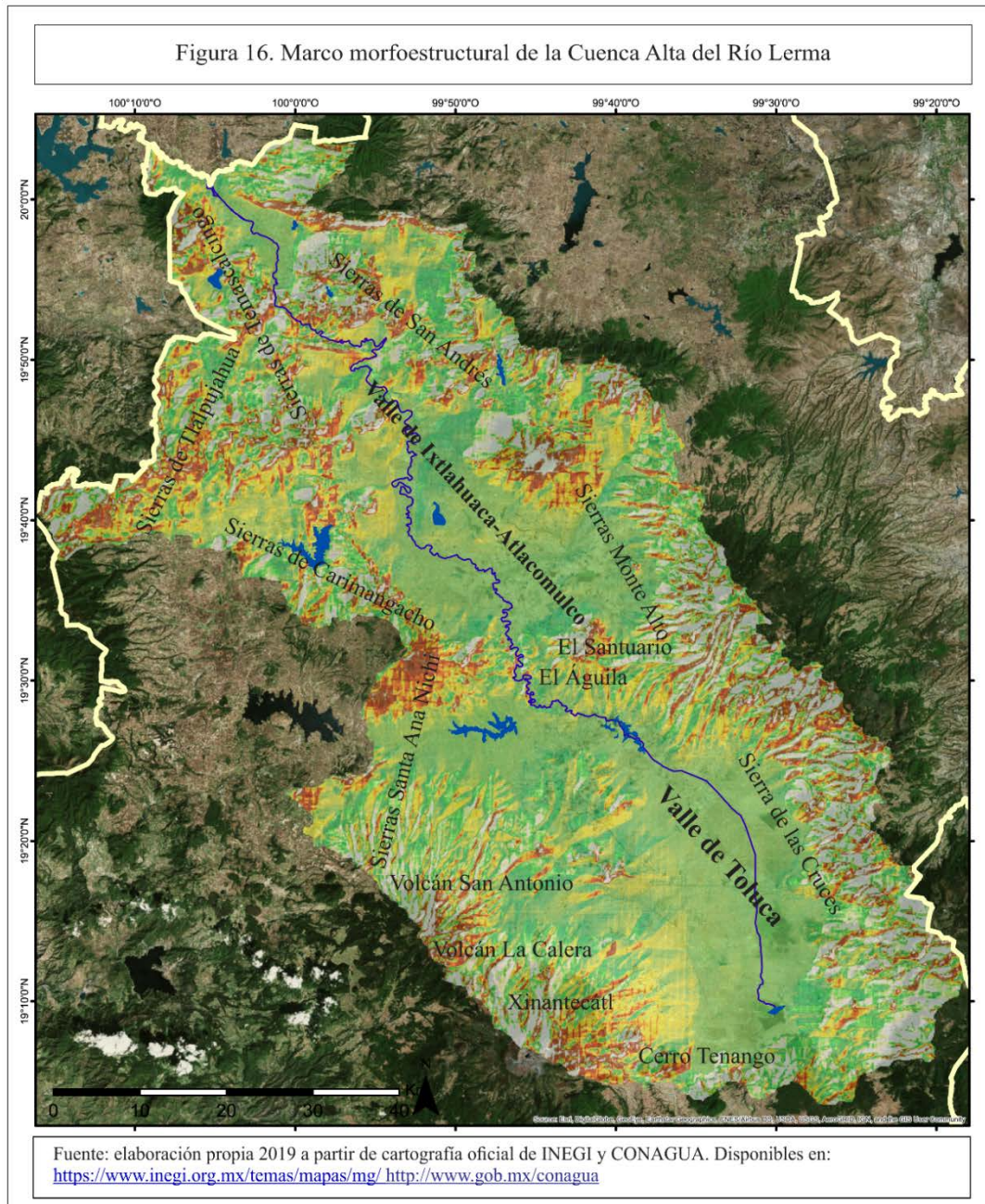


litología y pendientes de la cuenca y con ello, el comportamiento de la escorrentía (Gil y Rico, 2008). Los sistemas serranos que rodean y enmarcan de toda la RH 12 A, son los sitios de mayor incidencia de las precipitaciones, ya que debido a sus altitudes se produce el efecto orográfico.

La CARL se localiza dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y las subprovincias fisiográficas de Lagos y Volcanes de Anáhuac y Mil cumbres. Las sierras, lomeríos, llanuras y valles son los sistemas de topofomas predominantes. Su forma alargada con orientación noroeste-sureste, se encuentra definida por un control tectónico marcado, cuyos límites son: al este, la sierra Las Cruces, al noreste las sierras Monte Alto y San Andrés las cuales continúan hacia el norte hasta unirse con las sierras de Temascalcingo. Al oeste se encuentran las sierras de Tlalpujahua, Carimangancho y Santa Ana Nichi conectadas con suaves lomeríos hasta las alturas del volcán Nevado de Toluca o Xinantécatl (4,565 msnm) y los volcanes San Antonio (4,000 msnm) y La Calera (4,300 msnm) en el lado suroeste. Cierran la cuenca al sur, los derrames basálticos productos de la actividad volcánica, que se extienden desde Tenango de Arista hasta Texcalyacac y siguen hasta fuera de los límites de la cuenca, con el cerro Tenango (3,450 msnm) (Figura 16) (INEGI, 1981; GEM, 2011b)

Este lineamiento estructural forma dos valles o subcuencas: el Valle de Toluca y el Valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco. El primero, es una planicie que se extiende al sur del sistema desde Ocoyoacac hasta San Miguel Zinacantepec y de Tenango de Arista hasta las presas José Antonio Alzate, en la margen derecha del río y presa Ignacio Ramírez en la margen izquierda, a una altitud de 2,570 msnm. El valle de Atlacomulco-Ixtlahuaca se localiza al norte de la cuenca. Es una planicie de menores dimensiones que la anterior a una altitud de 2,500 msnm. La separación entre los valles la determina una división acentuada por las estructuras geológicas conocidas como estrechamiento o falla de Perales y la presencia de cerros El Águila y El Santuario (Figura 16) (GEM, 2011b).

En cuanto a los rasgos fisiográficos de pendiente y orientación de la cuenca, el ángulo medio de inclinación es de 4.88 grados, correspondiente a una pendiente media de 8.54%. Las pendientes mínimas localizadas en los dos valles y máxima en las zonas serranas, son de 0 % y de 50 %, respectivamente. El 52.52% de la superficie se clasifica con pendiente suave a llana, el 30.15%, de accidentada a accidentada media; 11.33% como fuertemente accidentada y el 8% como terreno escarpado. La orientación de las pendientes es equilibrada; plano: 23.17%, n: 21.38%, e: 19.22%, w: 20.44% y s: 15.79% (Figura 16) (Díaz y otros, 1999).



En cuanto a las unidades litológicas que conforman la zona de los valles, predominan los sedimentos volcanoclásticos, materiales aluviales y lacustres, además de tobas, arenas, limos, arcillas y gravas, con material andesítico subyacente. En las zonas serranas predominan las andesitas del terciario y del cuaternario, rocas y sedimentos volcanoclásticos, tobas y brechas volcánicas, las cuales permiten la infiltración, circulación y almacenamiento del agua y debido a su alta permeabilidad y funcionar como zona de recarga, al entrar en contacto con materiales impermeables, posibilita la formación de acuíferos (INEGI, 1993; GEM, 2011b).



La morfoestructura de la región, determina dos patrones de drenaje contrastado, uno sobre las serranías y otro sobre la planicie de los dos valles, en donde discurre el receptor principal de la cuenca. La primera unidad de drenaje, con una gran cantidad de afluentes, se identifica por un diseño caracterizado por las altas pendientes con escasa cubierta vegetal y alto índice de erosión.

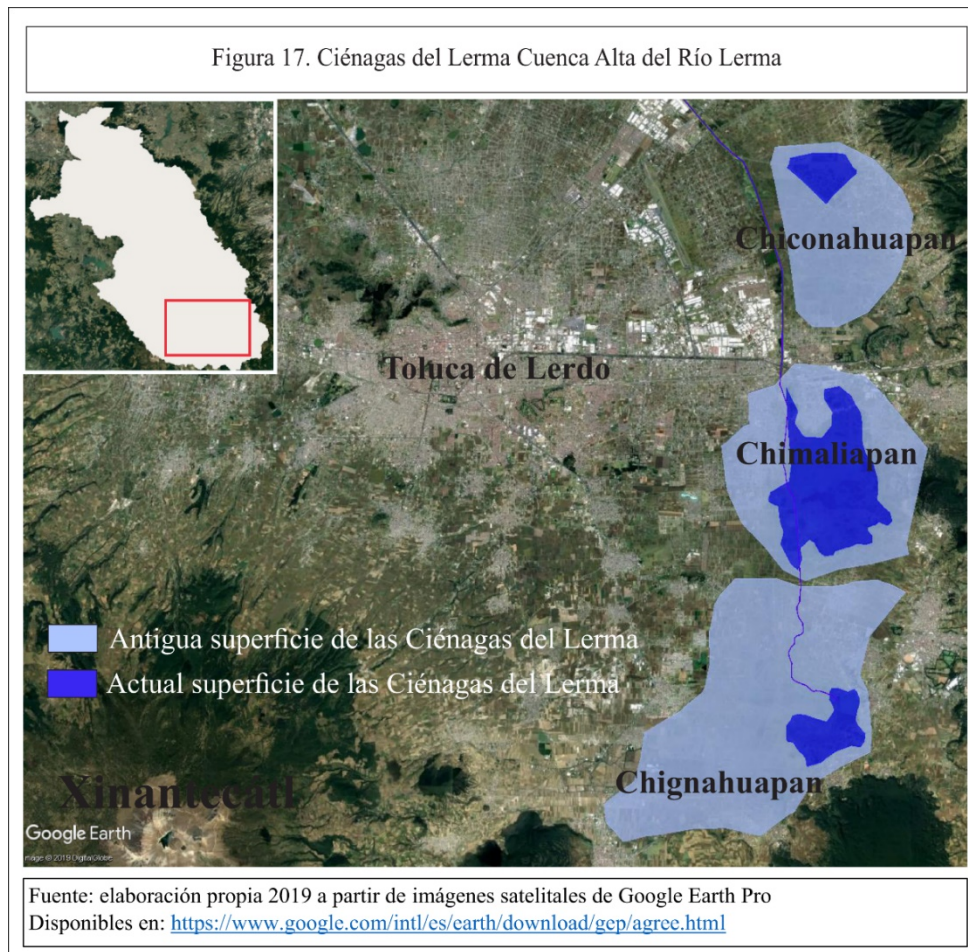
El segundo patrón de drenaje corresponde a la planicie central, en donde las condiciones de drenaje no son muy antiguas, debido a los considerables espesores de sedimentos lacustres y distribuidos uniformemente con profundidades variables en los dos valles (GEM, 2011b).

El paisaje original de esta zona se define, al igual que todo el eje norte-sur del Estado de México, por un sistema lacustre/palustre y dos planicies con escaso drenaje circundadas por sistemas serranos con procesos tectónicos y erosivos frecuentes. La cuenca Alta del río Lerma, en anteriores épocas geológicas, constituía una sucesión de lagunas y ciénegas escalonadas formadas por derrames volcánicos recientes, dando lugar al gran depósito de sedimentos, formando así los actuales suelos agrícolas de los valles (Díaz Navas, 2011).

Las *Ciénegas del Lerma*, declaradas en el año 2002 como Área Natural Protegida Federal (DOF, 2002), son una serie de humedales someros de agua dulce con alto contenido de materia vegetal muerta en descomposición (turba). Antiguamente estaban conectadas entre sí por el río Lerma y se alimentaban de corrientes subterráneas, y cursos de agua tributarios, así como también de aguas pluviales, manantiales y el desbordamiento del cauce principal en época de lluvias. El sistema estaba regido por tres lagunas principales; la primera localizada al sur del sistema y la más elevada, conocida como Ciénaga o laguna de Almoloya o Chignahuapan localizada en los municipios de Almoloya del Río, Texcalyacac y Santa Cruz Atizapán, la cual da origen al río Lerma. La segunda laguna Lerma o Chimaliapan, localizada en los municipios de Lerma, San Mateo Atenco, Santiago Tianguistenco, Oztolotepec, Ocoyoacac y Metepec; y la tercera, la laguna de San Bartolo o Chiconahuapan, en el municipio de Lerma (Figura 17) (GEM 1997b).

Debido a su importancia natural, fueron estudiadas desde varios puntos de vista y enfoques. Ejemplo de ello son estudios realizados por Zepeda –Gómez y otros (2012a, 2012b), sobre la diversidad de flora y fauna de las Ciénegas del Lerma y estudio sobre los efectos análisis de los cambios de uso del suelo en la vegetación autóctona. Por otro lado, la investigadora Sugiura y otros, 2009a, Sugiura 2009b, Sugiura y otros, 2010 y Sugiura y otros 2016), han estudiado a las Ciénegas del Lerma desde el punto de vista antropológico y destacado su importancia tanto histórica como económica en la etnografía local a través del desarrollo de asentamientos en torno

a la vida y aprovechamiento lacustre. Díez y Gárfias (2005) realizaron estudios sobre la evolución de las zonas lacustres del valle de Toluca a través de las técnicas de interpretación y análisis de fotografías aéreas y desarrollo de cartografía. Los efectos de las alteraciones de a las lagunas, tanto por los proyectos de desecación como por transferencia del agua, fueron presentados por Maderey y Jiménez (2001), Varga (2007) y Camacho (2016). El estudio desde un punto de vista político y de la gestión del agua fue estudiado por Torres (2014).



Además, el Gobierno del Estado de México GEM, a través de la publicación de los Atlas Ecológicos, Etnográficos, Cartográficos, Urbanos e Industriales, han presentado las características principales de la zona lacustre del río Lerma y su importancia en el sistema general a una escala nacional (GEM 1993, 1997a, 2001, 201a, 2011b). Todas estas publicaciones, a pase de ser abordados de distintos puntos de vista, coinciden en la importancia que tenían y continúa ejerciendo los ambientes lacustres de las Ciénegas del Lerma en la vida del Valle de Toluca, tanto para sus pobladores y asentamientos, desarrollo económico, turístico y la planificación y gestión pública del territorio, como para la regulación de las inundaciones.



2.5 Subsistema edafológico

Las características edafológicas de la CARL, permiten establecer una serie de asociaciones y relaciones entre las condiciones climáticas, estructurales y geomorfológicas, las cuales permiten conocer la génesis de los suelos, patrón de distribución, los rendimientos agrícolas y la respuesta ante eventos de inundación (Garrido y otros, 2006).

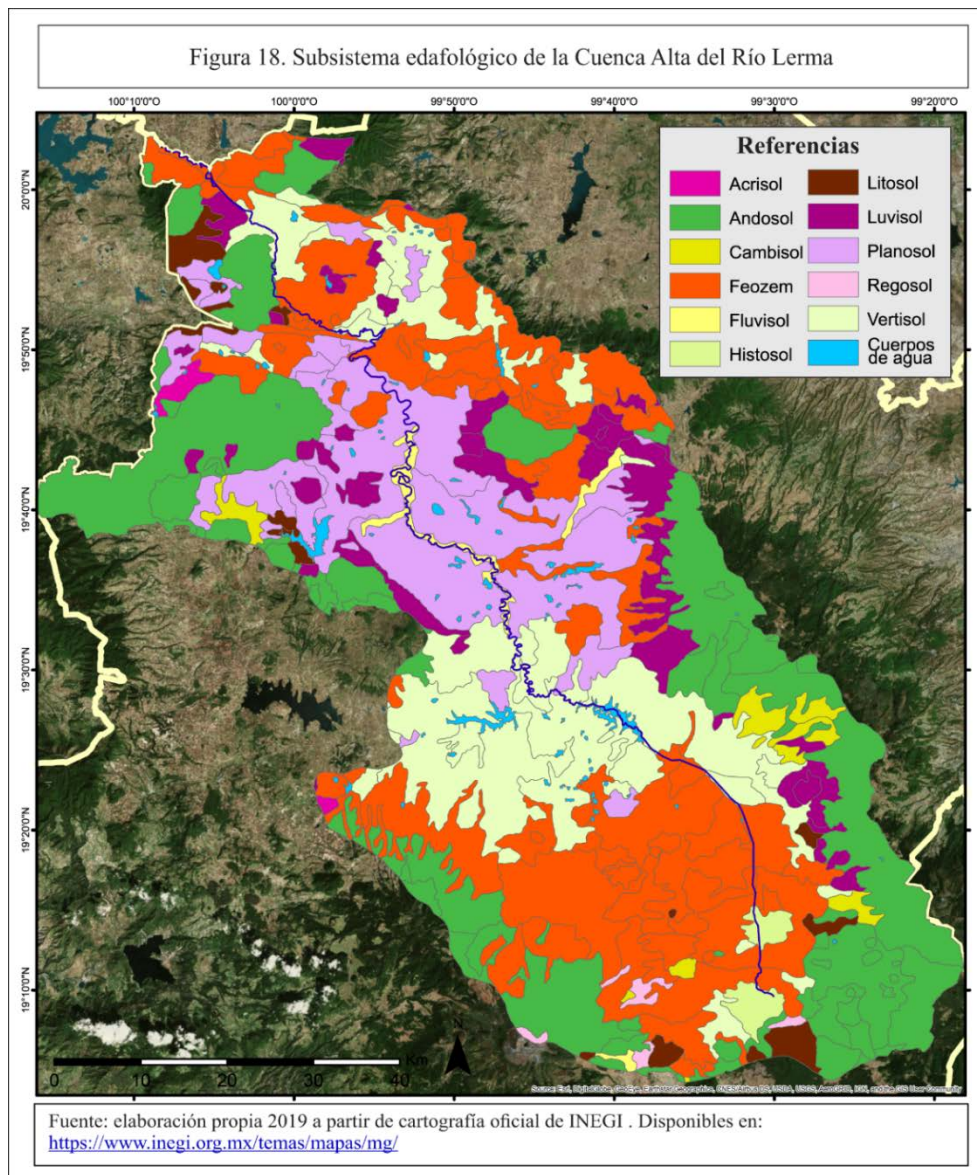
Las asociaciones edafológicas de la cuenca se distribuyen en tres grupos principales. En el primer grupo, predominan los *Pheozem (Feozem)*, *Andosoles*, *Planosoles e Histosoles*. Los suelos *Pheozem* tiene la mayor cobertura en las zonas planas, desarrolladas sobre las planicies lacustres y aluviales, así como sobre los piedemontes. La textura de este suelo varía entre media a fina condicionando un drenaje interno moderado. Son suelos que por su contenido medio - alto de materia orgánica favorecen al cultivo de gramíneas, legumbres y hortalizas con rendimientos muy buenos bajo sistemas de riego. El *Andosol* asociados a las laderas de las sierras, formado por cenizas volcánicas, se caracterizan por una porosidad y estructura estable que permiten la infiltración del agua y mantenimiento de la cubierta vegetal. El uso óptimo es forestal, sin embargo se utiliza para la agricultura, deteriorándolo, hasta convertirlo en suelo de uso pecuario con rendimientos regulares.

En la zona centro se desarrolla el tipo de suelo *Planosol*, poco profundos, con un horizonte muy arcilloso en los primeros 10 cm, lo cual propicia condiciones de saturación estacional desarrollando una capa infértil y ácida que afecta los rendimientos agrícolas debido a la limitación al crecimiento de los cultivos. Por último, dentro del primer grupo, se encuentra el suelo *Histosol*, presente únicamente al sur de la cuenca y restringido a las áreas que acumulan agua. Se asocia a la vegetación de pastizales y tulares, su uso productivo óptimo son el cultivo de hortalizas (Figura 18) (Garrido y otros, 2006; INEGI, 2004; FAO 2009; IUSS, 2007; GEM, 2011b).

El segundo grupo edafológico, está conformado por *Cambisol* y *Vertisol*, el primero se presenta al sur de la región, es un suelo joven y poco desarrollado, pero útil en el cultivo de gramíneas con rendimientos medios; el segundo, formados a partir de depósitos de origen vulcanoclástico y material aluvial, son suelos de textura muy fina a fina con alto contenido de arcilla, se forma por acarreo de sedimentos y se caracterizan por un drenaje pobre. En época de lluvia se vuelve pegajoso y en épocas secas muy duro debido a su composición y textura, limitándolo para un uso agrícola de bajo rendimiento con problemas de manejo debido a los procesos de expansión-

contracción (Figura 18) (Garrido y otros, 2006; INEGI, 2004; FAO 2009; IUSS, 2007; GEM, 2011b).

Por último, el tercer grupo lo conforma el suelo *Luvisol* y *Litosol*, son los menos abundantes y se localizan en las laderas de las sierras, conos y domos volcánicos. Están formados a partir de rocas basálticas y tobas. Debido a la presencia de un horizonte sub-superficial árgico (concentración de arcilla por iluviación) y una buena estructura, favorece la retención de humedad por más tiempo. Sumados a estos tres grupos, a lo largo de los afluentes principales del río Lerma se han formado suelos *Fluvisoles*, producto de la sedimentación fluvio-aluvial. Son suelos jóvenes, con características muy variables en función de los sedimentos propios de cada afluente y sector de río (Figura 18) (Garrido y otros, 2006; INEGI, 2004; FAO 2009; IUSS, 2007; GEM, 2011b).





Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2009) las unidades de suelo Pheozem, Andosol, Luvisol, Cambisol y Litosol son suelos que se caracterizan por una susceptibilidad media y alta a la erosión tanto hídrica como eólica, lo que trae consigo ciertos problemas como el azolvamiento de los embalses y daños en las obras de infraestructura hidráulica, debido a la excesiva acumulación de materiales en suspensión.

2.6 Análisis de los subsistemas físico – naturales como componentes de la vulnerabilidad física y ambiental

2.6.1 Degradación de la zona lacustre

La degradación de la zona lacustre de la cuenca, comienza en 1856 con el 1º proyecto de desecación de las áreas de ciénagas, pantanos y lagunas interiores, localizadas en las zonas más bajas y circundantes al río Lerma, sin embargo, solo se desecaron unas pocas hectáreas. En 1942 comenzó nuevamente la implementación de un 2º proyecto de desecación, más sólido y concreto que el anterior, el cual la primera etapa finalizó en 1951. A partir de esta fecha se incrementó la superficie de suelo para la producción agrícola, argumentando que con dicha expansión territorial se lograría el progreso del país. Estas tierras eran consideradas improductivas, además de ser vistas como una fuente de enfermedades que limitaba el desarrollo de la economía de los pueblos (Toscana y otros, 2010).

Conjuntamente con el proyecto de desecación, a partir de la década del '40 se llevó a cabo otro proyecto hidráulico, el Sistema Lerma, cuyo objetivo fue conducir, a través de obras de extracción del acuífero en la zona oriental del valle de Toluca, agua potable para abastecer a la población de la Ciudad de México. Momento en el cual se produjo el entubamiento de los manantiales que alimentaban a las ciénagas. En 1970 la Comisión de Agua del Valle de México reportó la conclusión de 230 pozos, 160 acueducto en toda la CARL (Pladeyra y otros, 2006; GEM 2011b).

El sistema de humedales, a principios del siglo XX, tenía una superficie aproximada de 30,000 hectáreas continuas, las cuales fluctuaban en dimensión y en profundidad. Si bien se encontraban en un estadio de senectud natural, dicho proceso se aceleró con la implementación de estos proyectos. El deterioro de la región es prácticamente irreversible debido a la fragmentación



y reducción del sistema. La superficie lacustre y su ecosistema se redujeron en un 90%, quedando en la actualidad 3,000 hectáreas (30 Km²). Solo la laguna de Almoloya, debido a su rehabilitación, contiene un pequeño almacenamiento de agua. Las otras dos lagunas, Lerma o Chimaliapan y San Bartolo o Chiconahuapan, actualmente solo en los municipios de Lerma y Oztolotepec respectivamente, se encuentran degradadas casi por completo, con una fisionomía totalmente diferente a la original se aprecian como llanuras de inundación y Ciénega (Figura 13). El sistema lacustre se considera desarticulado y degradado casi por completo (CONAGUA, 2016; Lozano, 2009; INEGI 2016; GEM 1997b; González y otros S/F)

Los esfuerzos políticos para la restauración y preservación de las zonas lacustres de la CARL, comienzan y se demuestran con la creación de la Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma, en 1990 por parte del GEM. El objetivo principal es contribuir al saneamiento y recuperación ecológica de la misma (GEM, 2007). Además, con la implantación la Estrategia General para el rescate ambiental y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala, dirigido por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA y SEMARNAT (IMTA y otros, 2009); y puesta en marcha del Plan Maestro para la restauración ambiental de la Cuenca Alta del río Lerma en el año 2010 llevado a cabo por el GEM y el apoyo de varias instituciones académicas, denota la preocupación tanto del gobierno federal como estatal por la pérdida y continua degradación y disminución de este ecosistema (GEM y otros , 2010).

2.6.2 Implementación de medidas estructurales

El proceso de implementación de medidas estructurales comenzó de forma paralela al proyecto de extracción de agua. Se inició con la construcción de la presa Trinidad Fabela en la década del 40, y las presas José Antonio Alzate, San Andrés Tepetitlán e Ignacio Ramírez en la década de los 60 (1962, 1964 y 1965 respectivamente). El actual grado de azolvamiento de todas las presas y bordos, se debe principalmente al escaso mantenimiento que recibe, lo cual provoca una reducción en la cantidad efectiva de agua almacenada. Además, se debe tener en cuenta el impacto ambiental que estas estructuras originan en el sistema natural. Producen cambios e interrupción en la morfología del sistema hidrológico, aumentando la peligrosidad de la cuenca ante eventos hidrometeorológicos extremos, provocando inundaciones en las partes más bajas. Además, mediante la alteración de los patrones naturales de los flujos agua, se produce fragmentación de los ecosistemas fluviales. Dichos impactos no están siendo evaluados en la



cuenca, sin embargo deben considerarse para generar una aproximación más real al costo-beneficio socioambiental que implica su construcción (GEM, 1997a; Cotler, 2006).

Entre 1995 y 1996, el inicio del Curso Alto del río se rectificó y canalizó con el propósito de continuar drenando los remanentes de las zonas lacustres, esperando que de esta forma se disminuya la probabilidad de inundación de las tierras aledañas a las lagunas, sin embargo, dicha infraestructura hidráulica es insipiente. Las zonas donde se encuentra rectificado el río, principalmente el corredor industrial Lerma-Toluca, son áreas en las que continuamente ocurren eventos de inundación (CAEM, 2017). El estilo de vida lacustre desapareció casi por completo, así como también la fisonomía natural del río y de los cuerpos de agua. Los canales que antiguamente funcionaban para transportar el agua a las zonas de cultivos se convirtieron en conductos receptores de aguas negras, tramos que son prácticamente inutilizable debido al alto grado de contaminación (Toscana y otros, 2010).

Desde principios del siglo XIX el cauce del río Verdiguél comenzó a modificarse debido a la presencia de terrenos circundantes a la ciudad destinados a zonas de cultivo, los cuales eran continuamente inundados. La transformación del cauce se intensificó durante el proceso de expansión urbana. La presencia de tiraderos de basura, produjeron el arrastre y depositario de sedimentos en las zonas colindantes al río, obstruyeron de manera significativa su capacidad hidráulica y originando severas inundaciones. Actualmente se encuentra entubado y embovedado y por lo que era su antiguo cauce, hoy son las calles principales de Toluca. Su aportación al río Lerma es casi nula y compuesta por aguas residuales. Sin embargo, la infraestructura hidráulica y de regulación tiene serios problemas principalmente en la época de lluvias (Pladeyra y otros, 2006).

Además, cursos de agua como el arroyo El Muerto, arroyo Tilapa, el río San Lorenzo y río Temoaya, entre otros, se encuentran rectificadas y modificadas por obras hidráulicas, algunos de ellos entubados y otros canalizados; modificaciones enfocadas a un fin, disminuir los efectos de las inundaciones o riego en las zonas agrícolas. Sin embargo, se denota una falta de mantenimiento de las obras y una infraestructura de drenaje - alcantarillado insuficiente. Los cauces se encuentran taponados de basura o de vegetación u obstruidos por construcciones que también alteran el curso natural, provocando que su principal objetivo no se cumpla, y contrariamente aumentando la vulnerabilidad ante las inundaciones.

Es importante destacar que año tras año se continúan realizando mejoras y nuevas obras hidráulicas por parte de las autoridades. En el 2017, se realizaron 16 obras por parte de la CAEM



en la cuenca alta del río Lerma, las cuales incluyeron la construcción del drenaje sanitario en dos comunidades del municipio de Acambay, ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales y colector de aguas negras en el municipio de Capulhuac, introducción de red de alcantarillado sanitario en la localidad Barrio del Gigante y ampliación de red de drenaje en la Cabecera Municipal del municipio de El Oro; construcción del colector de alivio pluvial en la Avenida. Rodolfo Patrón Cabecera Municipal de Lerma; construcción del colector La Marquesa, en el municipio de Ocoyoacac, y construcción del sistema de drenaje en el paraje Loma Olvidada de La Ranchería Las Lomas, en el municipio de Temoaya (CAEM, 2018).

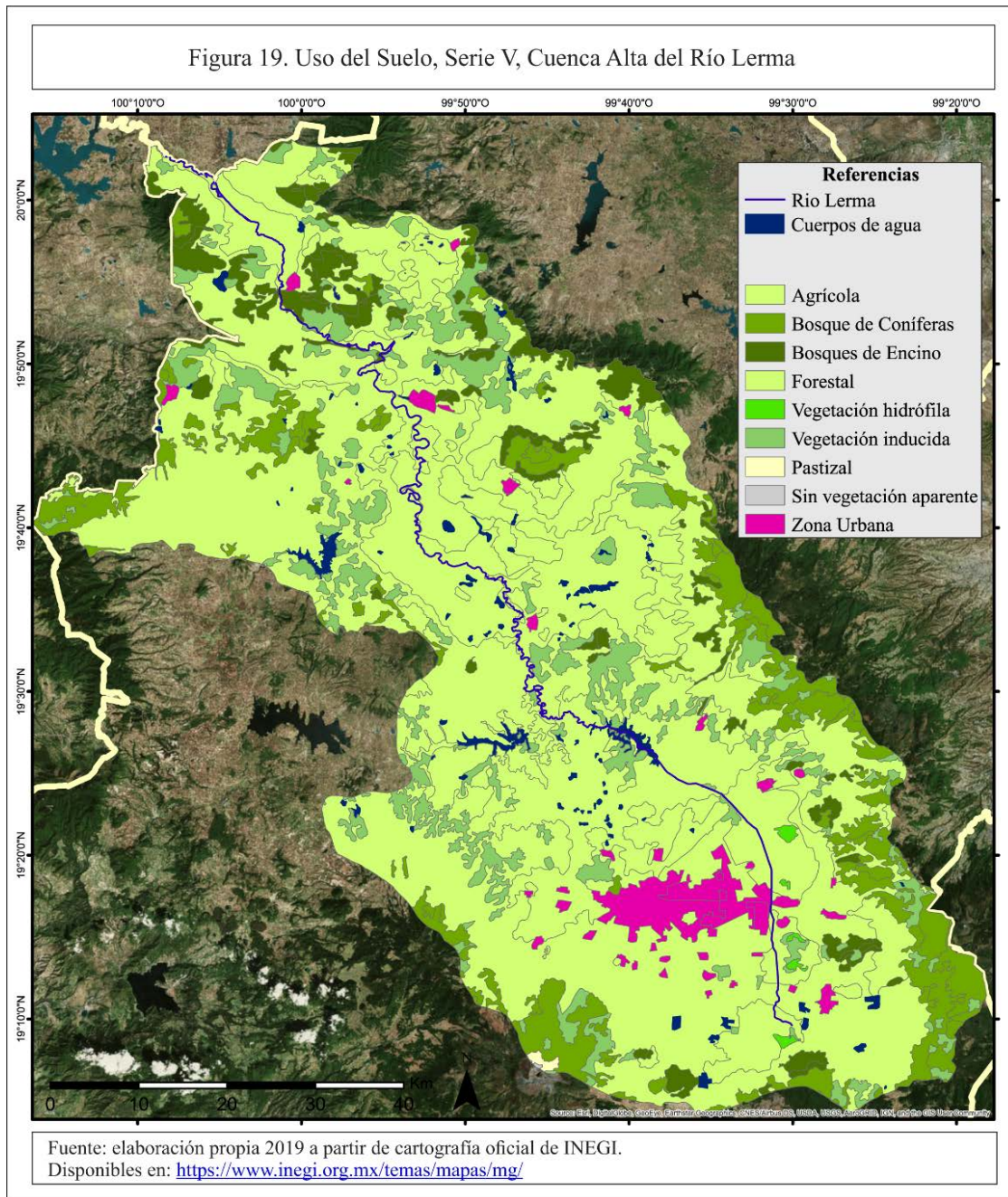
2.6.3 Usos del suelo

El conocimiento de las características del suelo es de gran importancia, ya que es el soporte de todas las actividades humanas. El análisis de los suelos se basa en la interpretación de las propiedades que le confieren aptitud positiva o negativa frente a determinadas actuaciones humanas. Las cualidades y características físicas influyen en la adaptabilidad de los suelos para una clase concreta de uso o vulnerabilidad. Las características físicas, como profundidad, porosidad, textura, estructura, proporción de afloramiento rocoso - pedregosidad, y características hídricas determinan el uso y cualidades físicas, como drenaje interno, permeabilidad, consistencia y plasticidad, determinan por ejemplo el peligro de inundación, erosión, disponibilidad de agua o productividad (MAPAMA, 2004).

La forma de utilización del suelo se denomina uso del suelo (*Landuse*) y puede ser de agrícola, industrial, urbano, forestal, etc. En cuanto a la Cobertura del Suelo (*landcover*), se define como el material físico sobre la superficie, y puede ser vegetación herbácea, arbórea, agua, asfalto, etc. Debido a la utilización del suelo, la cobertura vegetal original sufre modificaciones de distintos grados, de esta manera, cuando el cambio es total es definida como cobertura antrópica y cuando la transformación es mínima o bien se mantienen rasgos importantes de su estado original, se le conoce como vegetación inducida. Debido al alto desarrollo y a su impacto sobre el entorno natural, la cuenca presenta un alto grado de antropización (Fregoso, 2006).

Según la Serie IV de Usos del Suelo y Vegetación e información geográfica municipal del INEGI (2016) el uso del suelo de la cuenca destinado a la actividad agrícola es del 56 %, el uso urbano ocupa el 19 %, los pastizales inducidos dedicados a la actividad pecuaria ocupa el 7%, el 8% corresponde a los bosques de Encinos, Pino y Oyamel y vegetación secundaria arbustiva,

asociada a los tipos de bosques; el 0.5 % de la superficie está destinada a la actividad silvícola con bosques cultivados y el restante 9 % corresponde a cuerpos de agua y suelo desnudo, estos últimos localizado en las zonas de mayor altitud (Figura 19).



Por cuestiones culturales, las ciudades se han construido en los valles, desarrollando en la periferia las actividades agropecuarias y forestales. La precipitación y las corrientes de agua de las laderas tiende a desplazarse aguas abajo por el sistema circulatorio de la cuenca hasta llegar a los



valles. La presencia de cubierta vegetal, principalmente de tipo forestal, de las laderas evita que gran porcentaje de la lluvia escurra, posibilitando su infiltración y evapotranspiración, lo cual reduce el peligro de inundaciones y favorece al mantenimiento y durabilidad de la infraestructura hidráulica (GEM 2011b). A pesar de ello, el área cubierta por bosques es una de las coberturas con menor superficie, incluso si se suma a ella la cobertura de bosque cultivado. Según Pineda y otros (2009), el proceso de deforestación que presenta todo el Estado de México, se ha generado fundamentalmente por el cambio de uso del suelo de forestal a agrícola y forestal a urbano. Entre 1993 -2002 la entidad estatal, perdió un total de 13 691 ha de cobertura forestal, de las cuales fueron de 7,295 ha fueron de bosque de latifoliadas, 3, 836 ha bosque de coníferas, 2,250 ha de bosque mixto y 309 ha de bosque mesófilo de montaña.

Las principales masas forestales de la cuenca se localizan en las laderas del Nevado de Toluca, al sur de las sierras de Las Cruces, Monte Alto - Monte Bajo y sierra de San Andrés. El uso del suelo agrícola se desarrolla especialmente en la zona de los valles. La agricultura temporal se practica en el 73 % de la superficie cultivada y la agricultura bajo riego en un 22 %. La restante superficie es destinada a la Agricultura de Humedad con el 5% de cobertura. El maíz forrajero y de grano es el cultivo principal cubriendo el 98% de la superficie destinada a esta actividad. Además, se siembran hortalizas como la papa y haba; avena forrajera, flores y frutales (INEGI, 2016; Orozco y otros, 2009; GEM, 1997).

Los sistemas agrícolas de la cuenca, en general se caracterizan por un bajo nivel tecnológico, por un lado, debido al tamaño reducido de las parcelas y por otro, a la competencia con la urbanización. A este hecho, se suman la baja rentabilidad económica y problemas para el laboreo de la tierra derivados de las irregularidades en el régimen de precipitaciones y temperaturas. Por ello la actividad agrícola de la región se caracteriza por desarrollar de una estrecha relación con la actividad pecuaria, también caracterizada por una baja rentabilidad económica, originando que sean intercaladas en gran parte de la región centro y sur de la cuenca (Orozco y otros, 2009; GEM, 1997).

La zona sur de la CARL presenta una amplia superficie destinada al uso urbano (Toluca y localidades urbanas conurbadas) en contraste con el centro y norte de la región con menor superficie (ciudad de Atlacomulco e Ixtlahuaca). Al ser el uso agrícola vinculado al uso urbano los que ocupan la mayor superficie, son los que han tenido un mayor impacto en el cambio de uso en las últimas décadas. Dichos cambios pueden ser englobado en tres procesos. El primero, con mayor



superficie afectada, y mayor tasa de cambio registrado es la transformación entre coberturas antrópicas, la agricultura de riego con la agricultura de temporal y el uso agrícola con el crecimiento de las zonas urbanas. El segundo proceso de cambio es la deforestación, degradación y conversión de la vegetación natural hacia coberturas antrópicas como agricultura de temporal y pastizales inducidos. Un tercer proceso, se da por la recuperación de la vegetación natural, debido al abandono de tierras agrícolas que dan paso a una sucesión secundaria (Fregoso y Esquivel, 2006).

Como efecto de estos cambios y las prácticas agropecuarias inadecuadas afectan directamente el equilibrio hidrológico de la cuenca, produciendo una disminución de la capacidad de infiltración de los suelos y un mayor escurrimiento superficial. Dicha disminución se produce especialmente en la zona de cabecera de la cuenca, cuya función esencial constituye la recarga de los acuíferos. En la CARL, en dicha zona predomina el uso urbano con una cobertura de materiales industrializados como cemento, concreto y asfalto, lo cual incrementa dicha disminución (Cotler y otros, 2006b; López y otros, 2006; GEM, 2002).

2.7 Subsistema social. Estructuración del espacio y organización social

La forma en el que históricamente la sociedad se ha organizado y construido su espacio ha intensificado procesos como la concentración de la población en el centro urbano, dispersión de la población rural y una presión excesiva sobre los recursos naturales. El análisis de la dinámica sociocultural y económica que caracteriza a la población de la cuenca, facilita la comprensión de este escenario, en que las necesidades del crecimiento económico y social se contraponen con las necesidades ambientales. La distribución de la población está determinada por factores económicos, sociales, culturales, políticos, históricos y ambientales. La disponibilidad y uso de recursos, el crecimiento económico y la oferta de servicios e infraestructura, determinan en su conjunto las condiciones de vida de la población y niveles de bienestar.

La actual distribución poblacional de México refleja un territorio predominantemente urbano (61% de población total), distribuido de acuerdo al tamaño de su población - a partir de 15 mil habitantes - en ciudades pequeñas, medias, grandes y zonas metropolitanas. Las últimas dos, se destacan del resto, por ser en la mayoría de los casos capitales estatales o centros manufactureros. En contraste, este proceso de concentración en zonas urbanas generó consecuentemente la dispersión de la población rural en numerosas y pequeñas localidades rurales, caracterizadas por el



empobrecimiento en cuanto a servicios, infraestructura y réditos económicos de esta población (Aguilar y Escamilla, 2006).

La industrialización, la migración interna de la población y el crecimiento desordenado de la población, son procesos que se produjeron conjuntamente a partir de la segunda mitad del siglo XX. El proceso de urbanización en México se profundizó con la adopción de un modelo económico de industrialización sustitutiva de importaciones; a partir de ese momento, el porcentaje de población urbana aumento sistemáticamente respecto a la población total, el desarrollo económico e industrial y la urbanización han mantenido una relación recíproca. La instalación de industrias y consecuente crecimiento urbano favoreció a las grandes ciudades - más de 500 mil habitantes - y a los centros urbanos pequeños - menos de 50 mil habitantes- generando un proceso de expansión física y funcional de las ciudades distribuidas a lo largo de importantes vías de comunicación, fundamentales en la conformación de los corredores urbanos-industriales, ya que constituyen una fuente generadora de empleo.

A finales de la década de los '50, se promueve la instalación de dos corredores industriales en la CARL, el corredor Lerma- Toluca y el corredor Toluca-Atlacomulco. El primero, de mayor tamaño, se localiza en el sector sureste de la cuenca sobre la carretera México-Toluca. El segundo se localiza al norte de la cuenca. La tasa de urbanización es mayor en el sur, con población urbana efectiva es del 54%. En el centro y norte el patrón de distribución de la población es disperso, débilmente cohesionado por las ciudades de Atlacomulco e Ixtlahuaca con una tasa de población urbana efectiva del 5.8% (Aguilar y Escamilla, 2006; Orozco y otros, 2009).

La CARL cuenta con una población total de 2,981,339 habitantes y una densidad promedio de 588 habitantes por km² (Tabla 3) la cual se encuentra distribuida en 177 localidades urbanas (2,124,727 habitantes) y 1,131 localidades rurales (856,612 habitantes), es decir que el 71,3 por ciento habita en zonas urbanas y 28,7 por ciento en el medio rural. La zona urbana de mayor tamaño en cuanto a cantidad de habitantes y superficie, es Toluca y ciudades conurbadas con una población de 1,183,798 habitantes en 294,74 km². Actualmente en la cuenca hay cuatro grupos étnicos: Otomíes, Mazahuas, Matlazincas y Nahuas con una población censada de 414,899 habitantes. Si bien los grupos étnicos son minoritarios, constituyen un segmento especial por su carácter cultural y por la influencia que tienen en comunidades de zonas rurales. La mayor concentración de población étnica está en los municipios de San Felipe del Progreso, Toluca, Ixtlahuaca y Temoaya (INEGI, 2010a; GEM 2011b).



Tabla 3. Cantidad de habitantes y densidad poblacional de los municipios de la CARL, 2010

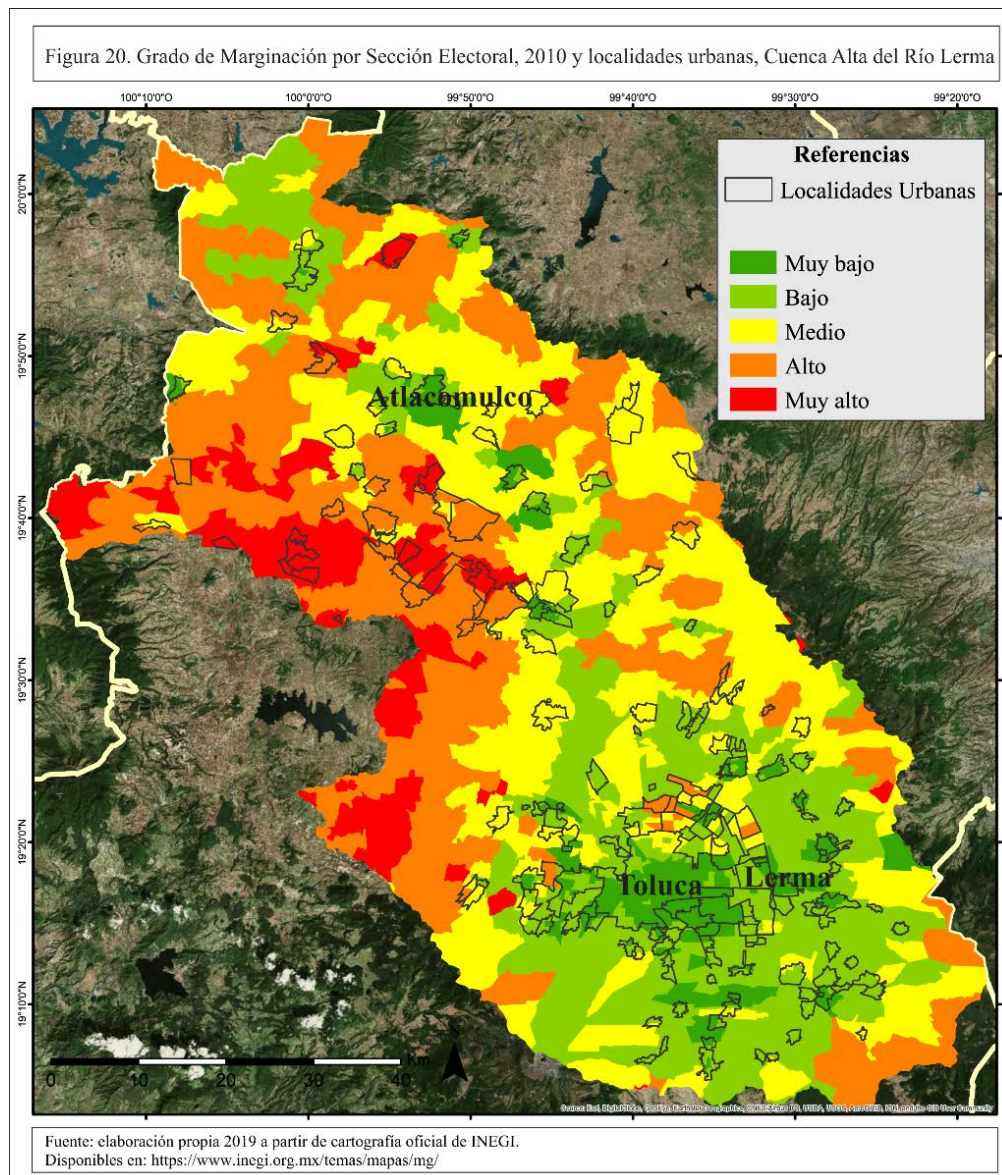
Municipios	Clave Municipal	Area (km2)	Población total	Densidad poblacional
Acambay	15001	472,2	66.034	139,84
Almoloya de Juárez	15005	477,4	176.237	369,13
Almoloya del Río	15006	9,1	11.126	1221,28
Atizapán	15012	8,5	11.875	1398,43
Atlaquemulco	15014	256,0	100.675	393,22
Calimaya	15018	102,4	56.574	552,33
Capulhuac	15019	20,9	35.495	1702,38
Chapultepec	15027	11,9	11.764	985,87
El Oro	15064	136,6	37.343	273,43
Ixtlahuaca	15042	333,5	153.184	459,33
Jiquipilco	15047	273,5	74.314	271,71
Jocotitlán	15048	275,6	65.291	236,90
Joquicingo	15049	45,8	13.857	302,34
Lerma	15051	229,5	146.654	638,97
Metepec	15054	67,0	227.827	3400,36
Mexicaltzingo	15055	11,2	12.796	1139,53
Morelos	15056	234,3	29.862	127,46
Ocoyoacac	15062	138,6	66.190	477,70
Otzolotepec	15067	111,7	84.519	756,73
Rayón	15072	22,9	13.261	579,77
San Antonio la Isla	15073	25,2	27.230	1081,55
San Felipe del Progreso	15074	366,3	134.143	366,18
San José del Rincón	15124	485,0	93.878	193,55
San Mateo Atenco	15076	18,8	75.511	4018,34
Temascalcingo	15085	353,8	63.721	180,11
Temoaya	15087	187,0	103.834	555,31
Tenango del Valle	15090	207,5	86.380	416,31
Texcalyacac	15098	24,6	5.246	213,21
Tianguistenco	15101	131,1	77.147	588,46
Toluca	15106	425,7	873.536	2051,86
Xonacatlán	15115	53,2	51.646	970,85
Zinacantepec	15118	308,3	188.927	612,71
Totales		5825,2	3.176.077	545,23

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de Censo de Población y Vivienda 2010 y Marco Geoestadístico 2010, INEGI.

Disponibles en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/> <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/>

Las áreas de mayor desarrollo socioeconómico, se encuentran en las zonas urbanas vinculadas directamente a los dos corredores industriales – comerciales. Dichas localidades poseen un mayor potencial de crecimiento debido al capital humano y financiero acumulado. Las áreas que registran un mediano desarrollo, son las localidades que circundan a estos corredores, las cuales mantienen una estrecha relación comercial y social con las anteriores. Las zonas menos desarrolladas se encuentran al noreste y centro de la CARL, cuyas localidades registran niveles socioeconómicos y niveles de ingreso bajos (Cardona, 2006; INEGI 2010a).

Según el análisis del cálculo del Índice de Marginación por Sección Electoral y distribución del Grado de Marginación por Sección Electoral de la cuenca, el curso Alto predomina el Grado de Marginación GM Bajo y Muy bajo, en el curso Medio el GM Medio y Alto y en el curso Bajo el GM Alto y Muy Alto (Mancino y otros, 2015, 2018). La distribución de GM Muy Bajo, Bajo y Medio en forma general coincide con la localización de los polígonos de desarrollo socioeconómico (Figura 20). Sin embargo, la diferencia en la distribución radica, para determinar las zonas de mayor peligro, vulnerabilidad y consecuentes costos económicos de las inundaciones, en la localización de población con GM Alto y Muy Alto, con niveles de educación, ingresos, servicios y presencia de vías de comunicación adecuados, los cuales, condicionan las oportunidades de crecimiento de las comunidades más alejadas de los centros urbanos.



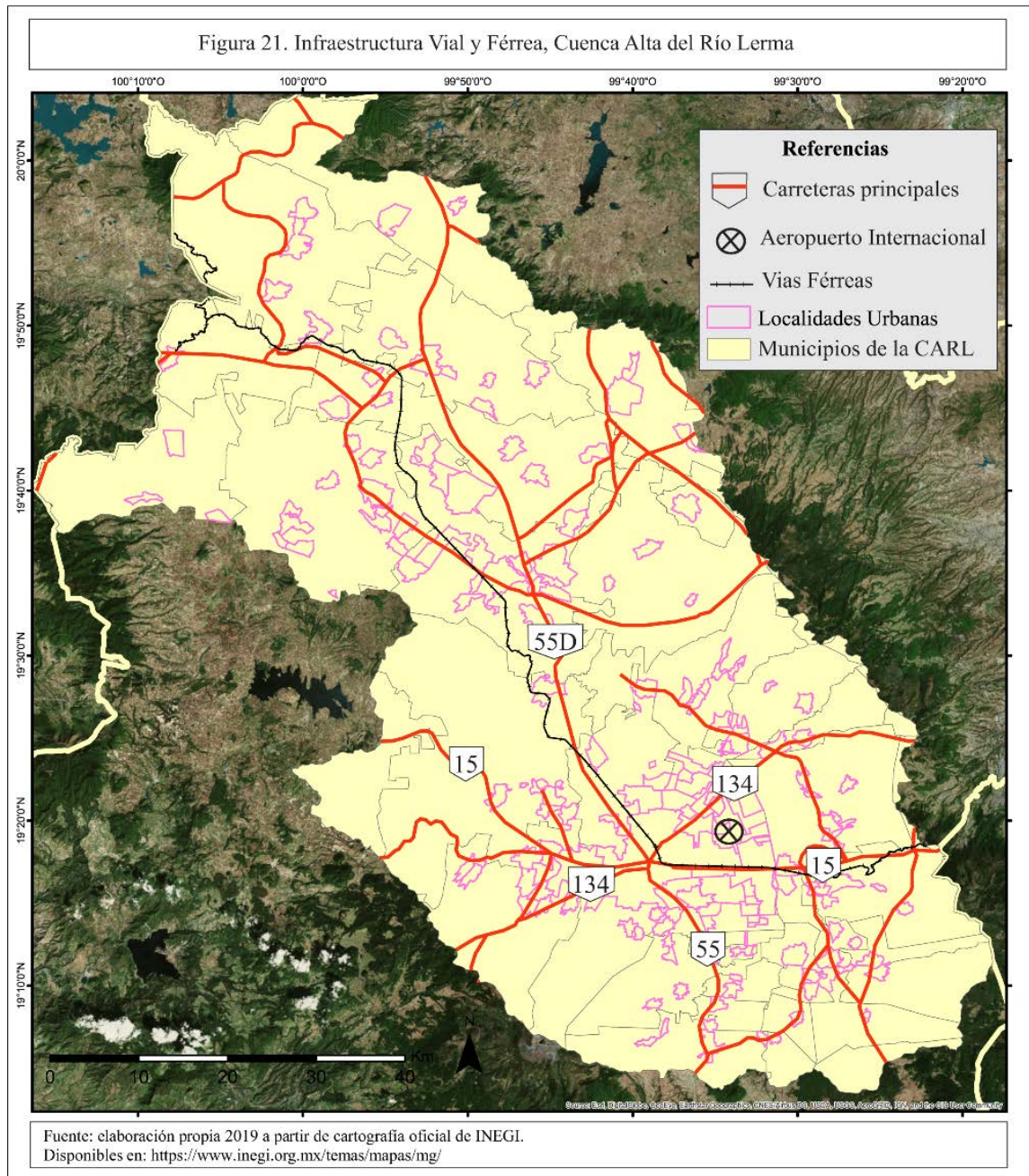


2.8 Infraestructura sanitaria, pluvial y vial

En las zonas urbanas no se registra la existencia de una infraestructura del drenaje pluvial con el objetivo de resolver la problemática de las inundaciones, principalmente por falta de recursos. Las obras públicas generalmente fueron destinadas a la construcción de drenaje sanitario. Este sistema cumple las funciones de recibir aguas negras, captar aguas pluviales y escurrimientos superficiales, que finalmente son conducidas nuevamente a la superficie. Todo ello hace que el sistema sanitario sea insuficiente, generando que las vialidades se conviertan en canales de escurrimiento, produciendo inundaciones en época de lluvias. En las localidades rurales no existe infraestructura sanitaria, motivo por el cual, muchos de los canales de riego y algunos cauces son utilizados como receptores de aguas residuales y de basura, generando focos de contaminación y de infección para la población rural (GEM, 2011b).

Con respecto a la infraestructura vial, la cuenca se encuentra comunicada, en forma concéntrica con la capital estatal a través de seis vialidades regionales muy importantes: la Autopista México- Toluca (15), que une a los municipios de San Mateo Atenco, Lerma y Ocoyoacac; al sur la carretera Toluca-Ixtapan de la Sal (55) comunicando a los municipios de Metepec, Mexicaltzingo, San Antonio la Isla, Rayón y Tenango del Valle; al suroeste se encuentra la Calzada al Pacífico (134), que comunica a la región con el sector sur del estado, atravesando los municipios de Toluca y Zinacantepec (Figura 21) (INEGI, 2017).

Al oeste se localiza la carretera Toluca-Zitácuaro (15) conectando a los municipios de Zinacantepec y Almoloya de Juárez; al norte, la autopista Toluca-Querétaro (55D) que comunica a Ixtlahuaca, Jocotitlán, Atlacomulco y Acambay; por último, al noreste, se localiza la carretera Toluca-Xonacatlán (134), que conecta a los municipios de Temoaya, Oztolotepec y Xonacatlán. Además, la región se encuentra compuesta por una densa red de caminos vecinales que convergen en cada una de las cabeceras municipales. Además, cuenta con una escasa infraestructura férreas y un aeropuerto internacional (Figura 21) (INEGI, 2017).



2.9 Subsistema económico. Dinámica y actividades económicas

El proceso de industrialización, migración rural y expansión urbana también modificó el estilo de vida de los habitantes y la estructura económica de la región. La población dedicada a las actividades productivas del sector secundario y terciario aumentó, en detrimento de las primarias. La disminución de la población rural favoreció a la baja de la rentabilidad de las actividades



agropecuarias (Orozco y otros, 2009). La economía del Estado de México es la segunda más importante del país, después de CDMX en manufacturas y en servicios. De acuerdo con la Secretaría de Economía del Estado de México, el Producto Interno Bruto PIB del Estado de México, en 2015 representó 8.9% con respecto al total nacional (GEM 2016; INEGI 2017).

La Población Económicamente Activa PEA de la CARL representa el 18,54 % del total estatal (1,135,486 de 6,124,813 de personas) donde el 94.7% está ocupada y el 5.2 % se encuentra desocupada. El sector manufacturero, por el porcentaje de empleos que ofrece, ocupa el segundo lugar en importancia, con más del 22% de la población ocupada. En cuanto a la especialización de la población ocupada, el 31% de los municipios se especializa en actividades primarias y extractivas. La cuenca cuenta con sólo 5% de sus municipios especializados en la actividad manufacturera, pero si se consideran las categorías donde se combinan los sectores primarios, extractivos y manufactureros más de la tercera parte del total de los municipios conforman su dinámica económica. Los municipios con especialización en actividades terciarias conforman el 5% del total; aquellos donde se comparte la especialidad en el sector terciario con otros sectores alcanzan el 16% (INEGI, 2010 y 2015).

De acuerdo al Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DNUE 2016, el Estado de México cuenta con 605,615 Unidades Económicas UE, de las cuales 127,447 UE se localizan en la CARL, representado el 21.4 % del total estatal. Los sectores estratégicos son el automotriz, productos químicos, agroindustrial, minería, textil, turismo, logístico y servicios de investigación (INEGI, 2016c). Según el informe Doing Business, publicado por el Banco Mundial (BM) y la Corporación Financiera Internacional (CFI), el sector industrial del Estado de México ocupa el 9° lugar a nivel nacional para la inversión nacional y extranjera por su facilidad para la apertura de un negocio, principalmente en la industria manufacturera, debido a su cercanía a la CDMX y disponibilidad de infraestructura física y PEA (GEM, 2016).

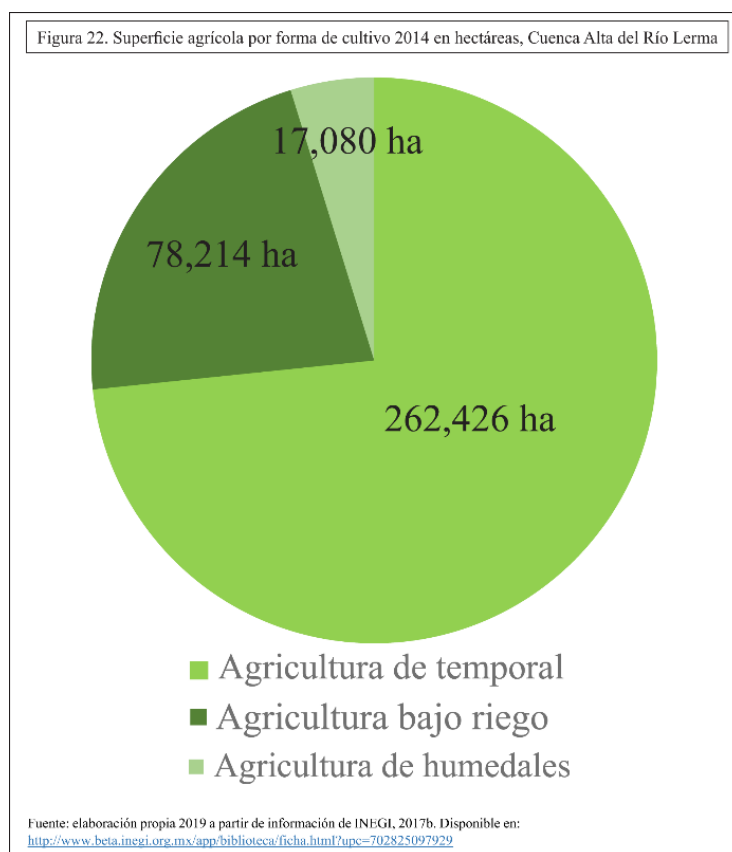
2.9.1 Actividades primarias

La amplia extensión de los dos valles que conforman la fisionomía de la cuenca, sumado a la construcción de obras hidráulicas destinadas al riego, desecación de las zonas lacustres y la instalación de los corredores industriales, dieron un nuevo impulso a la actividad agropecuaria desde mediados del siglo XX. Actualmente, bajo diferentes condiciones de densidad y distribución de la población y de extensiones de superficies aprovechables, la agricultura tiene un papel



económico relevante en la región, compartido la ganadería, acuicultura, floricultura, minería y aprovechamiento forestal.

Durante el año agrícola 2014, la superficie destinada a la agricultura fue de aproximadamente 357,700 hectáreas de la superficie total de la cuenca, de las cuales 262,426 ha de temporal, 78,214 ha bajo riego y 17,080 ha a la agricultura de humedales (Figura 22). La producción se diversificó en 148 cultivos, principalmente granos, forrajeras, hortalizas. Sin embargo, el maíz es el cultivo que ocupa el 60% de la superficie agrícola y es sembrado en la totalidad de los municipios de la cuenca. La superficie sembrada de maíz de grano es de 259,691,4 has; 207,578.4 has de temporal y 52,113 has de riego. En producción de especies forrajeras se destaca la avena en verde con 18,163 has, con mayor superficie sembrada en los municipios de San José del Rincón, Acambay y Almoloya de Juárez.; y producción de pastos y praderas en 1353,1 has (INEGI, 2017b).



Las hortalizas fueron sembradas en 10,611.6 ha con mayor producción son el elote (comercializados en forma diferente al maíz), papa, chícharo, jitomate, zanahoria y haba verde. Se debe tener en cuenta que los chicharos y habas se siembran generalmente junto al maíz. La



floricultura ornamental y aromática se practica principalmente en los municipios de Jocotitlán, Joquicingo, Rayón, San Antonio La Isla y Tenango del Valle, con una superficie de 460 has, mediante la producción de gladiola, Árbol de Navidad, Cilantro, Polar, Nochebuena y alhelí. Por otro lado, la producción de frutales es muy limitada en cuenca con 62,5 has, dedicadas a la plantación de pera, frambuesa y ciruela (INEGI, 2017).

La ganadería actualmente ocupa un lugar importante en las actividades productivas del sector primario de la CARL, ya que, se ve favorecida por las condiciones climáticas y la extensión de los pastizales inducidos. En 2014, en la CARL se destinó 6,295.34 ha para la actividad pecuaria. La mayor concentración de explotaciones pecuarias intensivas de engorde de bovinos en corral se localiza en los municipios de Toluca, Atlacomulco y Jilotepec (INEGI, 2017).

Los cuerpos de agua de la CARL, son un espacio productivo para el desarrollo de la acuicultura. Las especies con mayor volumen de producción son trucha, carpas, mojarra, charal, bagre y lobinas. Dichas especies poseen sus propios requerimientos de reproducción y crecimiento óptimo para el mercado. En cuanto al porcentaje de producción, la de la cuenca representa alrededor del 40 % total del estado (GEM, 2011b; INEGI, 2017).

La actividad minera de forma intensiva también se desarrolla en el ámbito de la CARL. La producción se realiza tanto en cielo abierto (arena, grava, tezontle, tepetate, cantera, arcilla, y tepojal) y bajo el método subterráneo con la extracción de minerales metálicos (oro, plata, plomo, cobre y zinc). Existen 72 minas en operación, localizadas principalmente en los municipios de Calimaya, San Antonio la Isla, Almoloya de Juárez, Tianguistenco y Zinacantepec. La explotación de materiales pétreos en el Estado de México ha sido una actividad, hasta el año 2000, que se desarrolló sin una regulación técnica, legal y ecológica adecuada. Los impactos negativos generados durante y post extracción fueron la remoción del 1º horizonte del suelo y la cubierta vegetal, reduciendo la infiltración y aumentando el escurrimiento. Consecuencia de ello, se produjo un aumento de la erosión de los suelos y transporte de materiales finos, provocando azolves de los cauces y obras hidráulicas (GEM, 2011b; IFOMEGEM, 2017).

La superficie destinada a la actividad forestal es de 6,055.74 ha, desarrollada con especies de coníferas como Pinos y Oyamel y especies latifoliadas como Encinos, destinada principalmente a la producción de carbón, leña, celulosa y escuadría, siendo esta última, la que mayor producción registra. El municipio de San José del Rincón, es el de mayor producción con 32,535 m³/rollo, seguido por Lerma con 7,826 m³/rollo y Acambay con 6,301 m³/rollo (INEGI, 2017a).



2.9.2 Actividades secundarias y terciarias

En la CARL se localizan 29 de los 92 parques industriales/tecnológicos del estado (31.5%), con una concentración en el municipio de Toluca con nueve parques y siete en el municipio de Lerma (Tabla 4) (SIMPPI, 2008; GEM, 2016).

Tabla 4. Parques industriales y/o tecnológicos por municipio 2016 de la CARL

Municipios	Parques industriales
Atizapán	Fraccionamiento Industrial El Pedregal o México Nuevo Zona Industrial Prof. Cristóbal Higuera y/o Atizapán
Atlacomulco	Parque Industrial Atlacomulco Parque Industrial Santa Bárbara
Capulhuac	Parque Industrial PYME Capulhuac Parque Industrial San Nicolás Tlazala
Jocotitlán	Ciudad Industrial Pasteje
Lerma	Corredor Industrial Lerma Microparque Industrial O'donnell Logistic Parque Industrial Cerillo I Parque Industrial Cerillo II Parque Industrial FRISA (Doña Rosa) Parque Industrial Lerma Prologis Park Toluca
San Antonio la Isla	Parque Agroindustrial San Antonio La Isla
Tenango del Valle	Parque Industrial Tenango del Valle
Tlanguistenco	Parque Industrial Santiago Tlanguistenco I y II
Toluca	Parque Industrial El Coecillo Parque Industrial Exportec I Parque Industrial Exportec II Parque Industrial San Antonio Buenavista Parque Industrial San Cayetano Parque Industrial Toluca Parque Industrial Toluca 2000 Parque Industrial Vesta Park Toluca Zona Industrial Toluca

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de información del Gobierno del Estado de México GEM y Sistema Mexicano de Promoción de Parques Industriales SIMPPI Disponibles:
<http://www.contactopyme.gob.mx/cpyme/parques/delemex.asp?lenguaje=0>

Las unidades económicas (UE) dedicadas a la actividad manufacturera son 14,019, las cuales se dividen en 21 rubros. Dentro de la industria manufacturera, se destacan las ramas alimentarias, fabricación de textiles, papel y muebles. Sin embargo, la industria automotriz se posicionó como la actividad industrial más importante dentro de la entidad. Además, se destacan las industrias enfocadas a la generación de energía, plástico, bebidas y tabaco. En cuanto al personal ocupado en dichas actividades, a nivel CARL, es de 158,147 personas, con una producción bruta total de \$ 301,139,898 (pesos mexicanos 2014) (INEGI, 2014; DNUE, 2016).

Es importante destacar, que según la Unión Industrial del Estado de México UNIDEM, alrededor de 40 mil empresas en la entidad no cuenta con el permiso de uso del suelo correspondiente, principalmente aquellas instaladas antes de 1990, debido que a partir de dicha

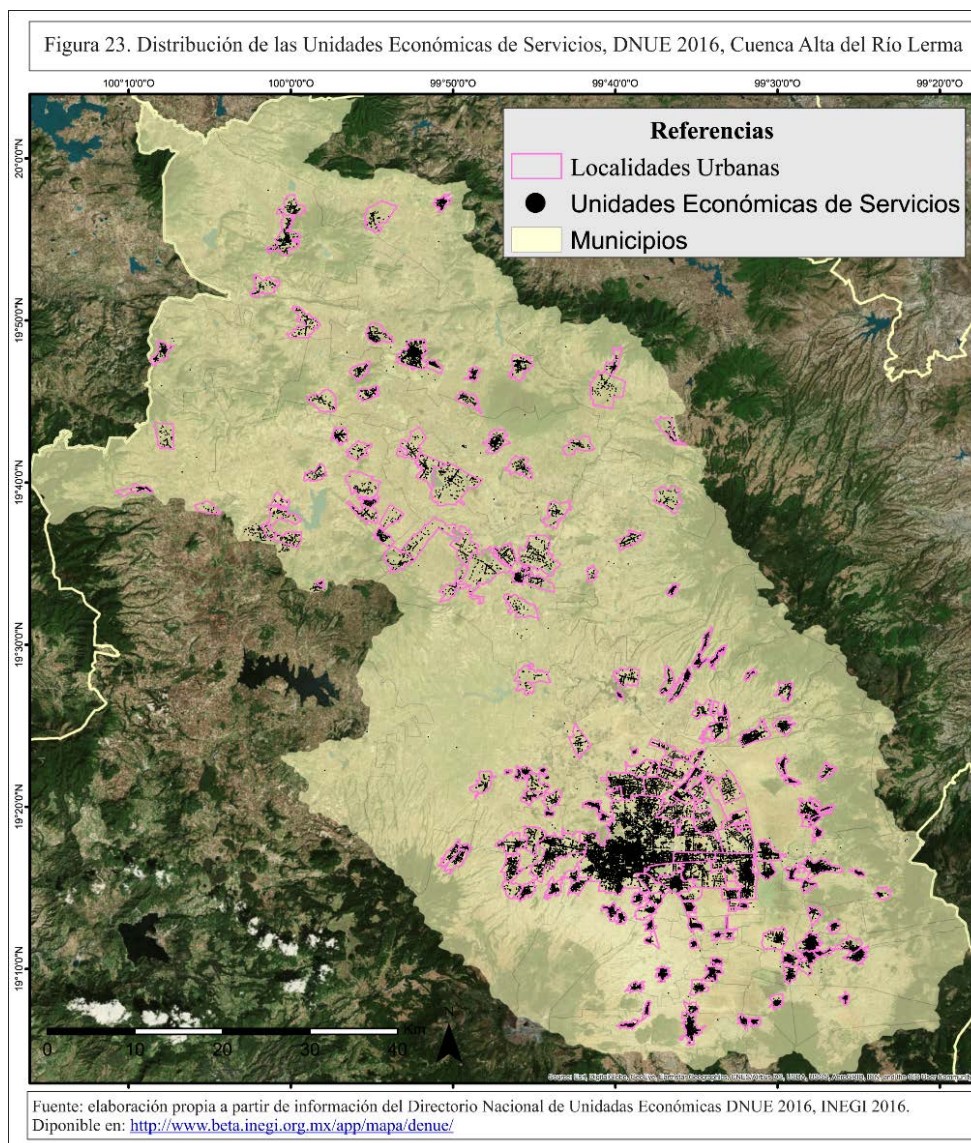


fecha la regulación es obligatoria. La obtención de la licencia de uso específico del suelo está a cargo del Plan de Desarrollo Municipal, sin embargo, existe una contradicción en el otorgamiento de las licencias. Donde actualmente se encuentran instaladas, según la zonificación de uso de suelo municipal, estos terrenos corresponden a zonas habitacionales o se encuentran en zona de riesgo de inundación, motivo por el cual las empresas que se localizan en estos sectores no podrían obtener la regulación de la licencia, además que su traslado actualmente no sería factible debido a la pérdida de fuentes de empleo e impuestos (Fernández, 2017).

Relacionadas directamente con las actividades secundarias, la actividad terciaria dentro de la CARL se desarrolla mediante 92,854 UE. Los rubros correspondientes a comercios y abastos al por mayor y al por menor, revisten gran importancia, ya que son indispensables para el desarrollo de los otros sectores productivos, contribuyendo directamente a la satisfacción de las necesidades de la población y garantizando el acceso adecuado a los productos, bienes y servicios. Los comerciantes formalmente representan la mayor parte del sector. En las cabeceras municipales hay mercados públicos que expenden productos básicos, de igual manera trabajan las centrales de abasto y “tianguis”, que desarrollan sus actividades comerciales en las distintas localidades, siendo estos últimos, comercios de tipo informal. Además, en la cuenca, se desarrollan todo tipo de actividades de servicio como financieros y de seguros, medios masivos, servicios inmobiliarios, corporativos, manejo de residuos, educativos, etc., con una marcada concentración en las áreas urbanas (Figura 23).

2.10 Subsistema político e institucional

En cuanto al análisis político e institucional, se hace referencia al marco legal vigente y generación de documentos institucionales a nivel estatal, referidos a los riesgos naturales en general y a las inundaciones en particular, además de atender temas sobre la planificación y ordenación territorial para prevenir y minimizar sus efectos. Las autoridades del Estado de México, en el año 2012 promulgaron la Ley de Protección Civil del Estado de México bajo el Decreto N° 524 (Gaceta del Gobierno, 2012b) referida a la prevención de riesgos y atención de los desastres naturales. Mediante la creación del Plan de Desarrollo del Estado de México 2011-2017 (Gaceta del Gobierno, 2012a) y derivados Planes de Desarrollo Urbano Municipales (según el artículo 115), los municipios tienen a su cargo la planeación y ordenación del territorio, además de dotar a la población de servicios públicos básicos.



Por disposición de las autoridades Federales y Estatales, los municipios deben de elaborar los Atlas de Riesgo, basados en un documento oficial. Sin embargo, solo algunas entidades municipales lo han realizado, por ejemplo, los municipios de Zinacantepec, San Mateo Atenco, Ocuilán, Metepec y San Antonio La Isla (SEGOB/CENAPRED, 2006, 2018; GEM 2017).

Así mismo, las autoridades municipales deben regular el uso del suelo y otorgar licencias de construcción con un previo estudio de peligro de inundación y monitoreo de posibles eventos. Además, deben establecer líneas de acción que contribuyan a la reducción de los daños mediante el control del crecimiento urbano, reubicación de asentamientos, estimulación de actividad agrícola, constante limpieza de los canales para evitar su desbordamiento y el mejoramiento del sistema de drenaje (IAMPEM, 2015).



En cuanto a las publicaciones oficiales, es importante señalar que el Estado de México posee un Atlas de Inundaciones, publicado desde 1994 y actualizado anualmente por parte de la CAEM. En dicho documento se publica la cartografía de las zonas afectadas (a nivel cuencas hidrográficas) por inundaciones durante el año anterior a la publicación del atlas. Además, se especifican las obras de drenaje realizadas y reincidencia de inundaciones (CAEM, 2003a y 2018).

2.11 Análisis de la historicidad de inundaciones

Las inundaciones afectan a la mayoría de los 125 municipios del Estado de México, sin embargo, se concentran en dos zonas, al noreste del estado correspondiente a los municipios colindantes con CDMX y la CARL, produciendo pérdidas económicas elevadas. De los municipios que conforman la cuenca, los más afectados por las inundaciones durante el periodo 2000-2012, fueron Ixtlahuaca, Toluca, Lerma, San Mateo Atenco y Metepec, con un costo probable de \$ 4,514,493,501 (pesos mexicanos 2014) con una altura promedio de la lámina de agua de 40 cm (Mancino y otros, 2015 y 2018). En la Tabla 5 se enlistan los sitios afectados por inundaciones (urbanas, rurales y encharcamientos) en los municipios de la CARL, durante el periodo 1994 a 2017 (CAEM, 2004 a 2018).

Tabla 5. Sitios afectados por inundacion por temporada de lluvia 1994-2017 en la CARL

Municipios CARL	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total de eventos
Almoleza de Juárez	--	--	--	--	1	--	--	--	1	2	1	--	4	1	--	--	1	1	--	--	--	--	--	--	12
Almoleza del Río	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	1	1	--	--	1	--	1	--	--	--	--	--	5
Atizapán	--	--	--	--	--	--	1	2	--	--	--	1	1	1	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7
Atzacmulco	--	--	--	--	2	1	3	3	4	3	3	3	3	3	1	1	2	4	4	--	--	5	5	3	56
Capulhuac	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	1
Chapultepec	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3	--	--	--	1	--	--	4
Calimaya	1	1	0	1	4	0	1	5	1	5	1	3	--	--	--	--	--	1	2	--	--	--	--	--	25
Ixtlahuaca	--	--	--	--	12	0	0	3	0	1	--	--	7	5	--	10	10	--	1	--	6	--	--	--	55
Jiquipilco	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--	3	3	--	1	2	--	--	--	--	--	--	--	11
Jocotitlan	--	--	--	--	1	--	--	--	--	2	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	4
Lerma	0	2	9	3	7	4	4	3	4	7	2	--	8	5	1	6	7	4	--	3	--	1	4	1	85
Metepec	2	4	8	14	9	3	5	3	7	4	6	3	5	3	1	13	13	1	9	1	--	1	1	2	116
Mexicalcingo	--	--	--	--	--	2	0	1	0	--	1	1	--	2	1	--	--	--	1	--	1	--	--	--	10
Ocoyoacac	0	1	0	3	4	0	1	0	0	2	2	2	2	2	--	2	1	--	--	--	1	1	--	--	24
Otzolotepec	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	--	--	4	3	1	1	5	2	--	2	1	--	--	--	28
Rayón	1	0	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	1	--	--	1	--	--	--	--	4
San Antonio La Isla	1	1	1	4	3	4	4	5	--	--	--	--	1	1	--	1	--	--	1	2	--	--	--	--	28
San Felipe del Progreso	--	--	--	--	3	1	2	2	--	3	--	2	1	1	3	--	--	--	--	4	1	--	--	--	23
San José del Rincón	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	4	7	--	--	--	--	--	--	13
San Mateo Atenco	1	3	3	3	3	3	4	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	--	38
Temascalcingo	--	--	--	--	4	--	--	--	--	4	--	--	3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	5	17
Temoaya	--	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--	2	2	--	1	--	--	--	1	--	--	--	--	8
Tenango del Valle	2	1	1	5	1	0	0	3	0	1	1	--	--	1	--	2	1	--	2	1	--	--	--	--	20
Tlanguistenco	--	--	--	--	3	7	3	7	2	7	--	--	--	--	1	1	3	3	1	--	--	--	2	1	41
Toluca	10	8	10	15	9	6	10	6	13	12	6	9	12	10	5	26	31	27	5	39	--	1	1	1	262
Xonacatlán	--	--	--	--	4	0	1	0	1	1	1	--	3	2	--	--	3	--	--	1	2	1	--	--	20
Zinacantepec	1	--	--	1	1	2	4	6	4	7	1	2	2	2	--	4	--	--	--	6	6	4	1	--	53
Total de eventos por año	19	21	33	49	72	32	46	51	42	64	32	28	62	50	19	71	85	51	25	70	12	23	18	14	

Fuente: elaboración propia 2019, a partir de los datos de la Comisión de Aguas del Estado de México. Disponibles en: <http://caem.edomex.gob.mx/>

Del total de municipios, 27 de ellos se inundaron entre 1994 y 2017, siendo el municipio de Toluca el de mayor ocurrencia, con 262 inundaciones, Metepec con 116, Lerma con 85 eventos, seguidos de Atlacomulco e Ixtlahuaca con 56 y 55 inundaciones respectivamente. Debe tenerse en cuenta que estos eventos son los que fueron informados a la CAEM, por parte de las oficinas de



Agua Potable y los Organismos Operadores a nivel municipal mediante su formato de recopilación de datos, motivo por el cual, hay registros anuales que se encuentran vacíos, siendo posible que dichos eventos no fueran informados pero que, si hayan ocurrido, por ejemplo, los registros de la temporada de lluvia 2014 en el municipio de Toluca.

Según las evaluaciones de la Dirección General de Protección Civil (GEM, 2017), los municipios de Lerma, Toluca, Tenango del Valle, Ixtlahuaca, Zinacantepec, Metepec, San Mateo Atenco y Ocoyoacac, son los que mayor cantidad de trabajos de evaluación técnica se han realizado. El fin de dichas evaluaciones fue identificar los factores inherentes que dieron origen a la inundación. De esta forma, el organismo concluye que las zonas afectadas se debieron principalmente a que los asentamientos se localizaban en terrenos que antiguamente correspondían a zonas lacustres. Además, algunas zonas, presentaban hundimientos diferenciales del terreno, generando problemas hidráulicos que dificultaban el desalojo de las aguas pluviales y residuales.

Así mismo, las inundaciones que se producen en zonas urbanas son consecuencia del escurrimiento del gran volumen de agua precipitada, la insuficiente capacidad de regulación de las obras hidráulicas urbanas y la falta de mantenimiento en las plantas de bombeo. A lo cual se suma la mala operación de las compuertas de la presa J. A. Álzate que provoca inundaciones en zonas agrícolas. Por último, menciona que todas estas afectaciones se presentan en menor grado en el resto de los municipios de la entidad, sin que signifique que el problema no sea de interés y atención o que el peligro de inundación sea menor (GEM, 2017).

Durante el año 2016, según informo el Gobierno Municipal de la ciudad de Toluca, se realizó la limpieza intermunicipal de los ríos Las Jaras, Verdiguél y Tejalpa, donde se retiraron 153 toneladas de basura en los tramos que corresponden a Toluca y se realizó el desazolve en 52 km de cauces naturales, zanjas y drenes, de donde extrajeron 5 mil 800 m³ de azolve (Ayuntamiento de Toluca, 2016).

Las inundaciones en los municipios de la CARL son documentadas por los medios periodísticos locales y nacionales. Dichas recopilaciones son importantes a la hora de determinar la historicidad y características particulares de cada inundación.

A modo de ejemplo, se pueden mencionar un evento del año 2017 (12 de julio) el cual la CAEM desplegó un operativo con el Grupo Tláloc³, para atender las consecuencias de las fuertes

³Agrupación encargada de vigilar la seguridad de los habitantes de EDOMEX durante la temporada de lluvias. Funciona desde el año 2008. Cuentan con un Programa de Prevención y Atención a Emergencias.



lluvias de esa tarde en el Valle de Toluca. La precipitación comenzó antes de las 14:00 horas con fuerte intensidad durante 40 minutos. Consecuencia de ellos, se reportaron encharcamientos de 20 a 40 cm en vías primarias de Zinacantepec, Toluca, Metepec y San Mateo Atenco. Los equipos operaban retirando basura y destapando alcantarillas para que fluya el agua (Edomex Informa, 12/07/2017).

Además, según los informes periodísticos, se documentan inundaciones durante la temporada de lluvia 2018, debido a que el Atlas de Inundación 2018 aún no está publicado. La CAEM informó que se han presentado eventos de fuertes precipitaciones en los municipios de Toluca, Metepec, Lerma, San Mateo Atenco, Santiago Tianguistenco, Atlacomulco y San José del Rincón (15 sectores) con afectaciones en viviendas, comercios, vialidades y edificios gubernamentales con tirantes de agua entre 40 cm y 1 m de altura. En los municipios de San Mateo Atenco, el tirante fue de 80 cm principalmente en las zonas urbana. En el municipio de Lerma se encuentra el parque Industrial como punto susceptible, ya que cuenta con una insuficiente infraestructura hidráulica. En Atlacomulco, se señalan tres sitios de riesgo por el desbordamiento del río Lerma y cauces cercanos a vialidades importantes, a la zona industrial y agrícola (Edomex Informa, 11/08/2018; Callejo, 18/05/2018; Mexiquense Noticias, 11/08/2018; Ramos, 12/08/2018, 01/08/2018; Vázquez, 08/07/2018; Miranda, 23/04/2018).



Capítulo 3. Propuesta metodológica

En base al análisis sistémico de las características y elementos que forman el sistema, presentado en el Capítulo 2 y teniendo en cuenta los objetivos planteados, se presenta el diseño metodológico.

Antes de comenzar una investigación, es preciso determinar el método con el que se llevará a cabo el estudio, es decir la forma en la que se realizó la investigación. Los métodos pueden ser cualitativos (percepción) o cuantitativos (estadísticos o matemáticos) y son necesarios e imprescindibles para obtener un inventario o relevamiento de información referida a las variables que se analizaron dentro de un área determinada, teniendo en cuenta el fin último de la investigación. Dicha información debe ser exacta, es decir que sea correcta y representativa de la realidad que se describe; además de que pueda transferir a un soporte cartográfico característico del espacio.

Dentro de la etapa de recopilación de datos hay que diferenciar cuatro fases consecutivas: a) definición del nivel de detalle de la investigación, donde la escala de trabajo es la que define la cantidad de información, b) elección de variables según los objetivos propuestos c) recolección de documentación y datos sobre el área de estudio y, por último, d) análisis y representación cartográfica de la información. Debe tenerse en cuenta que, aunque existen muchas fuentes de información disponibles, no todas tienen la misma escala espacial y temporal, calidad, vigencia o accesibilidad. Sin embargo, dicha heterogeneidad es solucionable desde el punto de vista gráfico mediante la utilización de un SIG, el cual permite la actualización digital de la información cartográfica base con otras fuentes de información que elevan el nivel de referencia del investigador.

Actualmente los SIG y la hidrología son dos campos de trabajo que comparten muchos intereses, razón por la cual, es imprescindible que los investigadores se apoyen en esta herramienta principalmente para la construcción - representación de modelos y cálculos de parámetros, ya que cuentan con gran número de funciones que le confieren una elevada operatividad. Son herramientas altamente efectivas debido a su gran capacidad para gestionar datos distribuidos y referenciados. En referencia a la escala espacial, elección de la escala temporal y calidad de los datos, es preciso mencionar que los errores son propios de los datos obtenidos de diversas fuentes y que los SIG no pueden obtener resultados con una resolución de salida mejor que la de entrada.



El origen de los errores en los datos, pueden ser generados por los propios procesos de generalización cartográfica, georeferenciación, digitalización, vectorización y rasterización de datos o los propios cambios de escala. A grandes rasgos los errores se cometen debido a la ignorancia de la calidad de la fuente de información y al desconocimiento de cómo operan los procesamientos de los SIG y consecuentemente traen consigo inconsistencias topológicas y geométricas importantes. La utilización de datos de baja calidad provoca la propagación de errores dentro de los mismos modelos reduciendo la credibilidad de los resultados. Por estos motivos, al momento de la obtención de datos, es necesario realizar una validación y si fuera posible, una corrección de los mismos.

Las validaciones y correcciones de errores que se realizaron en la presente investigación fueron: a) homogenización a un único Sistema de Referencia de Coordenadas, b) correspondencia de escala espacial y temporal; c) limpieza topológica¹ de los datos vectoriales, d) corrección de las capas ráster a través del relleno de celdas; e) análisis de consistencia y correlación de las estaciones meteorológicas e hidrométricas. Cabe señalar que, en el caso de encontrar errores sustanciales en los datos, los mismos se mejoraron a través de otras fuentes de información disponible o se construyeron nuevamente, no siendo esta una limitación.

Las herramientas de trabajo escogidas para la realización de la presente investigación fueron los SIG bajo licencia GNU GPL (General Public License): QGis, GRASSGIS, GVSIG y SAGAGIS², que según sus funcionalidades es de gran utilidad usarlos de manera conjunta para la obtención de mejores resultados. Además, se utilizó, como base para la visualización y verificación de determinados datos espacial, la plataforma Google Earth Pro, considerada, dentro del ámbito de las Tecnologías de la Información Geográfica TIG´s un SIG ligero de fácil y popular y manejo.

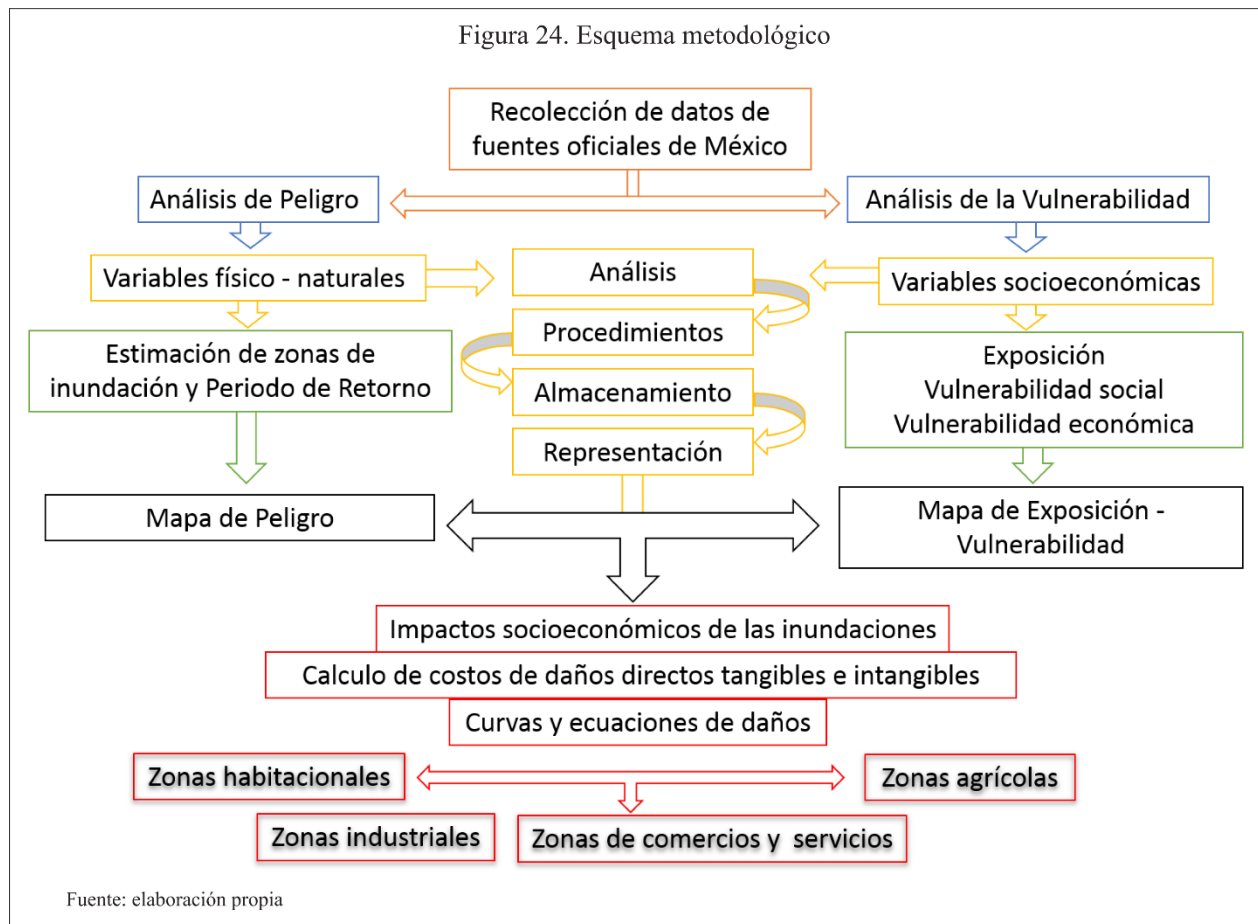
La metodología propuesta se llevó a cabo según el esquema metodológico de la Figura 24, organizado en cuatro etapas principales. En la primera etapa, se lleva a cabo el análisis de las variables físico-naturales que determinan la peligrosidad natural del área, mediante el procesamiento, almacenamiento y representación cartográfica. En la segunda etapa, teniendo como base la anterior, se determinan las áreas inundables a través de la generación del *Mapa de*

¹ La revisión y corrección topológica de las capas vectoriales se llevó a cabo a través los comandos de dos SIG: *v.clean.advance* del SIG GRASS (*Universidad de Baylor* bajo licencia GNU/GPL) y *ARC/INFO* (*ESRI*, licencia privada).

² <https://www.qgis.org/es/site/index.html>; <https://grass.osgeo.org/>; <http://www.gvsig.com/es>; <http://www.saga-gis.org/>.



Peligrosidad y Áreas Inundables. En la tercera, se analizan las variables socioeconómicas para determinar los bienes expuestos según sean zonas habitacionales, industriales, comerciales, servicios o agrícolas para la generación del *Mapa de Exposición - Vulnerabilidad*. Y, por último, en la cuarta etapa, se realizan las curvas y ecuaciones de estimación de costos de daños directos tangibles por inundaciones en las zonas planteadas anteriormente.



3.1 Recolección de datos y determinación de escalas

La primera fase se aboca a la recolección de datos necesarios para la construcción de insumos cartográficos útiles para el análisis de variables físico-naturales relacionadas con los eventos de inundación, las cuales determinan la peligrosidad natural de la zona de estudio. El procesamiento, almacenamiento y representación, se realizó a través diversas herramientas SIG, tanto en formato ráster como vectorial y hojas de cálculo.



La descarga de la información base, si bien es un proceso que se realiza a lo largo de toda la metodología, en un primer momento, se debe descargar la información cartográfica base de la zona en la que se aplicara. Dicha información, como parteaguas (polígono), punto de salida de la cuenca (punto), red de drenaje (líneas) y cuerpos de agua (polígonos) se obtuvieron de la base digital disponible del INEGI³ a escala 1:50.000. Sin embargo, a la hora de la verificación de calidad de los datos, se determinaron inconsistencias, principalmente en las geometrías de los datos, determinando que no es correcto su uso para los consiguientes cálculos. Por este motivo, se realizó una nueva capa base mediante las herramientas *Hydrology* (Terrain Analysis) del SIG SAGA.

La elección del MDE utilizado para la extracción de parámetros hidromorfológicos, depende de ciertas características y criterios los cuales fueron presentados por Casado y otros (2016). Según dichos criterios se seleccionó un MDE producidos por interferometría radar (SRTM, Shuttle Radar Topography Mission) a 30 metros de resolución espacial para el cálculo relacionados con el relieve y un STRM de 90 metros para la extracción automática de parámetros hidrométricos como acumulación y dirección de flujos, patrones de drenaje, longitud y orden de los cauces. Sin embargo, antes de tomar decisión final de utilizar los MDE mencionados, se consultaron otras fuentes disponibles como el Continuo de Elevaciones Mexicana 3.0 (CEM)⁴ de 15 m y Proyecto NASA: ALOS -1 PALSAR⁵ de 12,5 m. En el primer caso, se evidenciaron errores en los productos de 30 m y en el segundo, a pesar que hubiera sido el idóneo para realizar cálculos referidos al relieve, se presentan “ruidos” derivados de la construcción propia del MDE. Todos estos productos, son de descarga libre y gratuita.

Todas las capas de información deben tener un mismo Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), ya que, de no ser así, los geoprocursos que se deben realizar tienen errores de localización. El SRC sugerido es *WGS84/UTM zona 14N (EPSG: 32614)* por ser un Datum global con una proyección de coordenadas planas. En cuanto a la elección de la escala espacial general, se determinó una escala aproximada de 1: 25,000 a 1:50,000, según las variables a representar. El motivo de dicha elección se debe a que no se cuenta con información cartográfica oficial de mayor detalle. La escala temporal de datos meteorológicos es desde 1980 al 2015.

³ Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/hidrografia/>

⁴ Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>

⁵ Proyecto Alaska Satellite Facility. MDE construidos a partir de imágenes radar ALOS -1 con el Sensor PALSAR de la Agencia Espacial Japonesa. Duración de la misión: 2006-2011. Disponible en: <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/>



3.2 Elección del modelo y componentes del peligro

Al momento de optar por uno de los modelos de determinación de zonas inundables, se debe recordar que la finalidad de la presente investigación, como se mencionó anteriormente, es determinar áreas inundables con el objetivo de estimar los costos socioeconómicos producidos por inundaciones. Además, se pretende que la propuesta metodológica sea de fácil aplicación, pero con los conocimientos tanto teóricos como técnicos necesarios para llevarla a cabo.

Si bien se cuenta con información espacial histórica, como son los polígonos de inundación de la CAEM, los mismos no poseen un sustento válido desde el punto de vista geomorfológico para la delimitación de áreas inundables, además de tener errores geométricos y lógicos. La delimitación de zonas inundables a través del análisis de fotografías aéreas o imágenes satelitales, no fue posible llevarla a cabo, ya que no existen insumos disponibles de los eventos de inundación del área de estudio y en cuanto a la utilización de imágenes satelitales, las mismas se encontraban cubiertas de nubes y no era factible su extracción a través de métodos enmascaramiento. La delimitación de zonas inundables según la finalidad de la investigación mediante el método Histórico no es suficiente.

De optar estrictamente por los Modelos Hidrológicos e Hidráulico, se debe considerar que este método no es de fácil aplicación ya que es necesario tener conocimientos avanzados de estas técnicas. Sin embargo, en México, es el método hidráulico es el más utilizado, inclusive en las metodologías del CENAPRED debido a los resultados precisos a una escala de trabajo muy detallada.

Por los motivos mencionados, el modelo que se propone aplicar, de una manera sencilla pero confiable, el Método Geomorfológico, mediante la combinación de distintas variables físico – naturales. A partir del análisis del MDE se delimita la morfología fluvial necesaria y se la relaciona con valores de gasto máximo con un T de 5, 10, 100 y 1000 años respectivamente.

3.2.1 Parámetros morfométricos de la cuenca y cauce principal

Cada cuenca hidrográfica, sin importar la clasificación hidrológica o superficie que ocupe, posee ciertos rasgos morfológicos e hidrológicos que según Díaz y otros (1999) se consideran básicos a la hora de realizar un estudio hidrológico cualquiera sea su finalidad. Los parámetros que se consideran y calculan en la presente investigaciones son los asociados a la forma de cuenca, así



como también los relativos al relieve, perfil y red de drenaje, el cual incluye los parámetros propios del cauce principal, a través de las metodologías de cálculo consideradas clásicas en los trabajos de componente hidrológica (Aparicio, 1992; Llamas, 1993; Chow y otros, 1994; Campos, 1998 y Díaz y otros, 1999).

Las características físicas de las cuencas, poseen una relación directa con el comportamiento del escurrimiento, de suma importancia a la hora de realizar estudios relacionados a las inundaciones. Sin embargo, es frecuente, principalmente en el ámbito de los países latinoamericanos, que no se disponga de suficiente información cartográfica y datos idóneos para determinar dicha relación. Por otra parte, es común que la información morfométrica no se represente a la misma escala espacial, lo cual hace que disminuya la efectividad de los cálculos.

Los parámetros hidromorfométricos se obtienen, en su mayoría, de forma automatizada mediante el procesamiento del MDE⁶, calculados a través de algoritmos inscritos en el SIG, generando coberturas derivadas en formato ráster, como son las corrientes superficiales, delimitación de cuencas y microcuencas, además de otros productos complementarios. Al representar el relieve mediante sombras se determina la modelación altimétrica y consecuente delimitación de áreas inundables, generación de curvas de nivel, entre otros. A continuación, se describen los parámetros a calcular:

A- Parámetros estructurales y geomorfológicos

La descripción geológica y litológica se obtiene de las Cartas Geológicas escala 1:50,000⁷ disponible en el INEGI. El formato de descarga corresponde a imágenes sin referencia espacial, motivo por el cual, se deben georreferenciar y unir en un mosaico (según el área de estudio) para poder realizar la digitalización y posterior representación de los aspectos morfoestructurales y geomorfológicos. Como base para este proceso se utilizan las Cartas Geológicas Mineras escala 1:250,000⁸ en formato vectorial. El Sistema de Referencia de Coordenadas original de las cartas es NAD27, por ello es necesario la reproyección al SRC sugerido. Para la correcta interpretación

⁶ Para la obtención de resultados óptimos a una escala espacial de máximo detalle, se recomienda, la utilización de datos LIDAR (Light Detection and Ranging). Sin embargo, no fue posible obtener dichos datos, ya que, por un lado, el INEGI no cuenta con la cobertura completa a nivel nacional y el área de estudio no cuenta con las coberturas existentes y, por otro lado, llevar a cabo por cuenta propia la obtención de estos datos, sería inviable para la investigación.

⁷ Las Cartas Geológicas a escala 1:50,000 corresponden al año 1975.

⁸ Las Cartas Geológicas a escala 1:250,000 corresponden a la Serie I del año 1983.



de los datos se utiliza la “Guía para la Interpretación de Cartografía Geológica” (INEGI, 2005) y “Diccionario de datos Geológicos (Vectoriales) escala 1:250,000” (INEGI, 1999).

Una vez realizada la descripción general y con base en el MDE de 30 m, los parámetros que se calculan son:

- Curvas hipsométricas. Representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. Caracteriza el relieve y se obtiene a partir de las cotas de altitud registradas en los MDE, permitiendo la estimación de la superficie acumulada de agua por cada cota. Además, refleja el equilibrio de la cuenca y la identifica en sus etapas de juventud o fase de desequilibrio, madurez o fase de equilibrio y vejez o fase de monadnock.

- Perfiles topográficos transversales. Asociados directamente con las curvas hipsométricas, son una representación gráfica de una sección vertical del relieve que permite establecer las diferencias de altitud. Es la intersección de un terreno, con un plano vertical normal al eje longitudinal del terreno. Son útiles para determinar la altura de un tramo de un río o en este caso, será utilizado para determinar la profundidad y área del cauce ordinario y cambios importantes en la topografía del área estudiada.

- Elevación media de la cuenca (msnm). A partir de la curva hipsométrica, se determina la elevación media equivalente al 50% del área total. Tiene una influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimentan el ciclo hidrológico de la cuenca.

- Pendiente media de la cuenca (expresada en porcentaje o grados). Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la cuenca. Controla el tiempo, velocidad y dirección del flujo sobre el terreno e influye directamente en la magnitud de las crecidas y avenidas. Se puede estimar según tres criterios ampliamente utilizados: Criterio de J. W. Alvord, Criterio de R. E. Horton e Índice de Pendiente de M. Roche. A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal.

- Pendiente media del cauce principal (S_o). Se relaciona directamente con la velocidad media del recorrido del agua durante una avenida y la capacidad de transporte de sedimentos. Es el indicador más importante de la respuesta de una cuenca y el criterio más utilizado es el Simplificado. Se clasifica al cauce principal o tramos de interés según la Tabla 6.

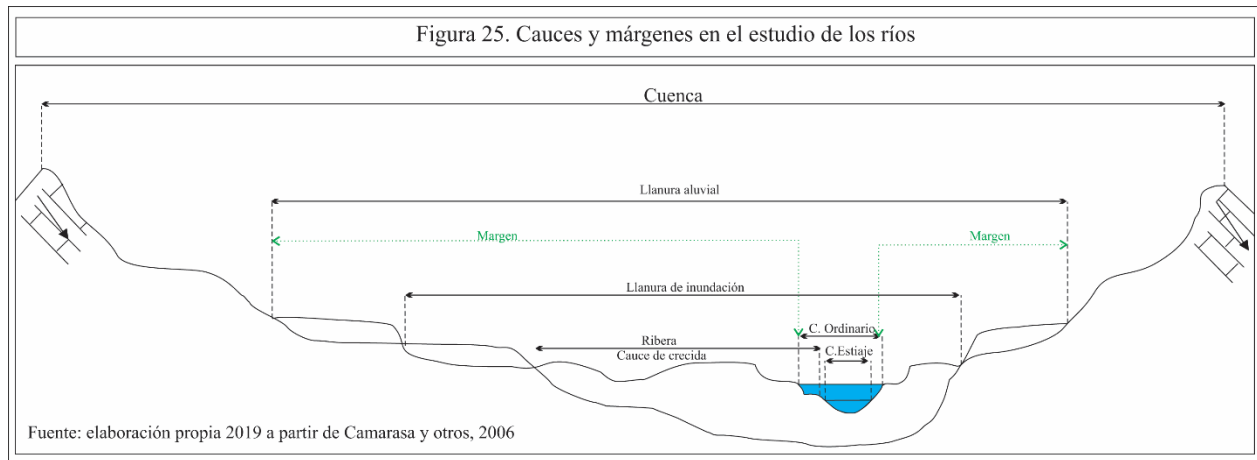


Tabla 6. Clasificación del cauce principal según pendiente media

Pendiente en %	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de Campos, 1998.

- Demarcación de cauces y márgenes. En función de los anteriores parámetros y a partir del análisis del MDE y de las Cartas Geológicas 1:50,000, se delimitan las áreas de interés: cauce ordinario, riberas y cauce de crecida, llanura de inundación activa y llanura aluvial. La demarcación se realiza mediante la digitalización de las capas de información según el modelo de la Figura 25.



B. Parámetros asociados a la forma

- Área ($S \text{ km}^2$) y Perímetro ($P \text{ km}$). Determina la superficie de drenaje y contorno. Se clasifican según su magnitud:

- Superficie menor a 25 km^2 -----Muy pequeña
- Superficie entre 25 a 250 km^2 -----Pequeña
- Superficie entre 250 a 500 km^2 -----Intermedia – pequeña
- Superficie entre 500 a $2,500 \text{ km}^2$ ----- Intermedia – grande
- Superficie entre $2,500$ a $5,000 \text{ km}^2$ ----- Grande
- Superficie mayor a $5,000 \text{ km}^2$ ----- Muy grande



- Longitud de la cuenca (L km). Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de salida) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

- Ancho de la cuenca (B km). Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca. Determina las características de la descarga de la corriente principal. El escurrimiento de una cuenca de forma circular será diferente a las de forma estrecha y alargada de la misma área. Las cuencas ensanchadas poseen mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca es mucho menor que en cuencas alargadas, es decir que las cuencas ensanchadas tendrían menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la concentración de los flujos de aguas superficiales, generando mayor violencia en sus crecidas.

- Factor de Forma de Horton (Kf). Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Determina cuan cuadrada o alargada puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

- Coeficiente de compacidad (Kc). Compara la forma con una circunferencia de la misma área de la cuenca en estudio. Es un coeficiente adimensional, independientemente del área estudiada tiene por definición un valor 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación a la unidad indicará la tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a 1 sea, es decir mayor concentración de agua. El Kc se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Kc = P/Pc = P / 2\pi R$$

Donde, P es el perímetro de la cuenca, Pc es el perímetro de la circunferencia y R es el radio de la circunferencia. Según el Kc resultante la forma de la cuenca será:

Clase I-----Kc 1.0 a 1.25-----Forma casi redonda a oval – redonda

Clase II-----Kc 1.26 a 1.50-----Forma oval – redonda a oval oblonga

Clase III-----Kc 1.56 a más de 2----- Forma oval – oblonga a rectangular – oblonga

- Relación de Elongación (Re). Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Re = D/Lc = 1.1284 * \sqrt{A/Lc}$$

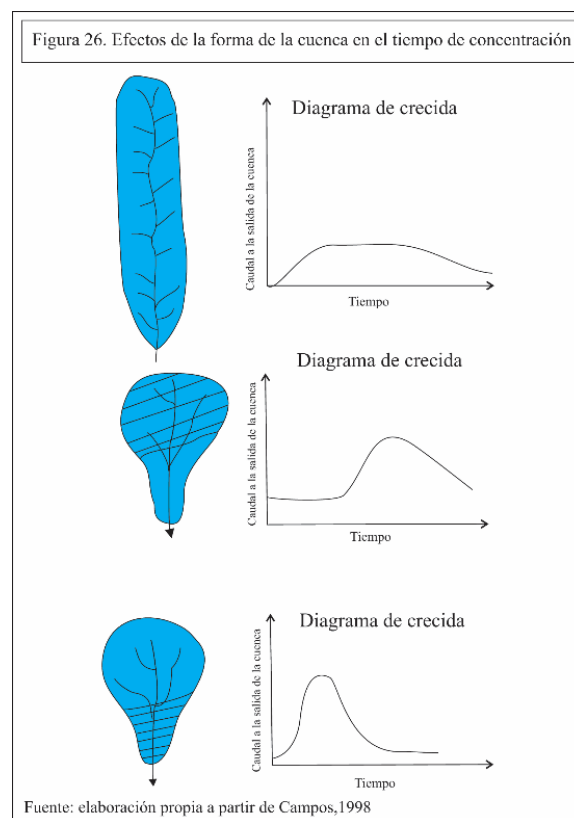
Dónde:

Re = Relación de Elongación o cociente adimensional.

D= Diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca.

Lc = Longitud de la cuenca. Dicha relación es correlacionada con el relieve de la cuenca, de manera que, valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde Re varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

En la Figura 26, se puede observar los efectos de la forma de la cuenca en relación al tiempo de concentración del escurrimiento según el hidrograma de crecida.

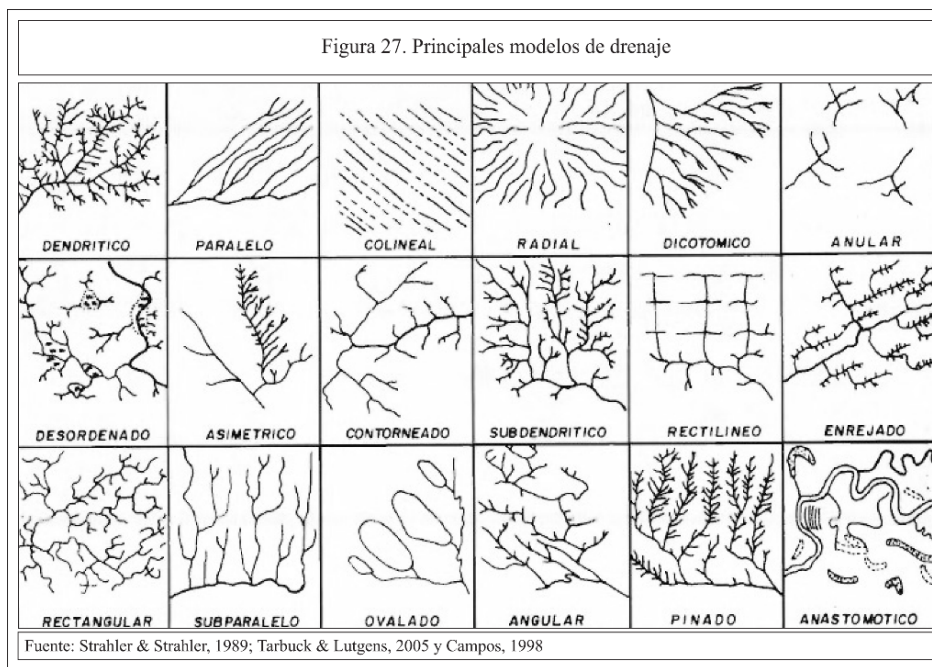


C- Parámetros relativos a la red de drenaje

La red de drenaje se define como el sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos de manera temporal o permanente. Su importancia radica en la formación y rapidez del drenado de escurrimientos normales y extraordinarios, además, proporciona indicios sobre las condiciones físicas del suelo (Campos, 1998). Los parámetros más importantes relativos a la red de drenaje son:

- Tipos de corrientes. Se clasifican según la constancia de escurrimiento, en perennes, intermitentes o efímeras y se relaciona directamente con las características físicas y climáticas de la cuenca. Las corrientes perennes conducen agua constantemente (excepto en sequías extremas), las intermitentes conducen agua la mayor parte del tiempo pero principalmente en épocas de lluvia y por último, las efímeras solo conducen agua durante las lluvias o inmediatamente después de estas.

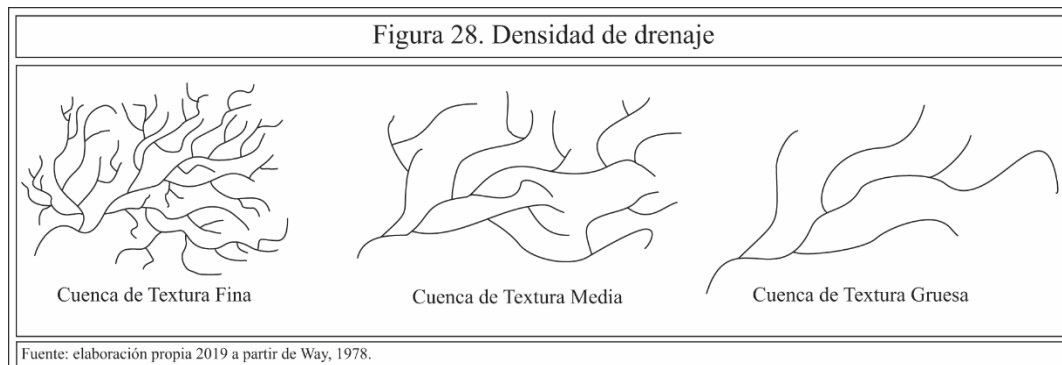
- Modelos de drenaje. Este parámetro es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y resistencia de las rocas. Se los clasifica según el patrón que determine en terreno según la Figura 27.



- Ordenes de las corrientes. Es una clasificación del grado de bifurcación o ramificación dentro de una cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso, se optó por el método Número de Strahler basado en Horton (1957), basados en que se consideran corrientes de primer orden, aquellas portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes; cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos y cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$, finalmente cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

- Densidad de drenaje (Dd). Según Horton (1945), se define como la longitud total ($\sum L$) de los cauces, dividida entre el área total de drenaje (A). Este parámetro posee una notable influencia

en el carácter de la escorrentía, más alta sea la Dd, más rápido será el desagüe y por lo tanto más rápida la crecida aguas abajo. A partir de este parámetro, Way (1978) estableció una clasificación atendiendo a la textura y forma, considerando la influencia de los factores litológicos, edáficos, topográficos y donde la permeabilidad del suelo juega un importante papel (Figura 28). Los valores que usualmente se toman son entre 0,5 Km/Km² para áreas con drenaje gruesa o pobre, y 3,5 km/km² para áreas con drenaje fino o muy bien drenadas. Cuencas de textura fina, indican una alta escorrentía superficial, suelos de baja permeabilidad y susceptibles a la erosión; cuencas de textura media, inferior al tipo anterior y la permeabilidad de los suelos es media; y cuencas de textura gruesa, son cuencas de pequeña densidad de drenaje, la roca madre es resistente a la erosión y los suelos tienen elevada permeabilidad.



- Relaciones de Bifurcación (Rb). Según Horton (1945) se define como el cociente entre el número de cauces de cualquier orden (Nu) y el número de cauce de orden (u) del siguiente orden superior, es decir:

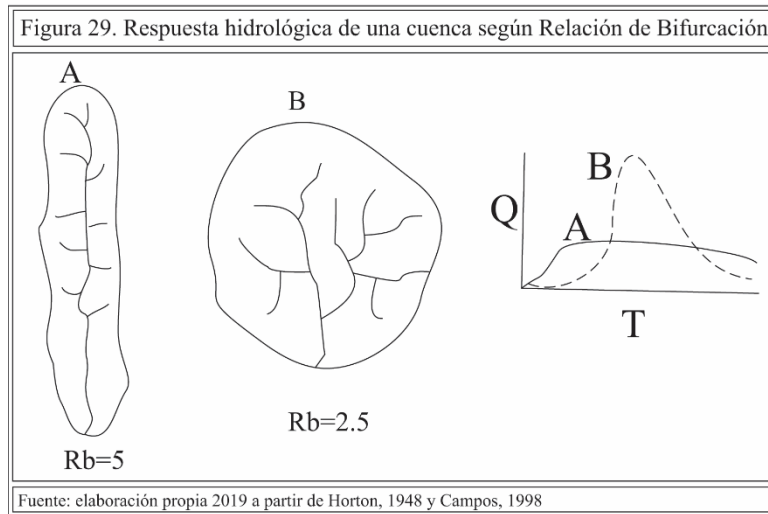
$$Rb = Nu / Nu + 1$$

Las relaciones de bifurcación varían de 3.0 a 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. En condiciones naturales, en general, el valor promedio es 3.5. Dicho parámetro, está relacionado con la forma de la cuenca y modelo de drenaje.

Generalmente, en las cuencas con Rb bajos, que suelen corresponder a cuencas redondeadas y modelos de drenaje dendrítico, si bien al inicio de la lluvia el flujo tarda un cierto tiempo en llegar a la salida de la cuenca, presenta posteriormente una fuerte descarga, ya que el agua converge casi simultáneamente aguas abajo del núcleo de ramificación. Estas serán las cuencas con más peligro de desbordamiento en la parte baja de su curso.

De forma contraria, las cuencas con una Rb altos, suelen corresponder a cuencas alargadas con un patrón angular, donde el agua de lluvia llega pronto a la salida a través del río principal, con

un pico de avenida no excesivo y el incremento de la escurrentía fluvial, después de la lluvia, es más notable y persistente (Figura 29).



- Longitud del cauce principal (L_c). Es característica importante de la respuesta hidrológica, ya que en un curso de agua corto los efectos de las precipitaciones se harán sentir de forma más rápida que en un curso de agua largo.

- Modelos del cauce principal. Se refiere a la forma que adopta individualmente el cauce principal. Se distingue tres modelos, cauces trenzados, cuando el canal se divide en varios canales interconectados (brazos) y separados por islas, son muy anchos y poco profundos con material grueso. Los cauces con meandros, cuando el canal serpentea, es decir el cauce fluye formado ondulaciones o lazos, determinado por la sinuosidad igual o mayor a 1.5. El índice de Sinuosidad es la relación entre la distancia desde un punto A un punto B situado aguas abajo y la distancia en línea recta entre ellos. Por último, los cauces rectos se consideran cuando la sinuosidad es menor a 1.10 y la longitud del tramo debe ser mayor a diez veces el ancho del cauce.

3.2.2. Análisis de precipitación

En cuanto al análisis de precipitaciones, se debe tener en cuenta la elección de las bases de datos, selección de escala temporal y análisis de estaciones. Se utilizaron los datos provenientes de la Red de Estaciones Climatológicas EMA's, administradas y controladas por la CONAGUA. Dicha red está conformada por dos tipos de estaciones meteorológicas, las de referencia de donde se obtienen datos que determinan el comportamiento normal del clima nacional y las climatológicas



que miden en forma diaria los elementos meteorológicos. La base de datos se puede descargar de la Base de Datos Climatológica Nacional del Servicio Meteorológica Nacional o solicitados de forma directa al CONAGUA, sin tratamiento previo.

El análisis de precipitaciones es un problema estadístico. Para que los registros de las estaciones climatológicas sean acordes para realizar el análisis deben cumplir con ciertos criterios y normas para determinar si los datos proporcionados son estadísticamente confiables y válidos para su utilización. Dichos criterios y normas son establecidos por la Organización Meteorológica Mundial WMO (por sus siglas en inglés) y en función de ello serán seleccionadas las estaciones para realizar el análisis. Para extraer conclusiones estadísticas a partir de series de datos de precipitaciones, es necesario disponer de una serie histórica de 30 años o más, cuanto mayor sea la serie de datos, mayor será la fiabilidad de las deducciones extraídas. De aquí la importancia de determinar la escala temporal o periodo de análisis, teniendo en cuenta que la escala temporal varía entre las estaciones. Además, la selección espacial de las estaciones debe cumplir con representatividad espacial en toda el área de estudio (WMO, 2007, 2011, 2012b, 2017). El formato de archivo de datos es Valores Separados por Coma (. CSV Comma- Separated values).

Es frecuente que, a la hora de verificar los registros pluviométricos de una serie temporal, las mismas contengan errores, debido principalmente a la ausencia del operador o fallas del instrumento o incluso inconsistencias en los datos debido a errores lógicos como separación de miles o decimales que deben ser eliminados, pasando a ser también dato faltante. La solución a dichos errores es estimar los datos faltantes, sean diarios, mensuales o anuales, a través de la aplicación de métodos estadísticos, ampliamente utilizados, partiendo de registros simultáneos de estaciones contiguas a la estación en cuestión y que se encuentren uniformemente repartidas.

La elección de los métodos a utilizar, dependen primeramente del resultado de un análisis de correlación de datos, al ser éste positivo o negativo dependerá dicha elección. En la presente metodología se sistematizó el cálculo de datos faltantes en una hoja de cálculo (para la simplificación de las estimaciones), mediante dos métodos: a) el *Método Racional Deductivo* para datos faltantes diarios o mensuales (hasta 11 datos mensuales o 25 diarios) y b) *Método Racional Normalizado* para la estimación de datos anuales (Remenieras, 1974; Aparicio, 1992; Llamas, 1993; Chow y otros, 1994; Campos, 1998).

Una vez estimados los datos ausentes de las EMA's seleccionadas, consideradas estadísticamente válidas, se pudo realizar los siguientes cálculos de análisis estadístico:



-Precipitación media anual y estacional en mm de la cuenca y su distribución espacial, se llevó a cabo mediante el Método de Isoyetas, mediante la aplicación del modelo de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) en el SIG GRASS. Se propone dicho modelo, ya que se ajusta más a la realidad espacial de las precipitaciones en el área de estudio (Pizarro y otros, 2003; Olaya, 2004; Vicente y Saz, 2002; Zucarelli y otros, 2014).

- Valores extremos de precipitación del día más lluvioso de cada año mm/día y clasificación de la intensidad de las precipitaciones en función de la cantidad de agua caída mm en 24 hs, según clasificación de Remenereiras (1974) (Tabla 7).

Tabla 7. Intensidad de las precipitaciones en función de la cantidad de agua caída mm en 24 hs

Tipo de precipitación	Intensidad de la precipitación
Ligera	Entre 1 a 5 mm /h
Fuerte	Entre 5 a 20 mm/h
Tempestad	Intensidad mayor a 100 mm/h

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de Remeneiras, 1974

- Corroboración los datos de precipitaciones diarias máximas anuales, de cada una de las estaciones, con eventos de inundaciones históricas producidas en esa fecha a través de documentación histórica (Atlas de Inundaciones y hemerotecas).

- Periodos de Retorno (T) de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 1000 años. Probabilidad de que se presente en un futuro una precipitación mayor o menor a un determinado valor. Parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar un área inundable. Se calcula a través del método de Gumbel.

3.2.3 Análisis del suelo y condición hidrológica

El estudio litológico y edafológico de una cuenca debe estar dirigido a clasificar, en términos generales, su grado de permeabilidad. El suelo, debido a sus características físicas influye sobre el régimen hidrológico de la cuenca. Por este motivo, es conveniente estimar su capacidad de infiltración - retención a través del análisis de la textura.

La información edafológica base se obtiene de las Cartas Edafológicas escala 1:50,000 elaborada por INEGI, las cuales fueron georreferenciadas y las entidades se digitalizaron según los distintos tipos de suelos. Para la interpretación y caracterización de la información obtenida se utilizó la “Base Referencial Mundial de Suelos WRB” (FAO 2007), la “Guía para la interpretación



de Suelos” (FAO, 2009) utilizada por el INEGI para el ordenamiento del recurso suelo en la República Mexicana, la “Guía de Interpretación de Cartografía Edafológica” (INEGI, 2004) y el “Diccionario de Datos Edafológicos 1: 250,000” (INEGI, 2014).

La caracterización de los suelos, se realiza a través de:

- Clasificación según la textura y composición de los mismos y se debe determinar la predominancia de los tipos de suelos en el área de estudio.

- Parámetro de infiltración o condición hidrológica del suelo, los cuales se clasifican en cuatro tipos en función de la textura y composición de cada uno, partiendo de la premisa que los suelos muy impermeables (arcillas) generaran rápidamente escorrentía superficial, mientras que los suelos muy permeables (arenas) dejaran infiltrar a su interior grandes cantidades de agua antes que se produzca la escorrentía (Tabla 8).

Tabla 8. Condición hidrológica del suelo según textura y composición

Grupo	Infiltración	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Arenosa - Limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco – Arenosa Franca Franco – Arcillosa – Arenosa Limosa – Arcilla - Arenosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco – Arcillosa Franca Arcilloso Limosa - Arcillosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeña(Litosuelos) - Horizonte de Arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de FAO, 2007 y 2009; INEGI, 2004 y 2014

- Índice Topográfico de Humedad (TWI por sus siglas en inglés). Se calcular y analizar el TWI desarrollado por Beven & Kirkby (1979) mediante la siguiente expresión:

$$W=a/To/Ns$$

Donde, W= Índice Topográfico de Humedad, a= área aportante específica que se obtiene de dividir el área aportante por el ancho de la cuenca, S= pendiente del terreno y To= es la transmisividad del suelo saturado.

Este índice está relacionado con la humedad presente del suelo y refleja la tendencia de los mismos a la generación de escorrentías, ya que las áreas con una mayor humedad son más proclives



a saturarse y a que la precipitación caída sobre ellas se convierta en escorrentía. Actualmente es ampliamente utilizado y su cálculo se realiza a partir un MDE, dando como resultado que, cuanto más elevado es el valor de este índice, mayor humedad debe presentar la celda en función de su configuración topográfica (Holmgren, 1994; Domingo-Santos y otros, 2013; Olaya, 2008; Sorensen y otros, 2006; Roa-Lobo y Ulrich, 2012).

El MDE sugerido para el cálculo del TWI es el SRTM de 90 m. La herramienta utilizada *Basic Terrain Analysis* del SIG SAGA. Una vez analizado se lo relaciona con un ráster de Acumulación de Flujo (resultante de un proceso del mismo MDE), para determinar el potencial de acumulación de agua dentro de la zona de estudio. La verificación de los resultados se lleva a con unas dos imágenes Landsat 8, con la combinación de bandas 5 6 4 acorde para la visualización de las zonas húmedas del suelo (USGS), preferentemente de una fecha que se corresponde a la época de lluvia y consecuentes inundaciones.

3.3 Estimación de zonas de peligro de inundación

La finalidad que se les otorga a los *Mapas de áreas de peligro* en la presente investigación, consiste en zonificar el espacio adyacente al curso de agua principal y cursos secundarios en base a la probabilidad de que sea afectado por las inundaciones. La delimitación cartográfica de dichas zonas, sintetiza el conjunto de conocimientos hidrológicos y geomorfológicos de la superficie inundable. Constituye, por tanto, un instrumento que desde la planificación, permite mitigar los daños producidos (Bescos y Camarasa, 2000).

3.3.1 Delimitación de zonas de peligro

Una vez culminados los pasos anteriores, se realiza de nueva cuenta, en un ambiente SIG, el análisis, procesamiento, almacenamiento y representación de los datos obtenidos, estableciendo la zonificación de áreas según la probabilidad de inundación. Tomando como base la importancia de la realización de cartografía e integración de cada factor condicionante analizado, la zonificación se determina según cinco categorías de peligro (Camarasa, 2002):

- Zona inundable con frecuencia muy alta o grado de peligro Muy alto (T 2 a 10 años): desde el punto de vista topográfico, corresponden al cauce natural de las corrientes (cauce ordinario y cauce de crecida) y con las áreas más deprimidas del terreno. Zonas lindantes a



los cuerpos de agua. Zonas de pendiente de 2 a 5 % tipo de terreno llano y suave. Representación en el mapa con color rojo intenso.

- Zona inundable con frecuencia alta o grado de peligro Alto (T 10 a 25 años): se relacionan con áreas inmediatamente vecinas al cauce y cuerpo de agua principal del río, son las zonas que reciben en primer término el excedente hídrico que no es capaz de transportar el cauce. Zonas de pendiente de 5 a 10 % tipo de terreno suave y accidentado medio. Representación en el mapa con color naranja.
- Zona inundable con frecuencia medios o grado de peligro Medio (T 50 a 100 años): áreas más elevadas que las anteriores. Corresponden generalmente a las áreas más bajas de la llanura de inundación. Zonas de pendiente de 10 a 15 % terreno accidentado medio - accidentado. Representación en el mapa con color amarillo.
- Zona inundable con frecuencia baja o grado de peligro Bajo (T 100 años a 500 años): áreas topográficamente más elevadas, inundadas en forma muy ocasional y transitoria. Generalmente con áreas localizadas en la llanura aluvial de los cursos de agua. Pendientes de 25 a 50 %. Representación en el mapa con verde claro.
- Zona inundable con frecuencia muy baja (T superior a 500 años): áreas con inundación de carácter extraordinario, ocupan la parte alta del valle con terrenos escarpados. Representación en el mapa con verde oscuro.

La caracterización con un mayor detalle de las zonas de peligro de inundación depende directamente de las variables que se consideren y analicen para realizar el estudio.

3.3.2 Relación de las zonas de peligro con el uso y ocupación del suelo

Si bien no corresponde definir el uso del suelo como una variable estrictamente físico-natural y a pesar de que parte de sus componentes si lo sean (el suelo en sí mismo y la vegetación), se debería clasificar como una variable con un componente antrópico. Sin embargo, es considerada dentro de esta primera etapa, ya que, dependiendo del tipo de cobertura, será la respuesta del escurrimiento superficial generado, variable importante al momento de determinar la potencialidad de un área a ser inundada.

Para el análisis del uso y tipos de ocupación del suelo, se utiliza la información de la Cartas de Uso del Suelo y Vegetación Serie V a escala 1:250.000 (INEGI, 2013) e información de las



Cartas Topográficas Serie III a escala 1:50,000 (INEGI, 2015). Se debe tener en cuenta que la escala de representación y la calidad de los datos no se consideraron adecuadas, debido principalmente a la generalización espacial del producto. Por este motivo, se recomienda realizar una actualización de la información a mayor detalle y se reclasificación a las coberturas de una manera generalizada y acorde a la información que se deseaba obtener. Para la interpretación y caracterización de la información obtenida se utiliza la “Guía para la interpretación de la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000 Serie V” (INEGI, 2015) y el “Diccionario de Datos de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,00” (INEGI, 2014).

La actualización y reclasificación, se lleva a cabo con la superposición e interpretación visual (mediante la toma de decisión) de la información oficial con dos imágenes Landsat 8 OLI/TIRS con la combinación de bandas 432, 543, 764 y 652 (USGS) con el SIG ligero Google Earth Pro e información espacial de cultivos proporcionado SAGARPA. Logrando de esta manera una caracterización general más detallada de los tipos uso y ocupación del suelo. Además, dicha clasificación, posteriormente se utilizará para la zonificación de las áreas para la estimación de costos de daños por inundación. La reclasificación se utiliza las siguientes categorías:

- Vegetación natural (base en Serie V - se deben unir los grandes grupos de vegetación de la información ecológica, florística y fisonómica). En esta categoría se agrupan las zonas de Bosques Cultivados, Bosques de Encinos, Encino – Pino, Oyamel, Pino, Pino – Encino, Vegetación Secundaria Arbustiva, zonas de Pastizal Inducido considerados abandonadas.
- Zonas pobladas no urbanas (Serie V denominado como asentamientos humanos). Se agrupan aquellas zonas correspondientes a los Asentamientos Humanos que se combinan con zonas rurales. No son áreas totalmente rurales, pero tampoco poseen las características propias de las zonas urbanas motivo por el cual son consideradas como zonas de transición.
- Zonas urbanas (Serie V. Dentro de estas zonas se localizan las áreas industriales, de servicios y comercios). Son las zonas con una trama urbanas consolidada, sin embargo, dentro de esta configuración se encontraron pequeñas zonas de milpas, no consideradas.
- Zonas agrícolas – ganaderas (base en Serie V) Se localizan las áreas correspondientes a Agricultura de temporal, de riego, de humedad, acuícola y pastizal cultivado no abandonado.
- Cuerpos de agua (Serie V).

Los diferentes grupos de usos del suelo se deben relacionar con las distintas zonas de peligrosidad, determinado el grado de compatibilidad (IGME 2008). Las categorías establecidas



serán tres: grado alto de compatibilidad (CA) zonas perfectamente compatibles sin limitaciones; grado medio de compatibilidad (CM) determinado por una serie de limitaciones o restricciones, requiriendo estudios más detallados), o grado bajo de compatibilidad o incompatibles con dichos usos (CI) (Tabla 9). El grado de compatibilidad, se relaciona directamente con las pérdidas económicas. Los cuerpos de agua no es necesario considerarlos.

Tabla 9. Grado de compatibilidad de los usos y ocupación del suelo en las distintas zonas de peligro de inundación

Tipos de uso y ocupación del suelo	Zonas de peligro de inundación				
	Peligrosidad Muy alta	Peligrosidad Alta	Peligrosidad Media	Peligrosidad Baja	Peligrosidad Muy baja o nula
Vegetación natural	CA	CA	CA	CA	CA
Zonas agrícolas - ganaderas	CI	CM	CA	CA	CA
Zonas pobladas no urbanas	CI	CM	CM	CM	CA
Zonas urbanas	CI	CI	CM	CM	CA

Fuente: elaboración propia 2019 a partir de IGME 2008

3.4 Análisis de exposición y vulnerabilidad

A diferencia del peligro que está definido por los patrones físico - naturales y por ello es difícil modificarlo y controlarlo totalmente, la vulnerabilidad es una variable que el hombre tiene la posibilidad de disminuir según el tipo de medida de mitigación adopte ante las inundaciones.

La presente fase de trabajo, se analizan las variables referidas a la exposición y vulnerabilidad de los bienes materiales dentro de la zona de estudio. Las fuentes de información utilizadas para la obtención de los datos, corresponden a los organismos oficiales, principalmente los productos disponibles de INEGI. En el caso de datos en formato vectorial, al igual que en las fases anteriores, deben ser verificados y corregidos en caso de errores geométricos, topológicos, Sistemas de Referencia, escala espacial y temporal, según sea el caso. Las variables o componentes de la vulnerabilidad analizadas, son referidas específicamente a la vulnerabilidad social y económica que permiten caracterizar a la población, viviendas, actividad agrícola, establecimientos industriales, comerciales y de servicios.

3.4.1 Exposición y vulnerabilidad: grado de antropización y bienes materiales expuestos

Los parámetros que se toman en cuenta para este análisis son, el grado de antropización de la cuenca, el cual se determina con el cálculo de superficie que ocupa cada tipo de uso y el área total de la cuenca, determinado cuenta superficie de la cuenca ha sido modificada por parte de actividades humanas. En este caso, se toman en cuenta las zonas urbanas, zonas pobladas no



urbanas y un porcentaje (60 %) de las zonas agrícolas – ganaderas, ya que, a efectos de las inundaciones, a partir del grado medio de peligro no ejerce restricción de compatibilidad.

Además, se establecen, según la localización espacial, las zonas habitacionales, agrícolas, industriales y de servicios- comerciales han quedado dentro de algunas de las zonas de inundación anteriormente demarcadas, necesario para la estimación de bienes materiales expuestos para cada zona, prestando mayor atención a las áreas localizadas en zonas de grado Muy alto y Alto. A partir de esta etapa la escala de representación espacial debe ser más grande, debe tener mayor detalle para un correcto análisis.

3.4.2 Vulnerabilidad social

Como primer paso, se debe realizar una caracterización demográfica de la zona de estudio, permitiendo conocer la estructura y el dinamismo de la población. Se determina la cantidad, densidad y distribución de la población mediante los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010). La vulnerabilidad social se analiza a través del Índice y Grado de Marginación por Sección Electoral 2010.

Dicho índice, es una medida resumen, creada por el Consejo Nacional de Población CONAPO con la finalidad de disponer de un instrumento comparable en el tiempo que permita conocer su evolución. El mismo se basa en el cálculo de indicadores socioeconómicos, a partir de diferentes variables censales, que permiten medir formas de la exclusión social, indicando el nivel relativo de privación en el que se encuentra la población. Mediante la relación espacial del GM y la utilización del Marco Geoestadístico Básico 2010, se determinan el número de viviendas y población afectada en las zonas inundables, determinando de esta manera que bienes materiales y estimación de su valor corresponde a cada categoría. Las medidas del IM se extraen del trabajo realizado por Mancino y otros (2015 y 2018).

3.4.3 Vulnerabilidad económica

Partiendo de la categorización de zonas agrícola – ganadera, se establece cuáles son el cultivo que predomina dentro del área de estudio y en el caso particular de la presente investigación solo se toma en cuenta el cultivo del Maíz por ser el predominante dentro de la RH12 A y del Estado de México. En cualquier caso, se determina la superficie sembrada, volumen de producción



y valor promedio por tonelada por hectárea, a partir de variables de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017 ENA (INEGI, 2017), información de las Regiones Agrícolas del Estado de México publicadas por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario SEDAGRO, Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP-SAGARPA y del Anuario Estadístico del Estado de México 2017 (INEGI, 2017a).

Mediante la información del Directorio Nacional de Unidades Económicas DNUE 2015 (información más actualizada) se determina la cantidad de industrias o zonas manufactureras y los establecimientos correspondientes al área de servicios o comerciales localizados dentro de área de estudio. Además, se los clasifica según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 SCIAN México, siendo éste la base para la generación, presentación y difusión de todas las estadísticas económicas del INEGI, reflejando de esta manera la estructura económica mexicana (INEGI, 2013).

El paso siguiente, es analizar todos los datos obtenidos para la construcción del Mapa de Exposición y Vulnerabilidad, clasificado en zonas por grados Muy altos, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo.

3.5 Estimación de costos de daños tangibles directos e indirectos más probables

Partiendo que los modelos son una idea aproximada de la realidad y que el resultado de su aplicación no debe ser considerada de tal forma, en la última fase de trabajo, se realizan las estimaciones de los impactos económicos de las inundaciones a través del cálculo de costos, teniendo en cuenta la variación en la altura de la lámina de agua en las zonas establecidas. Como base metodológica, se utilizó la propuesta por Baró y otros (2012), sin embargo, dicha metodología fue modificada y ajustada para la obtención de los resultados esperados.

En la presente propuesta, la construcción de las curvas y sus respectivas ecuaciones de cálculo para la estimación de costos de daños tangibles directos (y en base a estos los indirectos) producidos por las inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas, se basaron en regresiones lineales con un ajuste polinómico de 4^{to} grado, con la calibración de los componentes de la ecuación y su R^2 teniendo en cuenta la altura de la lámina de agua, con el fin de establecer los daños tangibles directos más probables o esperables. En las zonas habitacionales se tiene en cuenta el grado de marginación de las viviendas y en el caso de los cultivos además se tomó en cuenta la duración de la lámina de agua. Para la estimación de costos de daños tangibles directos para las



zonas industriales y de servicios, se utilizó el mismo método de construcción de curvas y ecuaciones que las anteriores, pero teniendo en cuenta la altura de la lámina de agua con respecto al valor de los establecimientos.

En todos los casos, los valores de R^2 de cada una de las curvas indica el nivel de asociación entre los datos reales y los derivados de la ecuación resultante de cada una. El R^2 del ajuste polinómico de 4° es mayor que el ajuste que el logarítmico, motivo por el cual se utiliza este ajuste para el cálculo las ecuaciones.

3.5.1. Propuesta metodológica para zonas habitacionales

En la presente propuesta, no se tiene en cuenta el valor del daño de la construcción, ya que, dicho parámetro no se pudo transpolar a la zona de estudio, ya que la información referente al tipo de construcción, al tipo de material principalmente, es propiedad de la Dirección de Catastro de cada delegación municipal y esa información es confidencial según la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de Particulares⁹. Lo que si posible solicitar a la Dirección de Catastro, es el valor por metro cuadrado de la construcción, según la “*Tabla de Valores Unitarios de Uso del Suelo y Construcción*” de cada estado y municipio, sin embargo el fin de la utilización de estos datos es cobrar los impuesto correspondientes por propiedad, no pudiendo determinarse, a través de dicha tabla, el tipo de material con la que se construyó cada vivienda, así como tampoco la localización de la misma para poder asociarla a las demás variables que se tiene en cuenta en el estudio.

Referido a ello, el Censo de Población y Vivienda 2010, si posee un agrupamiento de viviendas según el tipo de construcción, sin embargo, no se puede determinar la localización exacta de las mismas dentro de una Sección Electoral (escala en la que se calculó el IM), lo que hace, que al igual que el caso anterior, no puedan ser asociadas espacialmente. Por último, no sería correcto realizar la asociación de los agrupamientos de construcción que brinda el censo con los grados de marginación de una vivienda, ya que éste último, como se mencionó anteriormente, no mide el grado de pobreza o precariedad de la población.

En cuanto a el resultado de las estimaciones de costos que se presentan en esta investigación, se calculan y expresan a partir del valor del Peso Mexicano actual y no por cantidad

⁹ Publicada el 5 de julio de 2010 en el DOF. Capítulo XI art. 242 y 243, art 27, 31 fracción IV, 36 fracción I., 115 fracción IV, 121 fracción II de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.



de Salarios Mínimos Generales (Comisión Nacional de Salarios Mínimos) diarios o mensuales. Esta elección se debe a que el valor del Salario Mínimo va descendiendo con la inflación de los productos, en cambio los pesos, solo es necesario deflactarlos al momento de la realización del cálculo, obteniendo de esta manera un valor real. De lo contrario, al calcularlos por cantidad de salarios el costo obtenido es menor.

Además, es pertinente mencionar, que al momento de la construcción de las curvas, ecuaciones y cálculo de costos los mayores bienes de una vivienda, en cuanto a su valor económico, se localizan en la 1° planta de la misma. Por este motivo el presente modelo explica una realidad en horizontal y no en vertical. Los valores de los bienes son consultados en las listas de precios de varios comercios del área del estudio, por ejemplo, Elektra, Copel, Ánfora, Wal-Mart, Liverpool, etc, a valor del peso mexicano 2017.

Establecido lo anterior, una vez especializadas las Secciones Electorales dentro de una zona inundable, se asocia a cada una de las viviendas con su respectivo grado de marginación. Obtenido ello, se aplica la ecuación de costo de daño más probable o esperado, provenientes de las curvas de estimación de daños para cada tipo de vivienda, según los bienes, valores económicos de los mismos y altura de la lámina de agua. En la Tabla 10, 11, 12 y Figura 30 se observan los porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Muy Alto, valor del bien según el porcentaje de afectación de los bienes, costo de una vivienda según la altura de la lámina de agua utilizado para la construcción de la curva y resultante ecuación y la curva de daño de bienes según GM Muy Alto.

Tabla 10. Porcentaje de afectación por inundación en vivienda ubicada en Sección Electoral con grado de marginación Muy alto

Bienes en una vivienda	Precio unitario (\$ Mx 2017)	Altura de la lámina de agua							
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radiograbadora	800	0	0	90	100	100	100	100	100
TV	2,500	0	0	90	100	100	100	100	100
DVD/Bluray	650	0	0	90	100	100	100	100	100
Electrodomesticos pequeños*	500	0	0	90	100	100	100	100	100
Refrigerador	5,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	2,500	0	70	80	90	100	100	100	100
Teléfonos (celulares)	500	0	0	0	0	0	100	100	100
Boiler	1,500	0	0	0	0	90	100	100	100
Computadora portatil	5,500	0	50	60	70	90	100	100	100
Estufa	3,400	0	0	0	90	100	100	100	100
Sala-Comedor	5,000	10	30	50	80	100	100	100	100
Cama (3)	1,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Ropa (4)	2,000	0	0	50	100	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia 2019

* Licuadora



Tabla 11. Valor del bien según el porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Muy Alto

Bienes en una vivienda	Altura de la lámina de agua							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radiograbadora	0	0	720	800	800	800	800	800
TV	0	0	2,250	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
DVD/Bluray	0	0	585	650	650	650	650	650
Electrodomesticos pequeños*	0	0	450	500	500	500	500	500
Refrigerador	0	3,500	4	4,500	5,000	5,000	5,000	5,000
Lavadora	0	1,750	2	2,250	2,500	2,500	2,500	2,500
Teléfonos (celulares)	0	0	0	0	0	500	500	500
Boiler	0	0	0	0	1,350	1,350	1,350	1,350
Computadora portatil	0	2,750	3,300	3,850	4,950	4,950	4,950	4,950
Estufa	0	0	0	3,060	3,400	3,400	3,400	3,400
Sala-Comedor	500	1,500	2,500	4,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Cama (3)	0	0	2,700	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Ropa (4)	0	0	4	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Total de \$ de una vivienda	500	9,500	22,505	33,110	37,650	38,850	38,850	38,850

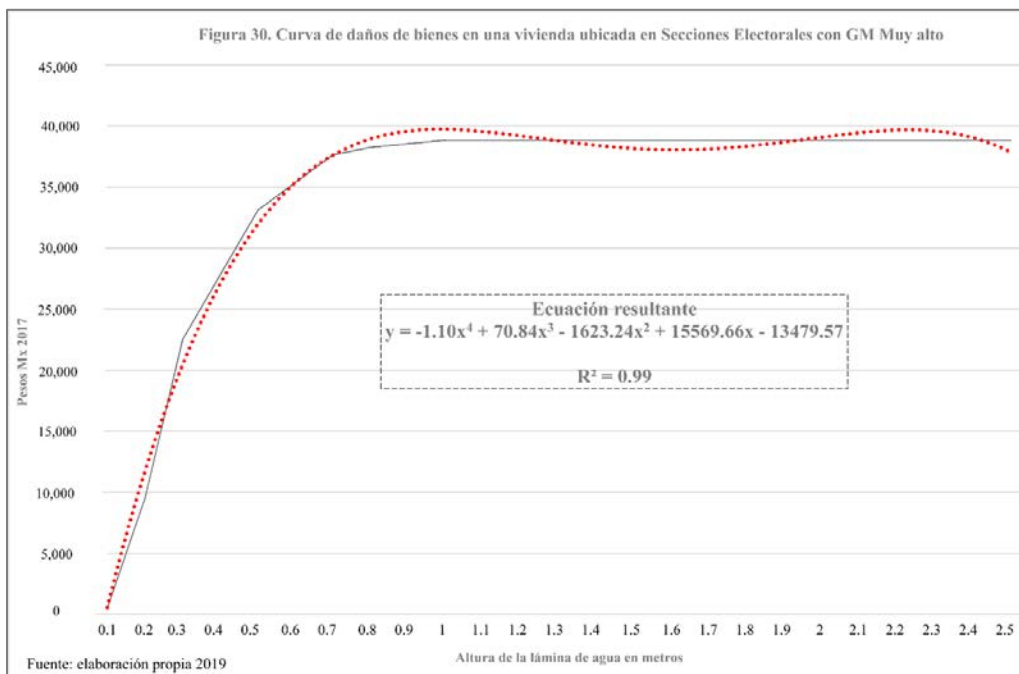
Fuente: elaboración propia 2019

*Licuadora

Tabla 12. Costo de una vivienda según altura de lámina de agua con GM Muy Alto

Altura lámina de agua	Total de \$	Altura lámina de agua	Total de \$
0.1	500	1.4	38,550
0.2	9,500	1.5	38,550
0.3	22,505	1.6	38,550
0.4	27,807.5	1.7	38,550
0.5	33,110	1.8	38,550
0.6	35,380	1.9	38,550
0.7	37,650	2	38,550
0.8	38,250	2.1	38,550
0.9	38,550	2.2	38,550
1	38,550	2.3	38,550
1.1	38,550	2.4	38,550
1.2	38,550	2.5	38,550
1.3	38,550		

Fuente: elaboración propia 2019





En la Tabla 13, 14, 15 y Figura 31 se observan los porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Alto, valor del bien según el porcentaje de afectación de los bienes, costo de una vivienda según la altura de la lámina de agua utilizado para la construcción de la curva y resultante ecuación y la curva de daño de bienes según GM Alto.

Tabla 13. Porcentaje de afectaciones por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con grado de marginación Alto

Bienes en una vivienda	Precio unitario (\$ peso Mx 2017)	Altura de la lámina de agua							
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radiograbadora	1,200	0	0	90	100	100	100	100	100
TV	3,500	0	0	90	100	100	100	100	100
DVD/Bluray	1,400	0	0	90	100	100	100	100	100
Electrodomesticos pequeños*	700	0	0	90	100	100	100	100	100
Refrigerador	6,500	0	70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	3,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Teléfonos (celulares)	750	0	0	0	0	0	100	100	100
Boiler	2,000	0	0	0	0	90	100	100	100
Computadora portatil	15,000	0	10	20	50	60	70	100	100
Estufa	7,200	0	50	60	70	90	100	100	100
Comedor	4,600	0	0	0	90	100	100	100	100
Sala	5,000	20	30	50	80	100	100	100	100
Cama (3)	1,500	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (4)	2,500	0	0	90	100	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia 2019

*Licuadora

Tabla 14. Valor del bien según el porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Alto

Bienes en una vivienda	Altura de la lámina de agua							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radiograbadora	0	0	1,080	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
TV	0	0	3,150	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
DVD/Bluray	0	0	1,260	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
Electrodomesticos pequeños*	0	0	630	700	700	700	700	700
Refrigerador	0	4,550	5,200	5,850	6,500	6,500	6,500	6,500
Lavadora	0	2,100	2,400	2,700	3,000	3,000	3,000	3,000
Teléfonos (celulares)	0	0	0	0	0	750	750	750
Boiler	0	0	0	0	1,800	2,000	2,000	2,000
Computadora portatil	0	1,500	3,000	7,500	9,000	10,500	15,000	15,000
Estufa	0	3,600	4,320	5,040	6,480	7,200	7,200	7,200
Comedor	0	0	0	4,140	4,600	4,600	4,600	4,600
Sala	1,000	1,500	2,500	4,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Cama (3)	1,000	1,500	2,500	4,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ropa (4)	0	0	5,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Total de S de una vivienda	2,000	14,750	30,090	44,530	52,180	55,850	60,350	60,350

Fuente: elaboración propia 2019

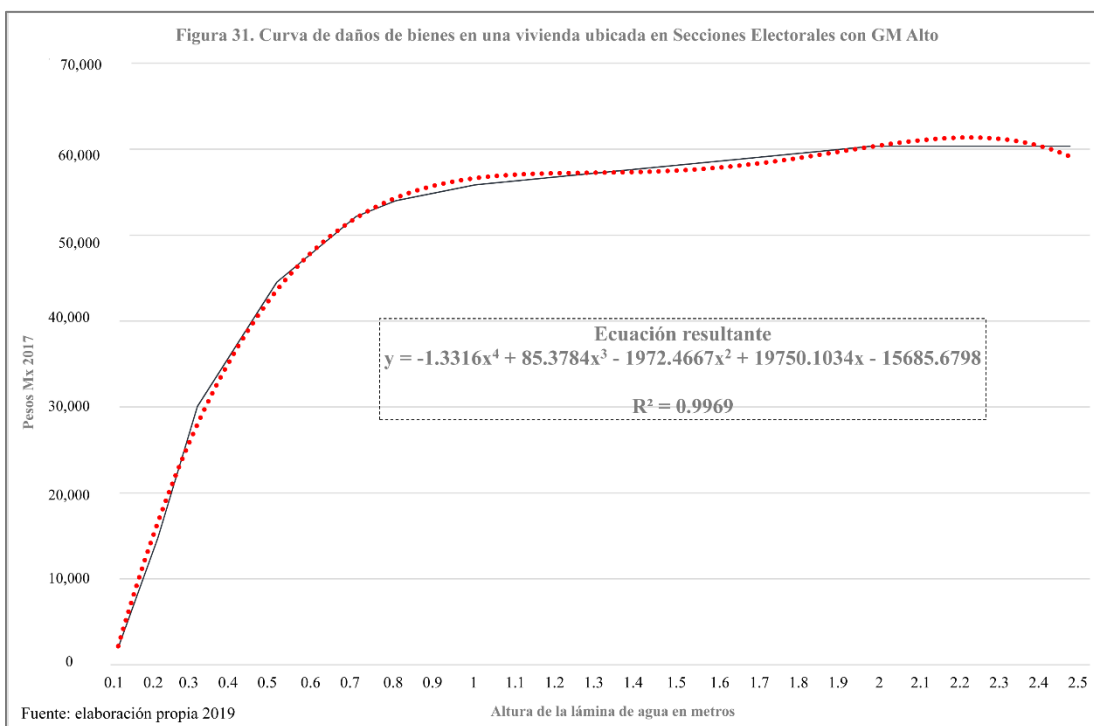
*Licuadora



Tabla 15. Costo de una vivienda según altura de lámina de agua con GM Alto

Altura lámina de agua	Total de \$	Altura lámina de agua	Total de \$
0.1	2,000	1.4	57,650
0.2	14,750	1.5	58,100
0.3	30,090	1.6	58,550
0.4	37,310	1.7	59,000
0.5	44,530	1.8	59,450
0.6	48,355	1.9	59,900
0.7	52,180	2	60,350
0.8	54,015	2.1	60,350
0.9	54,932.5	2.2	60,350
1	55,850	2.3	60,350
1.1	56,300	2.4	60,350
1.2	56,750	2.5	60,350
1.3	57,200		

Fuente: elaboración propia 2019



En la Tabla 16, 17, 18 y Figura 32 se observan los porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Medio, valor del bien según el porcentaje de afectación de los bienes, costo de una vivienda según la altura de la lámina de agua utilizado para la construcción de la curva y resultante ecuación y la curva de daño de bienes según GM Medio.



Tabla 16. Porcentaje de afectaciones por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con grado de marginación Medio

Bienes en una vivienda	Precio unitario (\$ peso Mx 2017)	Altura de la lámina de agua							
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radiograbadora	3,500	0	0	90	100	100	100	100	100
TV	5,500	0	0	90	100	100	100	100	100
DVD/Bluray	2,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Electrodomesticos pequeños*	2,700	0	0	90	100	100	100	100	100
Refrigerador	8,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	5,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Teléfonos (celulares)	1,000	0	0	0	0	0	100	100	100
Boiler	3,500	0	0	0	0	90	100	100	100
Auto	20,000	0	10	20	50	60	70	100	100
Computadora portatil (2)	10,000	0	50	60	70	90	100	100	100
Estufa	5,400	0	0	0	90	100	100	100	100
Cocina integral	12,000	0	30	40	50	80	100	100	100
Comedor	6,500	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala	6,500	20	30	50	80	90	100	100	100
Recamara (3)	3,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Ropa (4)	3,500	0	0	50	100	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia 2019

*Licuadora + microondas+ cafetera

Tabla 17. Valor del bien según el porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Medio

Bienes en una vivienda	Altura de la lámina de agua							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Radiograbadora	0	0	3,150	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
TV	0	0	4,950	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500
DVD/Bluray	0	0	1,800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Electrodomesticos pequeños*	0	0	2,430	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700
Refrigerador	0	5,600	6,400	7,200	8,000	8,000	8,000	8,000
Lavadora	0	3,500	4,000	4,500	5,000	5,000	5,000	5,000
Teléfonos (celulares)	0	0	0	0	0	1,000	1,000	1,000
Boiler	0	0	0	0	3,150	3,500	3,500	3,500
Auto	0	2	4,000	10000	12,000	14,000	14,000	14,000
Computadora portatil (2)	0	10,000	12,000	14000	18,000	20,000	20,000	20,000
Estufa	0	0	0	4860	5,400	5,400	5,400	5,400
Cocina integral	0	3,600	4,800	6000	9,600	12,000	12,000	12,000
Comedor	1,300	1,950	3,250	5200	6,500	6,500	6,500	6,500
Sala	1,300	1,950	3,250	5200	5,850	6500	6500	6500
Recamara (3)	0	0	8,100	9000	9,000	9,000	9,000	9,000
Ropa (4)	0	0	7,000	14000	14,000	14,000	14,000	14,000
Total de \$ de una vivienda	2,600	28,600	50030	70660	87200	95600	101600	101600

Fuente: elaboración propia 2019

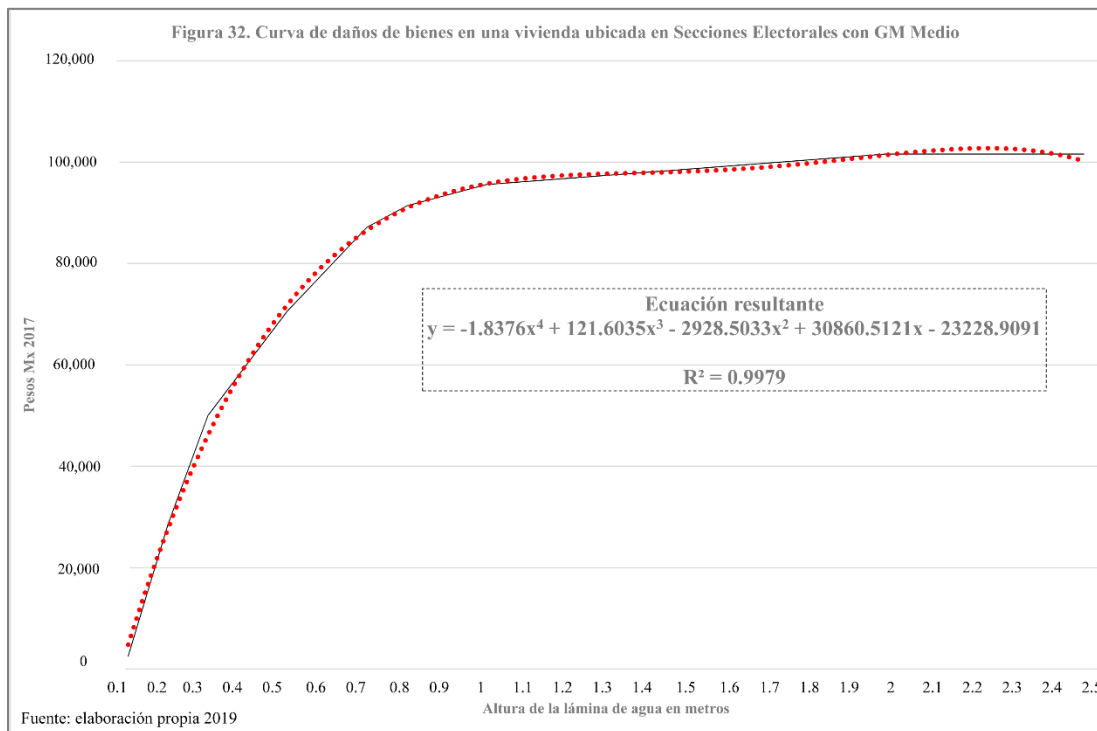
*Licuadora + microondas + cafetera



Tabla 18. Costo de una vivienda según altura de lámina de agua con GM Medio

Altura lámina de agua	Total de \$	Altura lámina de agua	Total de \$
0.1	2,600	1.4	98,000
0.2	28,600	1.5	98,600
0.3	50,030	1.6	99,200
0.4	60,345	1.7	99,800
0.5	70,660	1.8	100,400
0.6	78,930	1.9	101,000
0.7	87,200	2	101,600
0.8	91,400	2.1	101,600
0.9	93,500	2.2	101,600
1	95,600	2.3	101,600
1.1	96,200	2.4	101,600
1.2	96,800	2.5	101,600
1.3	97,400		

Fuente: elaboración propia 2019



En la Tabla 19, 20, 21 y Figura 33 se observan los porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Bajo, valor del bien según el porcentaje de afectación de los bienes, costo de una vivienda según la altura de la lámina de agua utilizado para la construcción de la curva y resultante ecuación y la curva de daño de bienes según GM Bajo.



Tabla 19. Porcentaje de afectaciones por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con grado de marginación Bajo

Bienes en una vivienda	Precio unitario (\$ peso Mx 2017)	Altura de la lámina de agua							
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Equipo de sonido	6,000	0	0	90	100	100	100	100	100
TV (2)	8,000	0	0	90	100	100	100	100	100
DVD/Bluray	2,500	0	0	90	100	100	100	100	100
Electrodomesticos pequeños*	4,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Refrigerador	10,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	10,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Teléfonos (celulares)	2,000	0	0	0	0	0	100	100	100
Boiler	4,300	0	0	0	0	90	100	100	100
Auto	60,000	0	10	20	50	60	70	100	100
Computadora portatil (2)	12,000	0	50	60	70	90	100	100	100
Estufa	6,700	0	0	0	90	100	100	100	100
Cocina integral	15,000	0	30	40	50	80	100	100	100
Comedor	7,000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala	10,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recamara (3)	4,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Librero	2,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (3)	4,000	0	0	50	100	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia 2019

*Licuadora + microondas+ cafetera + tostadora

Tabla 20. Valor del bien según el porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Bajo

Bienes en una vivienda	Altura de la lámina de agua							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Equipo de sonido	0	0	5,400	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
TV (2)	0	0	14,400	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
DVD/Bluray	0	0	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
Electrodomesticos pequeños*	0	0	3,600	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Refrigerador	0	7,000	8	9,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Lavadora	0	7,000	8	9,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Teléfonos (celulares)	0	0	0	0	0	2,000	2,000	2,000
Boiler	0	0	0	0	3,870	4,300	4,300	4,300
Auto	0	6	12,000	3,000	36,000	42,000	60,000	60,000
Computadora portatil (2)	0	12,000	14,400	16,800	21,600	24,000	24,000	24,000
Estufa	0	0	0	6,030	6,700	6,700	6,700	6,700
Cocina integral	0	4,500	6,000	7,500	12,000	15,000	15,000	15,000
Comedor	1,400	2,100	3,500	5,600	7,000	7,000	7,000	7,000
Sala	2	3	5,000	8,000	9,000	10,000	10,000	10,000
Recamara (3)	0	0	10,800	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Librero	400	600	1,000	1,600	1,800	2,000	2,000	2,000
Ropa (3)	0	0	6,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Total de S de una vivienda	3,400	4,160	82,550	120,430	144,670	159,500	177,500	177,500

Fuente: elaboración propia 2019

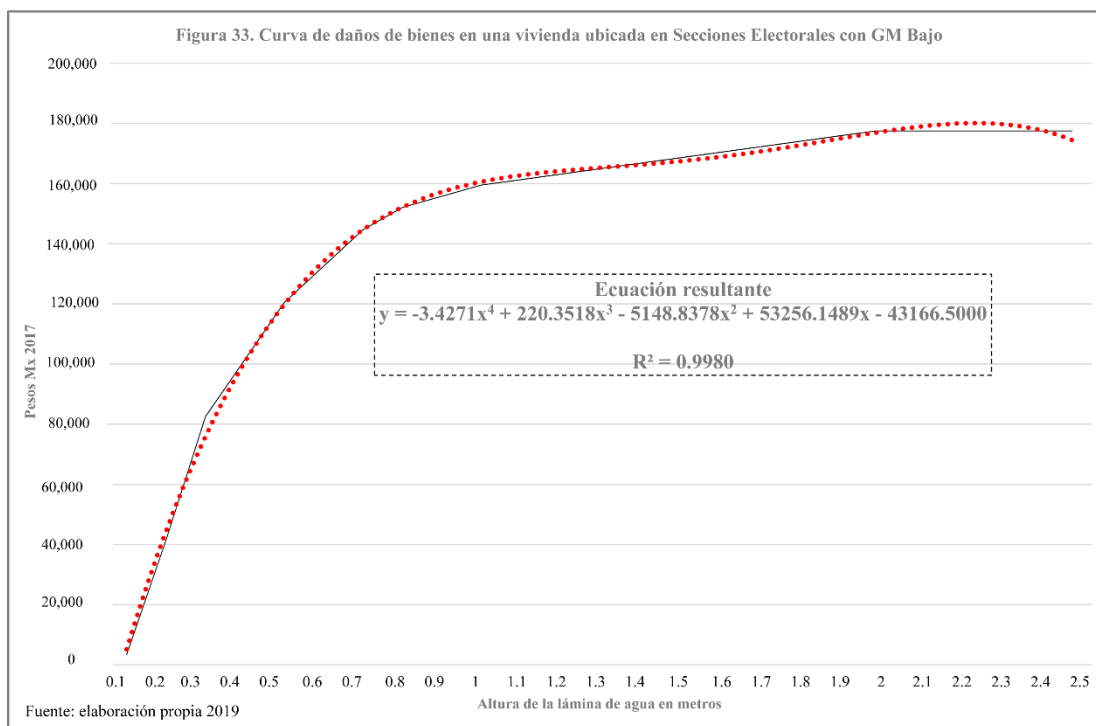
*Licuadora + microondas + cafetera



Tabla 21. Costo de una vivienda según altura de lámina de agua con GM Bajo

Altura lámina de agua	Total de \$	Altura lámina de agua	Total de \$
0.1	3,400	1.4	166,700
0.2	41,600	1.5	168,500
0.3	82,550	1.6	170,300
0.4	101,490	1.7	172,100
0.5	120,430	1.8	173,900
0.6	132,550	1.9	175,700
0.7	144,670	2	175,700
0.8	152,085	2.1	175,700
0.9	155,792.5	2.2	175,700
1	159,500	2.3	175,700
1.1	161,300	2.4	175,700
1.2	163,100	2.5	175,700
1.3	164,900		

Fuente: elaboración propia 2019



En la Tabla 22, 23, 24 y Figura 34 se observan los porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Muy Bajo, valor del bien según el porcentaje de afectación de los bienes, costo de una vivienda según la altura de la lámina de agua utilizado para la construcción de la curva y resultante ecuación y la curva de daño de bienes según GM Muy Bajo.



Tabla 22. Porcentaje de afectaciones por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con grado de marginación Muy bajo

Bienes en una vivienda	Precio unitario (\$ peso Mx 2017)	Altura de la lámina de agua							
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Equipo de sonido	12,000	0	0	90	100	100	100	100	100
TV (3)	11,000	0	0	90	100	100	100	100	100
DVD/Bluray	3,500	0	0	90	100	100	100	100	100
Electrodomesticos pequeños*	7,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Refrigerador	18,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	18,000	0	70	80	90	100	100	100	100
Teléfonos (celulares)	3,000	0	0	0	0	0	100	100	100
Boiler	5,000	0	0	0	0	90	100	100	100
Auto	100,000	0	10	20	50	60	70	100	100
Computadora portatil (3)	15,000	0	50	60	70	90	100	100	100
Estufa	11,000	0	0	0	90	100	100	100	100
Cocina integral	20,000	0	30	40	50	80	100	100	100
Comedor	10,000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala	12,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recamara (3)	5,000	0	0	90	100	100	100	100	100
Librero (2)	3,000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (3)	5,000	0	0	50	100	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia 2019

*Licuadora + microondas+ cafetera + tostadora+ batidora, etc

Tabla 23. Valor del bien según el porcentaje de afectación por inundación en una vivienda ubicada en Secciones Electorales con GM Muy bajo

Bienes en una vivienda	Altura de la lámina de agua							
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	2.5
Equipo de sonido	0	0	10,800	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
TV (3)	0	0	29,700	33,000	33,000	33,000	33,000	33,000
DVD/Bluray	0	0	3,150	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
Electrodomesticos pequeños*	0	0	6,300	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000
Refrigerador	0	12,600	14,400	16,200	18,000	18,000	18,000	18,000
Lavadora	0	12,600	14,400	16,200	18,000	18,000	18,000	18,000
Teléfonos (celulares)	0	0	0	0	0	3,000	3,000	3,000
Boiler	0	0	0	0	4,500	5,000	5,000	5,000
Auto	0	10,000	20,000	50,000	60,000	70,000	100,000	100,000
Computadora portatil (2)	0	22,500	27,000	31,500	40,500	40,500	40,500	40,500
Estufa	0	0	0	9,900	11,000	11,000	11,000	11,000
Cocina integral	0	6,000	8,000	10,000	16,000	20,000	20,000	20,000
Comedor	2,000	3,000	5,000	8,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Sala	2,400	3,600	6,000	9,600	10,800	12,000	12,000	12,000
Recamara (3)	0	0	13,500	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
Librero (2)	1,200	1,800	3,000	4,800	5,400	6,000	6,000	6,000
Ropa (3)	0	0	7,500	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
Total de S de una vivienda	4,400	70,300	144,750	206,900	244,300	267,500	297,500	297,500

Fuente: elaboración propia 2019

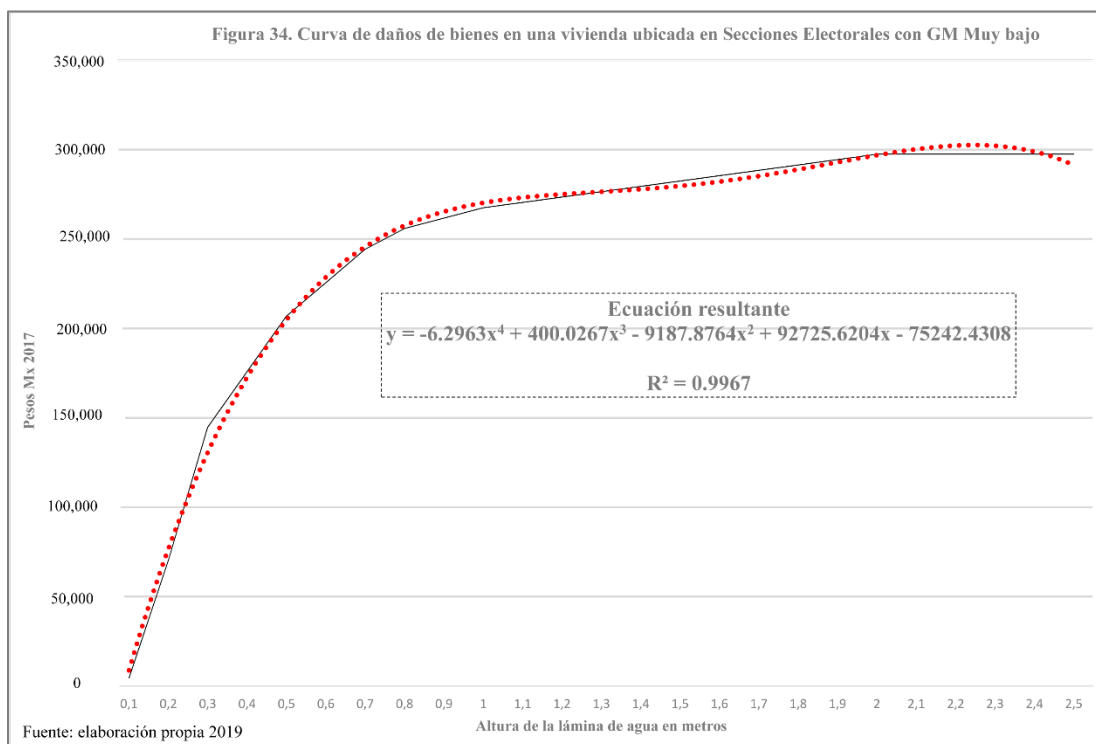
*Licuadora + microondas + cafetera + tostadora, etc



Tabla 24. Costo de una vivienda según altura de lámina de agua con GM Muy bajo

Altura lámina de agua	Total de \$	Altura lámina de agua	Total de \$
0.1	4,400	1.4	279,500
0.2	70,300	1.5	282,500
0.3	144,750	1.6	285,500
0.4	175,825	1.7	288,500
0.5	206,900	1.8	291,500
0.6	225,600	1.9	294,500
0.7	244,300	2	297,500
0.8	255,900	2.1	297,500
0.9	261,700	2.2	297,500
1	267,500	2.3	297,500
1.1	270,500	2.4	297,500
1.2	273,500	2.5	297,500
1.3	276,500		

Fuente: elaboración propia 2019



A partir de la resolución de las ecuaciones respectivas, se obtendrán los costos de inundación más probables para la primera planta de las viviendas ubicadas en una Secciones Electorales con un Muy Alto, Alto, Medio Bajo y Muy Bajo grado de marginación Tabla 25, 26, 27, 28 y 29. El último valor de las ecuaciones, corresponde al valor de ajuste de los datos con el eje de las abscisas. Este es modificado para reducir el error de los datos. A la notación de “x” se le corresponder el valor de la lámina de agua.



Tabla 25. Costo de inundación más probables en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Muy Alto

Ecuación resultante de la curva de daños para GM Muy Alto

$$y = -1.10x^4 + 70.8x^3 - 1623.2x^2 + 15570x - 13480^*$$

Altura de la lámina de agua en metros	Costos en pesos de una vivienda GM Muy Alto
0.1	1,407
0.2	2,916
0.3	4,393
0.4	5,839
0.5	7,254
0.6	8,639
0.7	9,994
0.8	11,319
0.9	12,617
1	13,885
1.1	15,125
1.2	16,337
1.3	17,522
1.4	18,681
1.5	19,813
1.6	20,920
1.7	22,001
1.8	23,057
1.9	24,089
2	25,097

Fuente: elaboración propia
Último valor se modifica a 134

Tabla 26. Costo de inundación más probables en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Alto

Ecuación resultante de la curva de daños para GM Alto

$$y = -1.33x^4 + 85.3x^3 - 1972.5x^2 + 19750x - 15686^*$$

Altura de la lámina de agua en metros	Costos en pesos de una vivienda GM Alto
0.1	1,799
0.2	3,718
0.3	5,594
0.4	7,434
0.5	9,236
0.6	11,002
0.7	12,731
0.8	14,425
0.9	16,088
1	17,705
1.1	19,294
1.2	20,848
1.3	22,369
1.4	23,857
1.5	25,312
1.6	26,735
1.7	28,126
1.8	29,487
1.9	30,816
2	32,115

Fuente: elaboración propia
Último valor se modifica a 156

Tabla 27. Costo de inundación más probables en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Medio

Ecuación resultante de la curva de daños para GM Medio

$$y = -1.8376x^4 + 121.6x^3 - 2928.5x^2 + 30861x - 23229^*$$

Altura de la lámina de agua en metros	Costos en pesos de una vivienda GM Medio
0.1	2,825
0.2	5,824
0.3	8,766
0.4	11,652
0.5	14,481
0.6	17,256
0.7	19,977
0.8	22,644
0.9	25,258
1	27,820
1.1	30,331
1.2	32,790
1.3	35,200
1.4	37,560
1.5	39,871
1.6	42,135
1.7	44,350
1.8	46,519
1.9	48,642
2	50,720

Fuente: elaboración propia
Último valor se modifica a 232

Tabla 28. Costo de inundación más probables en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Bajo

Ecuación resultante de la curva de daños para GM Bajo

$$y = -3.4271x^4 + 220.35x^3 - 5148.8x^2 + 53256x - 43167^*$$

Altura de la lámina de agua en metros	Costos en pesos de una vivienda GM Bajo
0.1	4,843
0.2	10,016
0.3	15,088
0.4	20,062
0.5	24,937
0.6	29,716
0.7	34,400
0.8	38,990
0.9	43,487
1	47,893
1.1	52,209
1.2	56,436
1.3	60,575
1.4	64,627
1.5	68,595
1.6	72,478
1.7	76,278
1.8	79,997
1.9	83,635
2	87,194

Fuente: elaboración propia
Último valor se modifica a 431



Tabla 29. Costo de inundación más probables en Pesos Mx 2017 para viviendas ubicadas en Secciones Electorales con GM Muy bajo

Ecuación resultante de la curva de daños para GM Muy bajo

$$y = -6.2963x^4 + 400.03x^3 - 9187.9x^2 + 92726x - 75242^*$$

Altura de la lámina de agua en metros	Costos en pesos de una vivienda GM Muy bajo
0.1	8,429
0.2	17,429
0.3	26,250
0.4	34,894
0.5	43,364
0.6	51,662
0.7	59,790
0.8	67,751
0.9	75,547
1	83,180
1.1	90,652
1.2	97,967
1.3	105,125
1.4	112,130
1.5	118,982
1.6	125,686
1.7	132,242
1.8	138,653
1.9	144,921
2	151,048

Fuente: elaboración propia
Último valor se modifica a 752

3.5.2. Propuesta metodológica para zonas agrícolas

En el ámbito estatal, el cultivo del maíz, se realiza en dos épocas, primavera-verano P-V con cosecha en los meses de octubre a diciembre y siembra en junio a julio bajo el tipo de cultivo temporal con el de mayor producción; y durante la época es Otoño- Invierno O-I con cosecha en el mes de marzo a julio y siembra en octubre a noviembre, siendo este el maíz bajo modalidad de riego (SEDAGRO).

El motivo por el cual solo se utilizó el maíz de temporal P – V (de grano y forrajero) para el cálculo de costos, se debe principalmente que este ciclo productivo coincide con la época de lluvia y con la mayor probabilidad de que se produzca un evento de inundación, viéndose afectada la superficie cultivada; a diferencia del ciclo productivo O-I, que se siembra en la época de menor precipitación y escurrimiento superficial. Según la zona de estudio que se aplique la presente propuesta metodológica, se deberá analizar el cultivo predomine y principalmente su ciclo productivo.

Según Baró y otros, (2012), el comportamiento de las áreas agrícolas inundadas varía según la fase de desarrollo de las plantas (de Temporal P-V). Si la altura de la planta es inferior a los 0.30 m es más susceptible a los efectos de la humedad y si la zona permanece inundada más de 3 días,



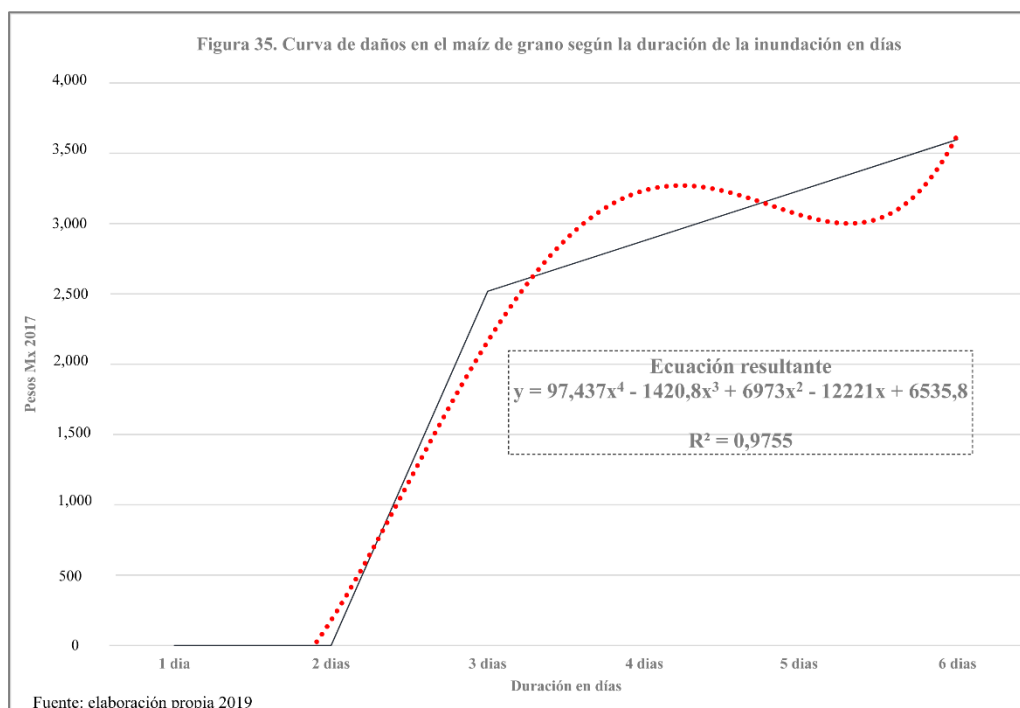
los efectos son la pérdida total de la cosecha. De forma contraria, cuando la planta de maíz tiene una altura superior a 0.30 m, generalmente en los meses de julio, agosto y septiembre, la planta puede resistir más de 3 días, con un máximo de 6 días, bajo los efectos de la humedad. Se considera que producida una inundación de 0.20 m con una de seis o más días de duración la pérdida de la planta es total.

Localizadas las parcelas de cultivo de maíz de temporal dentro de las zonas inundables, se realiza la estimación de los costos de daños en las zonas agrícolas en relación a la altura de la planta de 0.30 m, duración de la inundación de uno a seis días y valor promedio del maíz de grano y forrajero por tonelada por hectárea, según el porcentaje de afectación (Tabla 30). El resultado de los cálculos se arroja en Pesos Mexicanos 2017. Para el cálculo de costo de cultivos de maíz, no es necesario aplicar la ecuación derivadas de las curvas (Figura 35 y 36) debido a que la curva es recta y para efectos prácticos se estima a través del porcentaje del valor de la cosecha por tonelada por hectárea para una planta de 0.30 m de altura y una lámina de agua de 0.20 m (Tabla 31).

Tabla 30. Porcentaje de afectaciones del maíz temporal (grano y forrajero) según la duración de la inundación

Cultivo	Valor cultivo (pesos mx 2017 Tn/ha)	Duración de la inundacion y porcentaje de afectación					
		1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días
		%	%	%	%	%	%
Maíz grano	3,597.68	0	0	70	80	90	100
Maíz forrajero	554.78	0	0	70	80	90	100

Fuente: elaboración propia 2019



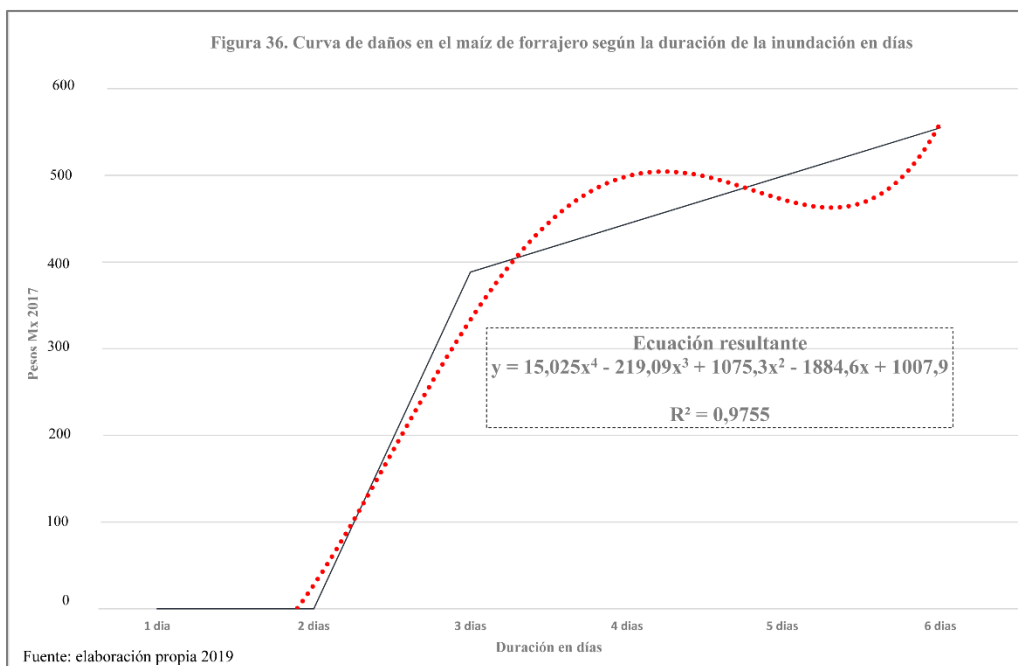


Tabla 31. Costo de la cosecha de maíz de temporal (grano y forrajero) según duración de la inundación en pesos Mx 2017

Cultivo	Valor cultivo (pesos mx 2017 Tn/ha)	Duración de la inundación					
		Valor \$ por 1 día	Valor \$ por 2 días	Valor \$ por 2 días	Valor \$ por 2 días	Valor \$ por 2 días	Valor \$ por 2 días
Maíz grano	3,597.68	0	0	2,518.37	2,878.14	3,237.91	3,597.68
Maíz forrajero	554.78	0	0	388.35	443.82	499.30	554.78

Fuente: elaboración propia 2019

Para calcular el costo total de una determinada superficie de cultivo de maíz de temporal forrajero o grano, basta con multiplicar el costo según duración de la inundación por la superficie (en hectáreas) sembradas.

3.5.3. Propuesta metodológica para zonas de industriales, comerciales y de servicios

En el caso la propuesta para el cálculo de costos en zonas industriales, comerciales y de servicios, si bien se basa en el mismo método que las anteriores, la base de la mismo no fue desarrollada o abordada por la metodología propuesta por Baro y otros, 2012.

La construcción de las curvas se basa en la altura de la lámina de agua, el tipo de establecimiento industrial, comercial o servicio, y la estimación del valor de la empresa. Con base en la información espacial del DNUE, primero se deben seleccionar todos aquellos establecimientos que se encuentren en las categorías de manufacturas (consideradas las zonas industriales), de comercios (mayoristas y minoristas) y zonas de servicios. Dicha categorización,



como se mencionó anteriormente, se determina a partir de los códigos del SCIAN presentes en los atributos de los datos del DNUE y del Censo Económico.

Los establecimientos o empresas correspondientes, según el SCIAN, el sector de industrias manufactureras corresponde al código 31 - 33. Para los establecimientos comerciales, los códigos 43 y 46; y en el caso de los establecimientos categorizados como zona de servicios, se organizan mediante los códigos 48-49-51-52-53-54-56-61-62-71-72-81 (Tabla 32). Cabe mencionar que el código 55 que corresponde también a un establecimiento categorizado como servicio, corresponde a los Corporativos de las empresas, por lo tanto, se entiende, que zona de producción se localiza en otro lugar y no en el mismo lugar donde se encuentra las oficinas centrales.

Tabla 32. Establecimientos seleccionados para la estimación de daños tangible directos por inundación según Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN 2013)

Códigos SCIAN	Sector	Características de los establecimientos
31 - 33	Industrias manufactureras	UE dedicadas a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de obtener productos nuevos; al ensamble en serie de partes y componentes fabricados; reconstrucción en serie de maquinaria y equipo industrial, comercial, de oficina y otros, y al acabado de productos manufacturados mediante el teñido, tratamiento calorífico, enchapado y procesos similares. Asimismo, se incluye aquí la mezcla de productos para obtener otros diferentes, como aceites, lubricantes, resinas plásticas y fertilizantes. El trabajo de transformación se puede realizar en sitios como plantas, fábricas, talleres, maquiladoras u hogares. Estas unidades económicas usan, generalmente, máquinas accionadas por energía y equipo manual.
43	Comercio al por mayor	UE dedicadas a la compra-venta (sin transformación) de bienes de capital, materias primas y suministros utilizados en la producción, y de otros bienes para ser revendidos a otros comerciantes, distribuidores, fabricantes y productores de bienes y servicios. Comprende también UE dedicadas solamente a la compra o la venta.
46	Comercio al por menor	UE dedicadas a la compra-venta (sin transformación) de bienes para el uso personal o para el hogar para ser vendidos a personas y hogares, aunque en algunas ocasiones esos productos también se comercializan a negocios, como el comercio de gasolina o de automóviles. Comprende también UE dedicadas a revender mercancías sin haberlas comprado, es decir, las reciben de otras unidades económicas con las cuales comparten la misma razón social.
48 - 49	Servicio de Transportes, correos y almacenamiento	UE dedicadas al transporte de personas y de carga, a proporcionar servicios especializados relacionados directamente con el transporte, y al almacenamiento de bienes. En virtud de que las actividades de las oficinas postales y de las mensajerías consisten en transportar bienes, también fueron clasificadas en este sector.
51	Servicio de Información en medios masivos	UE dedicadas a producir, administrar, explotar o distribuir productos protegidos por la ley de derechos de autor. UE las dedicadas a la producción, manejo y distribución de información y productos culturales (que son aquellos que expresan directamente actitudes, opiniones, ideas, valores y creatividad artística; proporcionan entretenimiento e información); las que proporcionan los medios para transmitir o distribuir estos productos, la información o las comunicaciones, y las que procesan información.
52	Servicios financieros y de seguros	Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la regulación de la emisión y circulación de la moneda (Banca central); a la intermediación crediticia y financiera no bursátil; a las actividades bursátiles, cambiarias y de inversión financiera; a la emisión de pólizas de seguros y suscripción de pólizas de fianzas, servicios relacionados con los seguros y fianzas.
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	Este sector comprende tres subsectores, que agrupan UE dedicadas principalmente a los servicios inmobiliarios, al alquiler de bienes muebles y al alquiler de bienes intangibles.
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	UE cuya actividad consiste en prestar servicios profesionales, científicos y técnicos. Estos servicios requieren conocimientos y habilidades especializados, por lo que el principal componente de la función de producción de las unidades económicas que forman este sector es, precisamente, el capital humano.
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación	Este sector comprende dos subsectores que agrupan unidades económicas dedicadas principalmente a proporcionar servicios de apoyo a los negocios, y manejo de desechos y servicios de remediación
61	Servicios educativos	UE dedicadas a ofrecer servicios de enseñanza y capacitación en una gran variedad de materias. Estas unidades económicas (como escuelas, colegios, universidades, academias, centros de entrenamiento o capacitación) pueden ser privadas —con o sin fines lucrativos— o públicas, y pueden ofrecer también servicios de alimentación o alojamiento para sus alumnos.
62	Servicios de salud y de asistencia social	Este sector comprende UE dedicadas a proporcionar servicios de cuidados de la salud y asistencia social.
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	Este sector comprende tres subsectores, con UE dedicadas principalmente a los servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos.
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	Este sector comprende UE dedicadas a proporcionar servicios de alojamiento temporal en hoteles, moteles, hoteles con casino, cabañas, villas y similares, campamentos y albergues recreativos; casas de huéspedes, pensiones y departamentos amueblados con servicios de hotelería; a la preparación de alimentos y bebidas para consumo inmediato en las instalaciones de la unidad económica o para llevar; a la preparación de alimentos por encargo, a la preparación y servicio de bebidas alcohólicas para consumo inmediato.
81	Otros servicios excepto actividades gubernamentales	Este sector comprende cuatro subsectores con procesos de producción muy diferentes entre sí, que por sus características no tuvieron cabida en ningún otro sector de la clasificación. Reparación y mantenimiento; servicios personales; Asociaciones y organizaciones y servicio de Hogares con empleados domésticos

Fuente: elaboración propia a partir de SCIAN 2013



En el siguiente paso, se deben tener en cuenta la relación entre tres variables de cada establecimiento extraídos del Censo Económico 2014 (INEGI): producción bruta anual por municipio del Estado de México (PrB) en millones de pesos, los activos fijos (AF) en millones de pesos y número del total de empleados del establecimiento (TE), todo ello de cada establecimiento según el sector al que pertenezcan. Estimando de esta forma, el valor de la empresa manufacturera por cada empleado mediante la siguiente relación matemática (Tabla 33, Tabla 34 y Tabla 35):

$$\text{PrB} * 1,000,000 + \text{AF} * 1,000,000 / \text{TE} * n$$

Tabla 33. Cálculo del valor de empresas manufactureras por empleado

VARIABLES CENSALES	MILLONES PESOS MX 2017	VALOR TOTAL
Producción Bruta Anual	767,623.15	767,623,156,000
Activos Fijos	235,510.06	235,510,060,000
Total \$	1,003,133.21	1,003,133,216,000
Total empleados	532,845	
\$ de empresa/empleado	1,882,598.53	

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 34. Cálculo del valor de comercios al por menor y al por mayor por empleado

VARIABLES CENSALES	COMERCIOS AL POR MENOR		COMERCIOS AL POR MAYOR	
	MILLONES PESOS MX 2017	VALOR TOTAL	MILLONES PESOS MX 2017	VALOR TOTAL
Producción Bruta Anual	96,180.53	96,180,536,000	62,347.64	62,347,064,000
Activos Fijos	62,853.75	62,853,750,000	19,712.45	19,712,456,000
Total \$	159,034.28	159,034,286,000	82,059.52	82,059,520,000
Total empleados	629,180		119,916	
\$ de empresa/empleado	252,764.36		684,308.34	

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 35. Cálculo del valor de empresas de servicios de transportes, correos y almacenamiento

VARIABLES CENSALES	MILLONES PESOS MX 2017	VALOR TOTAL
Producción Bruta Anual	40,038	40,037,990
Activos Fijos	29,393.12	29,393,121,000
Total \$	69,431.11	69,431,111,000
Total empleados	67,409	
\$ de empresa/empleado	1,029,997.64	

Fuente: elaboración propia 2019



Luego, se determina el valor medio de los empleados, el cual se multiplica por la cantidad de empleados promedios de cada de una de los establecimientos seleccionados, determinando el valor del establecimiento manufacturero o comercial. Es decir que, dicho cálculo, se realiza mediante una estimación promedio de un empleado en un establecimiento determinado. Para determinar la cantidad de empleados que poseen las empresas, se debe realizar la estratificación del tamaño de las empresas según el número de empleados propuesta por el Diario Oficial de la Federación 30/06/2009 (Tabla 36).

Tabla 36. Estratificación de empresas porpuestas por el DOF, 2009

Tamaño de empresa	Sector		
	Clasificación según número de empleados		
	Industria	Comercio	Servicios
Micro	0 a 10	0 a 10	0 a 10
Pequeña	11 a 50	11 a 30	11 a 50
Mediana	51 a 250	31 a 100	51 a 100
Gran empresa	de 251 o +	de 101 o +	de 101 o +

Fuente: elaboración propia a partir de DOF 30/06/2009

A través del análisis de resumen de los datos, se asocia la cantidad de empleados con el valor de los establecimientos según al sector que corresponda (Tabla 37) y se determina el porcentaje de afectación según la altura de la lámina de agua (Tabla 38). A modo de presentación en la Tabla 37 se presenta los valores de los establecimientos de servicios de transportes, correos y almacenamiento (código 48 y 49), el resto de valores según tipos de servicios se encuentran en el apartado Anexo.

Tabla 37. Valor de los establecimientos por sector según cantidad de empleados

Tamaño	Sector Industrial		Sector Comercial al por mayor y al por menor			Servicios de transportes, correos y almacenamiento	
	Cantidad de empleados	Valor del establecimiento industrial (\$ Mx 2014)	Cantidad de empleados	Valor del establecimiento comercial al por mayor (\$ Mx 2014)	Valor del establecimiento comercial al por menor (\$ Mx 2014)	Cantidad de empleados	Valor del establecimiento de servicios TCA (\$ Mx 2014)
Micro	0 a 10	20,708,589	0 a 10	7,527,388	2,780,404	0 a 10	2,780,404
Pequeña	11 a 50	118,603,737	11 a 30	15,054,776	5,560,808	11 a 30	5,560,808
Mediana	51 a 250	474,414,948	31 a 100	80,064,036	29,573,388	31 a 100	29,573,388
Gran empresa	de 251 o +	753,039,600	de 101 o +	394,161,408	145,592,064	de 101 o +	145,592,064

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 38. Porcentaje de afectaciones por inundación en establecimientos industriales, comerciales y de servicios según altura de lámina de agua

Tamaño	Altura de la lámina de agua y porcentaje de afectación										
	0.1 %	0.2 %	0.3 %	0.4 %	0.5 %	0.6 %	0.7 %	0.8 %	0.9 %	1 %	2 %
Micro	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100
Pequeña	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100
Mediana	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100
Gran empresa	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100

Fuente: elaboración propia 2019



Una vez realizados los anteriores cálculos, se deben asociar espacialmente a los datos del DNUE con los respectivos establecimientos según el tipo de producción dentro de las áreas inundables. Luego se determina el porcentaje de afectación según la altura de la lámina de agua y tipo y tamaño del establecimiento (Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41) y en base a ello, se realizan las curvas de estimación de daño y sus respectivas ecuaciones para las empresas correspondientes a zonas industriales (Figura 37) zonas comerciales al por mayor (Figura 38 a y b) y al por menor y (Figura 39 a y b) y zonas de servicios, ejemplo código 48 y 49 SCIAN (Figura 40 a y b). Del mismo modo que la estimación de costos en zonas agrícolas, no es necesario aplicar la ecuación derivadas de las curvas, debido a que la curva es recta y para efectos prácticos, el costo de daños tangibles directos producidos por una inundación en los establecimientos industriales, de servicios y comerciales se estima a través del porcentaje afectación en el valor del establecimiento según la altura lámina de agua producida en pesos Mx 2017.

Tabla 39. Costos de daños tangibles directos por inundación según la altura de la lámina de agua en establecimientos industriales en pesos Mx 2017

Tamaño	Altura de la lámina de agua y porcentaje de afectación										
	0.1 -- 0%	0.2 -- 30%	0.3 -- 40%	0.4 -- 50%	0.5 -- 60%	0.6 -- 70%	0.7 -- 80%	0.8 -- 90%	0.9 -- 100%	1 -- 100 %	2 -- 100 %
Micro	0	3,398,993.4	4,531,991.2	5,664,989	6,797,986.8	7,930,984.6	9,063,982.4	10,196,980.2	11,329,978	11,329,978	11,329,978
Pequeña	0	19,466,962.2	25,955,949.6	32,444,937	38,933,924.4	45,422,911.8	51,911,899.2	58,400,886.6	64,889,874	64,889,874	64,889,874
Mediana	0	23,483,954.4	31,311,939.2	39,139,924	46,967,908.8	54,795,893.6	62,623,878.4	70,451,863.2	78,279,848	78,279,848	78,279,848
Gran empresa	0	177,983,654.4	237,311,539.2	296,639,424	355,967,308.8	415,295,193.6	474,623,078.4	533,950,963.2	593,278,848	593,278,848	593,278,848

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 40. Costos de daños tangibles directos por inundación según la altura de la lámina de agua en establecimientos comerciales en pesos Mx 2017

Tamaño	Establecimientos comerciales al por mayor										
	Altura de la lámina de agua y porcentaje de afectación										
	0.1 -- 0%	0.2 -- 30%	0.3 -- 40%	0.4 -- 50%	0.5 -- 60%	0.6 -- 70%	0.7 -- 80%	0.8 -- 90%	0.9 -- 100%	1 -- 100 %	2 -- 100 %
Micro	0	2,258,216.4	3,010,955.2	376,394	4,516,432.8	5,269,171.6	6,021,910.4	6,774,649.2	7,527,388	7,527,388	7,527,388
Pequeña	0	4,516,432.8	6,021,910.4	7,527,388	9,032,865.6	10,538,343.2	12,043,820.8	13,549,298.4	15,054,776	15,054,776	15,054,776
Mediana	0	24,019,210.8	32,025,614.4	40,032,018	48,038,421.6	56,044,825.2	64,051,228.8	72,057,632.4	80,064,036	80,064,036	80,064,036
Gran empresa	0	118,248,422.4	157,664,563.2	197,080,704	236,496,844.8	275,912,985.6	315,329,126.4	354,745,267.2	394,161,408	394,161,408	394,161,408

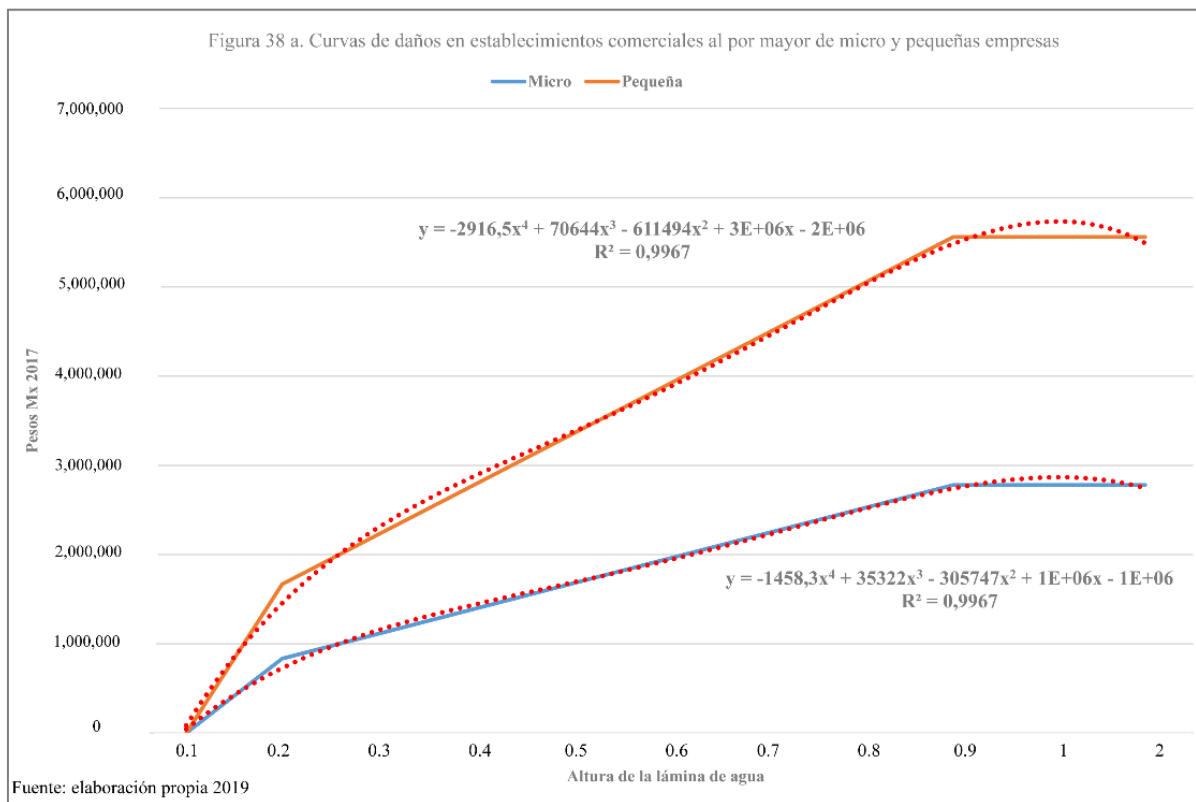
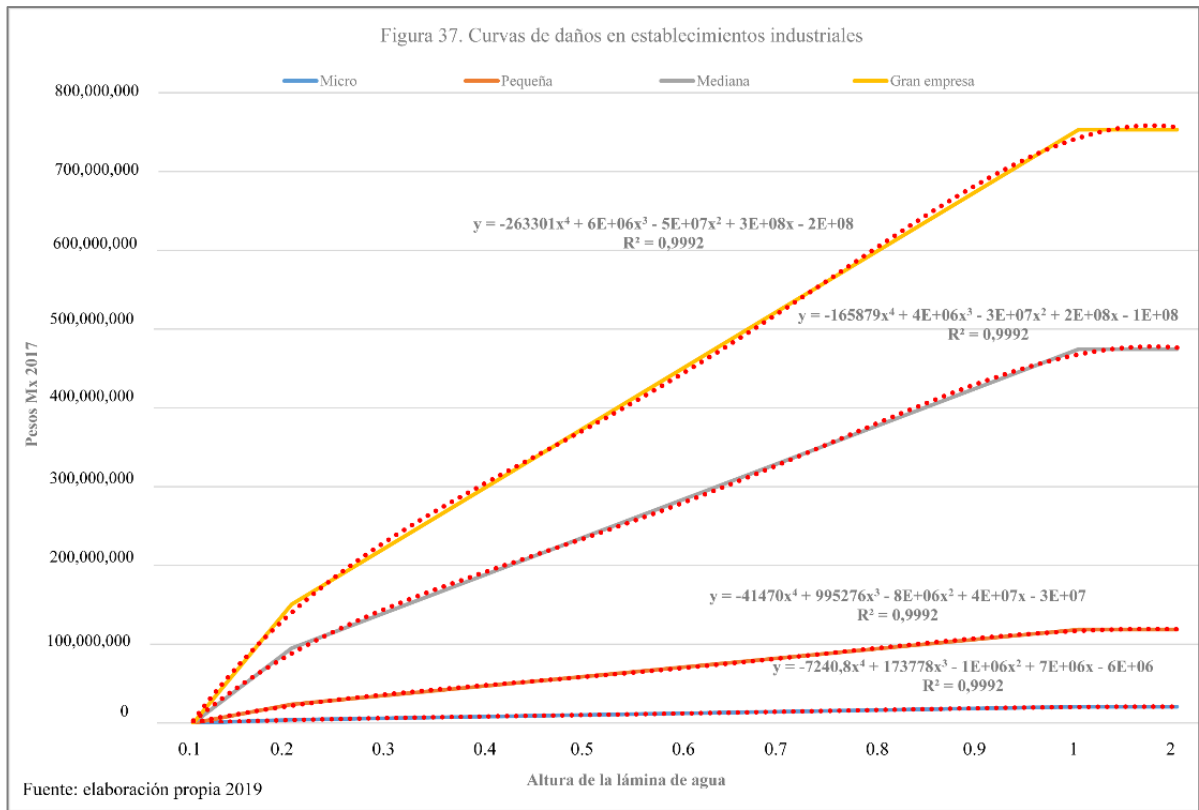
Tamaño	Establecimientos comerciales al por menor										
	Altura de la lámina de agua y porcentaje de afectación										
	0.1 -- 0%	0.2 -- 30%	0.3 -- 40%	0.4 -- 50%	0.5 -- 60%	0.6 -- 70%	0.7 -- 80%	0.8 -- 90%	0.9 -- 100%	1 -- 100 %	2 -- 100 %
Micro	0	834,121.2	1,112,161.6	1,390,202	1,668,242.4	1,946,282.8	2,224,323.2	2,502,363.6	2,780,404	2,780,404	2,780,404
Pequeña	0	1,668,242.4	2,224,323.2	2,780,404	3,336,484.8	3,892,565.6	4,448,646.4	5,004,727.2	5,560,808	5,560,808	5,560,808
Mediana	0	8,872,016.4	11,829,355.2	14,786,694	17,744,032.8	20,701,371.6	23,658,710.4	26,616,049.2	29,573,388	29,573,388	29,573,388
Gran empresa	0	43,677,619.2	58,236,825.6	72,796,032	87,355,238.4	101,914,444.8	116,473,651.2	131,032,857.6	145,592,064	145,592,064	145,592,064

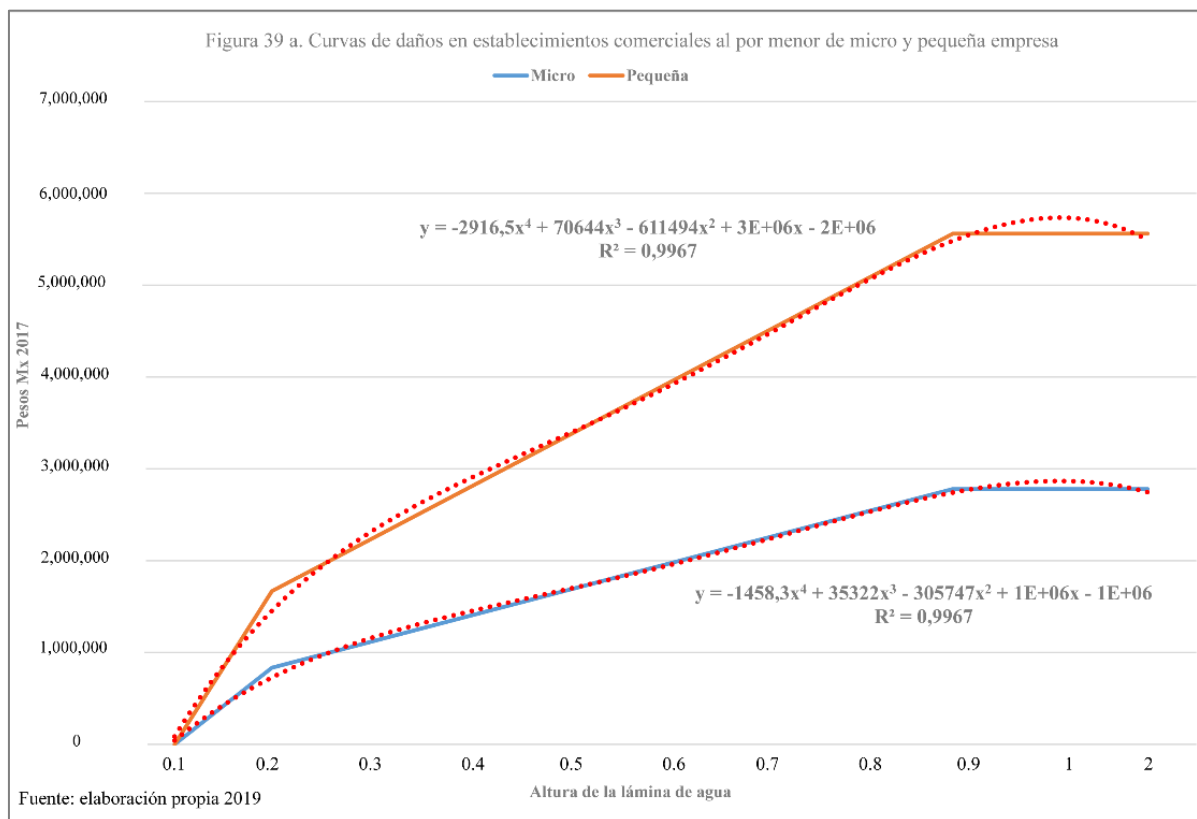
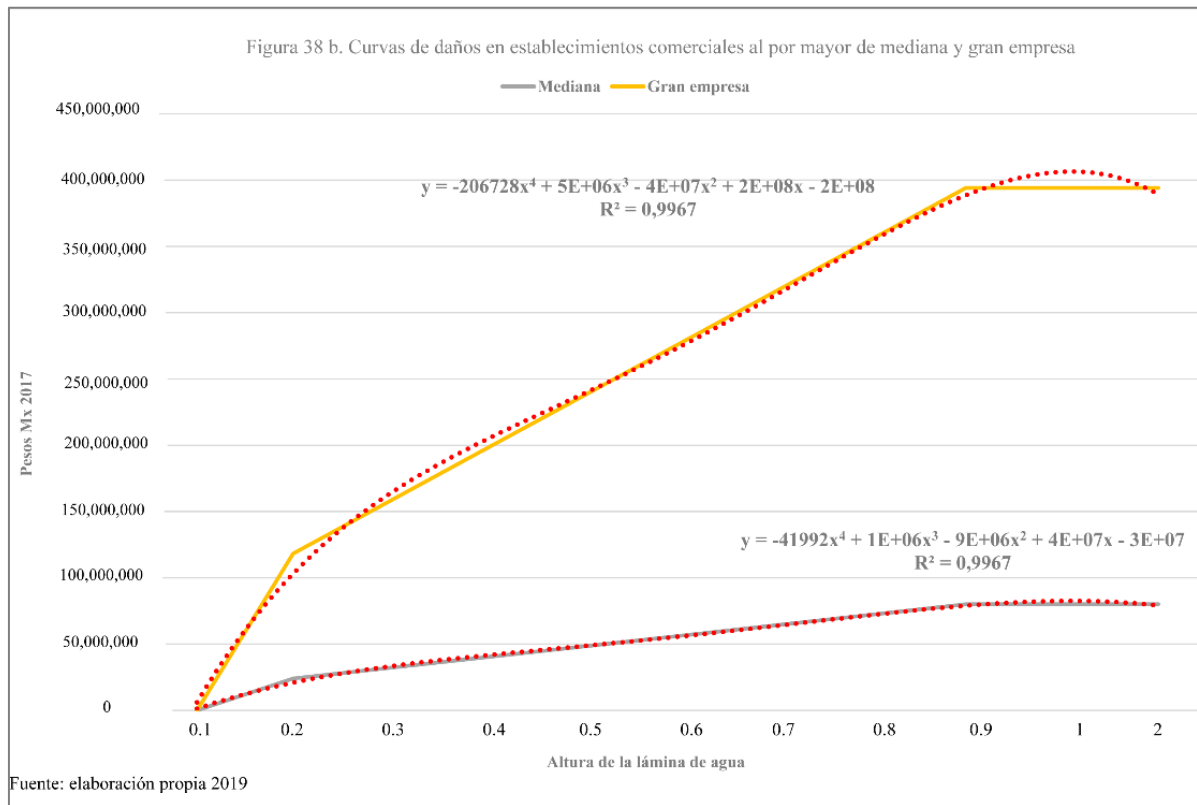
Fuente: elaboración propia 2019

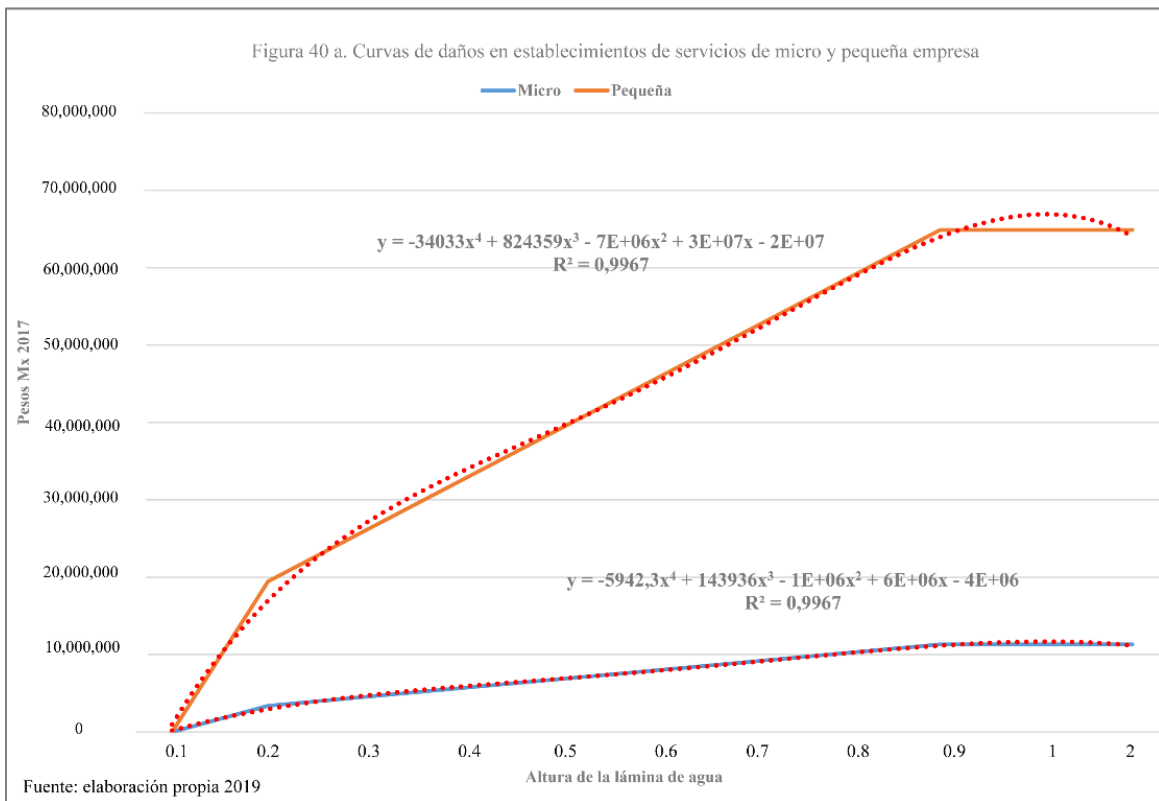
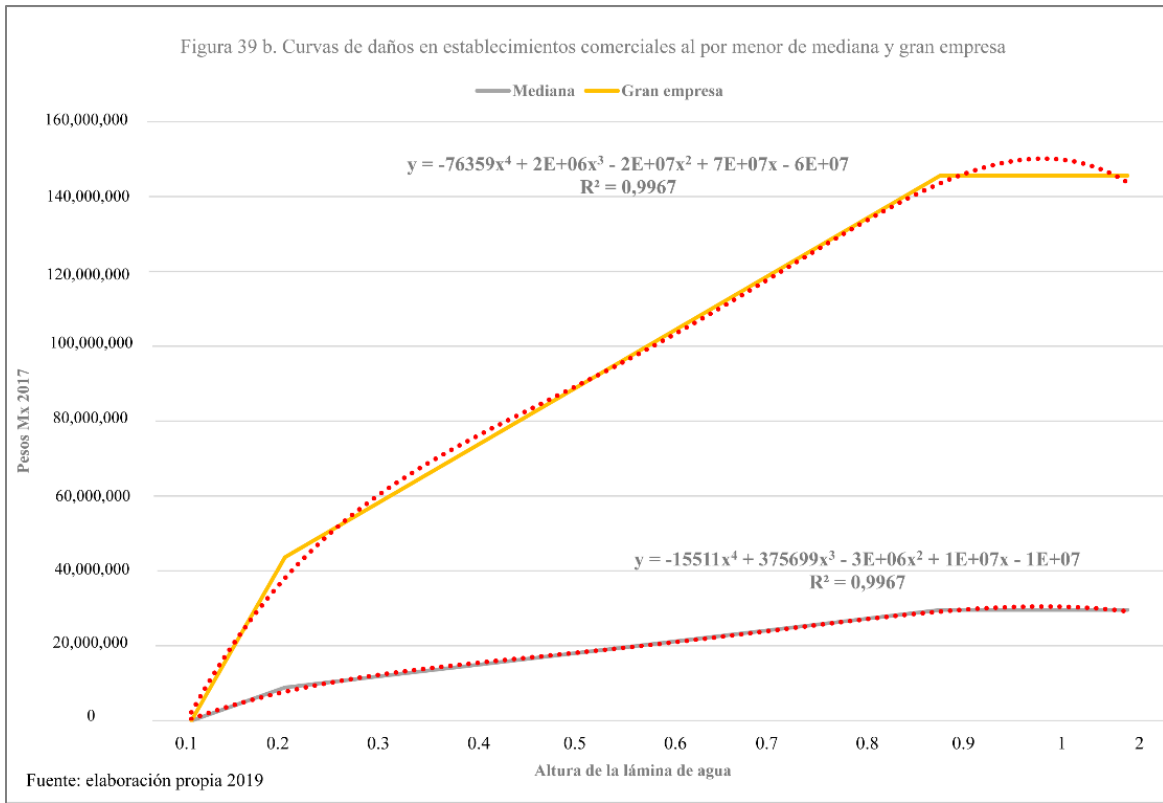
Tabla 41. Costos de daños tangibles directos por inundación según la altura de la lámina de agua en establecimientos de servicios en pesos Mx 2017

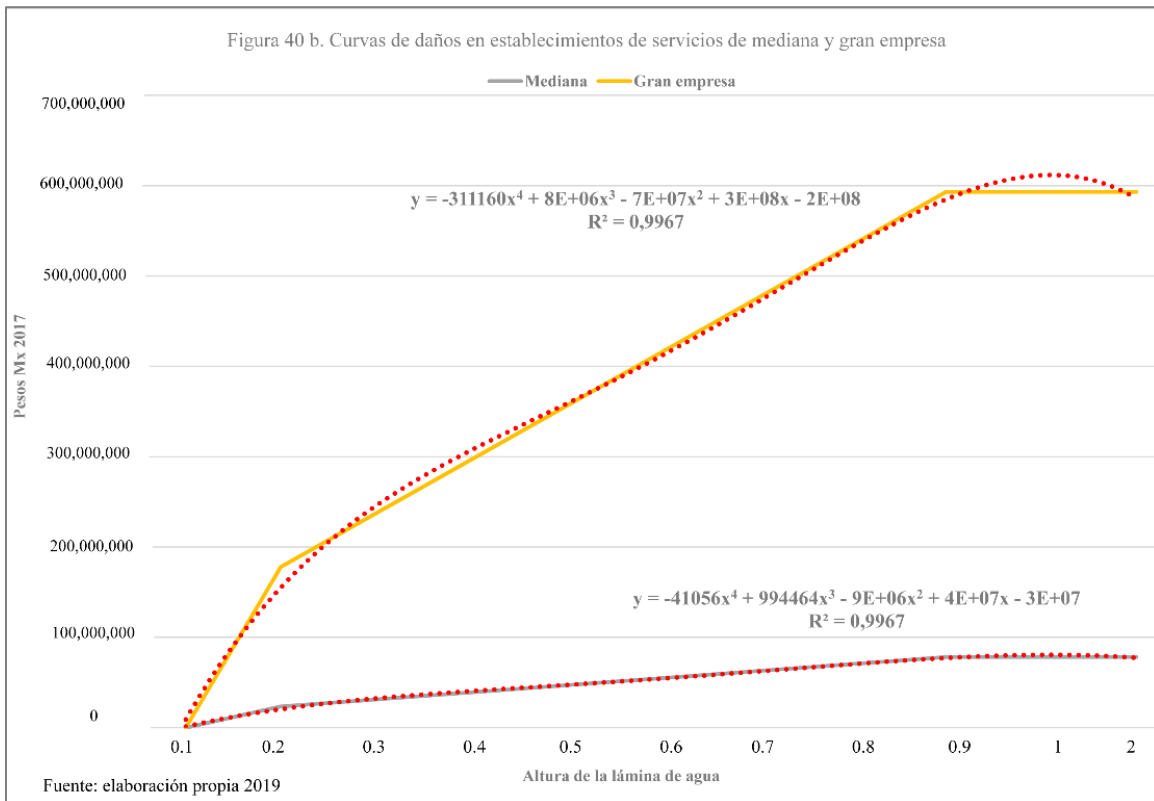
Tamaño	Altura de la lámina de agua y porcentaje de afectación										
	0.1 -- 0%	0.2 -- 30%	0.3 -- 40%	0.4 -- 50%	0.5 -- 60%	0.6 -- 70%	0.7 -- 80%	0.8 -- 90%	0.9 -- 100%	1 -- 100 %	2 -- 100 %
Micro	0	3,398,993.4	4,531,991.2	5,664,989	6,797,986.8	7,930,984.6	9,063,982.4	10,196,980.2	11,329,978	11,329,978	11,329,978
Pequeña	0	19,466,962.2	25,955,949.6	32,444,937	38,933,924.4	45,422,911.8	51,911,899.2	58,400,886.6	64,889,874	64,889,874	64,889,874
Mediana	0	23,483,954.4	31,311,939.2	39,139,924	46,967,908.8	54,795,893.6	62,623,878.4	70,451,863.2	78,279,848	78,279,848	78,279,848
Gran empresa	0	177,983,654.4	237,311,539.2	296,639,424	355,967,308.8	415,295,193.6	474,623,078.4	533,950,963.2	593,278,848	593,278,848	593,278,848

Fuente: elaboración propia 2019





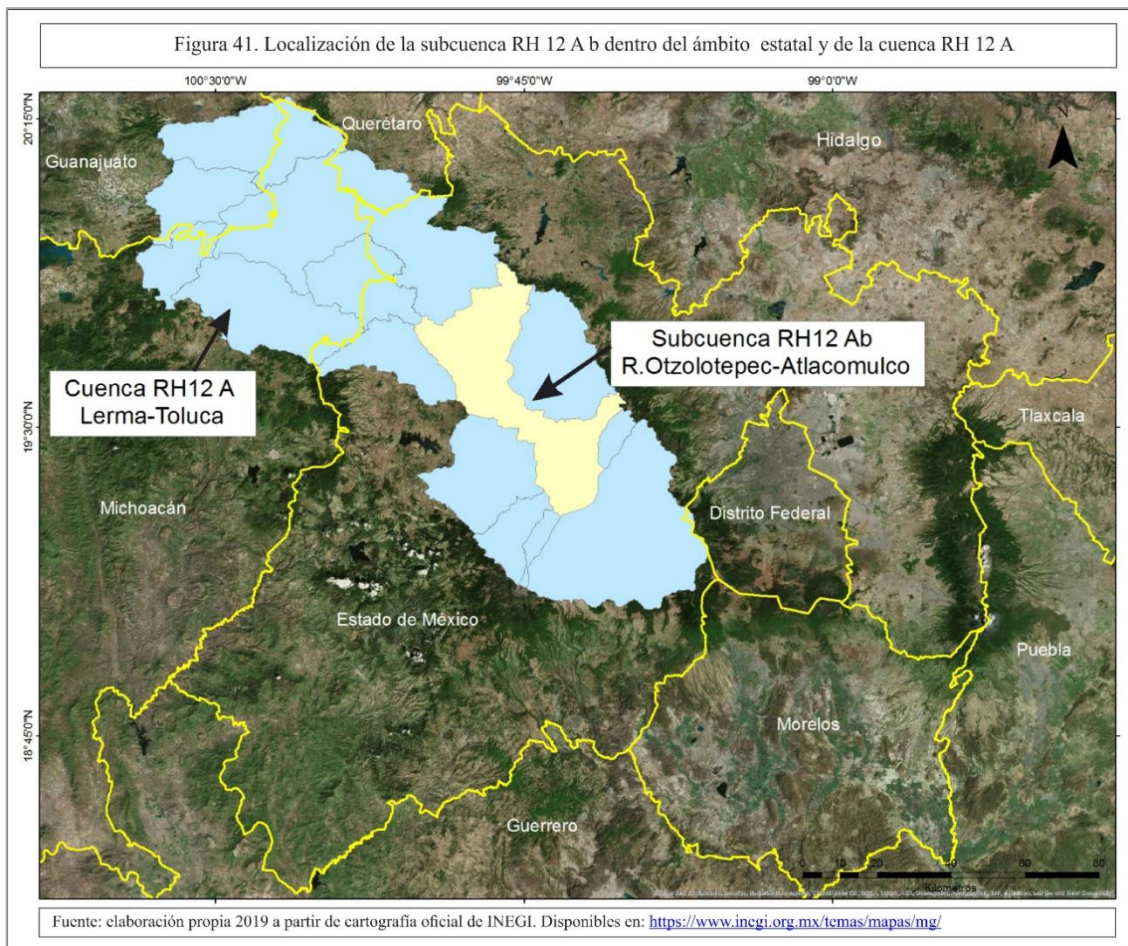




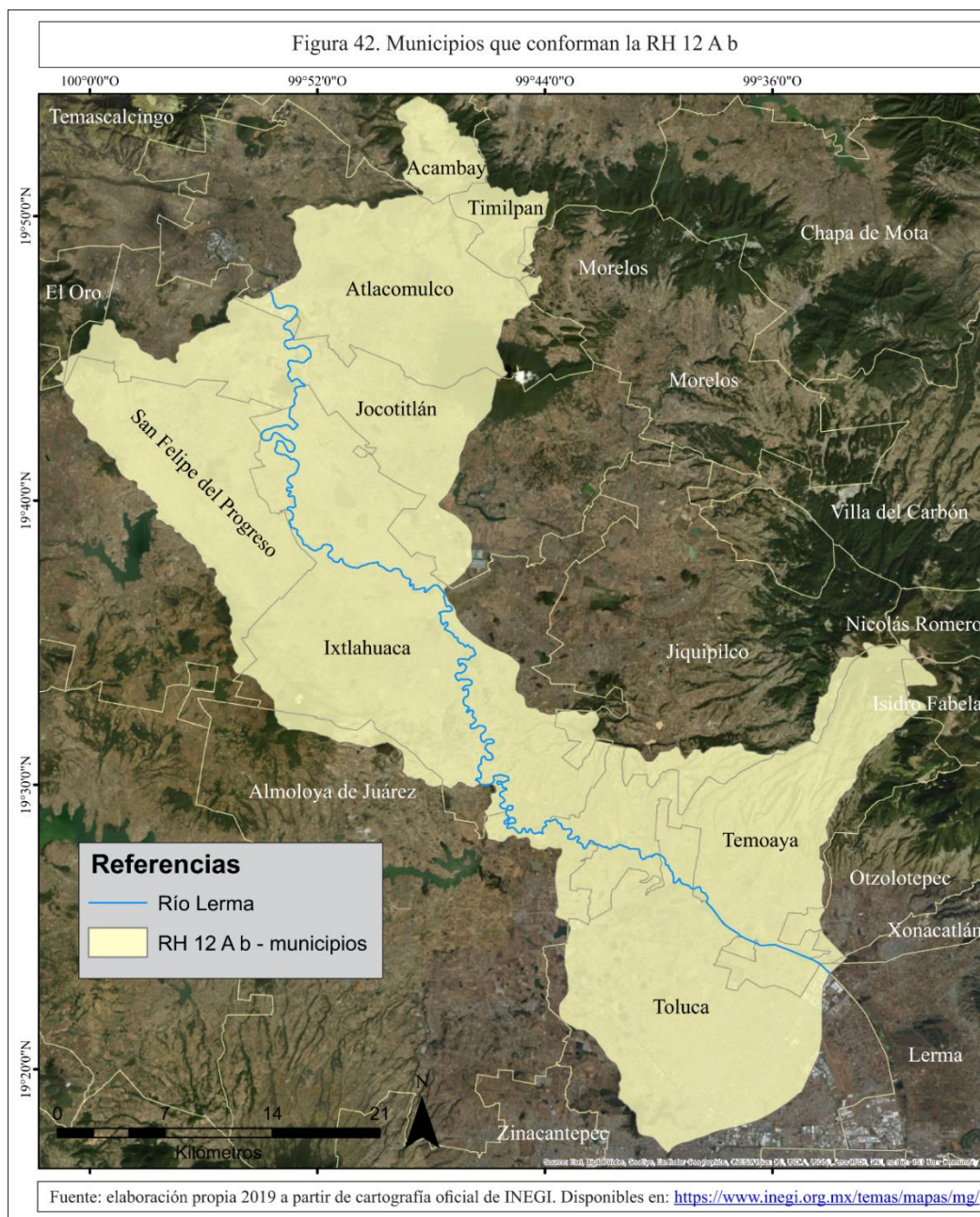
Finalmente, para la estimación de costos de daños tangibles indirectos, se determina a través del 10 % de los daños tangibles directos (Lekuthai y Vongvisessomajai, 2001 citado por Baró y otros, 2012). Para los cálculos, construcción de las curvas, ecuaciones de estimación de daños potenciales tangibles directos para cada zona, estimación de daños indirectos y los análisis estadísticos que implico la presente investigación se utilizó el software IBM SPSS 22.0 y la hoja de cálculo Excel.

Capítulo 4. Resultados. Validación de metodología en la Subcuenca hidrográfica RH 12 Ab R. Oztolotepec – R. Atlacomulco

La subcuenca hidrográfica RH 12 Ab R. Oztolotepec – R. Atlacomulco se localiza en tramo medio de la CARL y continuando con la orientación noroeste-sudeste (Figura 41). La misma fue considerada importante dentro del marco regional, debido a que se concentra una población de aproximada de 1 millón de habitantes (INEGI, 2010) distribuidos en 60 localidades urbanas, incluida la ciudad capital estatal y 230 localidades rurales; además de contener al corredor industrial Lerma-Toluca y zonas con un alto desarrollo de actividades terciarias y de servicios. Posee una configuración compleja desde el punto de vista físico – natural, social y económico, que la hace pertinente para para realizar el estudio.



Con una superficie de 1,135 km², territorialmente, se localiza dentro de seis municipios que conforman el ámbito regional de la CARL, Ixtlahuaca, Toluca, Temoaya, Atlacomulco, Jocotitlán y San Felipe de Progreso. Y un pequeño sector al noreste en los municipios de Jiquipilco, Almoloya de Juárez, Acambay y Timilpan, entre otros sin significancia territorial. Dentro de la subcuenca, el río Lerma tiene una extensión de 111.6 km correspondiente al curso bajo y medio de la CARL (Figura 42). Estructuralmente, se enmarca dentro del Valle de Toluca en la porción sur y en el Valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco en el norte, flanqueada en el este por las sierras Monte Alto y de las Cruces, y al oeste por las sierras de Santa Ana Nichi y Tlalpujagua (Figura 43 A y B).



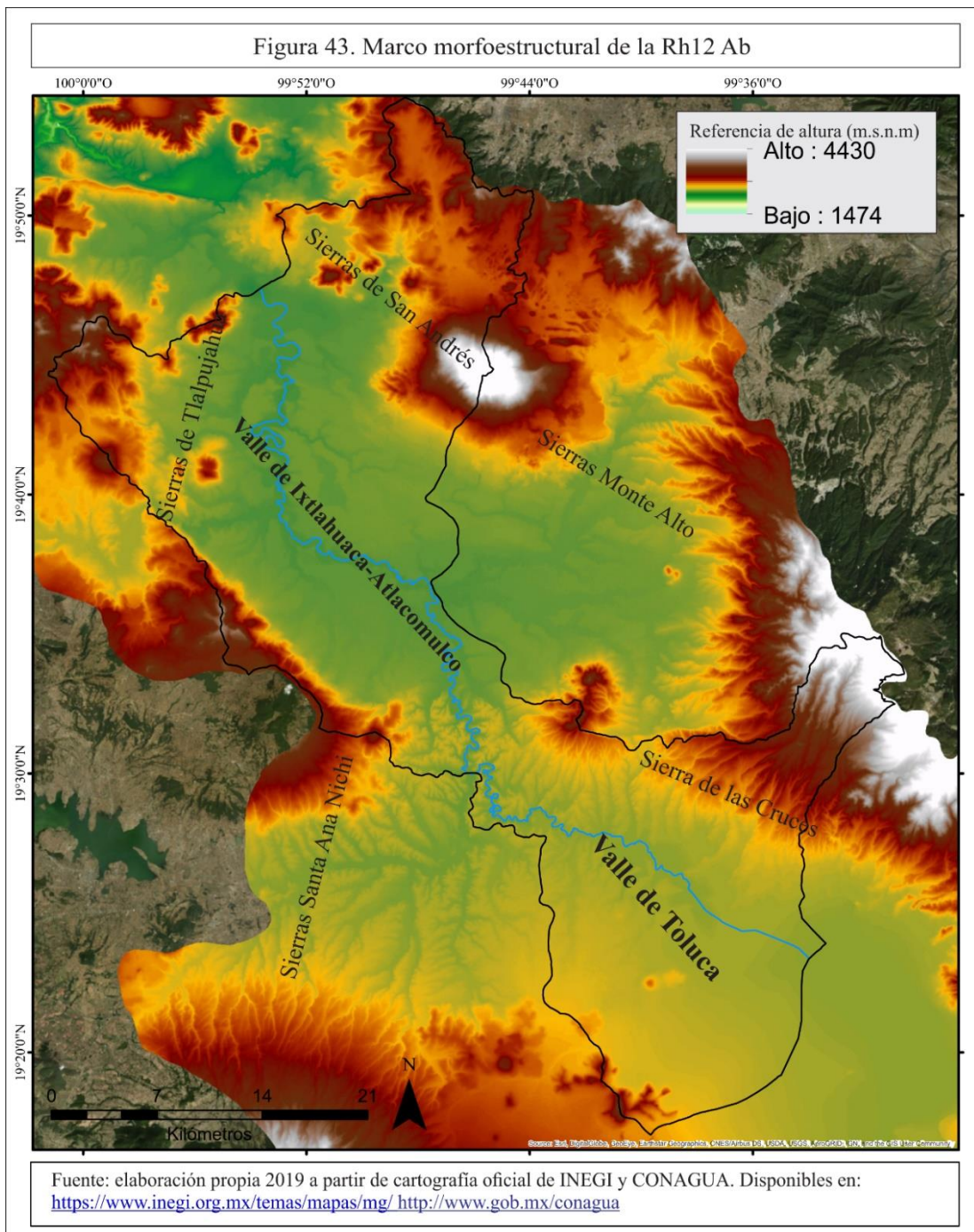
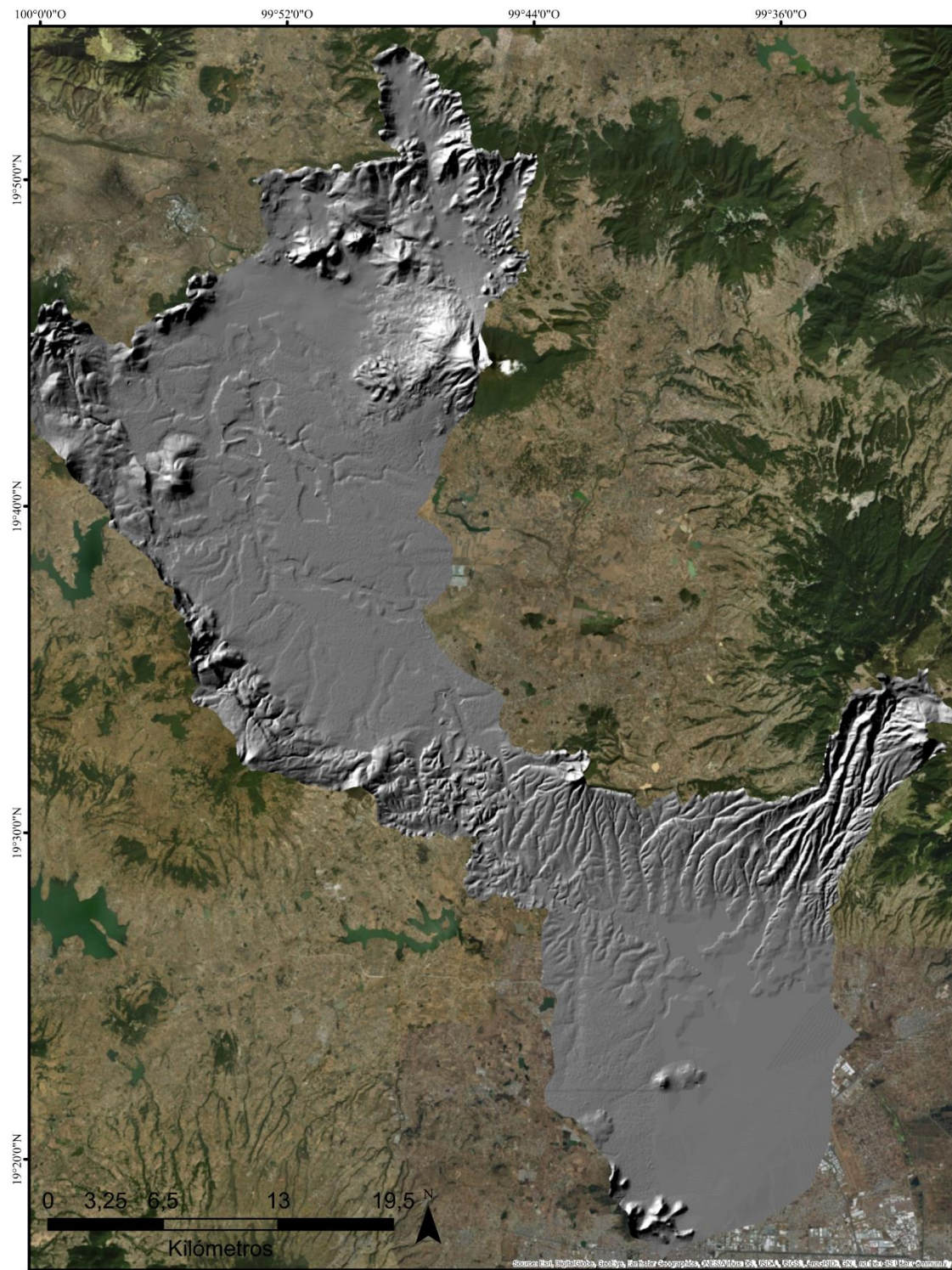


Figura 43 B. Marco morfoestructural de la Rh12 Ab a través de sombras del relieve



Fuente: elaboración propia a partir de cartografía oficial de INEGI. Disponibles en:
<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/>



4.1 Parámetros morfométricos de la cuenca y cauce principal

- Descarga de información base de la RH12 Ab.
- Elección y descarga del MDE. SRTM 3 arc second V003 con una resolución de 90 metros y 30 metros. Representan las cotas del terreno en un conjunto de 15.861 filas y 12.969 columnas (en total 205.701.339 celdas).
- Insumos cartográficos. Cartas Geológicas escala 1:50,000 utilizadas: E14A17, E14A27, E14A37, E14A38. Cartas Geológicas - Mineras escala 1:250,000 utilizadas: E14 - 1 y E14 - 2. Archivos, Shape (.SHP) del INEGI referidos a la RH 12Ab.
- *Corrección de capas base.* El parteaguas de la cuenca. Debido a la corroboración de la calidad de la información descargada, se encontró error en el límite de la subcuenca, determinada por la divisoria de aguas, ya que el límite cortaba la geometría del curso del río Lerma. El punto de salida de la RH12 Ab, no coincide con el curso del río. La red de drenaje proporcionada por el organismo oficial no tiene consistencia geométrica. La solución a los errores descritos anteriormente fue la construcción de las capas, en el caso del primer y segundo error, se realizaron a través de la digitalización del límite de la cuenca según las curvas de nivel extraídas del MDT. En el caso del tercer error, realiza nuevamente a del partir del MDT y validación de topología.
- Área (km²) y Perímetro (km) de la cuenca. Es una cuenca Intermedia- grande con una superficie de 1,134 km². El perímetro es de 264 km.
- Longitud de la cuenca (L km). 70.9 km.
- Ancho de la cuenca (B km). 14.5 km.
- Factor de Forma de Horton (Kf). 0.23.
- Coeficiente de compacidad (Kc): 1.60.
- Relación de elongación (Re): 0.6.

En relación a los anteriores parámetros, la RH12 Ab tiene una forma alargada.

- Curvas hipsométricas. A través de la representación de los niveles altitudinales de la RH12 Ab se realiza una descripción del relieve indicando la distribución superficial. En la Figura 44, se observa la curva, que, por su forma cóncava, determina que la RH12 Ab es una cuenca sedimentaria, plana en una etapa de vejez. Se caracteriza por valles extensos y cumbres escarpado, con amplios abanicos aluviales. Predominan los procesos sedimentarios fluviales, aluviales activos y canalización. Gran parte de los



materiales ha sido erosionado y depositado en las partes bajas de la cuenca. Son cauces de ríos viejos. En la Tabla 42 se presentan los datos en forma de resumen.

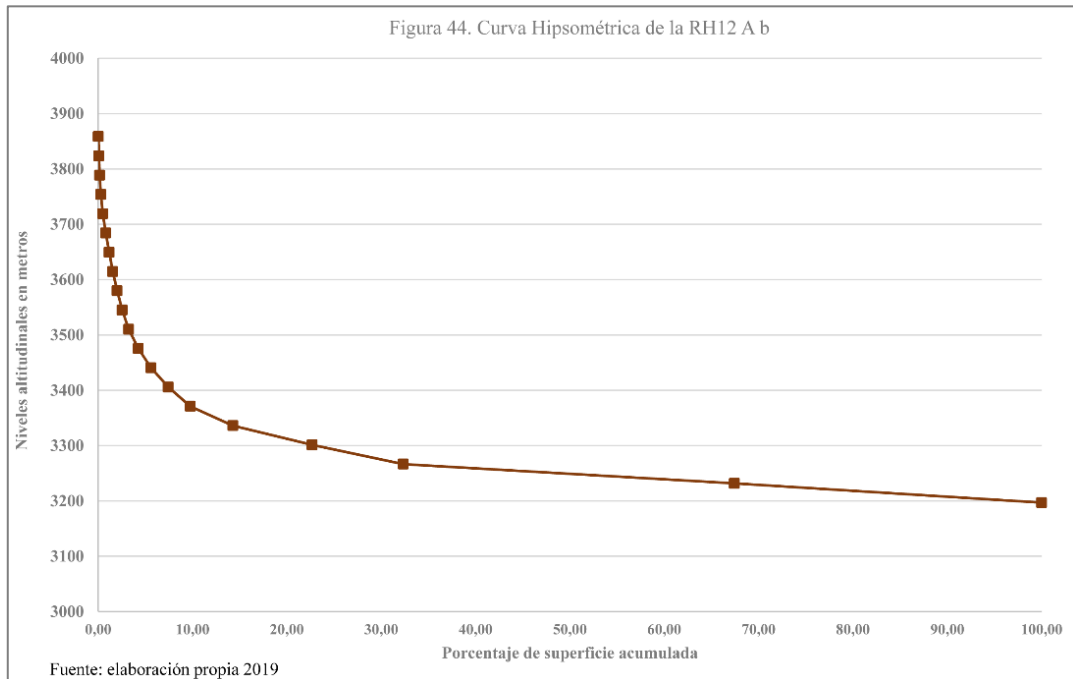


Tabla 42. Datos referentes a los niveles altitudinales de la RH 12 A b

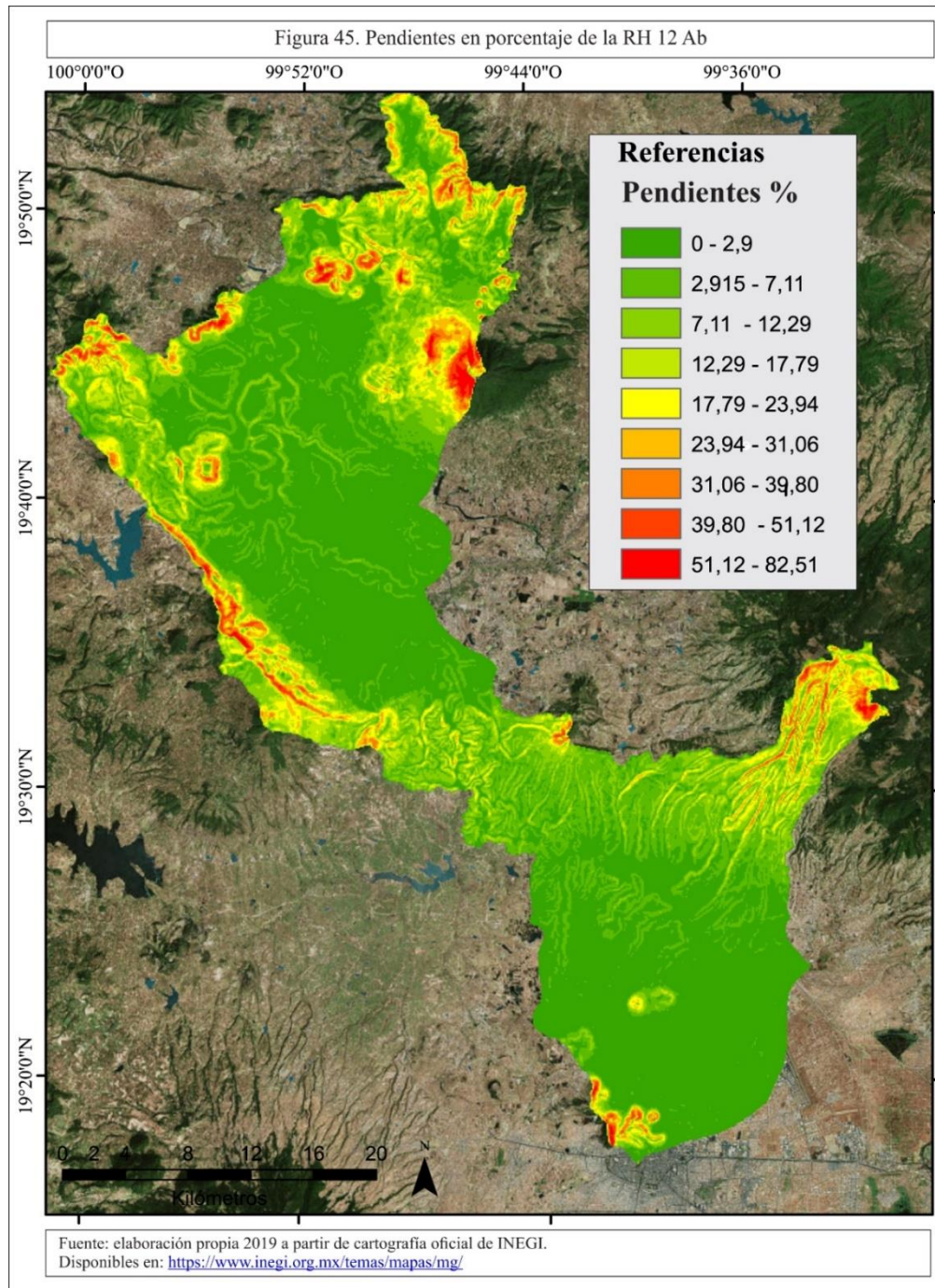
Número	Cota (m.s.n.m)			Área (km2)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Área km2	Acumulado	% Área	% Acumulado
1	2501	2570	3197	369,45	1134,36	32,57	100,00
2	2571	2640	3232	398,05	764,90	35,09	67,43
3	2641	2709	3267	109,57	366,85	9,66	32,34
4	2710	2779	3301	95,23	257,28	8,39	22,68
5	2780	2848	3336	51,23	162,06	4,52	14,29
6	2849	2918	3371	26,49	110,82	2,34	9,77
7	2919	2988	3406	20,75	84,33	1,83	7,43
8	2989	3057	3441	15,28	63,58	1,35	5,60
9	3058	3127	3475	11,55	48,30	1,02	4,26
10	3128	3196	3510	7,86	36,75	0,69	3,24
11	3197	3266	3545	6,08	28,89	0,54	2,55
12	3267	3336	3580	5,32	22,82	0,47	2,01
13	3337	3405	3615	4,23	17,50	0,37	1,54
14	3406	3475	3649	4,11	13,27	0,36	1,17
15	3476	3544	3684	3,63	9,16	0,32	0,81
16	3545	3614	3719	2,30	5,53	0,20	0,49
17	3615	3684	3754	1,42	3,23	0,13	0,28
18	3685	3753	3789	0,93	1,80	0,08	0,16
19	3754	3823	3824	0,59	0,87	0,05	0,08
20	3824	3893	3859	0,29	0,29	0,03	0,03
Totales				1134,36		100	

Fuente: elaboración propia

➤ Elevación media de la cuenca: 2658 m.s.n.m

Cota máxima: 3885 m.s.n.m

Cota mínima: 2516 m.s.n.m

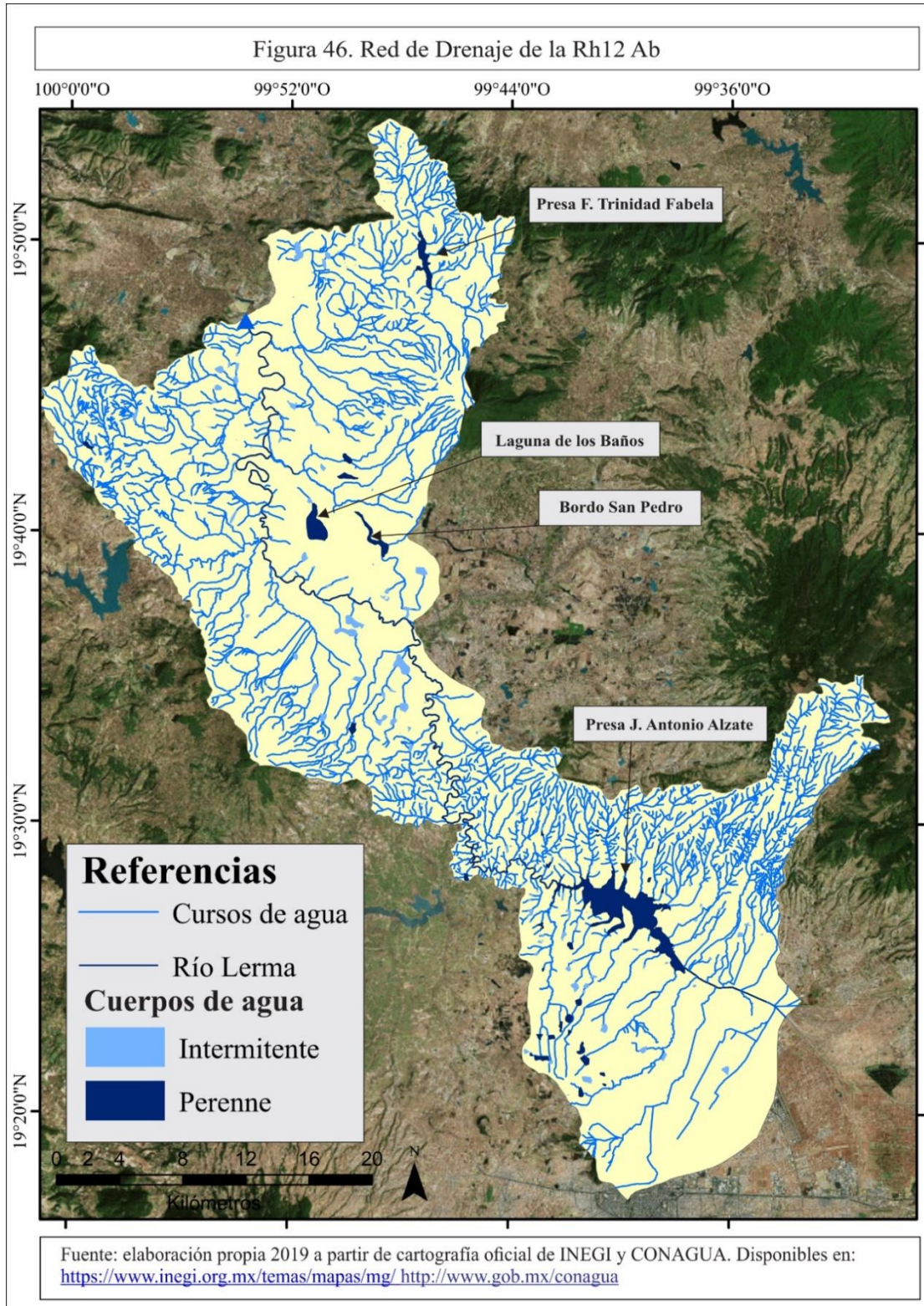


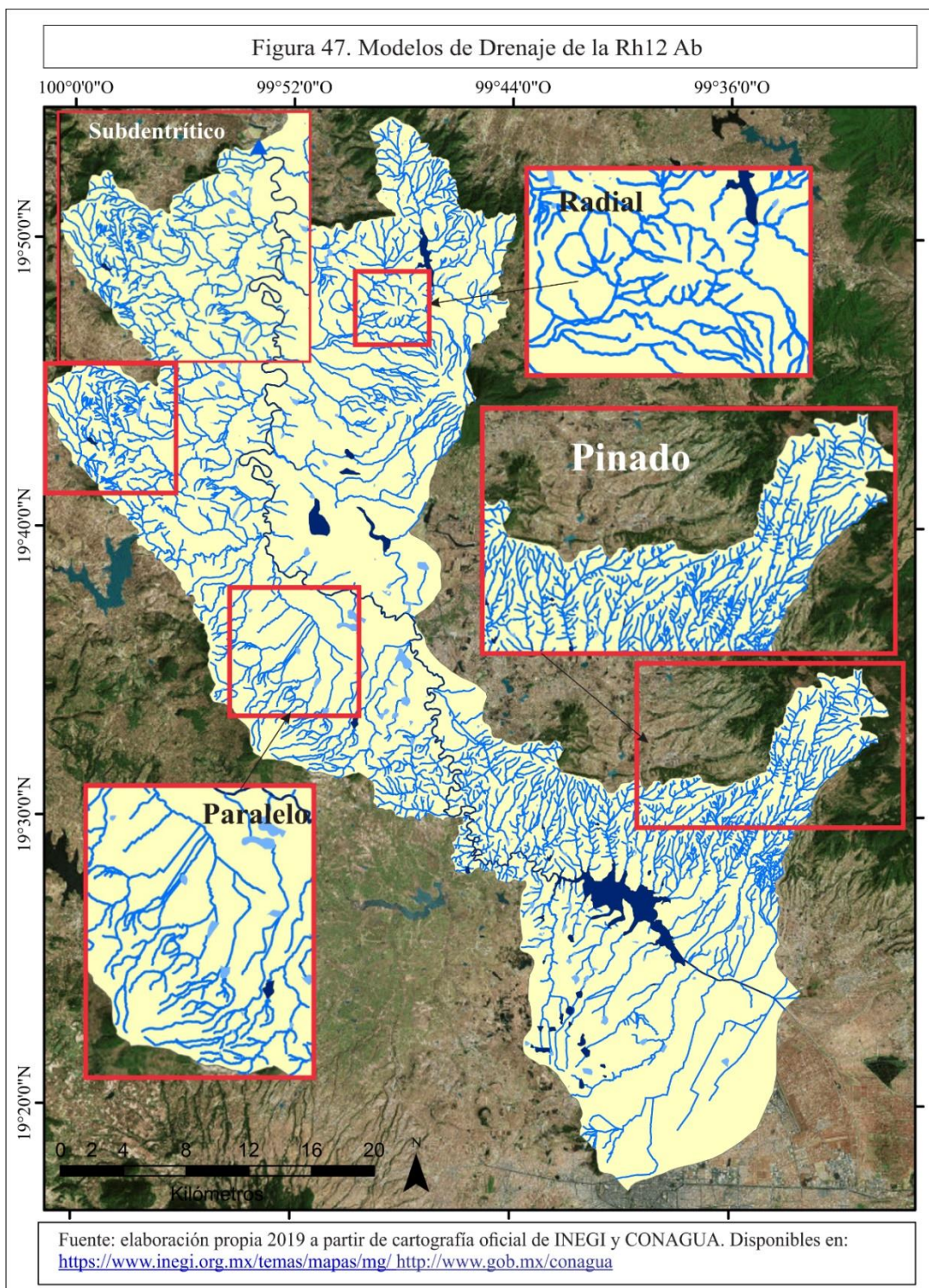
- Pendiente media de la cuenca (%): 7.06 % (Figura 45).
- Longitud del cauce principal, río Lerma: 111.6 km. Longitud máxima del cauce principal desde el punto de salida hasta el punto más alejado de la RH 12 Ab.
- Pendiente media del cauce principal río Lerma (So): 4.2%. Terreno llano a suave.
- Modelos del río Lerma. El curso principal, en estado natural se considera un cauce con meandros con un índice de sinuosidad de 1.6. Sin embargo, el curso del río Lerma, en el sector sur de la RH 12 Ab, presenta un modelo recto, debido a la rectificación del mismo.

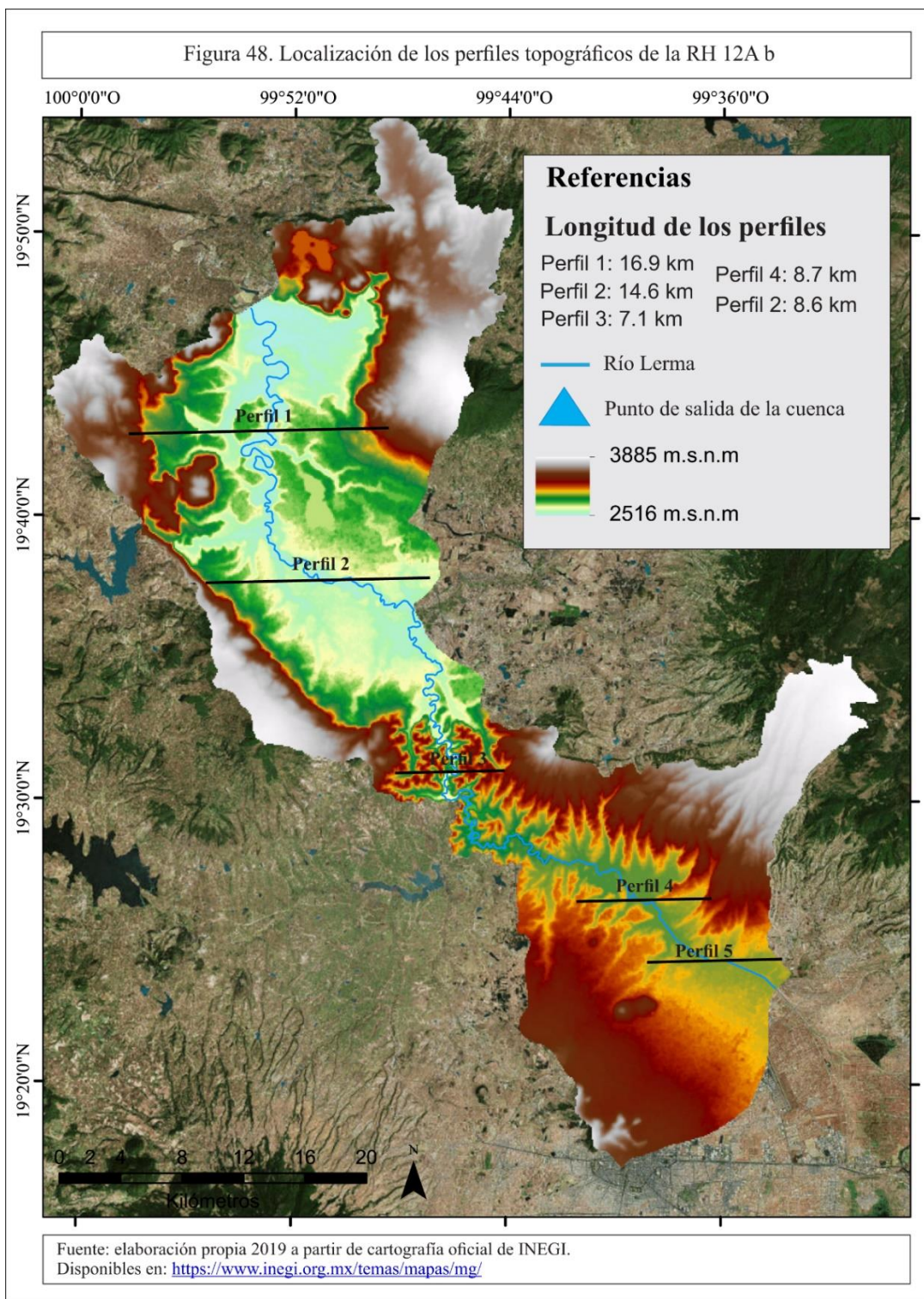


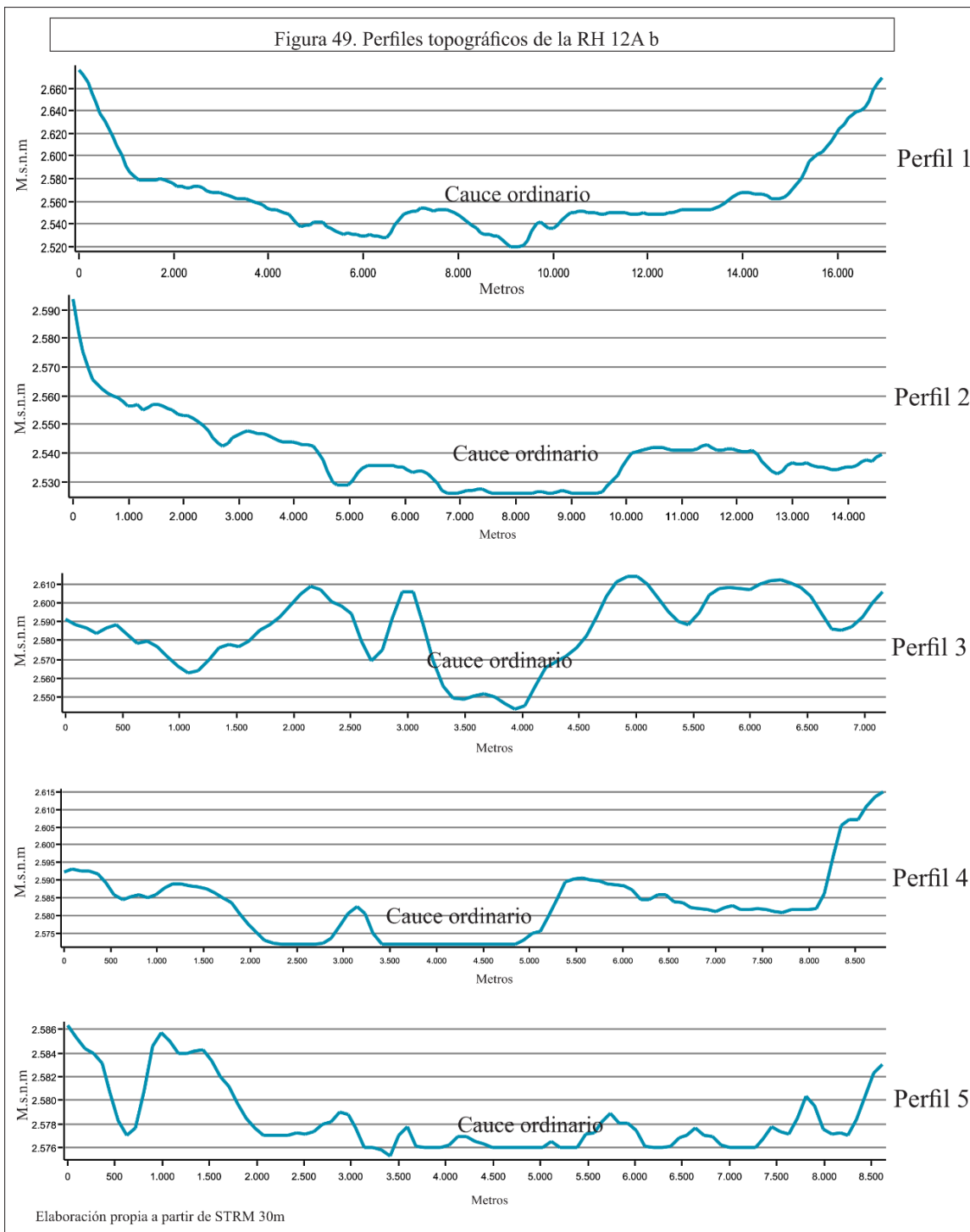
- Tipos de corrientes. La densa red de drenaje que conforma la RH 12 Ab está compuesta por 467 cursos de agua de condición perennes e intermitentes y 434 cuerpos de agua naturales y artificiales, de los cuales aproximadamente 110 de ellos son considerados perenne, de los cuales, se destacan por tamaño y capacidad de almacenaje, las Presas José Antonio Alzate y Francisco Trinidad Fabela; laguna de los Baños y bordo San Pedro, considerados los cuerpos de agua de mayor tamaño dentro de la RH 12 A b (Figura 46).
- Modelos de drenaje. La RH 12 Ab presenta varios modelos de drenaje (Figura 47), con mayor frecuencia de los modelos Subdentrítico, Pinado, radial y paralelo, este último, debido a la presencia de canales artificiales.
- Orden de la corriente según método de Strahler: 5
- Densidad de Drenaje (D_d): 2.9 km/km^2 . La RH 12 Ab se caracteriza por una densidad de drenaje de textura fina, indicando una alta escorrentía superficial, suelos de baja permeabilidad y susceptibles a la erosión.
- Relación de bifurcación: 3.8. La Rh 12 A b, empero de la forma alargada – rectangular, presenta un valor de R_b medio, debido a que posee varios modelos de drenaje dentro de su red hídrica.
- Perfiles topográficos. Se construyeron seis perfiles topográficos a lo largo de la RH12 Ab, para determinar la forma del relieve en relación con el cauce principal (Figura 48). El resultado de los perfiles se observa en la Figura 49, determinando la altura de seis tramos del río Lerma y son utilizados como base para determinar la profundidad y área del cauce ordinario y cambios importantes en la topografía del área estudiada.
- En cuanto a las características geológicas de la RH 12 Ab, presenta un predominio de materiales volcanoclásticos en la zona de los valles conjuntamente con depósitos aluviales, lo que denota procesos de sedimentación. En las zonas de mayor pendiente se encuentran materiales ígneos como Basalto y Andesita. En la porción sur de la

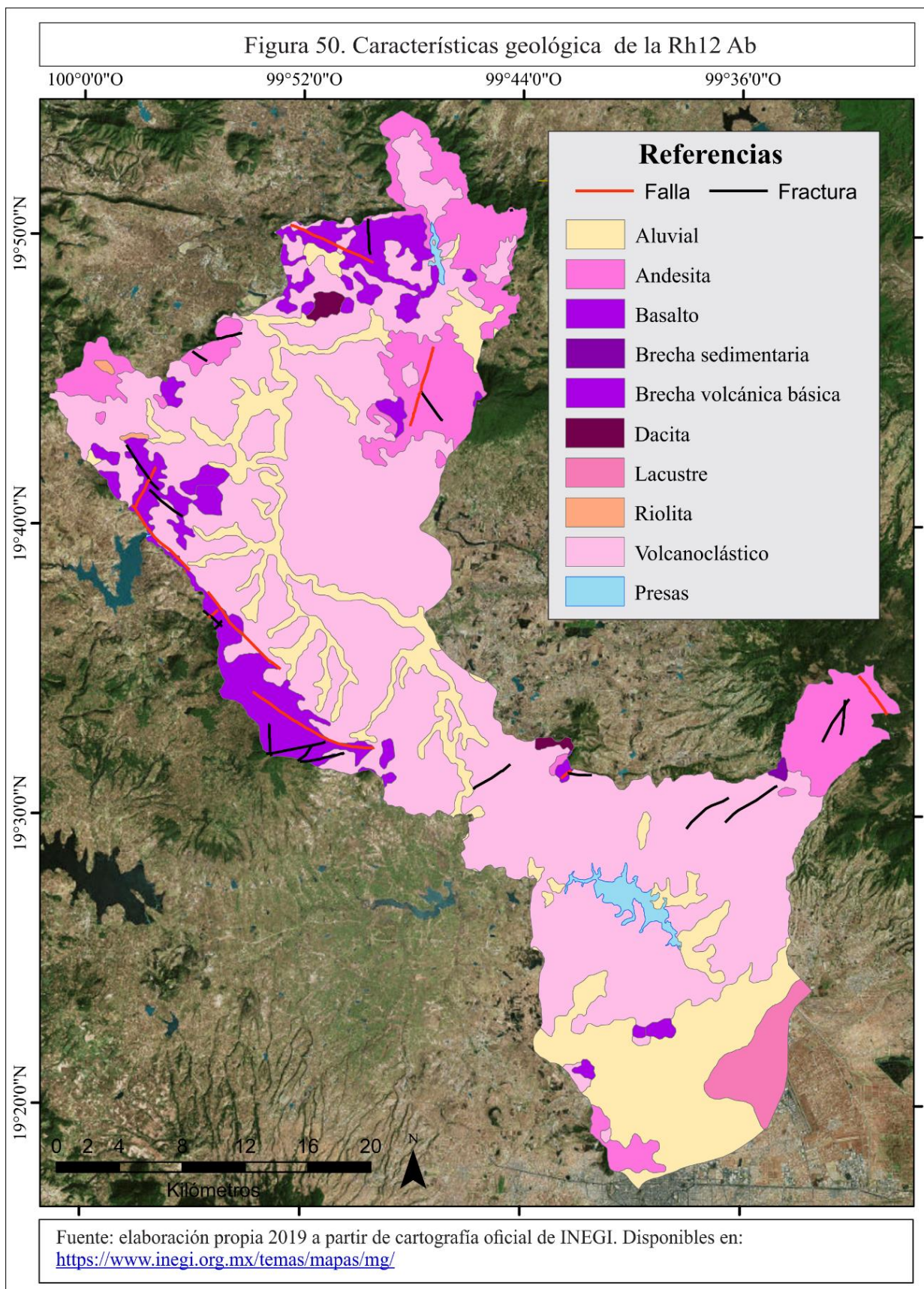
subcuenca se localizan depósitos lacustres, debido a la antigua zona conformada por ciénagas y lagunas (Figura 50).



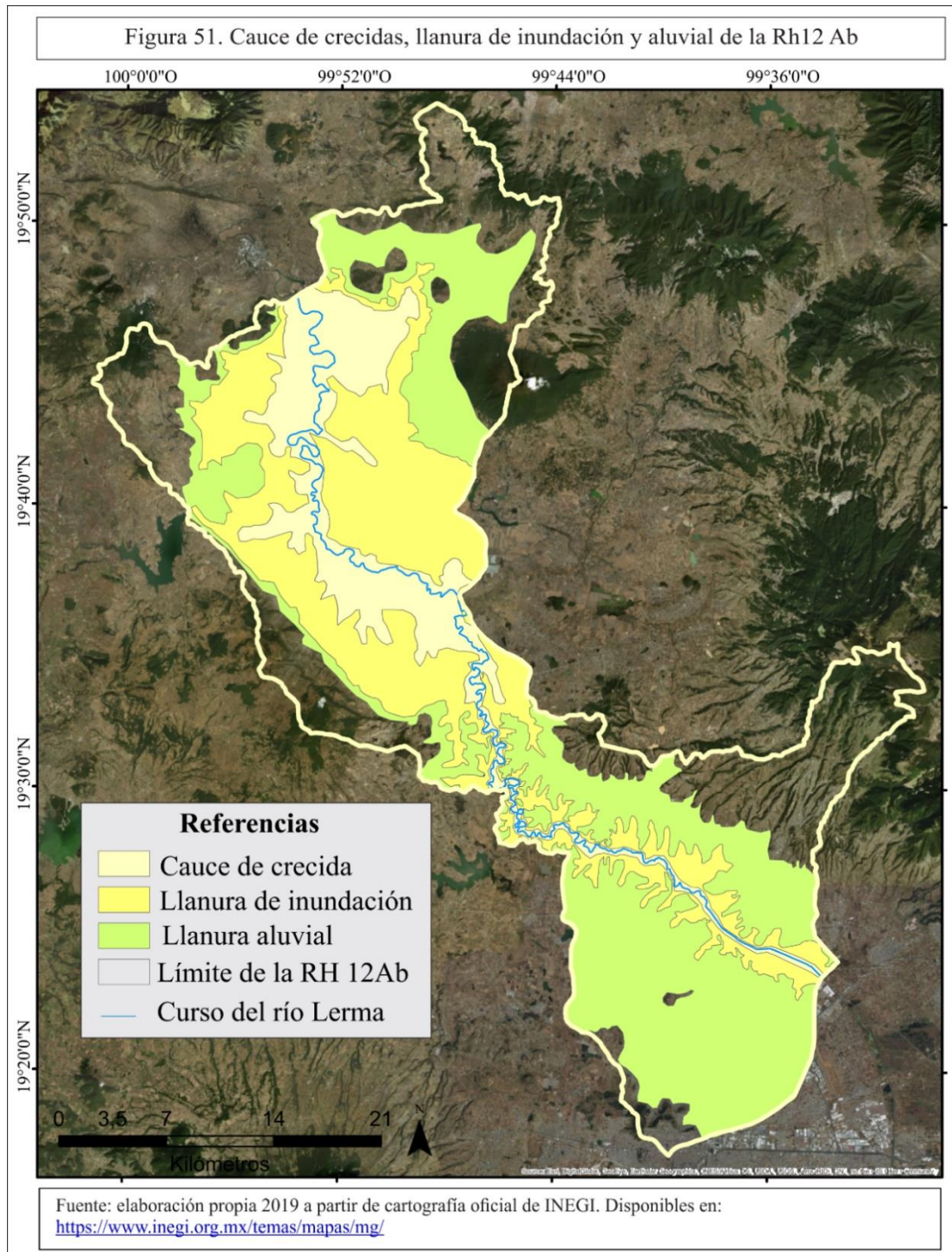








- Demarcación de cauces y márgenes. En función de los anteriores parámetros y a partir del análisis del MDE e información geológica, se delimitan las áreas de interés: cauce de crecida, llanura de inundación activa y llanura aluvial (Figura 51). La demarcación se realiza mediante la digitalización de las capas de información según el modelo presentado en el apartado metodológico.





Cabe señalar, que, en esta etapa de la metodología, se encontraron varios errores en la cartografía oficial. Ejemplo de ello, son los cursos de aguas sin topología, errores geométricos en el límite de la subcuenca, en la capa de cuerpos de agua se encontraron varios errores geométricos, de localización e incompatibilidades en los Sistemas de Referencia de Coordenadas.

4.2 Análisis de precipitación

El análisis completo del presente apartado fue enviado a la Revista Tecnología del Agua¹ del Instituto Mexicano del Agua. Nombre del artículo: “Datos pluviométricos en México: adquisición, estandarización, análisis y estimación” y se presenta en el apartado Anexos. En dicho artículo se aborda, un análisis estadístico a través de la aplicación de Técnicas Multivariantes, de la Serie Temporal de registros pluviométricos obtenidos por Estaciones Meteorológicas Automáticas EMA’s, de la Comisión Nacional del Agua CONAGUA, México. Se presenta el proceso y criterio de selección de las estaciones según localización, interpretación de la base de datos original, análisis de información pluviométrica y estimación de datos ausentes y anómalos en la RH 12 Ab para el periodo 1980-2015.

El estudio parte de la utilización de base de datos climatológica originales, en donde se realiza la selección, análisis, estimación, homogenización y representación de los registros pluviométricos. Cada uno de los procedimientos, a través de técnicas estadísticas específicas. En primer término, se aplica el Análisis Exploratorio de Datos EDA y respectivos gráficos para determinar el comportamiento y características del conjunto de datos. Luego, se aplican métodos para la estimación de datos pluviométricos, según sean datos mensuales o anuales.

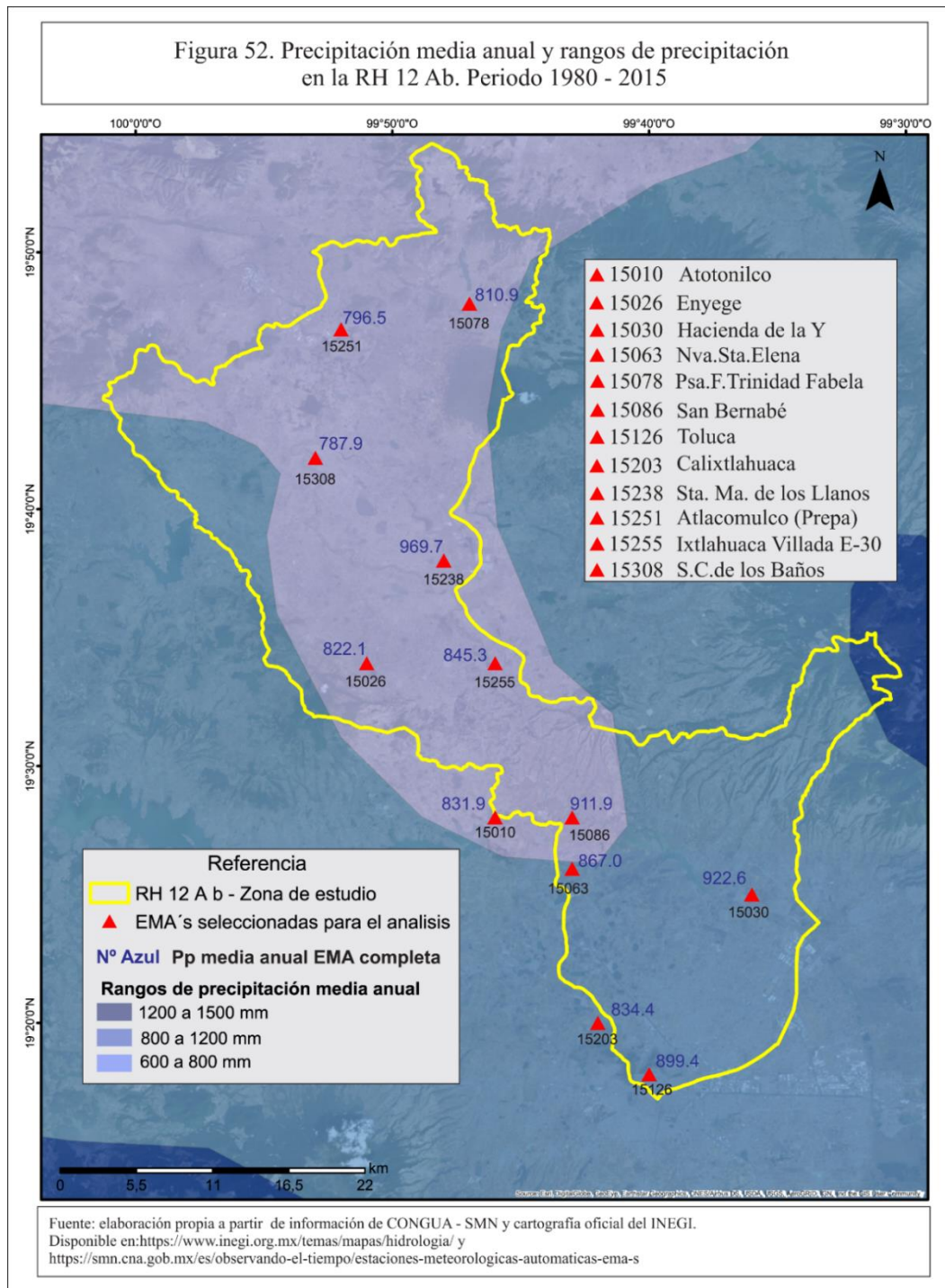
A través del análisis realizado, se pretende enfatizar el uso de técnicas estadística descriptivas, para un rápido análisis y correcta elección de los métodos de estimación, según corresponda las condiciones y características de los datos. Así como también, en la calidad, heterogeneidad, lógica y estructura del conjunto de datos lograda una vez culminado el análisis.

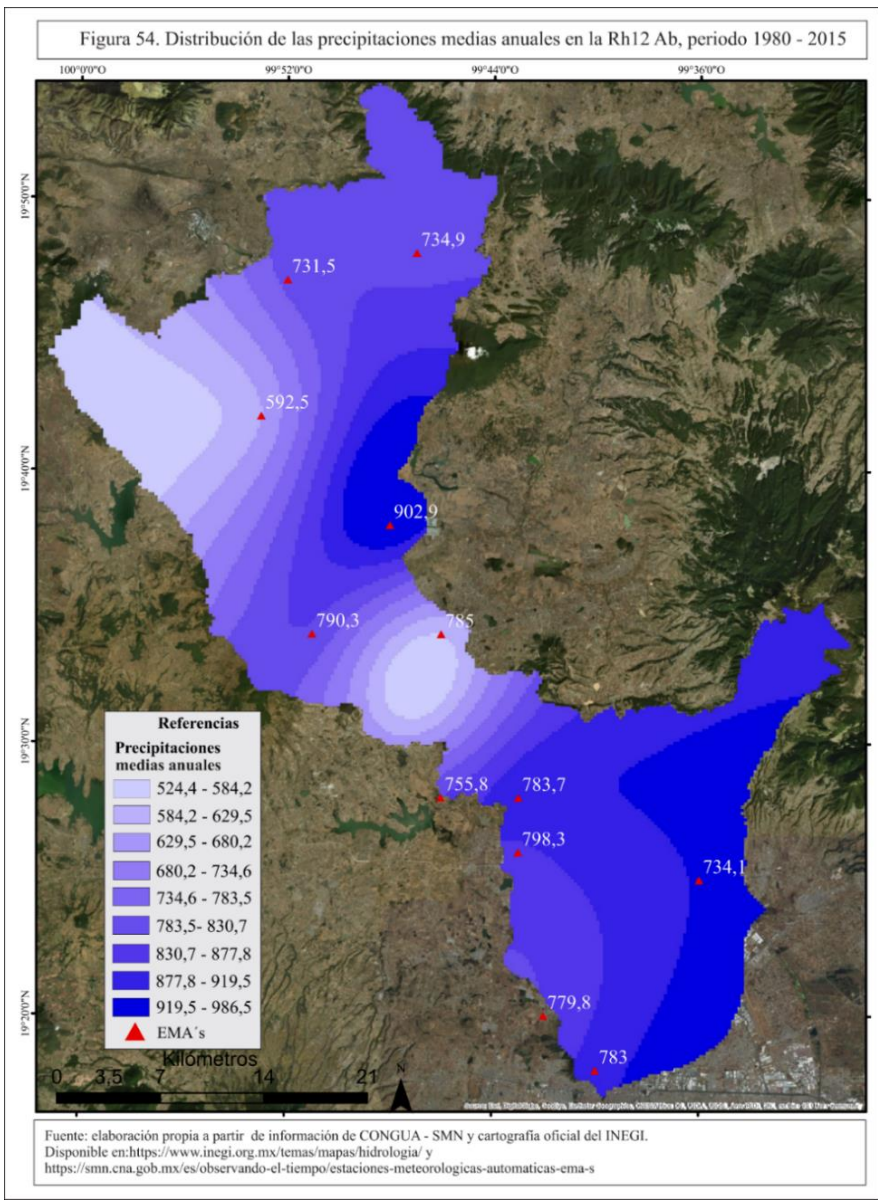
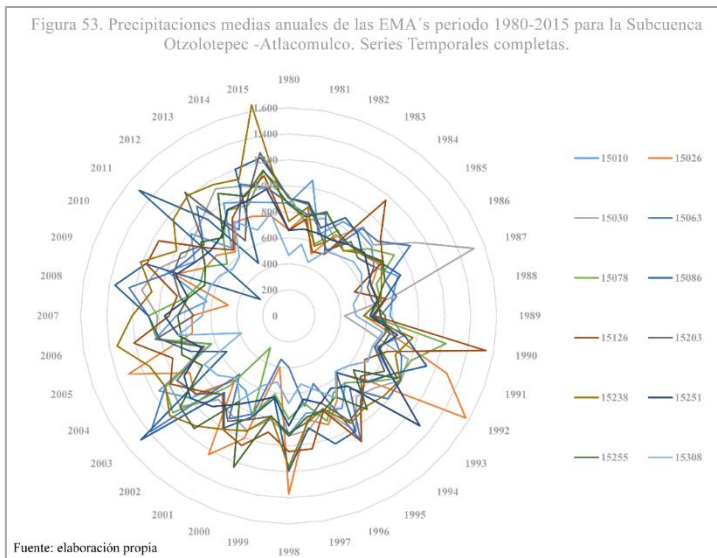
A modo de síntesis, en la Figura 52 se presentan las EMA’s utilizadas en el análisis pluviométrico, con el correspondiente dato de precipitación media anual y según los

¹ En proceso de revisión.

rangos de precipitación del SMN – CONAGUA. En la Figura 53, se presenta la distribución de las precipitaciones medias anuales del conjunto de estaciones.

Luego del análisis de precipitaciones planteado en el artículo, se calculó, según la información obtenida, la precipitación media anual y su representación espacial de la RH12 Ab (Serie temporal de 36 años). El resultado del cálculo mediante Método de Isoyetas con un valor de 804.05 mm y la representación espacial se observa en la Figura 54 mediante el método de interpolación de IDW Spline.





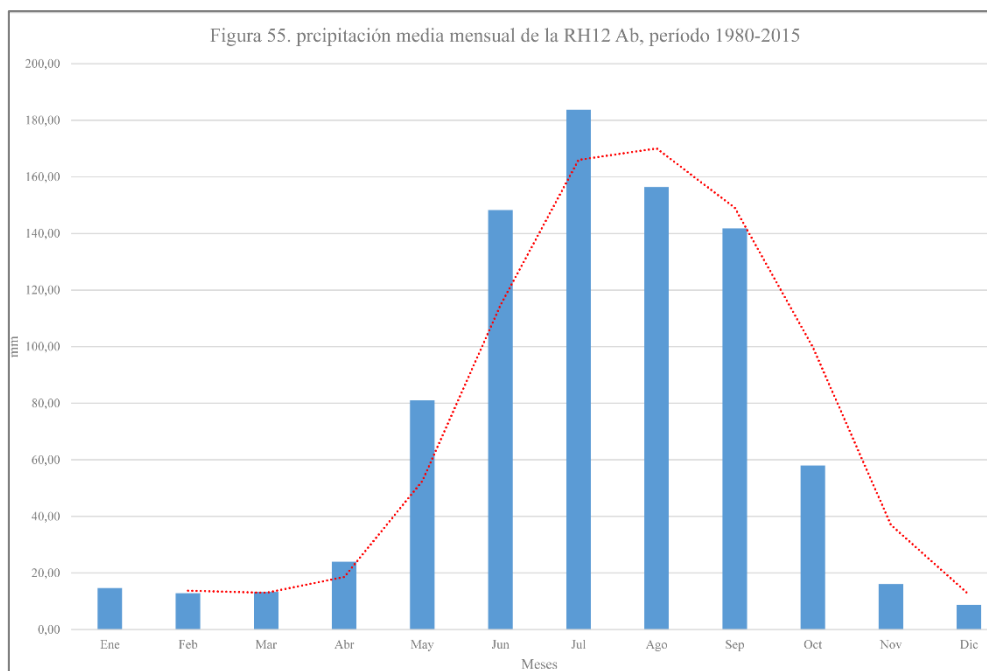


- Precipitación media estacional primavera-verano durante los meses de Mayo a Septiembre 711.12 mm. Se puede observar que la RH12 Ab posee una variabilidad pluviométrica estacional muy marcada. El mes con mayor registro de precipitación media mensual es julio con 185,55 mm (Tabla 43 y Figura 55).

Tabla 43. Precipitación media mensual de la RH12 Ab, periodo 1980 - 2015

Código estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15010	17,59	11,48	12,88	23,77	78,09	142,43	164,45	158,21	144,98	54,25	14,77	8,98
15026	18,51	13,60	9,12	21,88	62,43	142,86	186,48	149,63	136,42	56,25	15,16	9,79
15030	12,50	11,03	11,23	29,33	82,25	175,21	191,71	172,24	144,22	66,55	18,99	7,39
15063	15,30	11,30	12,95	26,40	81,20	164,15	194,54	155,49	119,60	59,94	17,42	8,68
15078	17,11	13,89	17,26	22,18	57,36	128,39	186,94	141,74	138,92	60,94	18,43	7,74
15086	18,18	18,94	20,42	25,83	69,78	177,77	198,64	170,06	126,42	59,36	16,85	9,63
15126	10,26	12,71	15,63	27,25	79,58	168,53	194,46	174,71	144,70	52,01	11,87	7,64
15203	12,59	11,29	13,74	28,51	72,61	144,34	171,48	164,37	135,89	53,84	14,84	10,87
15238	17,76	14,96	12,72	26,98	70,48	145,43	221,92	194,68	158,51	77,13	17,46	11,72
15251	15,95	15,64	13,10	19,11	54,94	129,38	169,98	149,06	132,56	68,49	18,47	9,87
15255	9,13	7,89	9,53	15,49	140,52	135,15	166,08	118,87	188,09	37,32	12,99	4,22
15308	11,06	10,79	9,93	20,75	123,18	125,51	157,89	127,27	130,66	49,17	14,89	7,47
PP media mensual	14,66	12,79	13,21	23,96	81,03	148,26	183,72	156,36	141,75	57,94	16,01	8,67

Fuente: elaboración propia



- Periodos de Retorno (T) de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 1000 años para el mes de julio (mes más lluvioso). Probabilidad de que se presente en un futuro una precipitación mayor o menor a un determinado valor (Tabla 44).

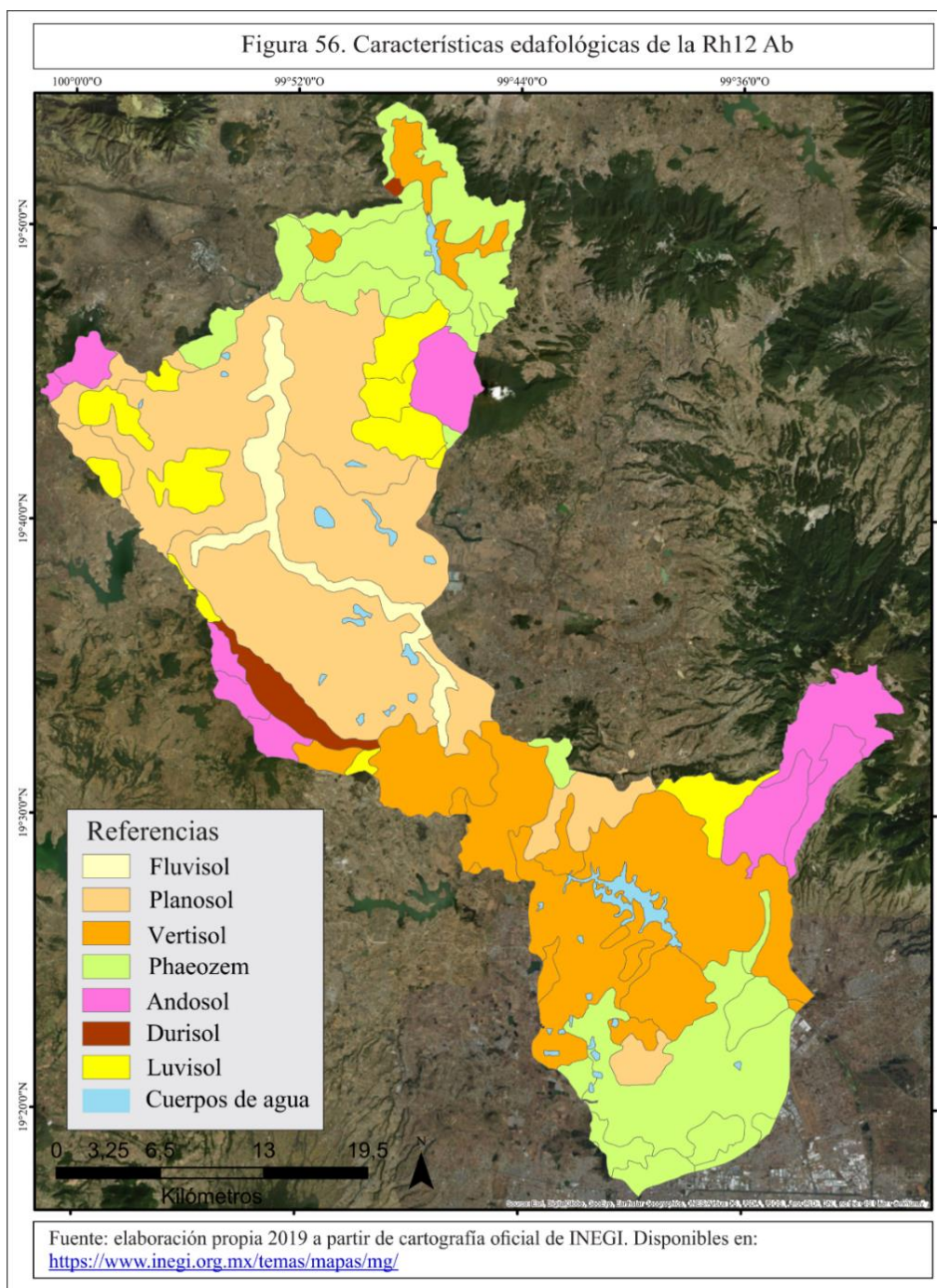
Tabla 44. Precipitación media mensual del mes de julio según Periodos de Retorno para RH12 Ab, periodo 1980-2015

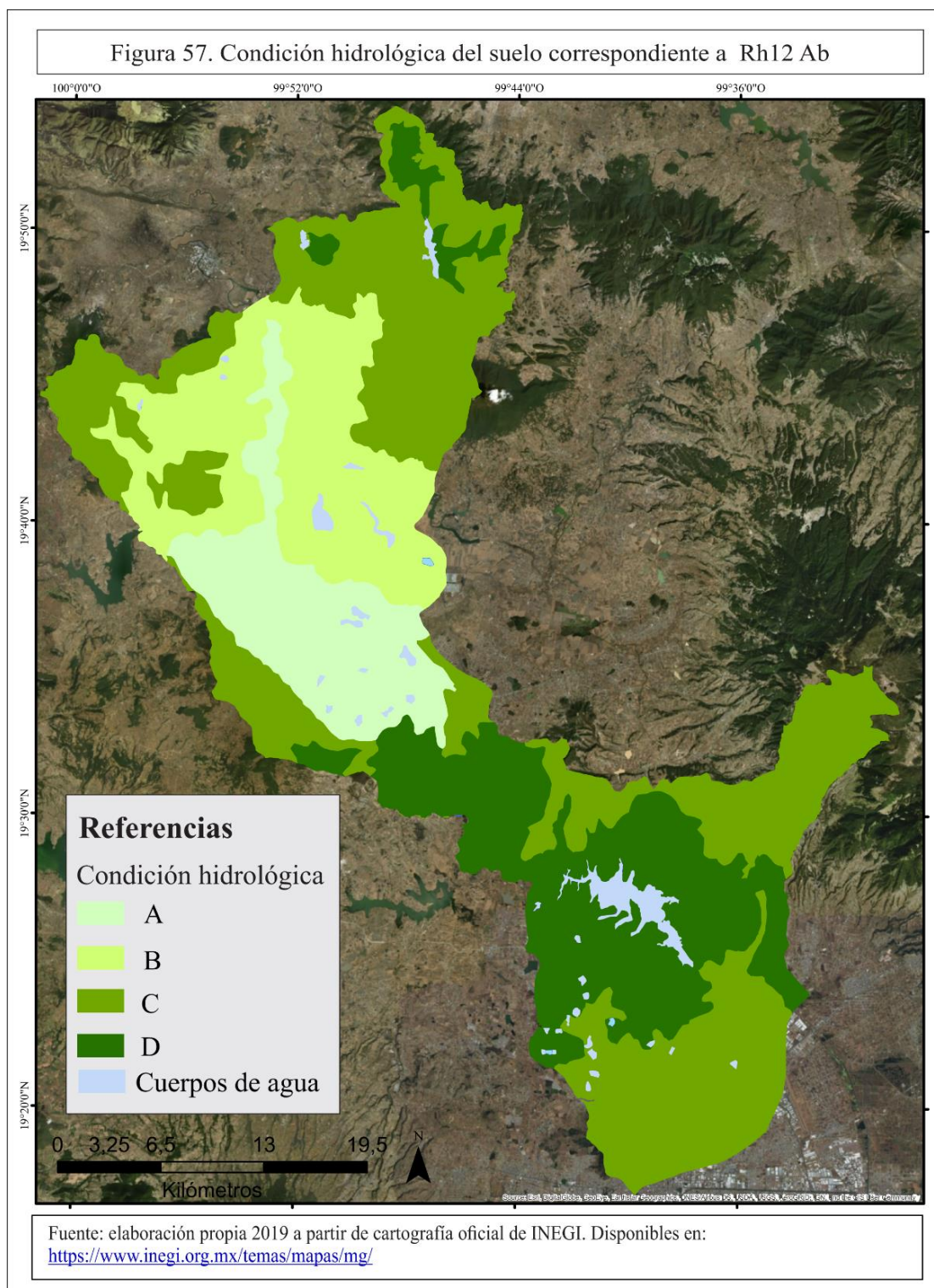
	Periodos de Retorno						
	1000	100	50	20	10	5	2
Probabilidad de que no exceda	1,00	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,50
Variable de Gumbel	6,91	4,60	3,90	2,97	2,25	1,50	0,37
PP en mm de T	643,53	492,84	447,24	386,38	339,37	290,35	216,32

Fuente: elaboración propia

4.3 Edafología y condición hidrológica

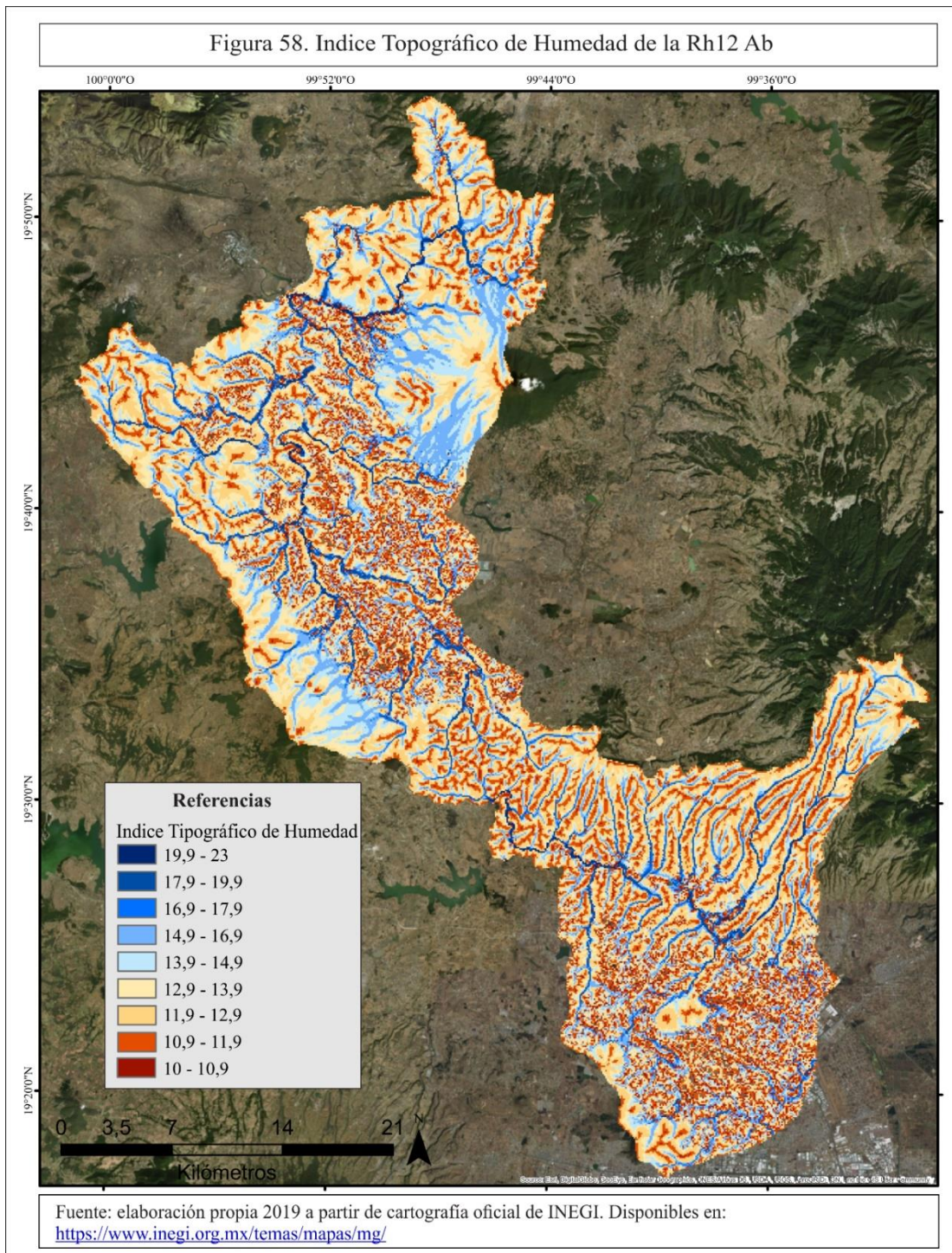
- *Insumos cartográficos.* Cartas Edafológicas 1: 50,000 E14A26, E14A27, E14A28, E14A37 y E14A38. .SHP del INEGI referidos a la RH 12Ab.
- Información edafológica (Figura 56) y condición hidrológica del suelo (Figura 57). La capa de información fue construida a partir de la digitalización de las Cartas Edafológicas. a RH12 Ab se caracteriza por una predominancia de suelos Planosoles, Vertisoles y Phaeozem con una condición hidrológica C y D en el valle de Toluca y una condición A y B en el valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco.





- Índice Topográfico de Humedad (TWI). Se calculó a partir del MDE STRM 90m. Reflejando, la humedad presente del suelo, la tendencia de los mismos a la generación de escorrentías. A mayor humedad (valores desde 12 a 19) más proclives son los suelos a saturarse y a que la precipitación caída sobre ellas se convierta en escorrentía (Figura 58 TWI). Las imágenes Landsat 8 utilizadas corresponden al Path: 027 Row:

046 y Path: 047 Row: 026, ambas con fecha 17/07/2017 (periodo estival de máximas precipitaciones).



4.4 Delimitación de zonas de peligro

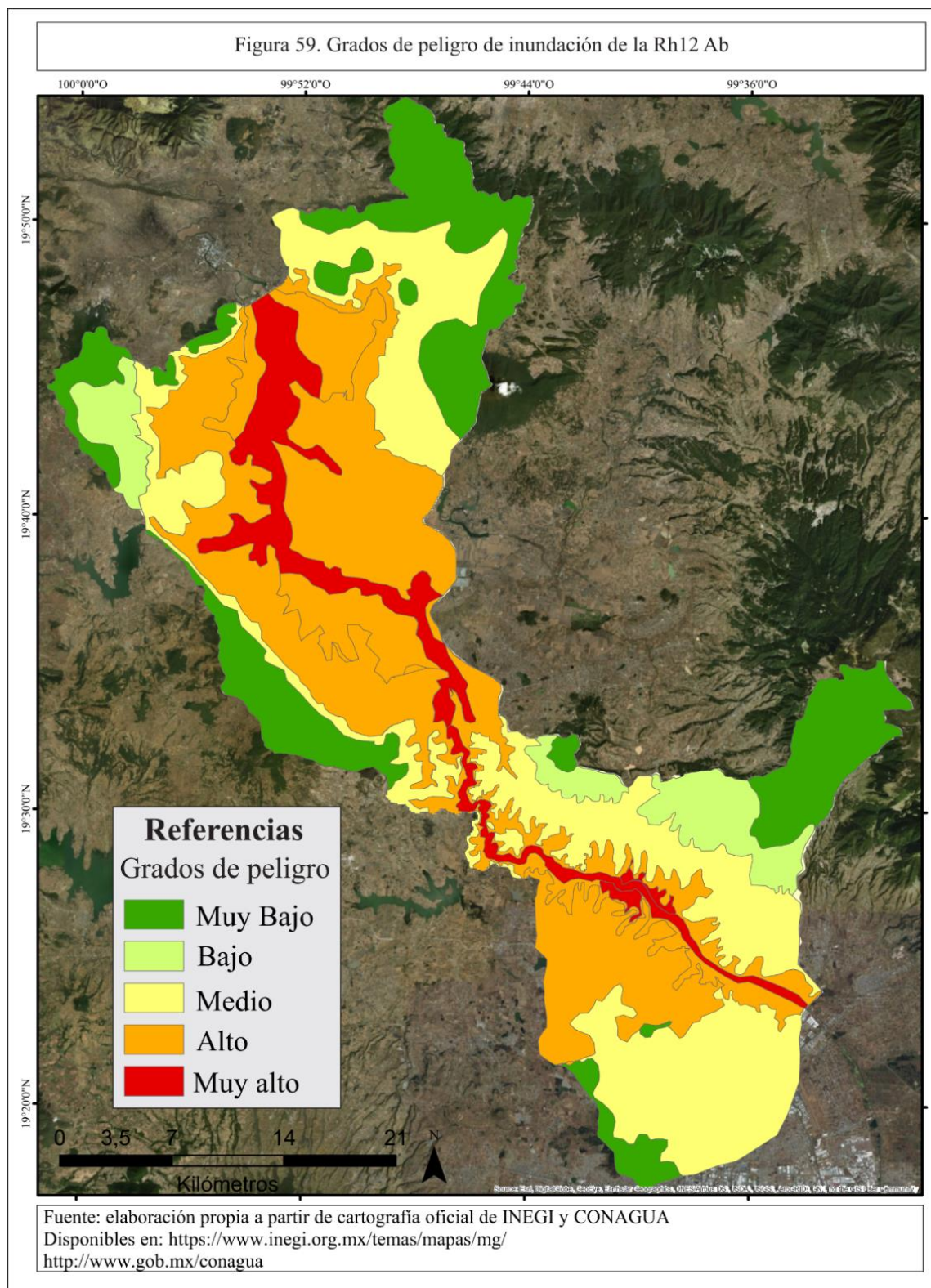
Luego de la combinación de las variables realizadas, el resultado obtenido es que la RH 12 Ab se divide en cinco categorías generales de grados de peligro de inundación



(GPI): zonas con grado de peligro Muy alto, Alto, Mediano, Bajo Muy bajo (Figura 59); establecidos según los siguientes criterios:

- Zonas con grado de peligro Muy alto (T 2 a 5 años): se corresponden con áreas que son cubiertas por agua durante los eventos pluviométricos extremos. Desde vista topográfica, se relaciona con áreas más deprimidas del terreno. Se ubican espacialmente a ambas márgenes del curso principal y parte inmediata del cauce de crecida. Los eventos de inundación son frecuentes. En caso que las zonas coinciden con zonas urbanas, es decir con superficie impermeable, el grado de peligro es extremo.
- Zonas con grado de peligro Alto (T 10 a 20 años): se relacionan con áreas inmediatamente vecinas al cauce de crecida y cuerpo de agua. Desde el punto de vista hidrológico, recibe en primer término el excedente hídrico que no es capaz de transportar el cauce. Espacialmente se encuentra ubicada en la llanura de inundación o con condición hidrológica D y terrenos con una pendiente baja.
- Zonas con grado de peligro Medio (T 20 - 100 años): relacionado con zona se ubica en áreas más elevadas que las anteriores y cuando ocurren intensas precipitaciones son propensas a que se inunden. Espacialmente se encuentra ubicada en el límite de la llanura de inundación y la llanura aluvial, terrenos con una pendiente baja, o condición hidrológica D con presencia de sedimentos lacustres. En caso que las zonas coinciden con zonas urbanas, es decir con superficie impermeable, el grado de peligro es mayor.
- Zonas con grado de peligro Bajo (T 500 - 1000 años): se corresponden a zonas con características geomorfológicas poco propicias para las inundaciones, relacionadas, con altas pendientes que hacen que la susceptibilidad sea baja y nacientes de los cursos de agua colectores del río Lerma. Espacialmente se relaciona con las áreas del piedemonte serrano que enmarca la cuenca. Los eventos de inundación sólo en forma muy ocasional o extraordinaria. Sin embargo, cuando ocurren intensas precipitaciones en combinación con la pendiente pronunciada se producen eventos de inundaciones súbitas sin ser afectadas por la permanencia de la acumulación de aguas.

- Zonas de peligro Muy bajo o nulo: son zonas que no cumplen con las condiciones anteriores que además topográficamente poseen la mayor elevación y mayor pendiente. Son áreas no inundables.



El mapa muestra que existen geometrías, que depende en gran medida de su red de drenaje y de la delimitación de la morfología fluvial en relación con los demás



parámetros analizados: morfoestructura, geología, edafología, condición hidrológica, condición de humedad del suelo a través del TWI y régimen de precipitaciones.

La superficie que abarca cada uno de los GPI, en km², y su respectivo porcentaje con respecto a la superficie total de la cuenca, se observan en la Tabla 45, en donde se observa que las zonas agrícolas – ganaderas son las que abracan mayor superficie dentro de los cinco GPI, debido a que es el uso de suelo de mayor extensión en el área de estudio.

Tabla 45. Superficie en km² y porcentaje de superficie de los grados de peligro de inundacion de la RH12 Ab

GPI	Superficie en km ²	Porcentaje de superficie
Muy alto	86.7	7.64
Alto	416.58	36.70
Medio	308.65	27.19
Bajo	106.8	9.41
Muy Bajo	216.27	19.05
Total RH12 Ab	1,135 km²	

Fuente: elaboración propia

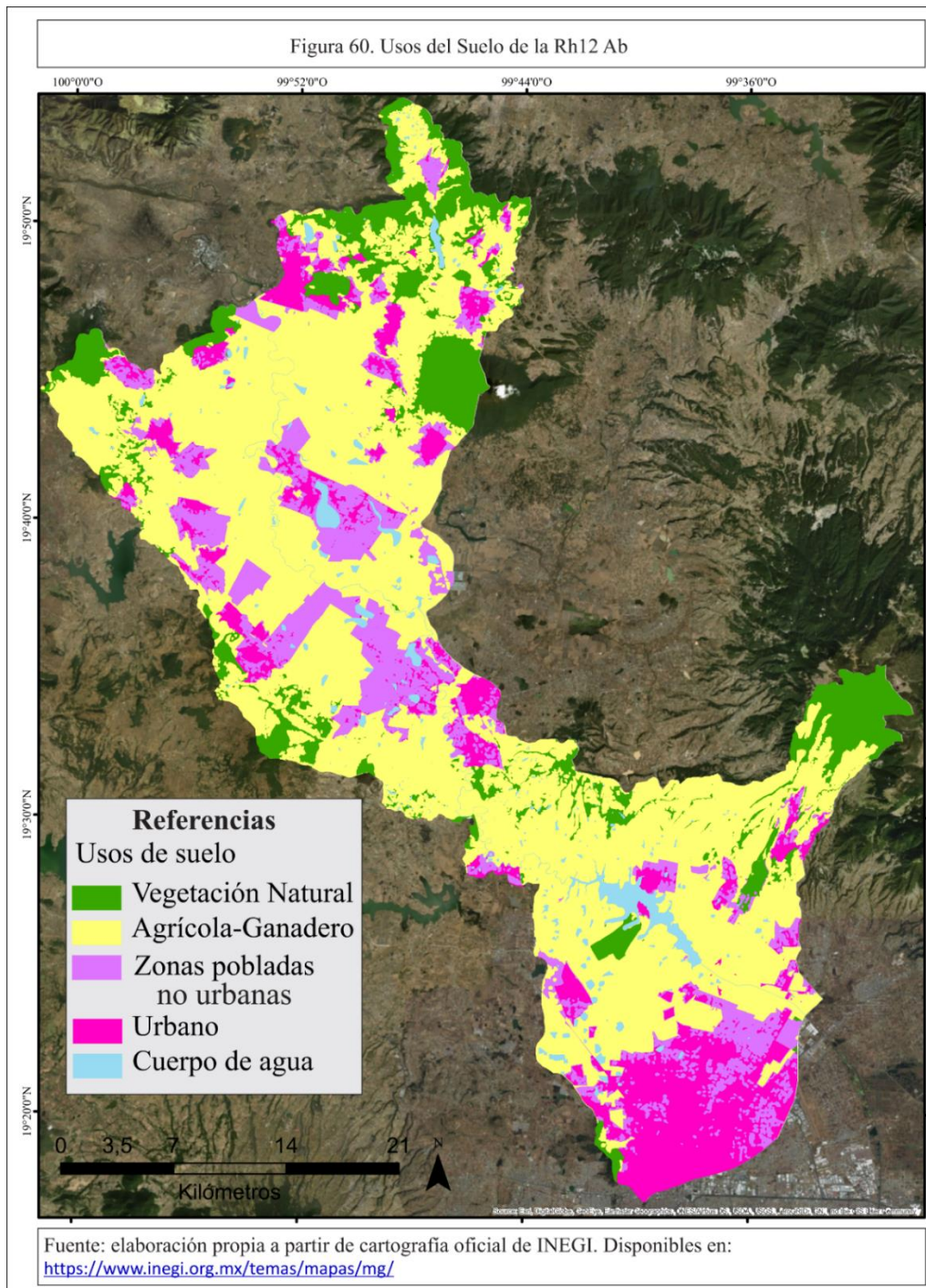
4.5 Relación de las zonas de peligro con el uso y ocupación del suelo

- Insumos cartográficos oficiales: Cartas de Uso del Suelo y Vegetación E14-2 Serie V² a escala 1:250.000 e información de la Carta Topográfica Serie III a escala 1:50,000 E14A17, E14A26, E14A27, E14A28, E14A37 y E14A38.
- Las imágenes Landsat 8 utilizadas corresponden al Path 027 y Row 046 / Path 026 y Row 047 ambas con fecha 29/06/2016.
- Herramienta Google Earth Pro: imagen satelital DigitalGlobe con fecha 05/07/2017.
- Clasificación de usos del suelo y ocupación. Se utilizaron las categorías de Vegetación natural (172,68 km²), Zonas pobladas no urbanas (174,83 km²), Zonas urbanas (147,52 km²), Zonas agrícola -ganaderas (605, 98 km²) y Cuerpos de agua (33,99 km²) los cuales se presentan en la Figura 60. La mayor concentración de las zonas urbanas y pobladas no urbanas se localizan en los valles de Toluca e Ixtlahuaca – Atlacomulco. Se observa un predominio de las zonas agrícolas – ganaderas y la localización de las zonas de vegetación naturales se concentra en

² Las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:50,000 que están en formato digital y corresponden al área de estudio no son acordes para la realización del estudio, debido al año de publicación: E14A17 año 1976 y 1977; E14A27 año 1975; E14A 37 año 1976 y 1977; E14A38—año 1975 Y 1977; E14A28 año 1976.

las partes altas de la cuenca correspondientes a las zonas de las serranas y de mayor pendiente, donde la utilización de la tierra para el desarrollo de actividades económicas es menos propicia.

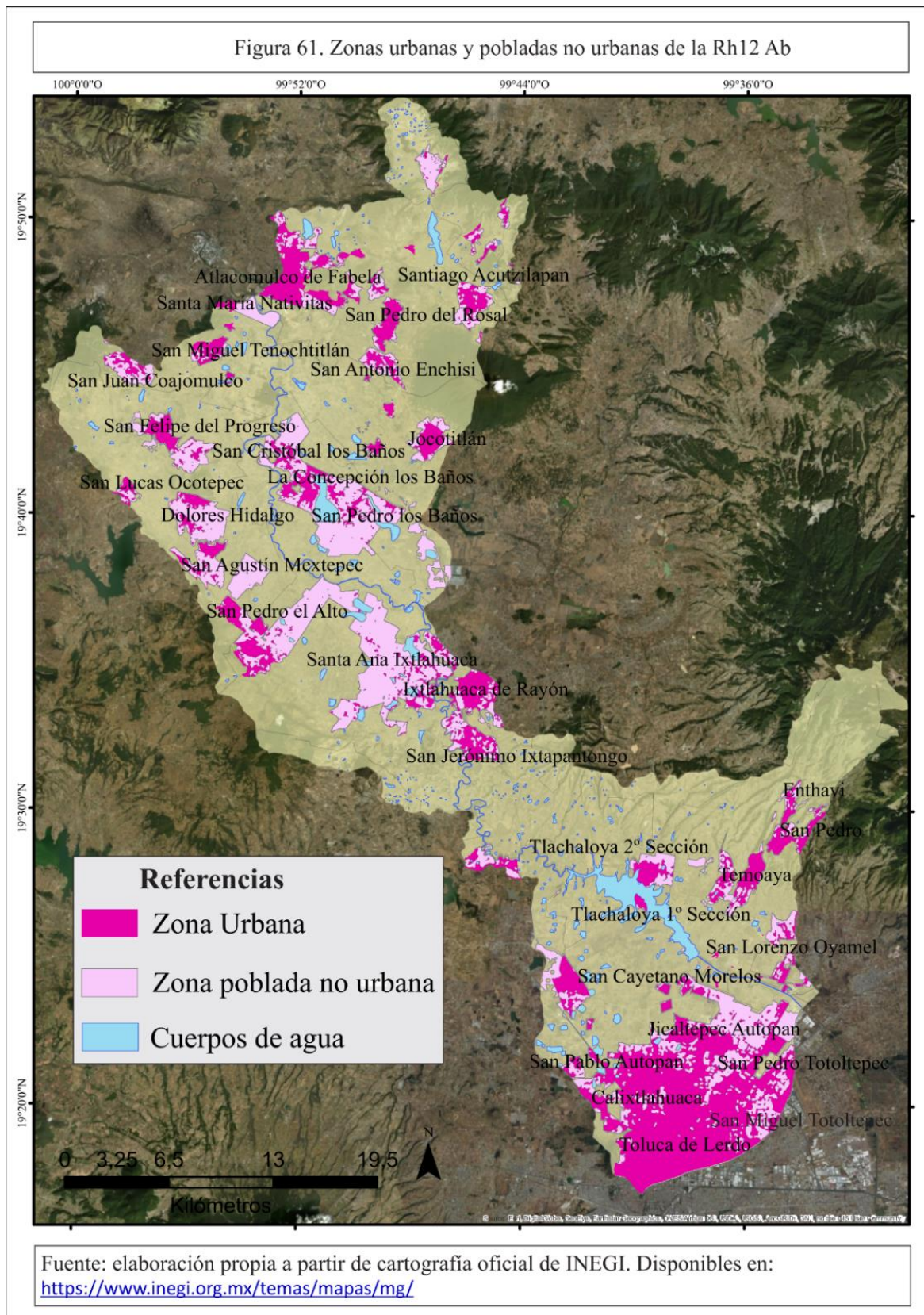
Cabe mencionar, que la reclasificación de los usos del suelo, no es tarea sencilla, primeramente, porque las capas de información .shp correspondientes a las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación Serie V y Cartas Topográficas Serie III poseen errores topológicos y geométricos importante; a ello se debe sumar que los usos el suelo y formas de ocupación del territorio, son heterogéneos en sí mismos.

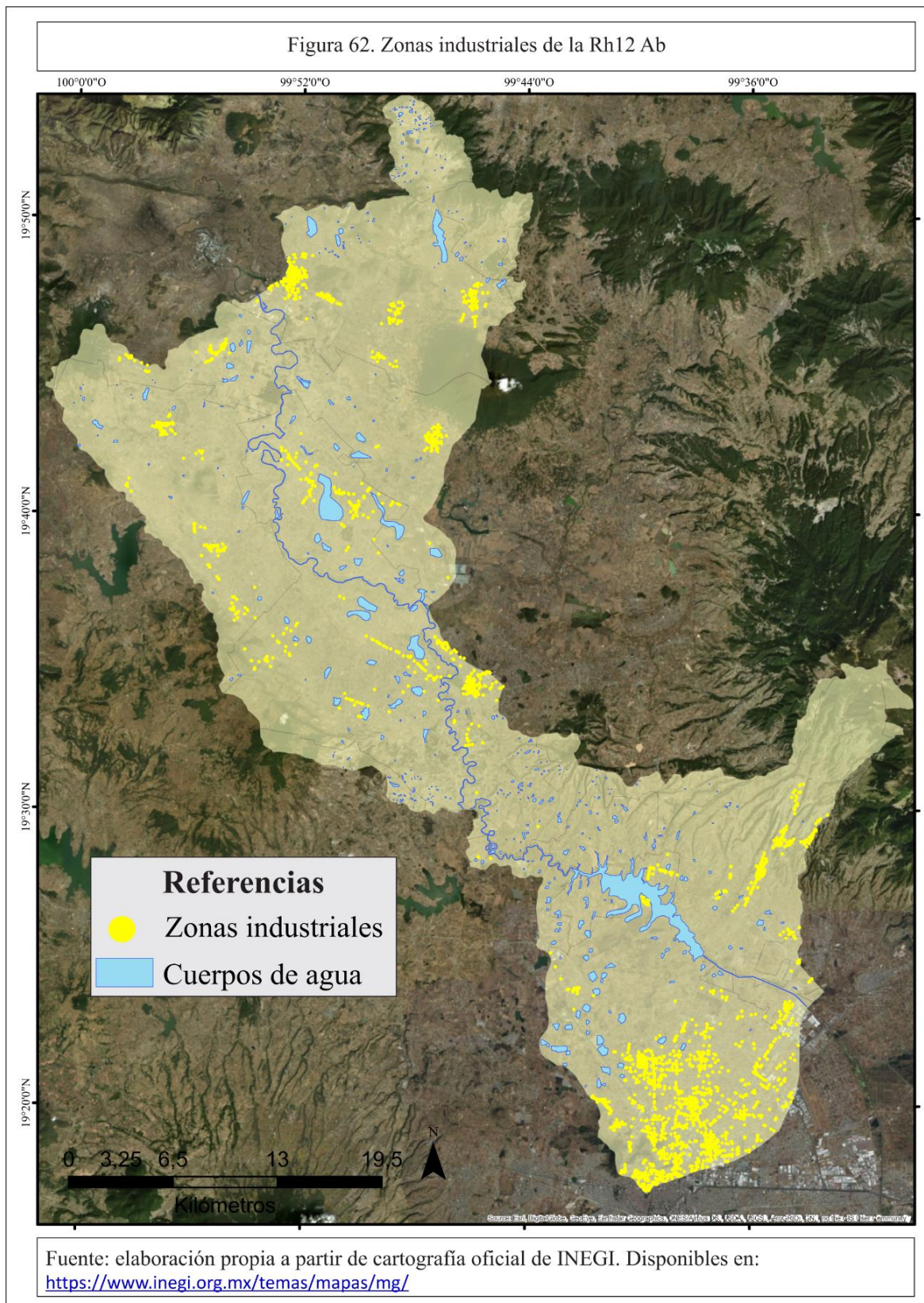


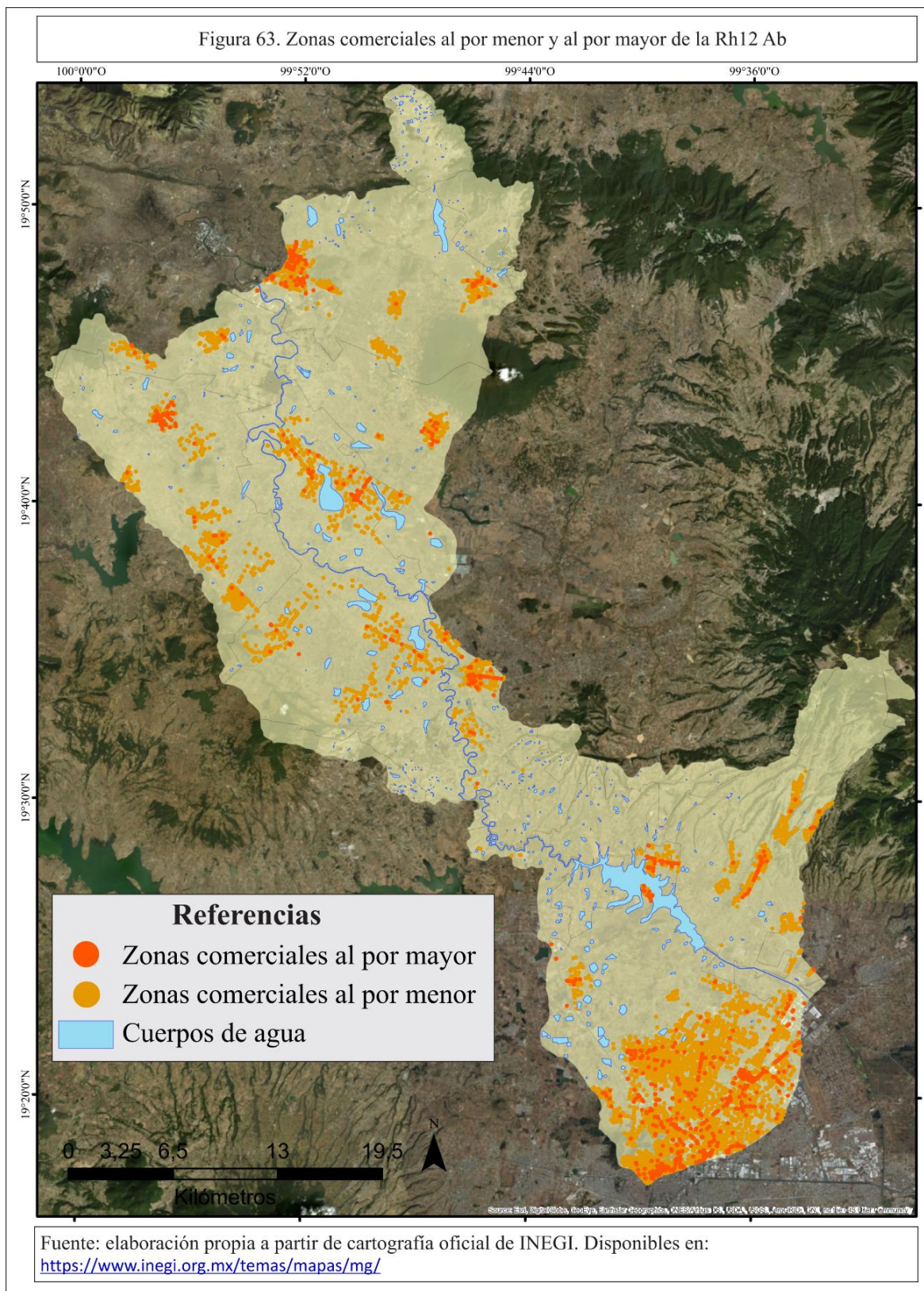


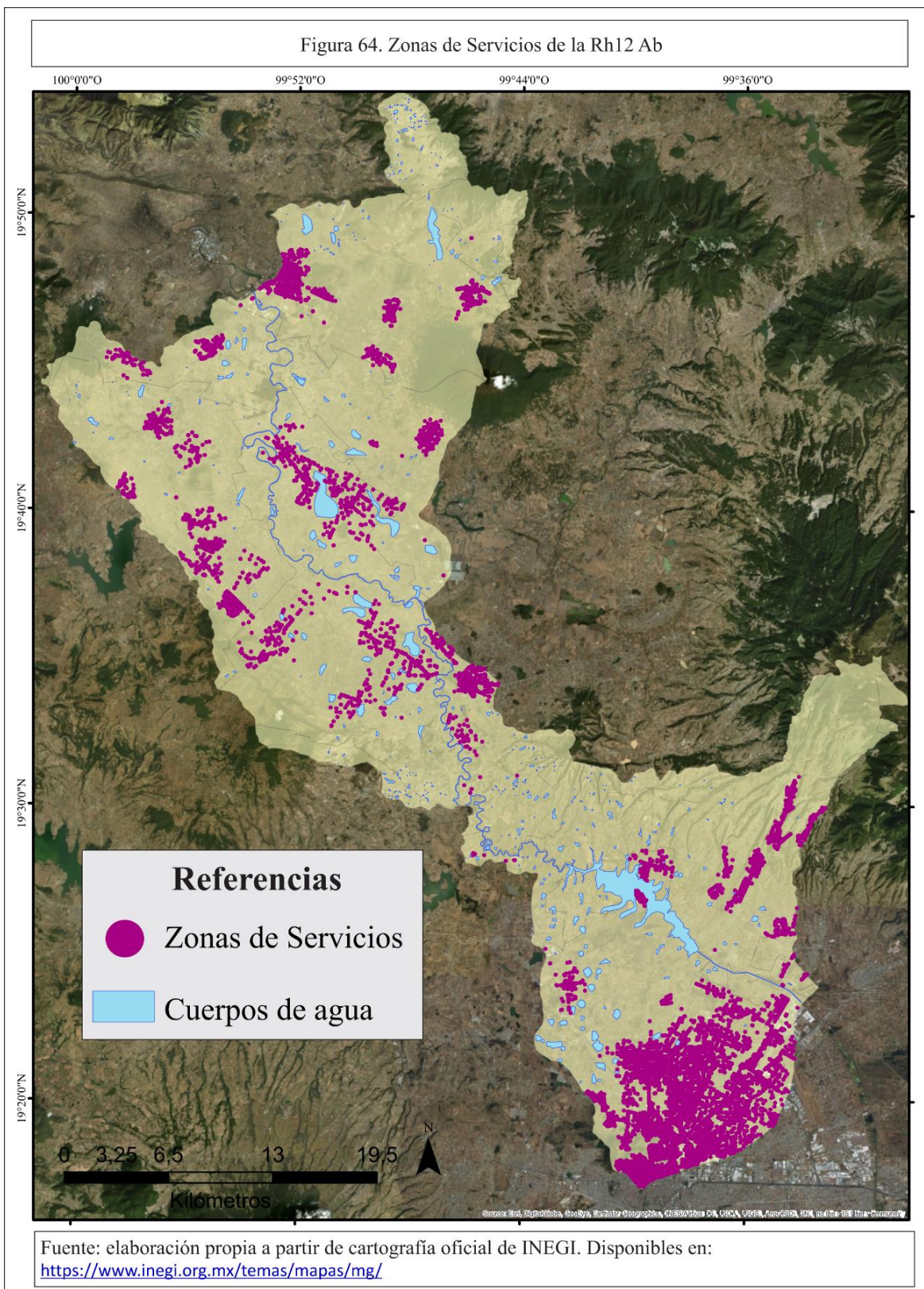
Por ejemplo, dentro de la configuración urbana, se identificaron localidades que se encuentran en fase de transición, localidades con alternancia de espacios rurales y áreas urbanas, por lo general son las localidades consideradas por el INEGI como localidades rurales (hasta 2,499 habitantes) y zonas semiurbanas (2,500 a 14,999 habitantes). Son áreas heterogéneas en cuanto a su uso y ocultan la verdadera situación de la población. Por ejemplo, dentro de la trama urbana de la ciudad de Toluca y zonas conurbadas, es común encontrar parcelas dedicadas a la agricultura, muchas en actividad y otras abandonadas. Ejemplo de ello son las localidades de Jalatlaco, Lerma, San Pedro Totoltepec, Oztolotepec, San Pedro de los Baños. Además, dentro de las zonas consideradas agrícolas por el INEGI se localizaron alrededor de 230 asentamientos rurales que presentan características urbanas en cuanto a su fisionomía y actividad económica, por este motivo fueron consideradas zonas urbanas – rurales.

En la Figura 61 se observan las localidades urbanas y zonas pobladas no urbanas (semiurbanas) con sus respectivos nombres para una mejor caracterización. Además, en este apartado se localizan las zonas industriales con 3,227 empresas manufactureras (Figura 62), comerciales al por mayor y al por menor con 18,326 empresas (Figura 63) y de servicios con 25,629 empresas (Figura 64) dentro del área de estudio, por municipio. Las últimas tres zonas tienen una concentración mayor en las zonas urbanas de los municipios de Toluca, Ixtlahuaca y Atlacomulco.







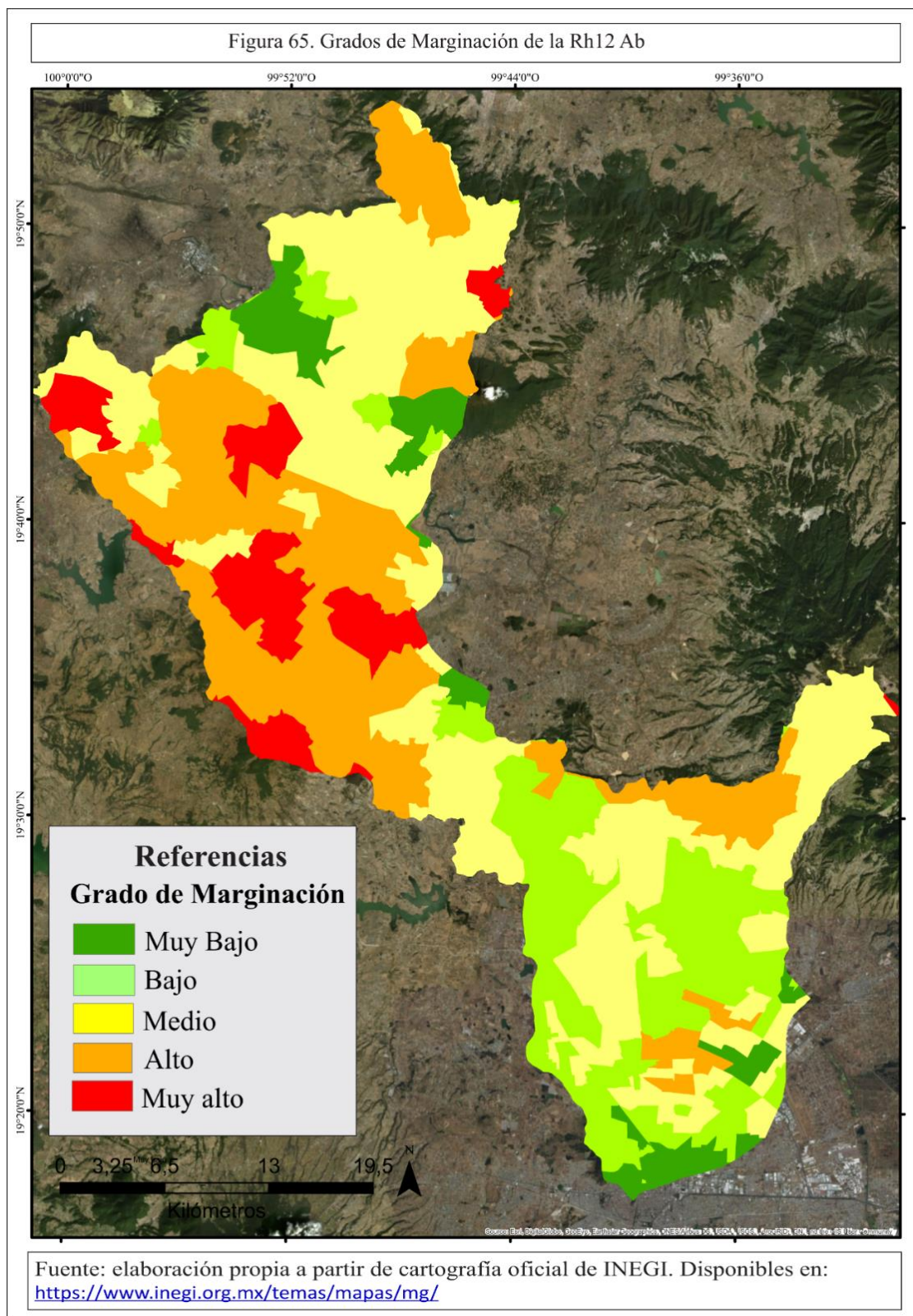




En cuanto a los grados de compatibilidad, el mismo se establecerá al momento de la caracterización de las zonas establecidas para la estimación económica de los daños. El uso correspondiente a la vegetación natural no posee ninguna limitación.

4.6 Análisis de exposición y vulnerabilidad

- Grado de antropización de la cuenca: 55 % de superficie antropizada. Grado Medio – Alto.
- La superficie sembrada en la RH12 Ab con Maíz de Temporal de grano fue de 72,998 ha con mayor superficie sembrada en municipios de San Felipe del Progreso e Ixtlahuaca; y forrajero 538 hectáreas, registrando mayor superficie cultivada en los municipios de Atlacomulco e Ixtlahuaca.
- Cantidad de localidades urbanas: 60
- Cantidad de localidades rurales: 230
- Total de población y densidad en la RH12 Ab: 908,997 habitantes, 800 habitantes por km².
- Localidades urbanas y semiurbanas más importantes según cantidad de habitantes: Toluca de Lerdo 489,333 habitantes, San Pablo Autópan 35,141 habitantes, San José Oztacatipán 31,299 habitantes, Atlacomulco de Fabela 22,774 habitantes, San Mateo Oztacatipán 22,656 habitantes. Toda esta localidad, a excepción de Atlacomulco, se localizan en el sur de la RH12 Ab y conforman una aglomeración urbana, junto con otras localidades, denominada Zona Metropolitana del Valle de Toluca, la cual contiene la mayor cantidad de empresas manufactureras (1,569) comerciales (10,237) de servicios (14,360). Los motivos del comportamiento de la concentración de empresas en este sector de la subcuenca ha sido producto de una serie de factores entre los que sobresale el acelerado proceso de industrialización experimentado en las últimas décadas en los corredores Toluca-Lerma, así como la cercanía con la ciudad de México.
- Grado de Marginación por Sección Electoral (SE) de la RH12 Ab se presenta en la Figura 65, en la cual se observa una concentración del grado de marginación (GM) Muy alto y Alto en los municipios de Ixtlahuaca y San Felipe del Progreso. Mientras que los GM Medio se concentran en el municipio de Atlacomulco y los GM Bajos en el municipio de Toluca. Las SE con GM Muy bajo tienen poca representatividad dentro del área de estudio.



El análisis completo del presente apartado se encuentra publicado en la Revista Investigaciones Geográficas de la Universidad de Alicante. Nombre del artículo: “Marginación y costos de inundación en el Estado de México, México” y se presenta en



el apartado Anexos. En dicho artículo se presenta el diseño de cálculo del Índice de Marginación a nivel sección electoral y un estudio multitemporal, principalmente metodológico, para el cálculo de los daños potenciales tangibles directos producidos por inundaciones en las zonas habitacionales del Estado de México a una escala de desagregación detallada como son las secciones electorales.

- Finalmente, para realizar los mapas de exposición y vulnerabilidad, se deben localizar cada una de las zonas, según el grado de peligro de inundación (GPI) que corresponda:
- Zonas habitacionales, agrícolas y empresas con GPI Muy alto.
 - Zonas habitacionales, agrícolas y empresas con GPI Alto.
 - Zonas habitacionales, agrícolas y empresas con GPI Medio.
 - Zonas habitacionales, agrícolas y empresas con GPI Bajo. Z
 - Zonas habitacionales, agrícolas y empresas con GPI Muy bajo.

Las zonas habitacionales corresponden a las zonas urbanas y pobladas no urbanas con la cantidad de viviendas en cada SE según el GPI. A modo de ejemplo en las Figuras 66 (zonas urbanas, pobladas no urbanas y zonas agrícolas) se representa espacialmente un sector de los municipios de Ixtlahuaca y San Felipe del Progreso; y Figura 67 (empresas manufactureras, de servicios y comercios) en la localidades de San Cristóbal de los Baños y La Concepción de los Baños para el grado de peligro de inundación Muy alto; y en las Figuras 68 (zonas urbanas, pobladas no urbanas y zonas agrícolas) y Figura 69 (empresas manufactureras, de servicios y comercios) el grado de peligro Alto para el mismo área. Las zonas urbanas y pobladas no urbanas se representan según el grado de marginación correspondiente.

En la Tabla 46, se presenta la superficie total de zonas urbanas y zonas pobladas no urbanas, denominada como zonas habitacionales, cantidad de viviendas habitadas afectadas y superficie de zona agrícola afectada por GPI en la totalidad de la RH12 Ab.

Tabla 46. Superficie en km² de zonas habitacionales, agrícolas y cantidad viviendas afectadas según el grado de peligro de inundación

GPI	Zonas habitacionales km ²	Total de viviendas afectadas	Zonas agrícolas km ²
Muy alto	13.83	13,877	43.01
Alto	105.1	53,351	159
Medio	135.38	99,476	226.8
Bajo	5.99	8,153	96.02
Muy Bajo	28.84	36,807	120.56

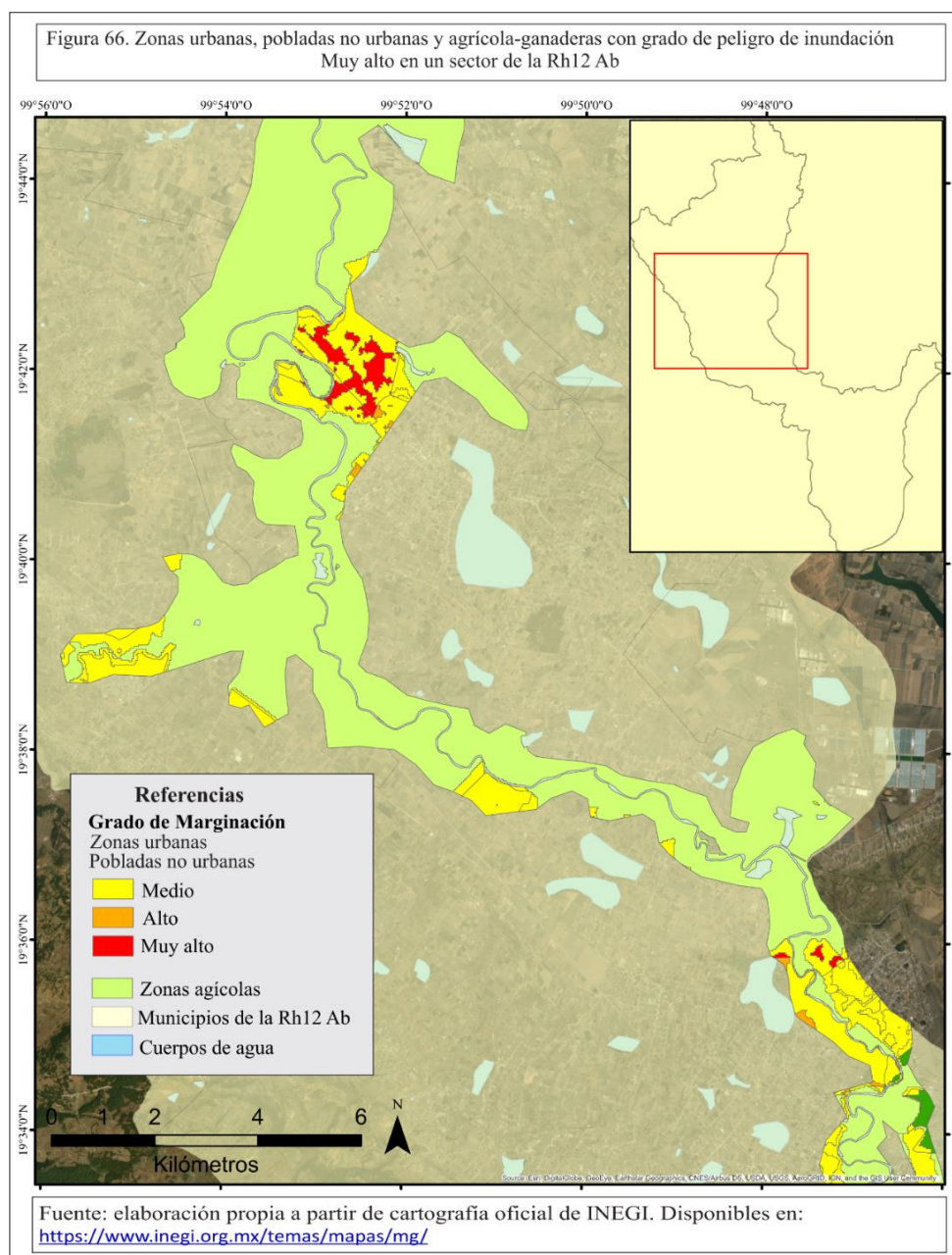
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 47 se presenta la cantidad de establecimientos industriales, comerciales y servicios según GPI.

Tabla 47. Cantidad de establecimientos industriales, comerciales y de servicios afectados según el grado de peligro de inundación

GPI	Zona industrial	Zona comercial		Zona de servicios
		al por mayor	al por menor	
Muy alto	109	21	289	426
Alto	908	322	4,240	6,627
Medio	1,652	883	8,312	12,412
Bajo	130	20	596	881
Muy Bajo	402	93	3,502	5,200

Fuente: elaboración propia



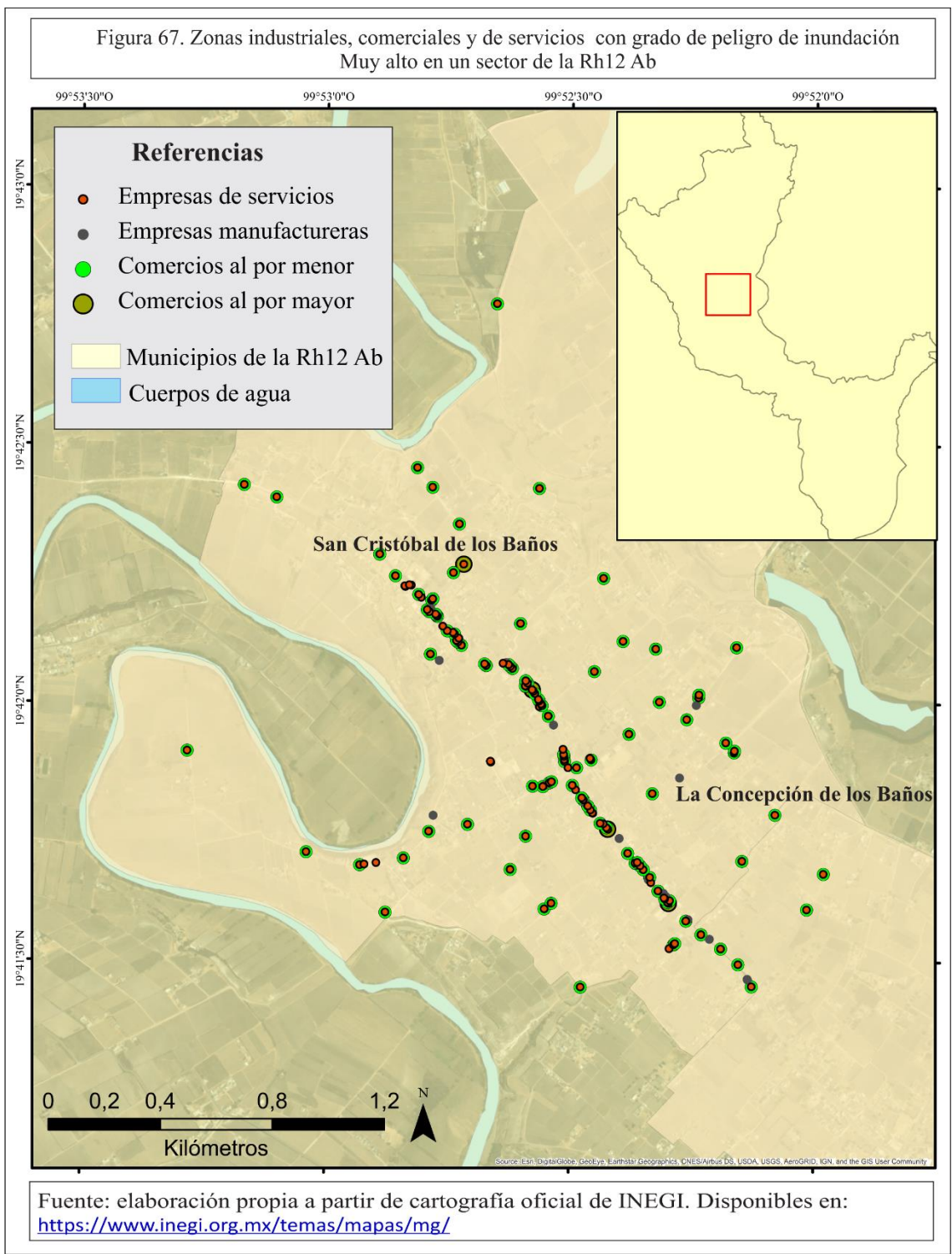
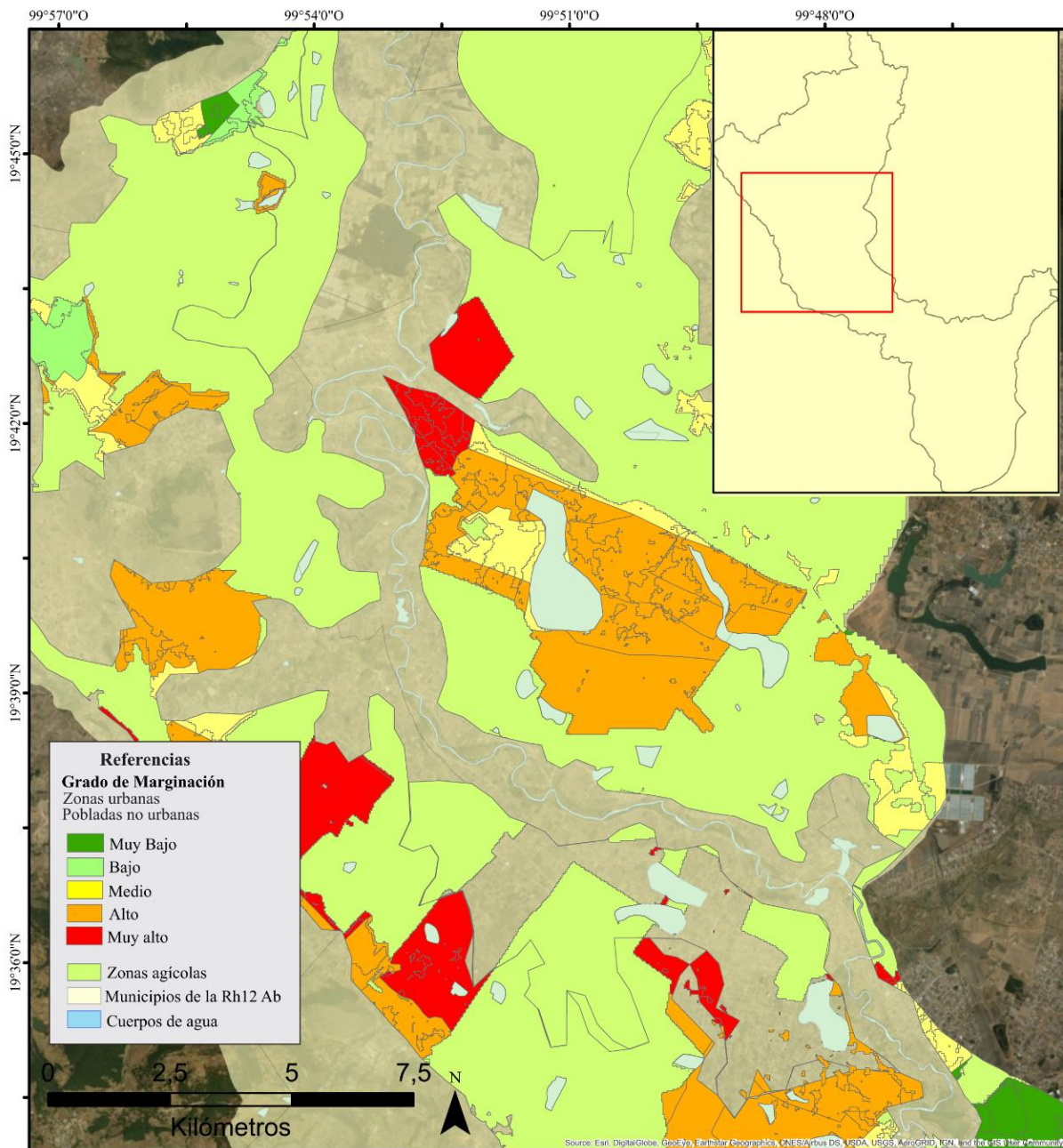
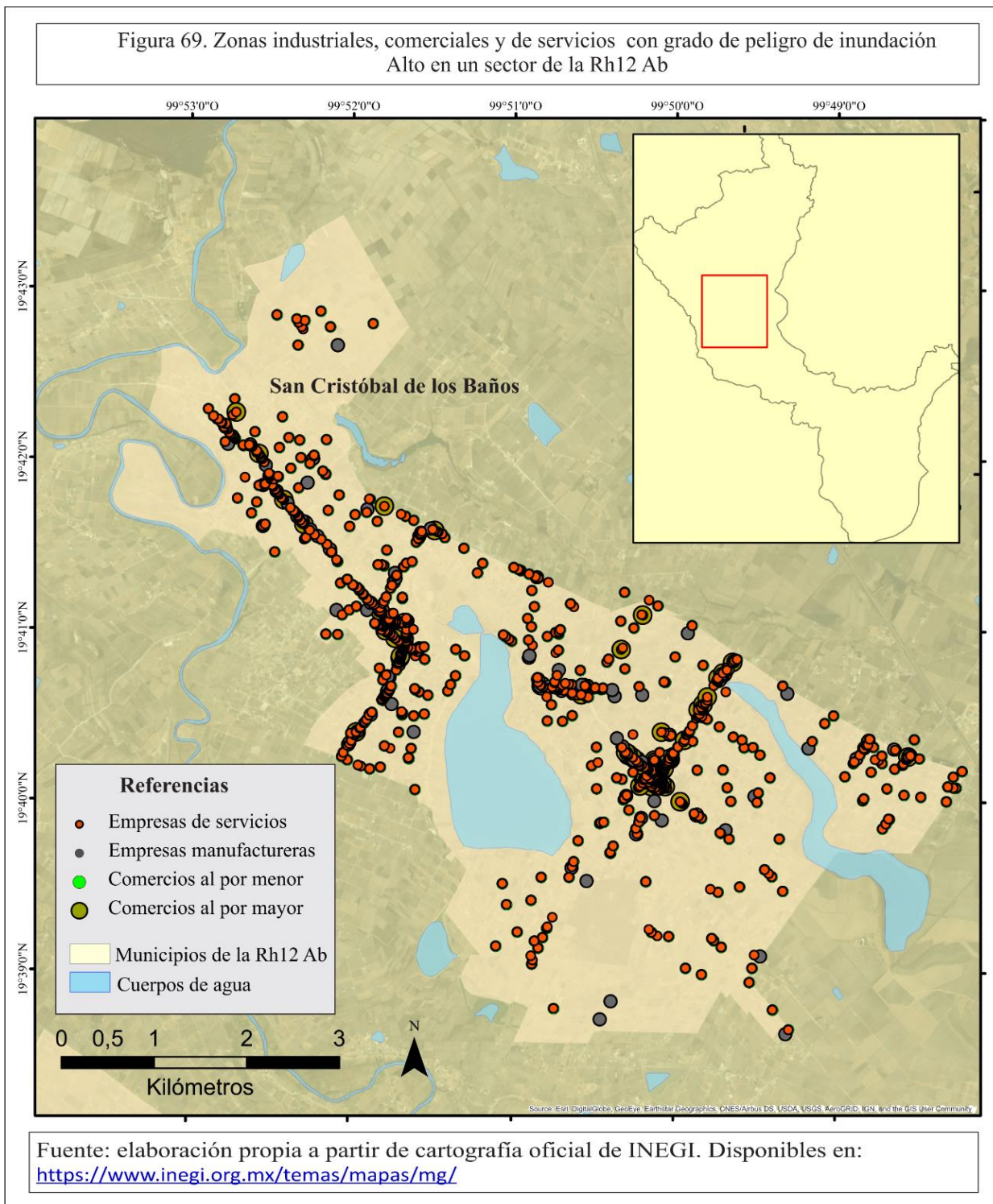


Figura 68. Zonas urbanas, pobladas no urbanas y agrícola-ganaderas con grado de peligro de inundación Alto en un sector de la Rh12 Ab



Fuente: elaboración propia a partir de cartografía oficial de INEGI. Disponibles en:
<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/>



4.7 Estimación de costos de daños tangibles directos más probables

Finalmente, una vez establecidos cuales son los bienes expuestos según el GPI se calcula los daños potenciales tangibles directos de las inundaciones en las zonas habitacionales, agrícolas, industriales, comerciales y de servicios de la RH12 Ab a través



de las ecuaciones propuestas en el apartado metodológico y los daños indirectos se calculan mediante el 10% del valor anterior.

Para realizar el cálculo de costos de daños en las zonas habitaciones según el GPI, se deben establecer la cantidad de viviendas habitadas según el GM para establecer cual ecuaciones aplicar para el cálculo. En la Tabla 48 se presentan el total de vivienda según GM por GPI.

Tabla 48. Cantidad viviendas afectadas según el grado de peligro de inundación por grado de marginación

GPI	Grado de Marginación Muy alto	Grado de Marginación Alto	Grado de Marginación Medio	Grado de Marginación Bajo	Grado de Marginación Muy Bajo
Muy alto	1,467	5,828	8,171	7,784	927
Alto	2,395	11,37	15,143	15,111	10,165
Medio	5,651	10,37	20,661	28,752	27,133
Bajo	1,645	1,251	4,812	2,144	1,246
Muy Bajo	1,05	5,279	7,782	5,576	9,951

Fuente: elaboración propia

A modo de ejemplo en la Tabla 49 se presentan los daños potenciales tangibles directos de los establecimientos manufactureros según un GPI Muy alto, con un total de 109 empresas. En este apartado, se determinó un costo de daño promedio para las empresas de manufactura según su tipo (micro, pequeña, mediana y gran empresa).

Tabla 49. Costo de daños potenciales tangibles directos e intangible más probable por vivienda según altura de lámina de agua (0.10 a 0.50 mts) en establecimientos industriales con grado de peligro Muy alto en la RH12 Ab (pesos Mx 2017)

	Altura de la lámina de agua				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Costo promedio	0	68,338,343.7	102,507,515.55	136,676,687.4	170,845,859.25
Costo establecimientos	0	7,448,879,463.3	11,173,319,194.95	14,897,758,926.6	18,622,198,658.25
Costo intangible	0	744,887,946.3	1,117,331,919.4	1,489,775,892.6	1,862,219,865.8

Fuente: elaboración propia

Discusión

La estimación de zonas de peligro y de los costos de daños que producen las inundaciones, no solo es una preocupación de orden académico por el reto científico y técnico que implica, sino que, además, es un instrumento de gran utilidad para los tomadores de decisiones. Por ello, la mayor precisión es un horizonte que requiere contar con mejores y mayores insumos, así como el desarrollo o complementación de metodologías al respecto. Además, sería de gran utilidad que este tipo de metodologías fuesen, en primer lugar, la base fundamental para la toma de decisiones referidas al ordenamiento territorial, o, mejor dicho, para la reorganización del mismo. Del mismo modo, las metodologías existentes debieran adaptarse a los diversos contextos y realidades de los países latinoamericanos, debido a la gran diversidad físico –natural, social, económica y política de los mismos.

La mayor precisión podría lograrse, de existir la información con un grado de detalle mayor, como por ejemplo estadísticas a nivel manzana, en virtud de que la sección electoral se compone de un conjunto de manzanas. Más aun, sería contar con las bases de datos catastrales por predio, pero con un sistema de clasificación estandarizado a nivel nacional. Sin embargo, el uso de las secciones electorales es el primer paso, ya que permite hacer estimaciones en pequeñas áreas antes de que suceda el hecho, y no como sucede frecuentemente, como una estimación *ex post facto*.

Por otro lado, si bien es cierto que la metodología de estimación de costos de daños, es un avance considerable en esta dirección, lo cierto es que se requiere su análisis y ajuste a niveles más precisos y adecuados, dependiendo principalmente del tipo y calidad de insumo y grado de desagregación de la información disponible.

Es justo reconocer que hay un cierto nivel de incertidumbre que es preciso superar, y que se relaciona, por un lado, con las zonas inundables, ya que fueron estimadas mediante un método específico, pudiendo ser mejorado con la combinación de todos los métodos, logrando una estimación más precisa. Sin embargo, no es tarea sencilla, ya que, para poder lograrlo, es necesario contar con mayor cantidad de datos de calidad, reto necesario para los países latinoamericanos. Es de suma importancia, contar con bases de datos homogéneas y actualizadas, así como también cartografía base detallada en cuanto a la escala temporal y espacial, y confiable en su estructura.

Además, se debe tener en cuenta que la metodología de costos de daños, se podría mejorar teniendo en cuenta los daños estructurales en las construcciones, relacionado



directamente con el tipo de material utilizado, recubrimiento y el tiempo de permanencia de la lámina de agua, aspectos se tendrán en cuenta en próximas investigaciones.

En cuanto a la escala espacial, podría ser mejorada a través dos puntos fundamentales. El primero, es el cálculo de un Índice de Marginación a mayor nivel de detalle como son las manzanas o predios, seleccionando mayor cantidad de variables censales en sus indicadores y de esta manera, se podría lograr mayor precisión en el cálculo de la exclusión social, y el nivel relativo de privación de los beneficios del desarrollo. La caracterización a detalle de los establecimientos industriales, comerciales y de servicios, debería ser otro punto importante para mejora de las estimaciones, al igual que la incorporación de otras actividades económicas dentro del ámbito estatal como es la Floricultura. El segundo punto fundamental, es que al contar con información LIDAR a nivel nacional, se podría mejorar sustancialmente la estimación de zonas inundables, pudiendo lograr la representación del territorio con una precisión centimétrica a través de la construcción de MDE.

El análisis de las variables que se toman en cuenta en este tipo de estudios, es un problema estadístico, por ello el tratamiento de grandes bases de datos, no es tarea sencilla. Ejemplo de ello son las bases de datos climatológicas, que si bien es cierto que la exactitud de las observaciones de elementos climáticos ha evolucionado a lo largo de la historia gracias a los avances tecnológicos, es necesario comprobarse la validez y exactitud de los mismos, ya que para poder ser tomadas como un insumo fundamental en los estudios referidos a la gestión del agua y particularmente de las inundaciones deben aplicarse varias técnicas estadísticas para la mejora de la calidad de las mismas. Además, sería deseable, que la búsqueda de datos iniciales en diferentes fuentes, principalmente los datos públicos sean de fácil acceso y sencilla en su análisis, ya que exista una heterogeneidad en la información, principalmente en nomenclaturas, estructura lógica, criterios y clasificaciones.

Las investigaciones y propuestas de trabajo relacionadas con las cuencas hidrográficas, deberían estar enfocadas a la gestión integral del territorio como un sistema, y no al control de su funcionamiento natural. Siendo preciso contar con marco legal consistente y cumplimentado para mejorar la gestión y planificación de las zonas en riesgo, principalmente las urbanas.

Por último, es necesario recordar que todo modelo es una representación de la realidad, más no la realidad misma, y que toda estimación, por imprecisa que parezca, es mejor a una especulación o ausencia de un cálculo aproximado.



Conclusiones

Según el principio del actualismo, lo que ha sucedido en el pasado puede volver a ocurrir en el futuro si se presentan las mismas condiciones
James Hutton

El riesgo de inundación es una construcción social. Sin la presencia de una sociedad, no hay riesgo. Las inundaciones son eventos naturales que se producen en la mayoría de los sistemas fluviales, el problema surgió cuando el hombre se asentó en lugares inadecuados, en un primer momento, para el aprovechamiento de los suelos fértiles que forman las llanuras aluviales y luego, con el paso del tiempo, las zonas urbanas comenzaron a crecer de una forma desordenada. Se comenzaron a asfaltar grandes superficies, modificando por completo la fisonomía natural del entorno. Las sociedades se hicieron cada vez más urbanas, sin ningún tipo de conciencia y respeto sobre el lugar que habitaban y fue en ese momento, cuando las inundaciones se transformaron en un riesgo.

En el caso particular de México, los esfuerzos gubernamentales para ordenar y gestionar el territorio son evidentes, poseer un marco legal amplio y actualizado en esta temática es muy importante, sin embargo, la plasmación positiva en el territorio no es visible. Año tras año continúa la reincidencia de los sitios inundados, como es el caso de los estados México, CDMX, Tabasco y Chiapas, registrando importantes pérdidas económicas y en algunos casos vidas humanas. Por ende, en realidad, no es un problema de negligencia por parte de la sociedad, sino que es un problema estructural.

En el ámbito estatal, y a partir de la década de los años 50, la expansión industrial que se produce en la CARL comenzó a materializar una transformación regional importante. Las zonas lacustres desecadas que originalmente fueron destinadas a la agricultura, comenzaron a ser utilizadas para la construcción de zonas habitacionales, industriales y comerciales. Actualmente la mayoría de los bordos, desecados, con la intención de darles fines urbanos en el mediano o largo plazo, se encuentran ocupados por asentamientos irregulares que enfrentan peligro considerable de inundación. Se denota un crecimiento desordenado de las construcciones en zonas inapropiadas con escaso control gubernamental, por ello, en este sentido, las inundaciones son procesos que tienen una dimensión pública que dependen de decisiones y omisiones gubernamentales.



Teniendo en cuenta que el riesgo es dinámico en espacio y tiempo, la población es momentáneamente consciente del riesgo, tras un periodo sin inundaciones suelen olvidarlo, posee una “conciencia intermitente” del problema. Sumado a una falta de mantenimiento sobre las obras hidráulicas y cauces, la baja sostenibilidad de los programas de predicción, alerta y actuación frente a emergencias, y la ausencia de proyectos de preparación para el posible fallo de las obras de protección. Hacen pensar que en realidad falta una verdadera gestión del riesgo que debe tener por objeto minimizar las pérdidas tanto de bienes materiales como de la propia vida, teniendo en cuenta las restricciones sociales, económicas y ambientales de una cuenca, además de reducir la vulnerabilidad promoviendo la adaptación y la resiliencia de la sociedad; generar planes sostenibles con la evaluación continua y la toma de decisiones colaborativa entre sociedad civil, empresa privada, todos los niveles del gobierno e instituciones educativas. No solamente hacer algo en el momento de la inundación sino prevenir los efectos del evento.

Las estimaciones de las pérdidas económicas que generan las inundaciones, muchas veces están mal enfocadas, ya que siempre se realizan ex post facto del suceso, sin embargo no se estiman dichas pérdidas con antelación. Hay que cambiar el modo de ver las inundaciones, no se pueden detener los procesos naturales del planeta, debemos convivir con ellos y hacerle frente de la mejor manera. La configuración natural y social del territorio mexicano, lo hace vulnerable a este tipo de eventos. Se debe planificar de una mejor manera. Se ha comprobado que las medidas estructurales que se realizan para controlar y/o mitigar las inundaciones, no son la única solución, por eso se debería pensar otra forma de actuar ante las inundaciones, desde una visión más naturalista, entendiendo sus procesos, convivir con ella, no contra ella. No debemos culpar a la naturaleza por estos fenómenos, ni tampoco adjudicarlos a un castigo divino, sino simplemente entender cómo funciona el sistema en el que la sociedad está inmersa y forma parte.

La estimación de los costos de daños potenciales tangibles directos, producidos por las inundaciones, es de suma importancia para la realización de un adecuado plan de ordenación territorial a través de la correcta planificación y gestión del riesgo. Además, es una herramienta útil para la toma de decisiones por parte, tanto de los gobiernos locales y estatales; pudiendo ser de gran utilidad para el Fondo Nacional de Desastres Naturales de México (FONDEN).

La evaluación de los impactos socioeconómicos de los desastres, tiene como propósito medir en términos monetarios el impacto de los fenómenos naturales en el área afectada. Dicha evaluación debe formar parte de la gestión del riesgo, proceso en el que



se reconoce y valora los peligros, exposición y vulnerabilidad de los bienes expuestos y la sociedad, mediante la formulación de políticas, estrategias, planes, proyectos e intervenciones tendientes a mitigar los riesgos existentes y evitar futuros desastres. Disponer de un medio para determinar el valor de los bienes, es de gran ayuda para determinar la capacidad del área afectada para enfrentar la reconstrucción.

Las causas de las inundaciones dentro del ámbito de las CARL y en la cuenca RH 12 Ab y los efectos negativos derivados de las mismas, se deben a factores determinantes de tipo natural como son las condiciones climáticas, las características morfoestructurales de la cuenca, la intensidad y duración de la precipitación, las condiciones de saturación del suelo y el sistema de drenaje, son los principales. Los parámetros morfométricos de una cuenca, integran el conjunto de estimaciones que se deben realizar, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico. Por lo general son fáciles de obtener y son un punto de partida para otras estimaciones.

Además de las causas naturales, la gravedad de la inundación dependerá de los factores sociales, el agravante antrópico, derivado de los cambios en el territorio, de la presión sobre el uso del suelo con fines productivos y de desarrollo urbanístico, de la intervención sobre los cauces, modificando el comportamiento de los cursos de agua, limitando la capacidad de drenaje y laminación de caudales de inundación. Sumado aun evidente fallo en el ordenamiento y planificación del espacio, permitiendo el desarrollo urbano en áreas con peligro de inundación.

La utilización de los SIG es imprescindible, tanto para la homogenización, análisis, procesamiento de la información, así como para su representación final. Su utilización nos da una visión más clara y precisa de las espacialidad y distribución de los hechos.

La cartografía de riesgos, es una herramienta fundamental para un análisis integral y se deben realizar en función de tres factores fundamentales: el ámbito de aplicación en el que se van a emplear, la escala de trabajo y representación, y los métodos de análisis de la peligrosidad empleados. Así mismo, los mapas resultantes del análisis, poseen un alto valor práctico desde el punto de vista geoambiental porque delimita las áreas en las que puede ocurrir con mayor probabilidad la ocurrencia de fenómenos natural, desde el punto de vista espacial, estableciendo los niveles de peligro de inundación. Las aplicaciones, deben ser dirigidas a múltiples campos, en general relacionados con las medidas preventivas de tipo no estructural, ya que mediante su implementación reducen



el posible impacto de una inundación, a través de la ordenación territorial en diferentes ámbitos y la posible adopción de sistemas de seguros.

A partir de los resultados obtenidos en la realización de la propuesta metodológica, es posible concluir que el desarrollo de la investigación demostró la factibilidad de aplicación de la metodología para estimar zonas inundables y costos de daños por inundación más probables en la subcuenca RH12 Ab R. Oztolotepec – Atlacomulco de una forma sencilla y confiable, pudiendo ser replicada a todo el ámbito estatal. De esta manera, finalmente se verifica la hipótesis planteada al comienzo de la investigación. Mediante el cumplimiento de los objetivos principales y secundarios, se determinó que la propuesta es una metodología sencilla de aplicar y de llevar a cabo, siempre y cuando se tengan en cuenta los pasos a seguir para la construcción de las variables analizadas.

Sin embargo, la recolección de datos, análisis estadístico y de calidad, transformaciones espaciales y geométricas, y organización de los datos de entrada es la tarea que más tiempo puede llevar. Es necesario, además, enmarcar la zona de estudio de estudio donde se desee aplicar, en el ámbito regional, ya que es el punto de partida para los siguientes. Se recomienda la utilización de varias herramientas SIG y métodos de cálculo para un mejor resultado, ya que cada uno de ellos posee potencialidades que debilidades con respecto al conjunto de herramientas.

Por otro lado, la RH12 Ab, forman parte de un sistema mayor, la RH12 A, ambas dentro del ámbito del Estado de México. Es este análisis sistemático el que va a permitir delinear las características generales, para luego determinar las particularidades del área de estudio. La RH12 A, comúnmente denominada CARL y con una superficie de 5,354 km², en su conjunto, constituye un sistema complejo conformado por subsistemas interrelacionados. Es un territorio con una configuración espacial compleja ante las inundaciones, ya que tiene un alto grado de peligro de ocurrencia debido a la combinación de factores climáticos, geomorfológicos e hidrogeográficos, principalmente relacionados con su legado lacustre, en la actualidad desarticulado y deteriorado.

Además, posee un alto grado de vulnerabilidad ante las inundaciones, debido a su importancia económica, social y política dentro del estado. El sistema hidrográfico de la CARL lo conforman, el curso alto del río Lerma, una densa red de corrientes perennes e intermitentes, cuerpos de agua naturales principalmente ciénagas y lagunas de pequeño tamaño y alrededor de 200 obras hidráulicas que cumplen la función de almacenamiento y control de inundaciones los cuales regulan su régimen natural



Dentro de esta configuración regional, la RH12 Ab R. Oztolotepec – R. Atlacomulco, se localiza en el tramo medio de la CARL y abarca una superficie de 1,135 km². La misma fue considerada importante dentro del marco regional, debido a que se concentra una población de aproximada de 1 millón de habitantes, distribuidos en 60 localidades urbanas, incluida la ciudad capital estatal y 230 localidades rurales; además de contener al corredor industrial Lerma-Toluca y zonas con un alto desarrollo de actividades terciarias y de servicios. Posee una configuración compleja desde el punto de vista físico – natural, social y económico, que la hace pertinente para para realizar el estudio.

En el ámbito estatal, se localiza dentro de seis municipios Ixtlahuaca, Toluca, Temoaya, Atlacomulco, Jocotitlán y San Felipe de Progreso y el río Lerma tiene una extensión de 111.6 km el cual corresponde al curso bajo y medio de la CARL. El curso principal, en estado natural se considera un cauce con meandros con un índice de sinuosidad de 1.6. Estructuralmente, se enmarca dentro del Valle de Toluca en la porción sur y en el Valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco en el norte, flanqueada en el este y oeste por las sierras. La elevación media de la cuenca es de 2658 m.s.n.m con una pendiente media de 7.06 %

Es una cuenca sedimentaria y plana en una etapa de vejez, en donde predominan los procesos sedimentarios fluviales, aluviales activos y canalización. Está compuesta por una densa red de drenaje, está compuesta por 467 cursos de agua de condición perennes e intermitentes y 434 cuerpos de agua naturales y artificiales con la presencia de dos presas de almacenamiento y control de inundaciones. Se caracteriza por una densidad de drenaje de textura fina, indicando una alta escorrentía superficial, suelos de baja permeabilidad y susceptibles a la erosión. Presenta un predominio de materiales volcanoclásticos en la zona de los valles conjuntamente con depósitos aluviales y lacustre. Las características morfoestructurales y fisiográficas del área de estudio, sumado a la ocurrencia de inundaciones, se delimitan las delimitan las geoformas fluviales características con sus particularidades.

Las precipitaciones medias anuales son de 804.05 mm, presentando una variación temporal marcada, con una precipitación media estacional en primavera-verano de 711.12 mm, siendo el mes de julio, el de mayor registro de precipitaciones medias mensuales de 185,55 mm. El predominio de suelos corresponde a las formaciones de Planosoles, Vertisoles y Pheozem, con una condición hidrológica C y D en el valle de Toluca y una



condición A y B en el valle de Ixtlahuaca-Atlacomulco. El TWI arroja valores elevados referidos a la capacidad de humedad del suelo a generar escorrentía.

La combinación de todos los factores y variables mencionadas permitieron la zonificación de la RH12 Ab en cinco grados de peligro de inundación (GPI), siendo el grado de peligro Alto el que abarca la mayor superficie, con 417 km², lo cual representa el 36.7 % del total de la superficie, seguido del peligro medio con 309 km² representado el 27.19 % de la superficie total. De acuerdo a su distribución geográfica, se determinó que las zonas de mayor peligro se localizan en el eje del curso principal, las zonas de peligro alto se localizan en las zonas de los valles en combinación en el grado de peligro medio. Finalmente, las zonas de peligro de inundación bajo y muy bajo, corresponden a las partes más elevadas y de mayor pendiente de la subcuenca, las cuales corresponden al piedemonte y partes altas de los sistemas serranos que enmarcan la RH12 Ab.

En cuanto a los usos del suelo, la RH12 Ab se caracteriza por ser Agrícola – Ganadera, con 605,98 km² de superficie, y con distribución homogénea de zonas urbanas y semiurbanas que abarcan una superficie de 323 km², las cuales por la cantidad de habitantes se destaca Toluca de Lerdo y zona conurbada en el sector sur y Atlacomulco en el norte de la subcuenca. El total de viviendas habitadas de la RH12 AB es de 211,664. Además, se localizan 3,227 empresas manufactureras, 18,326 establecimientos comerciales al por mayor y al por menor y 25,629 empresas dedicadas al servicio. Los municipios de Toluca, Ixtlahuaca y Atlacomulco, son los de mayor concentración. Además, se determinó que según el grado de marginación por sección electoral 2010, La RH12 Ab se caracteriza por una concentración del grado de marginación (GM) Muy alto y Alto en los municipios de Ixtlahuaca y San Felipe del Progreso. Mientras que los GM Medio se concentran en el municipio de Atlacomulco y los GM Bajos en el municipio de Toluca y las SE con GM Muy bajo tienen poca representatividad dentro del área de estudio.

A partir del GM de marginación y la relación espacial las áreas habitacionales en un determinado GPI se pudo determinar la cantidad de viviendas que quedarían afectadas por una inundación (según el periodo de retorno y altura de la lámina de agua), del mismo modo con las demás zonas analizadas. En conclusión, los costos de daños serán mayores en las zonas habitacionales con un GM Bajo y Muy Bajo localizadas en zonas de GPI Muy Alto y Alto, el costo de daño será mayor en los establecimientos industriales, comerciales y de servicios que se localicen en zonas con GPI Muy alto y Alto y en las



zonas agrícolas, las áreas localizadas en GPI Muy Alto y Alto, siendo estas últimas las de mayor afectación debido a la superficie que abarcan.

Se pretende la propuesta metodológica de la presente investigación sea útil para la construcción de instrumentos de planificación y gestión territorial, los cuales permitirán definir medidas preventivas y limitaciones en ciertos usos del suelo y, en concreto, en la localización espacial de las actuaciones y actividades humanas. Estas medidas se podrían articular con el planeamiento municipal a través de una normativa técnica y de protección. Los estudios de prevención y efectos producidos por las inundaciones, son indispensable para establecer políticas públicas y conciencia social para evitar, sobre todo, la invasión de zonas inundables. Así como también, es necesario realizar estudios que permitan definir zonas de riesgo por inundación en todo el país y contemplar las acciones estructurales y no estructurales que se requerirán para enfrentar la creciente problemática asociada con las pérdidas socioeconómicas producidas por las inundaciones.

La propuesta metodológica presentada en la investigación podría ser sujeta a modificaciones en futuras investigaciones. Dichas mejoras se relacionan principalmente a la mejora, en cuanto a nivel de detalle y escala temporal de los datos de entrada. Siendo preciso contar con insumos cartográficos de calidad y actualizados para que los resultados obtenidos sean de mayor precisión. Además, con respecto a los cálculos de costos, se podrían sumar en los análisis variables correspondientes a las bases de datos catastrales, logrando de esta manera cálculos de mayor exactitud.



Bibliografía

- Aguilar, A.G. y Escamilla Herrera, I. (2006). Urbanización. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Alcocer-Yamanaka, V.H.; Rodríguez-Varela, J.M.; Bourguett-Ortiz, V.J.; Llaguno-Guilberto, O.J. y Albornoz-Góngora, P.M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. En: Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 5, septiembre-octubre de 2016, pp. 33-55. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. ISSN 0187-8336.
- Aldama Rodríguez, A. (2004). “El agua en México: una crisis que no debe ser ignorada”. En: Jacobo Villa, M. y Saborío Fernández, E. (Coord.) (2004). La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable. Universidad Autónoma Metropolitana. México. ISBN: 970-701-478-4.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). Fundamentos de Hidrología Superficial. México: Editorial Limusa.
- Anderson, B. & Strahler, A. (2008). *Visualizing Weather and Climate*. In collaboration with The National Geographic Society. Publisher of Wiley. ISBN-13 9780470147757. ISBN-10 047014775X.
- Ayuntamiento de Toluca (2016). Previenen inundaciones en Toluca. H. Ayuntamiento de Toluca 2016 – 2018. Recuperado de: <http://www.toluca.gob.mx/portfolio/previenen-inundaciones-toluca/>
- Baró Suárez, J.M., Díaz Delgado, C., Calderón Aragón, G., Esteller Alberich, V., Cadena Vargas, E. y Franco Plata, R. (2012) Metodología para la valoración económica de daos potenciales tangibles directos por inundación. Universidad Autónoma de Estado de México, Estado de México. ISBN: 978-607-422-369-9.
- Barrera, J. M. (3 de noviembre de 2017). En EDOMEX, 157 sitios podrían inundarse. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.mx>
- Beven, K J & Kirkby, M J (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. En: Hydrological Sciences Bulletin, 24:1, 43-69, DOI: [10.1080/02626667909491834](https://doi.org/10.1080/02626667909491834).
- Bescos Atin, A. y Camarasa Belmonte, A.M. (2000). Elaboración de cartografía de zonas inundables. Aplicación al llano de inundación del río Arga (Navarra). Serie Geográfica. N° 9 – 2000:219 – 236. ISSN: 1136-5277.
- Bitrán Bitrán, D. (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 1. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- Bitrán Bitrán, D., Acosta Colsa, L. H.; Eslava Morales, H.; Gutiérrez Martínez, C.; Salas Salinas, M. A. y Vázquez Conde, M.T. (2002). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 3. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- Bitrán Bitrán, D., Jiménez Espinosa, M.; Eslava Morales, H.; Salas Salinas, M. A., Vázquez Conde, M.T.; Matías Ramírez, L. G.; Camacho Quintana, K. S. y Acosta Colsa, L. (A-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 2. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- Bitrán Bitrán, D., Domínguez Morales, L.; Durán Hernández, R.; Fuentes Mariles, O.; García Arróliga, N.; Jiménez Espinosa, M.; López Batíz, O.; Matías Ramírez, L. G.; Reyes Salinas,



- C.; Salas Salinas, M. A. y Zepeda Ramos, O. (B-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 4. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- Bitrán Bitrán, D., García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Salas Salinas, M. A.; Eslava Morales, H.; Gómez Vázquez, A.; Martínez Bringas, A.; Matías Ramírez, L.G.; García Jiménez, F.; Vázquez Conde, M. T.; Salas Salinas, M. A.; Jiménez Espinosa, M.; Eslava Morales, H.; Salas Salinas, M. A.; Pacheco Martínez, M. Á.; Reyes Salinas, C. y Gutiérrez Martínez, C. A. (C-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 5. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- Bitrán Bitrán, D., García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Eslava Morales, H.; Jiménez Espinosa, M.; Salas Salinas, M. A.; Zepeda Ramos, O. y Vázquez Conde, M.T. (D-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2004. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 6. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2004). Atlas de inundaciones N° 10. Temporada de lluvias 2003. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2005). Atlas de inundaciones N° 11. Temporada de lluvias 2004. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2006). Atlas de inundaciones N° 12. Temporada de lluvias 2005. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2007). Atlas de inundaciones N° 13. Temporada de lluvias 2006. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2008). Atlas de inundaciones N° 14. Temporada de lluvias 2007. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2009). Atlas de inundaciones N° 15. Temporada de lluvias 2008. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2010). Atlas de inundaciones N° 16. Temporada de lluvias 2009. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2011). Atlas de inundaciones N° 17. Temporada de lluvias 2010. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2012). Atlas de inundaciones N° 18. Temporada de lluvias 2011. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2013). Atlas de inundaciones N° 19. Temporada de lluvias 2012. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>



- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2014). Atlas de inundaciones N° 20. Temporada de lluvias 2013. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2015). Atlas de inundaciones N° 21. Temporada de lluvias 2014. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2016). Atlas de inundaciones N° 22. Temporada de lluvias 2015. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2017). Atlas de inundaciones N° 23. Temporada de lluvias 2016. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- CAEM Comisión del Aguas del Estado de México (2018). Atlas de inundaciones N° 24. Temporada de lluvias 2017. Gobierno del Estado de México. México. Recuperado de: <http://caem.edomex.gob.mx/>
- Callejo, A. (18/05/2018). 15 puntos de riesgo de inundación en Valle de Toluca. Periódico digital Hoy Estado de México. Recuperado de: <https://www.hoyestado.com/2018/05/15-puntos-de-riesgo-de-inundacion-en-valle-de-toluca/>
- Camacho Pichardo, G (2016). “Las lagunas de la cuenca del alto Lerma y los proyectos de desecación, 1857-1940”. En: Sugiura Yamamoto, Y., Álvarez Lobato, J.A. y Zepeda Valverde, E. (Coord.) (2016). La Cuenca del Alto Lerma: Ayer y Hoy. Su historia y su etnográfica. Estado de México: Colegio Mexiquense, A. C y Gobierno del Estado de México.
- Camarasa Belmonte, A M (2002). “Crecidas e inundaciones”. Capítulo N° 46. En: Ayala Carcedo, F.J.; Olcina Cantos, J. (Coord.) (2002). Riesgos Naturales. Ariel, Barcelona. ISBN/ISSN: 84-344-8034-4.
- Campos Aranda, D F (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del San Luis Potosí. Tercera reimpresión. S.P.L. México: Editorial Universitaria Potosina. ISBN: 968-6194-44-4.
- Cardona, O.D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Ph.D. Thesis, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Cardona, O.D., Hurtado, J. E.; Duque, G.; Moreno, A.; Chardon, A.C.; Velásquez, L.S. y Prieto, S.D. (2005). Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean. Summary Report. En: Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos. Inter-American Development Bank BID/IDEA. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/>
- Cardona, O.D. (2006). Disaster Risk and Vulnerability: Notions and Metrics of Environmental Insecurity for a Decision Science. Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks. En revisión para publicación. Springer-Verlag. Recuperado de: <http://idea.unalmzl.edu.co/documentos/10CardonaRisk&environmentalinsecurity.pdf>
- Cardona, O.D. (2007). A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas. Globalization, Diversity, and Inequality in Latin America: The Challenges, Opportunities, and Dangers. University of Pittsburgh. Recuperado de: <https://www.unisdr.org/2005/HFdialogue/download/tp3-paper-system-indicators.pdf>
- Cardona Carlín, N (2006). Dinámica de la población. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Casado, A., Gil, V., Volonté, A. y Campo, A.M. (2016). Modelos Digitales de Elevación (MDE) e hidromorfometría para el modelado de crecidas en pequeñas cuencas torrenciales no aforadas,



- arroyo San Bernardo, Argentina. En: Las Geotecnologías en los Procesos Ambientales. Bahía Blanca, Ediuns. Capitulo n° 13. ISBN: 978-987-655-173-1.
- Cathalifaud, A y Osorio, F. (1998). “Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas”. En: Cinta de Moebio, núm. 3, 1998. Universidad de Chile. ISSN: 0717-554X.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina (2002). Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Naciones Unidas, Santiago de Chile. ISBN: 92-1-322013-8 ISSN: 1564-4189.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina (2003). Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Naciones Unidas, Santiago de Chile. ISSN: 1564-4189.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina (2014). Manual para la evaluación de Desastres. Naciones Unidas, Santiago de Chile. ISSN: 2013-816.
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2008). Inventario Nacional de Obras de Protección contra Inundaciones en Cauces Naturales. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2013). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT.
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2015). Atlas del Agua en México 2015. Gobierno de la República, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2016). Atlas del Agua en México 2016. Gobierno de la República, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM_2016.pdf
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2018). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales BANDAS. Subdirección General Técnica, Gerencia de Agua Superficiales e Ingeniería de ríos GASIR. México. Recuperado de: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDA_S.htm
- CONAPO Consejo Nacional de Población, 2012: Índice de marginación por localidad 2010, México DF: CONAPO Colección Índices Sociodemográficos. Recuperado de: <http://www.conapo.gob.mx/>.
- Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Comunitat Valenciana (2015). Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA). Direcció General D'ordenació del Territori, Urbanisme i Paisatge. Valencia, España. Recuperado de: <http://www.habitatge.gva.es/documents/20551069/162377494/01+Memoria/9938fc0e-3ba8-4829-8524-5d3afa3542eb>.
<http://www.habitatge.gva.es/documents/20551069/167206402/Gu%C3%ADa+de+aplicaci%C3%B3n+del+PATRICOVA/5d4cdd4a-11e9-4f9c-8cf0-54bc3a3b6ae5>
- Corporación OSSO, La Red y Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastre UNISDR (1994-2016). Proyecto DesInventar. Colombia. Recuperado de: <https://www.desinventar.org/es/desinventar.html>
- Cotler Avalos, H (2006a). “Presas y Bordos”. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Cotler Avalos, H, Garrido Pérez, A. y Enríquez Guadarrama, C. (2006b). Degradación de los suelos. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y



- Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Díaz Delgado, C., Mamadou Bâ, K., Iturbe Posadas, A., Esteller, M. V. y Reyna Sáenz, F (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. En: Ciencia Ergo Sum, vol. 6, núm. 2. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Díaz Delgado, C., Gómez Albores, M A; Hernández Pérez, J.A. (2012). “Modelado hidrológico-hidráulico de inundaciones con estimación de daños directos tangibles”. En: Memoria del XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco, Guerrero. Noviembre 2012.
- Díez Pérez, J A y Gárfias Soliz, J (2005). “Estudios de la evolución de zonas húmedas en la cuenca del valle de Toluca mediante cartografía y fotografías aéreas”. En: Ideas en ciencia, N° 25 (2005). ISSN: 2007-5197. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México UAEM. Toluca, México.
- Corporación OSSO, La Red y UNISRD. (2017). DesInventar Project, Sistema de inventario de efectos de desastres en América Latina. [En línea]. Recuperado de: <http://www.desinventar.org/es/> <https://online.desinventar.org>
- DGPC Dirección General de Protección Civil (2014). Inundaciones. [En línea]. Recuperado de: http://qacontent.edomex.gob.mx/dgproteccion_civil/prevencion/prevencion/fenomenos_per_turbadores/hidrometeorologicos/inundaciones/index.htm
- Díaz Navas, E. (2011). Los Humedales del Río Lerma. Capítulo 13. En: GEM Gobierno del Estado de México & Javier Romero Quiroz (Edit). (2011a). Atlas Ecológico de la cuenca del Río Lerma. Volumen II: Historia. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Estado México, México.
- Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos (2014). Características e Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 14. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- Direction Régionale de l'Environnement y Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction (2007). “L'approche hydrogéomorphologique en milieux méditerranéens. Une méthode de détermination des zones inondables”. Recuperado de: www.paca.ecologie.gouv.fr y www.equipement.gouv.fr
- DOF Diario Oficial de la Federación (23-06-2017). Ley General de Protección Civil. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- DOF Diario Oficial de la Federación 28-11-2016). Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- DOF Diario Oficial de la Federación (24-03-2016). Ley General de Aguas Nacionales. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- DOF Diario Oficial de la Federación (22-11-2002) Decreto Ciénagas del Lerma: 22 de noviembre de 2002. Recuperado de: <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/apff/Cienegaslerma.pdf>.
- Domingo-Santos, J.M., Corral Pazos de Provencs, E., Ruiz Fernández, F., Fernández de Villarán, R. y Redondo Salguero, F.R. (2013). “Cuantificación de la influencia del índice de humedad en la profundidad y capacidad hídrica del suelo”. 6º congreso Forestal Español, 6CFE01-083. Sociedad Española de Ciencias Forestales. ISBN: 978-84-937964-9-5.
- Domínguez-Mora, R.; Arganis-Juárez, M.L.; Guzmán-García, H.; Carrizosa-Elizondo, E.; Esquivel-Garduño, G. y Fuentes-Mariles, G.E. (2016). “Modelos regionales de escurrimientos máximos instantáneos en la república mexicana”. En: Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 5, septiembre-octubre de 2016, pp. 15-32. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. ISSN 0187-8336.



- Edomex Informa. (11/08/2018). Grupo Tláloc atiende afectaciones por lluvia en San Mateo Atenco. Periódico digital Edomex Informa. Recuperado de: http://edomexinforma.com/2018/08/grupo-tlaloc-atiende-afectaciones-por-lluvia-en-sanmateoatenco/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=facebook
- Edomex Informa. (12/07/2017). CAEM activa operativo ante fuertes lluvias en el Valle de Toluca. Periódico digital Edomex Informa. Recuperado de: <http://edomexinforma.com/2017/07/caem-activa-operativo-ante-fuertes-lluvias-en-el-valle-de-toluca/>
- Ellis, E. A.; Romero, J. A.; Hernández, I.U.; Gallo, C. A. y Alanís, J. L. (2012). “Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz”. En: Avances en Investigación Agropecuaria Núm. 16(1). 7-28 pp. Universidad de Colima, México. ISSN: 0188789-0.
- EM-DATA The International Data Base. (2017). OFDA/CRED. Centre for research on the epidemiology disasters. [En línea] Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium. Recuperado de: www.emdat.be
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2009) ¿Por qué invertir en la ordenación de las Cuencas hidrográficas? Publicaciones Electrónicas FAO. Roma. ISBN-978-92-5-305805-1. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s01.pdf>
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo: Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional. Primera Actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2009). Guía para la descripción de suelos. FAO, Roma.
- Fernández, E. (19 de febrero de 2017). Más de 40 mil empresas en EDOMEX, sin permiso de uso del suelo. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.mx>
- Fregoso Domínguez, A. (2006). Vegetación y uso del suelo. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Fregoso Domínguez, A. y Esquivel Esquivel, N. (2006). Cambios en el uso del suelo. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Gaceta del Gobierno Periódico Oficial N° 48. (2012 a). Plan de Desarrollo del Estado de México 2011-2017. Gobierno del Estado de México. 13 de marzo de 2012. Disponible en: <http://transparenciafiscal.edomex.gob.mx/sites/transparenciafiscal.edomex.gob.mx/files/files/pdf/marco-programatico-presupuestal/PED-2011-2017.pdf>
- Gaceta del Gobierno Periódico Oficial N° 118. (2012 b). Decreto N° 524: Ley de Protección Civil del Estado libre y soberano de México. Gobierno del Estado de México. 19 de diciembre de 2012. Recuperado de: <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2012/dic196.PDF>
- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Bitrán Bitrán, D.; Matías Ramírez, L.G.; Jiménez Espinosa, M.; Eslava Morales, H.; García Jiménez, F.; Vázquez Conde, M.T.; Salas Salinas, M.A.; Fuentes Mariles, O. A. (2006). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2005. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 7. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>



- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Jiménez Espinosa, M.; Salas Salinas, M.A.; Eslava Morales, H.; Matías Ramírez, L.G. y García Jiménez, F. (A-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2006. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 8. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Eslava Morales, H.; Jiménez Espinosa, M.; García Jiménez, F.; Matías Ramírez, L.G y Domínguez Morales, L. (B-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2007. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 9. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Eslava Morales, H.; García Jiménez, F.; Jiménez Espinosa, M.; Matías Ramírez, L.G; Salas Salinas, M.A. y Domínguez Morales, L. (C-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2008. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 10. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Salas Salinas, M.A.; García Jiménez, F.; CEPAL (D-2014). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2009. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 11. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Troncoso Arriaga, N.; Matías Ramírez, L.G; Domínguez Morales, L.; Martínez Bringas, A.; Tiburcio, C. A.; Jiménez Espinosa, M.; Robles Montero, T. P.; García Jiménez, F. y Salas Salinas, M.A (E-2014). Características e Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 12. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Cambranis, R.; Méndez Estrada, K.; Troncoso Arriaga, N.; Salas Salinas, M.A; Robles Montero, T. P.; Matías Ramírez, L.G; Baeza Ramírez, C.; Domínguez Morales, L.; Reyes Pimentel, T. A. (F-2014). Características e Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2011. Serie Impactos socioeconómicos de los desastres en México N° 13. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Méndez Estrada, K.; Reyes Rodríguez, R. y Cambranis, R. (2015). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en 2013. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Méndez Estrada, K.; Nava Sánchez, S. y Vázquez Bravo, F. (A- 2016). Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en 2014. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Méndez Estrada, K.; Nava Sánchez, S. y Vázquez Bravo, F. (B- 2016). Impacto socioeconómico de desastres ocurridos en México durante 2015. Resumen ejecutivo. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García Arróliga, N.; Méndez Estrada, K.; Nava Sánchez, S. y Vázquez Bravo, F. (C- 2016). Impacto socioeconómico de desastres ocurridos en México durante 2016. Resumen ejecutivo. México:



- Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWeb/>
- García de Miranda, E. (1989). Apuntes de climatología. México: Enriqueta García de Miranda.
- Garrido Pérez, A., Cotler Ávalos, H. y Enríquez Guadarrama, C. (2006). “Geomorfología y suelos”. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Edi.) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología INE-SERMARNAT, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. México.
- Gaspari, F.J. (2013). EL manejo de cuencas hidrográficas como unidad de planificación en Argentina. En: Ecología, núm. 25, 2013. Organismo Autónomo Parques Nacionales, MAPAMA, España. 99-108 pp. ISSN: 0214-0896. Recuperado de: <http://www.mapama.gob.es/es/>
- Gay García, C. y Rueda Abad, J. C. (2012). “Vulnerabilidad social y cambio climático”. En: Perevochtchikova, M. (Coord.) (2012). Cultura del agua en México, conceptualización y vulnerabilidad social. Programa de investigación del Cambio Climático y Red del Agua. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-401-649-9.
- GEM Gobierno del Estado de México (1993). Atlas de la cuenca hidrográfica del río Lerma, Tomo 1. Cartografía. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la cuenca del río Lerma. Estado México, México.
- GEM Gobierno del Estado de México (1997 a) Atlas Ecológico de la cuenca hidrográfica del Río Lerma. Tomo III. Atlas de Ecosistemas Productivos. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Estado México: Comité Editorial del gobierno del Estado de México.
- GEM Gobierno del Estado de México (1997 b) Atlas Etnográfico de la cuenca alta del río Lerma. Otomíes, Mazahuas, Matlazincas y Nahuas en los 32 municipios. Tomo IV. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Estado México: Comité Editorial del gobierno del Estado de México.
- GEM Gobierno del Estado de México (2001) Atlas Ecológico de Salud de la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México. Secretaria de Salud e Instituto de Salud del Estado de México. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Estado México, México.
- GEM Gobierno del Estado de México (2002). Atlas Ecológico de la cuenca hidrográfica del río Lerma. Tomo VII: Urbano. Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas. Comisión coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Estado México, México.
- GEM Gobierno del Estado de México e Instituto de Protección Civil del Estado de México (2005). Evaluación de algunas zonas de inundación en el Estado de México. Cuaderno de Investigación 6. Recuperado de: <http://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/Publicaciones/trabajo%20de%20investigacion/cuaderno%206.pdf>
- GEM Gobierno del Estado de México (2007). Acciones realizadas para la recuperación ecológica de la cuenca del río Lerma 2006. Secretaría de agua y obras públicas. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Estado México, México.
- GEM Gobierno del Estado de México y Universidad Autónoma Chapingo (2010). Documento Plan Maestro para la Restauración Ambiental de la Cuenca Alta del Río Lerma. Toluca, México.
- GEM Gobierno del Estado de México (2011b). Atlas de la cuenca del Río Lerma en el Estado de México: Compendio. Biblioteca Mexiquense del Bicentenario, Colección Mayor, Estado de México: Consejo Consultivo del Bicentenario de la Independencia de México.
- GEM Gobierno del Estado de México (2013). Atlas Geológico Ambiental del Estado de México 2013: Informe técnico final. Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México. Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. México.



- GEM Gobierno del Estado de México (2015). Cuaderno Estadístico, Estado de México 2015. Consejo Estatal de Población. Toluca de Lerdo, Estado de México.
- GEM Gobierno del Estado de México (2016). Información Económica y Estatal: Estado de México. Secretaría de Economía. Toluca de Lerdo, Estado de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/115990/estado_de_mexico.pdf
- GEM Gobierno del Estado de México (2017). Atlas de Riesgo del Estado de México. Dirección General del Protección Civil del Estado de México. Toluca de Lerdo, Estado de México.
- Gil Olcina, A. & Rico Amorós, A. (2008). “Prevención de inundaciones fluviales: del Plan Sur (1957) a los Planes de Defensa del Segura (1987) y Júcar (2000)”. En: Políticas del Agua II. Murcia: Edit. ESAMUR-EPSAR. España.
- González A. Z. I., Ávila Pérez P., Tejeda Vega S., Zarazúa Ortega G. y Longoria Gándara L. C. (S/F). Estudio del Curso Alto del Río Lerma desde una Perspectiva Sustentable. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental CENICA. Recuperado: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_05/22_zaire_gonzalez.pdf
- González Álvarez, J. (2009). “Inundaciones en zonas urbanas y formas de mitigación”. En: Rizoma, revista de la agencia para la planeación del desarrollo urbano de Nuevo León. Gobierno de Nuevo León. Consulta en línea en: <http://www.nl.gob.mx>.
- González Villarreal, F.G. (director); Carrillo Sosa, J. J.; (coord.); Mastache Mendoza, V.I.; Patino Márquez, J.A.; Reyes Hernández, J.L.; Gutiérrez Aviña, G.; Samayoa Navarrete, L. y Tabeada Virgen, M.A. (2014). Estudio para el proyecto hidrológico para proteger a la población de inundaciones y aprovechar mejor el agua (PROHTAB). Informe Final. Comisión Nacional del Agua CONAGUA. México. Convenio: SGIH-GPIH-SGPOPR-UNAM-II-RF-14-01.
- González Barrios, U.O. & Colin Sánchez, S.I. (2018). Desempeño de la actividad industrial en el Estado de México 2013-2017. En: Economía Actual, Revista de análisis de coyuntura económica, Año 11, Núm. 2 / abril-junio 2018. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. ISSN 2007-0993.
- Granados Sánchez, D., Hernández García, M.A. y López Ríos, F. (2005). “La cuenca hidrológica: unidad ecológica de manejo”. Universidad Autónoma de Chapingo. México. ISBN: 968-02-0191-0.
- Guevara Ortiz, E.; Quaas Weppen, R.; Fernández Villagómez, G.; Zepeda Ramos, O.; Muñoz Hernández, E. y Torres Palomino, L. (2014). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligro y riego. Conceptos básicos sobre peligros, riesgo y su representación geográfica. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENPARED.
- Hernández Orellano, J., 2004: Introducción a la Minería de Datos, Madrid: Editorial Pearson Educación. ISBN: 978-84-205-4091-7.
- Holmgren, P (1994). Topographic and geochemical influence on the forest site quality, with respect to *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in Sweden, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9, 75–82.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology *Geological Society of America Bulletin*. U.S.A.
- IAPEM Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C. (2015). Manual Básico para la Administración Pública Municipal. Sexta Edición. Géminis Editores: Toluca, México. Recuperado de: <http://iapem.mx/Libros/2015-MANUAL-BASICO%20MUNICIPIOS-WEB.pdf>
- IBM – SPSS Statistic Base 22, 2012: Manuales de aprendizaje, New York: IBM Corporation.
- IGME Instituto Geológico y Minero de España (2008). Guía metodológica para la elaboración de mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia N°1, Madrid, España. ISBN: 978-84-7840-770-5.



- IGME Instituto Geológico y Minero de España (2009). Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Memoria de Proyecto METAVENIDAS. Madrid, España. Recuperado de: http://info.igme.es/SidPDF/141000/722/141722_0000001.pdf
- IMTA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recurso a Naturales (2009). “Estrategia general para el rescate ambiental y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala: Informe Final”. México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1981). Información Fisiográfica de México. Escala 1:1,000,000. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2001). Síntesis de Información Geográfica del Estado de México, Parte 6: Hidrología. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). Guía para la interpretación cartográfica: Edafología. Aguascalientes, México. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EDAFL.pdf>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2005). Guía para la interpretación Cartográfica Geológica. Aguascalientes, México. ISBN 970-13-4509-6. Recuperado de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231767/702825231767_1.pdf
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010a). Censo de Población y Vivienda 2010 ITER 2010. Aguascalientes, México. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_2010.aspx
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010b). Nota técnica. Estratificación Multivariada, México DF. Recuperado de: <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Censo Económico 2014. Aguascalientes, México. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ce/2014/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014b). Diccionario de datos edafológicos. Escala 1:250,000. Versión 3. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015b). Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015 por municipio, Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 15014. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 15042. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 15048. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 15074. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 15087. Aguascalientes, México.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015a). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 15106. Aguascalientes, México.



- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016 a). Información de Uso de Suelo y Vegetación de México. Serie IV. Escala 1:250,000. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/ususuelo/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016 b). Cartografía de humedales potenciales de México y el caso de los humedales templados en las Ciénegas de Lerma, EDOMEX: como parte del inventario nacional de humedales escala 1:50 000. III Pan-American Conference on wetland systems for the treatment and improvement of water quality (2016). Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016 c). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DNUE 2016. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017a). Anuario estadístico y geográfico de México 2017. Aguascalientes, México. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094706>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017b). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos mexicanos 2017. Aguascalientes, México. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825097929>
- IPCEM Instituto de Protección Civil del Estado de México (2005). Evaluación de algunas zonas de inundación del Estado de México. Cuaderno de Investigación. Instituto de Protección Civil del Estado de México. Estado de México, México.
- Keller, E.A. y Blodgett, R.H. (2007). “Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes”. Pearson Educación S.A., Madrid (España). ISBN: 978-84-8322-336-9.
- Llamas, J. M. (1993). Hidrología General. Ed. Universidad del País Vasco. ISBN: 978-847-58-5435-9.
- López Hernández, M., Infante Ramírez, K. y Ramos Espinosa, M. (2006). Estado trófico de la cuenca. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Editores) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SERMARNAT), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Lozano García, S. (2009). El paisaje lacustre del valle de Toluca. Su historia y efectos sobre la vida humana. En: Sugiura Yamamoto, Y. (coord.) (2009). La gente de la ciénaga en tiempos antiguos: La historia de Santa Cruz Atizapán. Colegio Mexiquense e instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM. ISBN: 978-607-02-0733-4. Ciudad de México, México.
- Maderey Rascón, L.E. y Jiménez Román, A. (2001). “Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México”. En: Investigaciones Geográficas, Núm. 45. (2001). PP. 24-38. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611. Ciudad de México, México.
- Mancino, M. (2015). Estimación de costos de daños potenciales tangibles directos por inundación en las zonas habitacionales del Estado de México 2000-2012. Reporte Final. Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Universidad Autónoma del Estado de México UAEM. Toluca, México. Recuperado de: <http://ri.uaemex.mx/>
- Mancino, M.; Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E. e Hinojosa Reyes, R. (2018). Marginación y costo de inundación en el Estado de México, México. Investigaciones Geográficas, (69), 91-106. Doi: <https://doi.org/10.14198/INGEO2018.69.06>
- MAPAMA Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2004). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Series Monográficas. Secretaría General para la prevención de la contaminación y del cambio climático. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaria General Técnica de MAPAMA. ISBN: 84-8320-286-7.



- MAPAMA Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2011). Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Dirección General del Agua. Madrid: España. ISBN: 978-84-491-1136-5.
- MAPAMA Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2013). Mapas de Peligrosidad y Mapas de Riesgo. Tomo I. Dirección General del Agua, confederación hidrológica del Júcar. Recuperado de: <https://www.chj.es/es-es/ciudadano/consultapublica/Documents/SNCZI/memoria-resumen.pdf>
- Matías Ramírez, L.G.; Oropeza Orozco, O.; Lugo Hubp, J.; Cortez Vázquez, M. y Jáuregui Ostos, E. (2007). “Análisis de las principales causas de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México”. En: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611, Núm. 64, 2007, pp. 7-25.
- Ministry of Forestal, Land and Natural Resource Operations (2011). Coastal Floodplain Mapping – Guidelines and Specifications. British Columbian, Canada. KWL File No. 2785.001.
- Moel, H., Alphen, J. y Aerts, J. C. J. H. (2009). Flood maps in Europe, methods, availability and use. En: Natural Hazards and Earth System Sciences 9, 289–301. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.
- Mexiquense Noticias (11/08/2018). Inundaciones cobran factura en el valle de Toluca. Periódico digital Mexiquense Noticias. TV Mexiquense. Recuperado de: <http://radioyvmexiquense.mx/notas/inundaciones-cobran-factura-en-el-valle-de-toluca-.html>
- Miranda, R. (23/04/2018). Tras lluvias, inundación y cuarteaduras en edificio gubernamental de Toluca. Periódico Sol de Toluca. Recuperado de: <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/tras-lluvias-inundacion-y-cuarteaduras-en-edificio-gubernamental-de-toluca-1635198.html>
- Olaya Ferrero, V. (2004). Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno: teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico. Victor Olaya: Creative Commons Attribution–Share Alike. Recuperado de: <http://heart.sf.net/textos>.
- Olaya Ferrero, V. (2008). Ejercicios prácticos con SEXTANTE. Edición 1.0. Victor Olaya: Creative Commons Attribution–Share Alike. Recuperado de: <http://heart.sf.net/textos>.
- Olcina Cantos, J. y Ayala Carcedo F. J. (2002). Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. Capítulo N° 1. En: Ayala Carcedo, F.J.; Olcina Cantos, J. (Coord.) (2002). Riesgos Naturales. Ariel, Barcelona. ISBN/ISSN: 84-344-8034-4.
- ONU Organization de Nations Unites, Department of Economic and Social Affairs (2011). United Nations: World Urbanization Prospects 2011. [En línea]. Recuperado de: <https://esa.un.org/unpd/wup/>
- Orozco Hernández, M.E.; Sánchez Salazar M.T; Peña Manjarrez, V. y Tapia Quevedo, J. (2009). “La otra imagen del Alto Lerma. Paradigma ejidal en la globalización”. 1° edición. Toluca de Lerdo: Universidad Autónoma del Estado de México. ISBN: 978-607-422-058-2. Pág. 268.
- Pérez, C. (2005). Técnicas de estadística con SPSS 12. Aplicaciones al análisis de datos, Madrid: Ed. Pearson Educación. ISBN: 84-205-4410-8.
- Pérez, C. (2004). Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Aplicaciones con SPSS, Madrid: Ed. Pearson Educación. ISBN: 84-205-4104-4.
- Pérez Morales, A. (2012). “Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la región de Murcia”. En: Boletín de la Asociación de Geógrafo Españoles, N°58 – 2012, Pág. 57-81. ISSN: 0212-9426.
- Pineda Jaimes, N. B.; Bosque Sendra, J.; Gómez Delgado, M. & Plata Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. En: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, N° 69, 2009, pp. 33-52. ISSN 0188-4611.



- Pizarro, R., Ramírez, C. y Flores, J.C. (2003). “Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos”. En: Bosque 24(3): 31-38. Universidad Austral de Chile. ISSN versión electrónica: 0717-9200.
- Pladeyra, S.C., Escolero Fuentes, O., Domínguez Mariani, E. y Martínez Edda, S. (2006). Ciclo Hidrológico. En: Cotler Ávalos H., Mazari Hiriart M. & Anda Sánchez J. (Edi.) (2006). “Atlas de la cuenca Lerma – Chapala: construyendo una visión conjunta”. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología INE-SERMARNAT, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. México.
- PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2014). “Informe sobre desarrollo humano 2014, Sostener el Progreso Humano: reducir vulnerabilidades y construir resiliencia”. Nueva York, E.E.U.U.
- PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Ministerio de Seguridad de la Nación (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. 1º ed. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-1560-75-2.
- Prieto González, R.; Avendaño García, M.A. y Matías Ramírez, L. G. (2014). Tormentas Severas. Serie Fascículos. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED.
- Pujadas Ferrer, J. (2002). “Las inundaciones en España: impacto socioeconómico y gestión del riesgo”, Capítulo 4. En Ayala Carcedo, Francisco Javier y Olcina Cantos, Jorge (coord.), 2002: Riesgos Naturales, Barcelona: Ed.Ariel. ISBN: 84-344-8034-4.
- Ramos, F. (12/08/2018). Se recuperan municipios por inundaciones del fin de semana en el valle de Toluca. Periódico Sol de Toluca. Recuperado de <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/se-recuperan-municipios-por-inundaciones-del-fin-de-semana-en-el-valle-de-toluca-1910891.html>
- Ramos, F. (01/08/2018). Inundaciones y bancos de niebla afectan municipios del valle de Toluca. Periódico Sol de Toluca. Recuperado de: <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/inundaciones-y-bancos-de-niebla-afectan-municipios-del-valle-de-toluca-1885274.html>
- Remenieras, G. (1974). Tratado de Hidrología Aplicada. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. 2a ed.
- Ribera Masgrau, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. En: Documents d' Anàlisi Geogràfica, N°. 43, 2004. Universitat Autònoma de Barcelona, España. ISSN: 0212-1573. Recuperado de: <http://web2.udg.edu/aigua/material/02121573n43p153.pdf>
- Rivers Agency, Department of Agriculture and Rural Development (2011). Preliminary Flood Risk Assessment and Methodology for the Identification of Significant Flood risk Areas. Irlanda, Reino Unido. En: <http://www.dardni.gov.uk/final-pfra-report.pdf>
- Roa Lobo, J., Kamp, U. (2012). “Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela”. En: Revista Geográfica Venezolana, vol. 53, núm. 1, enero-junio, 2012, pp. 109-126. Universidad de los Andes, Venezuela. ISSN: 1012-1617.
- Salas Salinas, M.A. (2012) “Análisis de riesgo y vulnerabilidad en el CENAPRED”. En: Perevochtchikova, M. (Coord.) (2012). Cultura del agua en México, conceptualización y vulnerabilidad social. Programa de investigación del Cambio Climático y Red del Agua. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-401-649-9.
- Salas Salinas, M.A. (2014). Metodología para la Elaboración de mapas de Riesgo de Inundación en zonas urbanas. Fenómenos Hidrometeorológicos. Serie Atlas Nacional de Riesgo. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Salas Salinas, M.A. y Jiménez Espinosa, M. (2013). Inundaciones. Serie Fascículos. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.



- SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Colegio de Postgraduados (2009). Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua. México: Dirección General de Apoyos para Desarrollo Rural.
- Salas Salinas, M.A. (2016). Presas principales: Uso y Capacidad de Almacenamiento. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2016/archivos/01_agua/D3_AGUA01_07.pdf
- SEGOB Secretaria de Gobernación y CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2006). Guías básicas para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Secretaría de Gobernación/Centro Nacional para la Prevención de Desastres, México.
- SEGOB Secretaria de Gobernación y CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2012). FONDEN, El Fondo de Desastres Naturales de México. Resumen Ejecutivo. México.
- SEGOB Secretaria de Gobernación y CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2018). Atlas Nacional de Riesgo. Secretaría de Gobernación/Centro Nacional para la Prevención de Desastres, México. Recuperado de: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- SIMPPI Sistema Mexicano de Promoción de Parques Industriales (2008). Parques industriales el Estado de México. Recuperado de: <http://www.contactopyme.gob.mx/cpyme/parques/PARGEO1.ASP?ESTADO=15>
- Sorensen, R, Zinko, U, & Seibert, J (2005). On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2, 1807-1834. Recuperado de: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/101/2006/hess-10-101-2006-discussion.html>
- Strahler, A. (1957). "Quantitative analysis of watershed geomorphology". En: Transactions of the American Geophysical Union 38 (6): 913–920.
- Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Mc Graw-Hill. New York, USA.
- Strahler, A. (1989). Geografía Física. 3ª ed. ISBN: 9788428208475. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Sugiura Yamamoto, Y. (2009a). "Caminando el valle de Toluca: arqueología regional, el legado de William T. Sanders". En: Cuicuilco, vol. 16, núm. 47 (2009), pp. 87-111. ISSN: 1405-7778. Escuela Nacional de Antropología e Historia. Ciudad de México, México.
- Sugiura Yamamoto, Y. y Silis, O. (2009b). "Figurillas, adornos de braseros, pesas de red y su significado en el ritual lacustre de Santa Cruz Atizapán. En: Sugiura Yamamoto, Y. (coord.) (2009). La gente de la ciénaga en tiempos antiguos: La historia de Santa Cruz Atizapán. Colegio Mexiquense e instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM. ISBN: 978-607-02-0733-4. Ciudad de México, México.
- Sugiura Yamamoto, Y.; Zepeda, E., Pérez, C. y Kabata, S. (2010). "El desarrollo de un asentamiento lacustre en la cuenca alta del río Lerma: el caso de Santa Cruz Atizapán, México Central. En: Arqueología Iberoamericana N° 5 (2010), 5–22. ISSN 1989–4104.
- Sugiura Yamamoto, Y. y Nieto Hernández, R. (2016). "Desarrollo histórico de las sociedades prehispánicas de la cuenca del Alto Lerma a través de los hallazgos arqueológicos". En: Sugiura Yamamoto, Y., Álvarez Lobato, J.A. y Zepeda Valverde, E. (Coord.) (2016). La Cuenca del Alto Lerma: Ayer y Hoy. Su historia y su etnográfica. Estado de México: Colegio Mexiquense, A. C y Gobierno del Estado de México.
- Tarbut, E.J, & Lutgens, F.K. (2005). Ciencias de la Tierra: Introducción a la Geología Física. Octava Edición. ISBN edición latinoamericana: 84-205-4998-3. Pearson Prentice Hall
- Torres Bernardino, L. (2014). Sistema Lerma: una visión política en la gestión pública del agua, ¿solución Estatal o Federal? Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C. IAPEM. ISBN: 978-607-8087-16-7. Toluca, México.



- Toscana Aparicio, A., Campos Vargas, M. y Monroy Gaytán, J. (2010). Inundaciones, protección civil y habitantes de San Mateo Atenco, Estado de México. En: Investigaciones Geográficas, Núm. 72, 2010. pp. 68-81. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611. Ciudad de México, México.
- UNISDR- EIRD Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres en América Latina (2013). Documentos técnicos. Recuperado de: <http://www.eird.org/> y <http://www.unisdr.org/>
- UNISDR- EIRD Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres en América Latina (2014). Documentos técnicos. Recuperado de: <http://www.eird.org/> y <http://www.unisdr.org/>
- Uribe-Alcántara, E.D., Montes-León, M.A. y García-Celis, E. (2010). Mapa Nacional de Índice de Inundación. En: Tecnología y Ciencias del Agua, vol. I, núm. 2, abril-junio de 2010, pp. 73-85. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. ISSN 0187-8336.
- Valderrey Sanz, P. (2010) SPSS 17. Extracción del conocimiento a partir del análisis de datos, Madrid: Editorial Alfaomega - RA-MA. ISBN: 978-607-707-027-6.
- Vargas Velázquez, S. (2007). "Agua y sociedad en el Alto Lerma: el Módulo Tepetitlán". En: Agricultura, Sociedad y Desarrollo, vol. 4. N° 1 (2007). Colegio de Postgraduados. ISSN: 2594-0244. Texcoco, México.
- Vázquez, M. (08/07/2018). Lluvias colapsan vías del valle de Toluca. Periódico Sol de Toluca. Recuperado de: <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/lluvias-colapsan-vias-del-valle-de-toluca-1825435.html>
- Velasco Orozco, J.J. (2008). Las Ciénagas de Chiconahuapan, Estado de México: un humedal en deterioro constante. En: Contribuciones desde Coatepec n° 15. Pp 101-125. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. ISSN: 1870-0365. Recuperado de: <http://redalyc.uaemex.mx/>
- Vera Pérez, M. y López Blanco, J. (2011). Evaluación de amenazas por inundaciones en el centro de México: el caso de Iztapalapa, Distrito Federal (1998- 2005). Investigaciones Geográficas, 0(73). Doi: <http://dx.doi.org/10.14350/rig.23860>
- Vicente Sanchez, S. M. y Saz Sanchez, M.A. (2002). "Cartografía de precipitaciones y temperaturas en el valle medio del Ebro mediante la utilización de diferentes técnicas estadísticas". En: Geographicalia, 42, 73-92.
- Way, D.S. (1978). The interaction Between Urbanization and Land. Quality and Quantity in Environmental Planning and Design. Harvard University, Cambridge.
- WMO Organización Meteorológica Mundial. (2007). Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. WCDMP-N°. 61, OMM-TD N°. 1377. Recuperado de: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinac_hangingclimateSp.pdf
- WMO Organización Meteorológica Mundial. (2011). Guía de prácticas climatológicas. OMM-N° 100. ISBN 978-92-63-30100-0. Recuperado de: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf
- WMO Organización Meteorológica Mundial. y UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012a). Glosario Hidrológico Internacional, Suiza: World Meteorological Organization, disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf>
- WMO Organización Meteorológica Mundial. (2012b). Guide the Agricultural Meteorological Practices. WMO-No. 134. ISBN 978-92-63-10134-1. Recuperado de: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO_No134_en.pdf
- WMO Organización Meteorológica Mundial. (2017). Guidelines of Calculation of Climate Normal. WMO-No. 1203. ISBN 978-92-63-11203-3. Recuperado de: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166

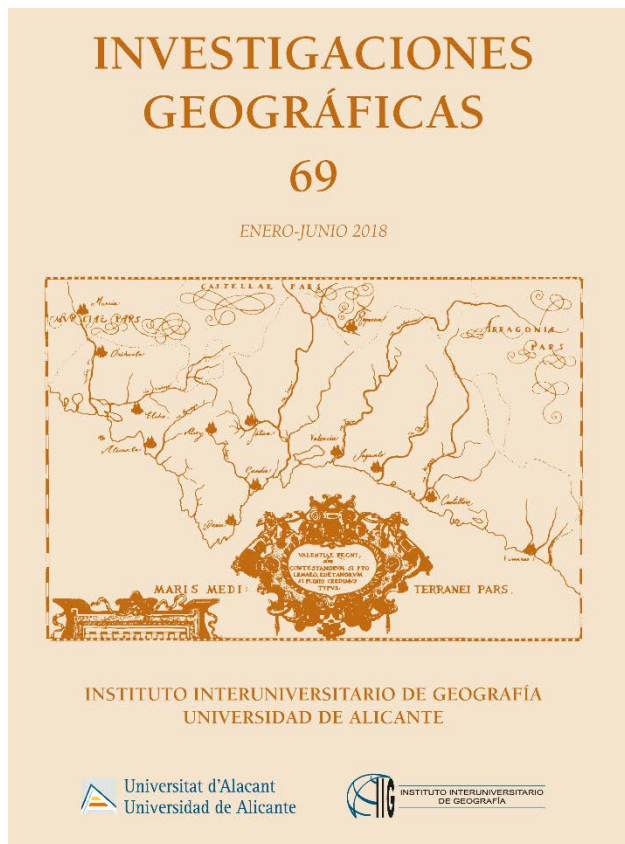


- WMO Organización Meteorológica Mundial. (2014). Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2012). Geneva: Switzerland. ISBN 978-92-63-11123-4.
- Zapata- Martí, R. y García Arróliga, N.M. (2008). “Inundaciones en Tabasco: evaluación socioeconómica”. CEPAL y CENAPRED”. Informe técnico.
- Zepeda – Gómez, C., Antonio Nemiga, X., Lot-Helgueras, A. y Madrigal-Uribe, D. (2012 b). Análisis del cambio del uso del suelo en las Ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. En: Investigaciones Geográficas. Núm. 78, 2012, pp. 48-61. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611. Ciudad de México, México.
- Zepeda – Gómez, C., Lot-Helgueras, A., Antonio Nemiga, X. y Madrigal-Uribe, D. (2012 a). Florística y diversidad de las Ciénegas del río Lerma, Estado de México, México. En: Acta Botánica Mexicana 98: 23-49 (2012). ISSN: 2448-7589. Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío. Veracruz, México.
- Zucarelli, A., Paris, M. y Macor, J. (2014). Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. 2º Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Instituto Nacional del Agua (INA). Ezeiza, Buenos Aires.

Anexos

Evidencia de producción de artículos científicos

- Artículo científico publicado



Nº 69, enero-junio de 2018, pp. 91-106.
ISSN: 0213-4691, eISSN: 1989-0860.
DOI: 10.14108/INGEO2018.69.06

[Investigaciones Geográficas](#)
[Instituto Interuniversitario de Geografía](#)
[Universidad de Alicante](#)

Cita bibliográfica: Mancino, M., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E. e Hinojosa Reyes, R. (2018). Marginalización y costos de inundación en el Estado de México, México. *Investigaciones Geográficas*, (69), 91-106. <https://doi.org/10.14108/INGEO2018.69.06>

Marginalización y costos de inundación en el Estado de México, México

Marginalization and flood costs in the State of Mexico, Mexico

Mariana Mancino¹
Salvador Adame Martínez²
Edel Cadena Vargas³
Raquel Hinojosa Reyes⁴

Resumen

El presente trabajo presenta el diseño de un estudio multitemporal, principalmente metodológico, para el cálculo de los daños potenciales tangibles directos producidos por inundaciones en las zonas habitacionales del Estado de México, República Mexicana, a una escala de desagregación detallada como son las secciones electorales. Para lograrlo se calculará el Índice de Marginalización a nivel sección electoral y se aplicará una metodología ya existente para el cálculo de daños para el periodo 2000-2012.

La investigación se realizó mediante la utilización de software de cálculos estadísticos y Sistemas de Información Geográfica, para el procesamiento, análisis y representación cartográfica de los datos espaciales.

Palabras clave: Inundaciones; costos económicos; Índice de Marginalización; Sistemas de Información Geográfica.

Abstract

This paper presents the design of a multi-temporal study, which is mainly methodological, to calculate the potential tangible direct damage caused by floods in the residential areas of the State of Mexico, Mexico, on a detailed disaggregation scale, such as the electoral sections. In order to achieve this, the Index of Marginalization at the electoral section level will be calculated and an existing methodology to calculate damage for the period 2000-2012 will be applied.

The study was carried out using statistical calculations software and Geographic Information Systems GIS, for the processing, analysis and cartographic representation of spatial data.

Key words: Floods; Economic Costs; Index of Marginalization; Geographic Information Systems.

1. Introducción

El riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita sea afectada por un fenómeno natural de rango extraordinario, los cuales son propios de los procesos de la tierra. En este sentido, también se define como la consecuencia territorial de una actuación humana poco acorde con los rasgos del medio donde tiene lugar. Es una infracción que el hombre comete sobre el territorio por

¹ Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, México. mancinomaria@gmail.com

² Facultad de Planeación Urbana, Universidad Autónoma del Estado de México, México. gsalamea@uaemex.mx

³ Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. edelvargas@uaemex.mx

⁴ Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. hinojosar@uaemex.mx

Recepción: 02/09/2017.

Aceptación: 18/10/2017.

Publicación: 13/06/2018.

Este trabajo se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.



- Artículo enviado en proceso de revisión



mariana mancino <mancinomariana@gmail.com>

[tca] Envío recibido, nuevo manuscrito

1 mensaje

Helena Rivas López <lyca.ojs@gmail.com>

Para: Mariann Mariana Mancino <mancinomariana@gmail.com>

26 de abril de 2019, 18:22

Mariann Mariana Mancino:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Datos pluviométricos en México: adquisición, estandarización, análisis y estimación" a Tecnología y Ciencias del Agua. Con el sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial, identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<http://revistatyc.a.org.mx/ojs/index.php/tyca/author/submission/2163>

Nombre de usuario:

mancino_2018

CÓDIGO DE ÉTICA DE TECNOLOGÍA CIENCIAS DEL AGUA

En el Código de ética de nuestra publicación se indica lo siguiente en cuanto al autor:

Responsabilidades del autor:

- Someter con exclusividad su trabajo al arbitraje y dictaminación de la revista para su publicación. En caso de que el artículo o nota sea entregado a otro medio para su eventual publicación, se compromete a hacerlo del conocimiento de la Coordinación Editorial, que suspenderá el proceso de arbitraje e informará al Consejo Editorial sobre la decisión tomada por los autores; esta misma suspensión tendrá efecto si la revista Tecnología y Ciencias del Agua identifica y corrobora una situación similar.
- Garantizar la originalidad y propiedad de su trabajo, para lo cual, antes de iniciar el proceso de revisión, emitirá una "Carta de originalidad", especificando que el trabajo que presenta es suyo y es original.
- Aceptar formar parte del grupo de árbitros de la revista Tecnología y Ciencias del Agua, con la responsabilidad que ello implica.
- Citar de manera correcta y completa todas las referencias que se utilicen en el manuscrito.
- Respetar la autoría originalmente registrada en el trabajo que somete a la revista. Los autores sólo podrán eliminar a un autor del artículo o nota en proceso mediante oficio dirigido a la revista Tecnología y Ciencias del Agua. Dicho oficio debe ir firmado (en papel) tanto por el autor principal como por el autor a quien se pretende eliminar y quien da su consentimiento expreso.
- Aceptar el porcentaje de autocitas en los artículos que someten a la revista a no más del 20%.

Si tiene cualquier pregunta, no dude en contactar con nosotros.

lyca.ojs@gmail.com

Artículo

Datos pluviométricos en México: adquisición, estandarización, análisis y estimación

Pluviometric data in Mexico: acquisition, standardization, analysis and estimation

Resumen-

El presente artículo propone abordar un análisis estadístico a través de la aplicación de técnicas multivariantes de una serie temporal de registros pluviométricos obtenidos por Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México. Se presenta el proceso y criterio de selección de las estaciones según localización, interpretación de la base de datos original, análisis de información pluviométrica y estimación de datos ausentes y anómalos en la Subcuenca Hidrológica RH12-Ab-R. Otzoloitepec - R. Atlacomulco (Estado de México, México) para el periodo 1980-2015.

El estudio parte de la utilización de base de datos climatológica originales, en donde se realiza la selección, análisis, estimación, homogenización y representación de los registros pluviométricos. Cada uno de los procedimientos, a través de técnicas estadísticas específicas. En primer término se aplica el Análisis Exploratorio de Datos (EDA) y respectivos gráficos para determinar el comportamiento y características del conjunto de datos. Luego, se aplican métodos para la estimación de datos pluviométricos, según sean datos mensuales o anuales.

A través del presente trabajo, se pretende enfatizar el uso de técnicas estadística descriptivas, para un rápido análisis y correcta elección de los métodos de estimación, según corresponda las condiciones y características de los datos y área de estudio. Así como también, en la calidad, heterogeneidad, lógica y estructura de los conjuntos de datos lograda una vez culminado el análisis. Dicha metodología, puede ser aplicada en cualquier área de estudio del territorio nacional.

Palabras clave: Bases de Datos, Estaciones Climatológicas, CONAGUA, Registros Pluviométricos, Análisis Exploratorio de Datos.

Actividades Académicas

- Estancia académica de 6 meses: Instituto Interuniversitario de Geografía / Laboratorio de Geomática y SIG, Universidad de Alicante, España.



Antonio M. Rico Amorós, Catedrático de Universidad y Director del Instituto Interuniversitario de Geografía.

HACE CONSTAR:

Que Mariana Mancino (28372738N) ha realizado una estancia académica de investigación en el marco del Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma del Estado de México en el Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante. Con el objeto de apoyar al avance del trabajo de investigación titulado "Metodología de estimación de zonas inundables y su impacto socioeconómico en el Estado de México. Caso de estudio: Subcuenca hidrológica Otzoloitepec - Atlacomulco", mediante la aplicación de diferentes técnicas de modelación espacial y herramientas de Sistemas de Información Geográficas, desde el 1 de enero al 30 de junio de 2017.

Y para que así conste, donde convenga, firmo el presente en Alicante, a 20 de junio de 2017.

Handwritten signature of Antonio M. Rico Amorós and a circular official stamp of the Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante.

- Participaciones como ponente o asistente en 8 talleres / congresos / jornadas a nivel nacional e internacional relacionadas con los riesgos naturales y SIG.



Bahía Blanca, 7 de Julio de 2016

Por la presente se informa la incorporación a partir de 7 de Julio de 2016 de **Mtra. Mariana Mancino** como integrante del proyecto 'Aplicación de Tecnologías de Información Geográfica al Estudio Integral y comparativo de problemáticas ambientales' 24/0076. Su participación personal será de 10 horas y su lugar de trabajo Facultad de Química Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo, México.


Firma y Aclaración del director del proyecto

Expreso mi conformidad:


Firma del Integrante

Importante: es necesario que quien sea dado de alta como integrante esté registrado en SIGEVA-UNS y tenga su CV cargado, de lo contrario no será posible incorporarlo al proyecto.

- Participación en proyecto de investigación internacional 2016- actual y convenio específico internacional UNS-UAEM.