

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

MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA
DE AGUASCALIENTES, AGUASCALIENTES

SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

FEBRERO, 2018



1 CONTENIDO

1	CONTENIDO.....	3
2	INTRODUCCIÓN	5
3	ANTECEDENTES DE LAS INUNDACIONES EN MÉXICO.....	11
3.1	Origen de las inundaciones en Aguascalientes.....	12
3.2	Frecuencia de inundaciones en la ciudad de Aguascalientes.....	15
3.3	Zona de estudio: Algunas colonias de la ciudad de Aguascalientes	18
4	ELABORACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	20
4.1	Información topográfica y elaboración del Modelo Digital de Terreno (MDE).....	20
5	ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO E HIDROMÉTRICO.....	23
5.1	Estaciones climatológicas.....	24
5.2	Análisis estadístico de la información climática.....	24
5.3	Polígonos de Thiessen.....	28
5.4	Lluvia media.....	31
5.5	Estaciones hidrométricas.....	32
6	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, CIUDAD DE AGUASCALIENTES.....	33
6.1	Área de la cuenca.....	35
6.2	Red de ríos y orden de corrientes	37
6.3	Longitud y pendiente del cauce principal	40
6.4	Tiempo de concentración.....	41
7	ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA DE DISEÑO.....	42
7.1	Método lluvia- escurrimiento.....	42

7.1.1	Coeficiente de escurrimiento.....	42
7.1.2	Factor de Reducción por Área (FRA).....	44
7.1.3	Estación Sinóptica Meteorológica	46
7.1.4	Intensidades.....	46
7.2	Método de la fórmula Racional.....	47
8	ANÁLISIS HIDROLÓGICO, VOLÚMENES DE LOS HIDROGRAMAS y ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	49
8.1	Hidrograma Unitario Triangular (HUT).....	49
8.2	Preparación de archivos en ArcGis	51
8.3	Método utilizando SWMM.....	53
8.4	Método utilizando HecRAS	60
9	OBTENCIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIÓN.....	61
9.1	Generación de escenarios de peligro	61
9.2	Generación de mapas de velocidad	62
10	OBTENCIÓN DE LA SEVERIDAD POR INUNDACIÓN	65
10.1	Diagrama de Dorrigo	65
10.2	Obtención de mapas de severidad para diferentes periodos de retorno	66
11	VULNERABILIDAD	68
11.1	Clasificación de la vulnerabilidad.....	69
11.1.1	Elaboración de mapa de Vulnerabilidad	70
12	ÍNDICE DE RIESGO.....	74
12.1	Elaboración de los mapas de Índice de Riesgo.....	74
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

14	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
15	REFERENCIAS DIGITALES.....	78
16	ANEXO A. Mapas de tirante.....	80
17	ANEXO B. Mapas de velocidad.....	85
18	ANEXO C. Mapas de severidad	91
19	ANEXO D. Mapa de Vulnerabilidad.....	96
20	NAEXO E. Mapas de Índice de Riesgo.....	97

Índice de figuras

<i>Figura 1.-Cronograma de inundaciones históricas en el estado de Aguascalientes.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.-Casos de inundaciones en las colonias del municipio de Aguascalientes, de 2010 a 2016.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3.-Afectaciones totales anuales por inundación de 2010 a 2016 en el municipio de Aguascalientes.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.-Colonias afectadas por inundación de 2010 a 2016 en el municipio de Aguascalientes.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5.-Colonias afectadas por inundación de 2010 a 2016 en el municipio de Aguascalientes.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6.-MDE utilizado para la realización del análisis morfológico.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7.-Red de estaciones climatológicas operadas por el Servicio Meteorológico Nacional y la CONAGUA.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8.-Estaciones Climatológicas por analizar en la zona de estudio.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9.-Comparación de distribuciones de probabilidad para la estación climatológica 01030, Aguascalientes.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10.-Polígonos de Thiessen obtenidos para las estaciones climatológicas dentro del área de estudio.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11.-Tipos de cuencas.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12.-Tipos de cauces en una cuenca.....</i>	<i>34</i>

<i>Figura 13.-Subcuenca RH12lb.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14.-Unión de cauces obtenidos con los ya existentes en la red hidrográfica del INEGI.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15.-Microcuencas y ríos de la zona de estudio.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16.-Cuencas y ríos acotados a nuestro estudio.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17.-Área Urbana y Área rural de la zona de estudio.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18.-Características de un hidrograma unitario triangular.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 19.-Hidrograma Triangular para la cuenca 0 y un Tr de 2 años.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 20.-Ríos y secciones transversales.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 21.-Envolvente para la cuenca 0, 1, 3 y 4 para un Tr de 2 años.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 22.-Pozos de visita con sus respectivas tuberías.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 23.-Propiedades de un nodo (pozo de visita).</i>	<i>55</i>
<i>Figura 24.-Propiedades de un link (tubería).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 25.-Sección de un río elaborado con el programa HecRas.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 26.- Forma para ingresar un hidrograma.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 27.-Hidrograma de entrada en un nodo del proyecto en SWMM.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28.-Hidrograma de desbordamiento.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29.- Mapa de Tirante para un Tr de 1000 años.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 30.-Mapa de Velocidad para un Tr de 1000 años.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 31.-Nomograma de Dorrigo.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 32.-Mapa de Severidad para un Tr de 1000 años.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 33.-Mapa de vulnerabilidad.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 34.-Función de vivienda tipo I.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 35.-Función de vivienda tipo II.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 36.-Función de vivienda tipo III.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 37.-Función de vivienda tipo IV.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 38.-Función de vivienda tipo IV.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 39.-Mapa de Índice de Riesgo para un Tr de 1000 años.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 40.-Mapa de Tirante para un Tr de 2 años.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 41.-Mapa de Tirante para un Tr de 5 años.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 42.-Mapa de Tirante para un Tr de 10 años.</i>	<i>81</i>

<i>Figura 43.-Mapa de Tirante para un Tr de 20 años.</i>	82
<i>Figura 44.-Mapa de Tirante para un Tr de 50 años.</i>	82
<i>Figura 45.-Mapa de Tirante para un Tr de 100 años.</i>	83
<i>Figura 46.-Mapa de Tirante para un Tr de 200 años.</i>	83
<i>Figura 47.-Mapa de Tirante para un Tr de 500 años.</i>	84
<i>Figura 48.-Mapa de Tirante para un Tr de 1000 años.</i>	84
<i>Figura 49.-Mapa de Velocidad para un Tr de 2 años.</i>	85
<i>Figura 50.-Mapa de Velocidad para un Tr de 5 años.</i>	86
<i>Figura 51.-Mapa de Velocidad para un Tr de 10 años.</i>	86
<i>Figura 52.-Mapa de Velocidad para un Tr de 20 años.</i>	87
<i>Figura 53.-Mapa de Velocidad para un Tr de 50 años.</i>	87
<i>Figura 54.-Mapa de Velocidad para un Tr de 100 años.</i>	88
<i>Figura 55.-Mapa de Velocidad para un Tr de 200 años.</i>	88
<i>Figura 56.-Mapa de Velocidad para un Tr de 500 años.</i>	89
<i>Figura 57.-Mapa de Velocidad para un Tr de 1000 años.</i>	90
<i>Figura 58.-Mapa de Severidad para un Tr de 2 años.</i>	91
<i>Figura 59.-Mapa de Severidad para un Tr de 5 años.</i>	92
<i>Figura 60.-Mapa de Severidad para un Tr de 10 años.</i>	92
<i>Figura 61.-Mapa de Severidad para un Tr de 20 años.</i>	93
<i>Figura 62.-Mapa de Severidad para un Tr de 50 años.</i>	93
<i>Figura 63.-Mapa de Severidad para un Tr de 100 años.</i>	94
<i>Figura 64.-Mapa de Severidad para un Tr de 200 años.</i>	94
<i>Figura 65.-Mapa de Severidad para un Tr de 500 años.</i>	95
<i>Figura 66.-Mapa de Severidad para un Tr de 1000 años.</i>	95
<i>Figura 67.-Mapa de Vulnerabilidad.</i>	96
<i>Figura 68.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 2 años.</i>	97
<i>Figura 69.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 5 años.</i>	98
<i>Figura 70.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 10 años.</i>	98
<i>Figura 71.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 20 años.</i>	99
<i>Figura 72.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 50 años.</i>	99

Figura 73.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 100 años. 100
Figura 74.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 200 años. 100
Figura 75.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 500 años. 101
Figura 76.-Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 1000 años. 101

1.1 Índice de tablas

Tabla 1.-Algunos registros de inundación en el estado de Aguascalientes durante 1976-2013. 13
Tabla 2.-Estaciones climatológicas con más de 20 años de registro..... 24
Tabla 3.-. Regresión Gumbel extrapolada con AX para diferentes Tr. 27
Tabla 4.-Estaciones climatológicas y área de influencia de cada estación para cada cuenca. 28
Tabla 5.-Lluvia media y Tr para todas las cuencas de interés. 31
Tabla 6.-Propiedades de las cuencas y sus cauces principales. 40
Tabla 7.-Tiempo de concentración de cada cuenca. 41
Tabla 8.-Porcentaje de área urbana y rural para obtener el coeficiente de escurrimiento por cada cuenca. . 44
Tabla 9.-Factor de reducción por área 44
Tabla 10.-Promedio de duración de una lluvia para la ESIME Aguascalientes. 46
Tabla 11.-Precipitación, intensidad y gasto para la cuenca 0. 47
Tabla 12.-Características del hidrograma unitario triangular para la cuenca 0..... 50
Tabla 13.-Tipos de material para muros de las viviendas. 68
Tabla 14.-Tipos de material para el techo de las viviendas..... 68
Tabla 15.-Clasificación de la vulnerabilidad..... 69
Tabla 16.-. Clasificación de la vulnerabilidad..... 70
Tabla 17.-Función de Peligro..... 75

2 INTRODUCCIÓN

En México se presentan precipitaciones importantes durante todo el año, que en algunos casos se traducen en desbordamiento de ríos e inundaciones, los cuales llegan a generar grandes pérdidas económicas, principalmente en el sector agrícola, y en la infraestructura estratégica como: carreteras, puentes y avenidas principales en las zonas urbanas, entre otros.

Se ha identificado que en el estado de Aguascalientes existe una probabilidad de inundación que varía desde muy baja a alta. Así mismo, la ciudad de Aguascalientes posee una calificación de peligro medio. En este municipio se concentran más de 870, 000 habitantes, los cuales sufren cada año el impacto de las precipitaciones intensas que llegan a generar inundaciones, principalmente en la zona urbana. Así con el apoyo de la Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes (CEPC-Ags), se recopiló información relacionada con los eventos de inundación que han ocurrido desde 2010 a 2016, de igual manera dicha dependencia proporcionó el sistema de alcantarillado de la zona urbana de Aguascalientes.

La presente investigación tiene como principal objetivo analizar los diferentes escenarios de peligro por inundación para la zona urbana de Aguascalientes, con base en distintas magnitudes de lluvia, de esta manera las autoridades tendrán las herramientas necesarias para la toma de decisiones ante un fenómeno perturbador como son las inundaciones.

Se utilizaron diferentes datos y plataformas de acceso libre, tales como: bases de datos del Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI) y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) – Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con la finalidad de llevar a cabo el análisis hidrológico e hidrométrico en la zona de interés. Además de la información proporcionada por la CEPC-Aguascalientes.

El análisis consistió en elaborar el estudio hidrológico con base en los datos climatológicos compilados, los cuales deben ser depurados. Se realizó un estudio probabilístico para los datos de las estaciones climatológicas, mientras que el análisis hidráulico se realizó mediante una simulación con ayuda de un programa de modelación numérica; para esto fue necesario tener definidos uno o más

métodos a utilizar, aunado a ello se calcularon los parámetros fisiográficos de la cuenca para la zona de estudio.

Finalmente, se obtuvieron los mapas de tirante, velocidad y severidad, para diferentes periodos de retorno que indica la *Guía de contenido mínimo para elaborar mapas de riesgo en México* (SEGOB, 2016). En los mapas se podrán identificar los sitios con mayor peligro de inundación y a partir de éstos las autoridades podrán elaborar medidas de mitigación y tomar acciones preventivas para disminuir el riesgo en la población, así como ante dicho fenómeno.

3 ANTECEDENTES DE LAS INUNDACIONES EN MÉXICO

Las inundaciones son los fenómenos de origen natural que tienen mayor recurrencia en el mundo, en el periodo de 1900 al 2016 se presentaron 5,395 eventos, de los cuales 1090 ocurrieron en el continente americano (EMDAT, 2017). En México, el impacto económico anual por desastres provocados por inundación corresponde en mayor medida a la presencia de ciclones tropicales; en 2010 los sistemas Alex, Karl y Mathew produjeron daños por 92,375 millones de pesos. No obstante, en 2007 las inundaciones de Tabasco demandaron 50,649 millones de pesos (CENAPRED, 2016).

Por otra parte, hablar de un tema como el agua es sumamente complicado, es un líquido vital para los seres vivos, y se puede aprovechar de muchas maneras, para consumo humano, riego, generación de electricidad, elaboración de utensilios básicos, entre otros; es tan benéfica como perjudicial dado que con su ausencia puede generar sequía y si se tiene en demasía se pueden sufrir inundaciones.

Según el Glosario Internacional de Hidrología (OMM/UNESCO, 1974), inundación se define como: *Aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce*. El nivel normal del cauce puede ser considerado cuando este lleva una cantidad de agua que no provoca ningún daño o afectación.

Las inundaciones se pueden clasificar en pluviales, fluviales y costeras, (OMM, 1974). También hay inundaciones según su tiempo de respuesta y son: lentas y súbitas, las primeras ocurren en áreas grandes y con una pendiente baja, por lo cual la inundación puede darse muchas horas después de que ocurra la lluvia dando tiempo de evacuar; las inundaciones súbitas se dan en áreas pequeñas y con gran pendiente, por ello después de una lluvia intensa hay poco tiempo para reaccionar o evacuar.

Existen factores geológicos, climáticos y antrópicos que, en cierto modo, nos ayudan a suponer un escenario posible con base en datos históricos, para ello es necesario contar con modelos digitales de elevación (MDE), con el fin de conocer en dónde estamos y a qué estamos expuestos.

Por lo anterior, se requiere hacer un análisis detallado para determinar, el peligro, la vulnerabilidad y estimar el riesgo de inundación de un sitio en particular.

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil, se llama peligro (P), a: *Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado.* Se llama vulnerabilidad (V), a la: *Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales.* Finalmente, el riesgo es: *Daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador* (LGPC, 2012).

Otro concepto importante es el periodo de retorno que se define como, *el intervalo de recurrencia (T), al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. Este periodo se considera como el inverso de la probabilidad, del m-ésimo evento de los n registros* (SAGARPA, 2012).

México siempre ha estado expuesto a diversas amenazas, como: sequías, inundaciones, frentes fríos, entre otros; que han afectado sustancialmente a la sociedad con pérdidas económicas y humanas. Históricamente las poblaciones se han asentado a las orillas de los cuerpos de agua para facilitar el abastecimiento del vital líquido, en cualquiera que sea su uso, por ello cada temporada de lluvias, existe la probabilidad de que se inunde algún lugar, debido al desbordamiento de los ríos.

Existen afluentes que en este momento no tienen agua, pero anteriormente sí contaban con flujo, por lo que es importante no construir en las orillas o dentro de los arroyos de los ríos secos, ya que en cualquier momento podría presentarse un fenómeno extraordinario que llenase de agua el antiguo cauce.

Si bien los fenómenos que causan las inundaciones no se pueden detener, sí es posible prevenir y estar informados, para saber qué hacer ante una inminente inundación.

3.1 Origen de las inundaciones en Aguascalientes

Después de realizar una búsqueda de noticias sobre inundaciones y lluvias en el estado de Aguascalientes, se recopilaron datos de los principales diarios de circulación nacional, tales como: el Universal, el Excélsior y La Jornada, se encontró un total de cuarenta noticias relevantes desde 1976 al 2013. Los datos más destacados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.-Algunos registros de inundación en el estado de Aguascalientes durante 1976-2013.

Fecha	Municipio Localidad	Daños	Número de muertos	Número de damnificad os	Número de viviendas afectadas	Fuente hemerográfic a
7/14/1976	Varios municipios	El ganado ha sido arrastrado por las corrientes de agua, más de 500 familias damnificadas sin hogar. Varias presas se han desbordado.	12	2000	500	Excélsior
8/03/1990	Aguascalientes	Una de las cortinas de la presa Valerio tronó e inundó las poblaciones La Presa y Chinampa, el desbordamiento provocó un derrame en la presa El Tanque.			6000	La Jornada
10/16/2006	Aguascalientes	15 familias reubicadas. De las 1600 viviendas afectadas, 1200 pertenecen a una colonia construida sobre el cauce del río.			1600	

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se encontró que los eventos de inundación fueron originados por las fuertes lluvias que ocasionaron el incremento y desbordamiento de los ríos, arroyos, y presas en el estado.

En la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, se muestra una recopilación histórica de eventos de inundaciones (Ohmstede, 2004).

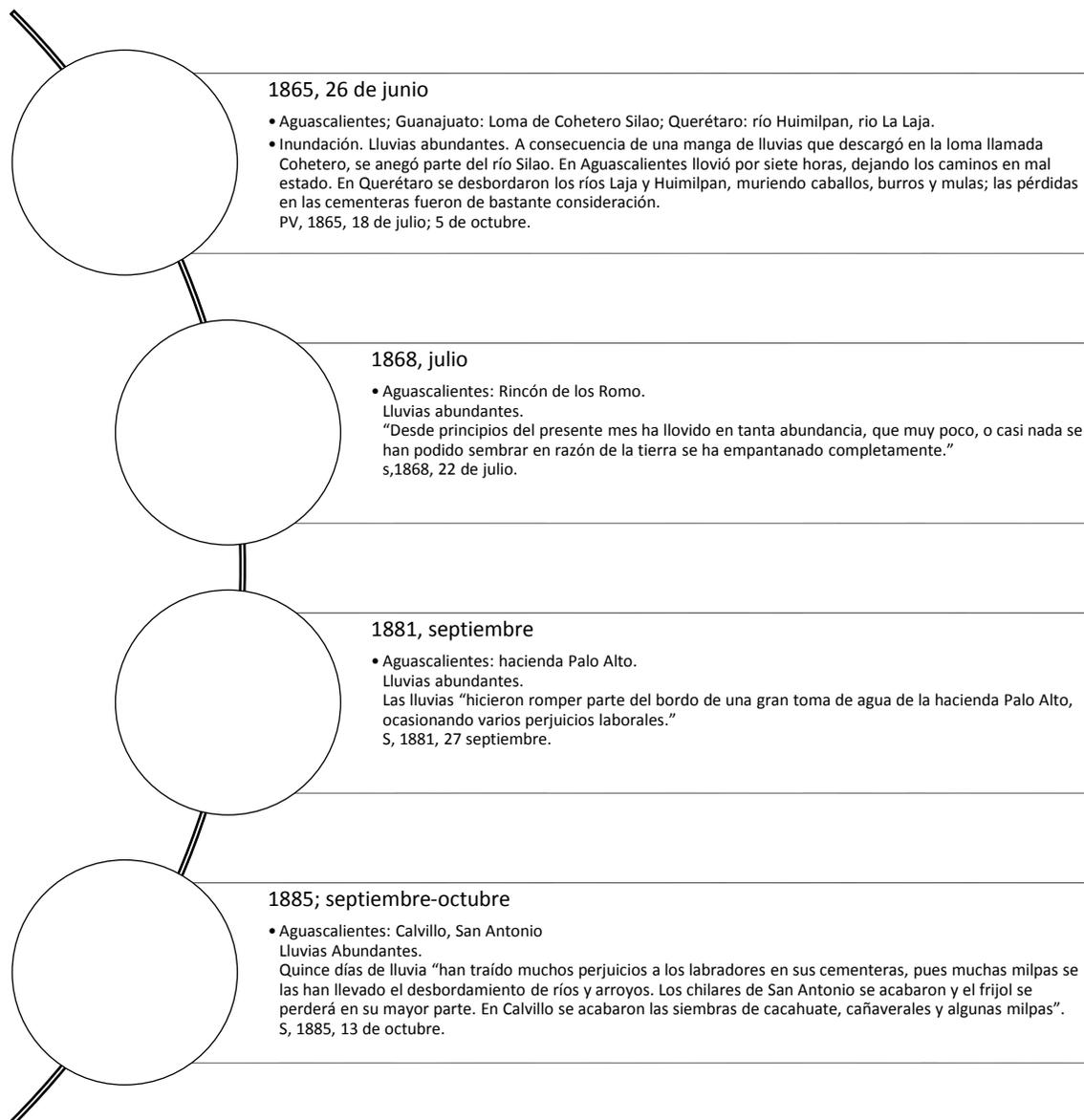


Figura 1. Cronograma de inundaciones históricas en el estado de Aguascalientes

Fuente: Elaboración propia con base en información de Ohmstede, 2004.

3.2 Frecuencia de inundaciones en la ciudad de Aguascalientes

En la *Figura 2*, se puede observar el número de eventos de inundaciones que se registraron en la ciudad de Aguascalientes, de 2010 a 2016; en ella la colonia Insurgentes fue la más afectada con 53 casos, después le sigue la zona centro con 30, las colonias siguientes disminuyen en número de registros (CEPC- Aguascalientes, 2017).

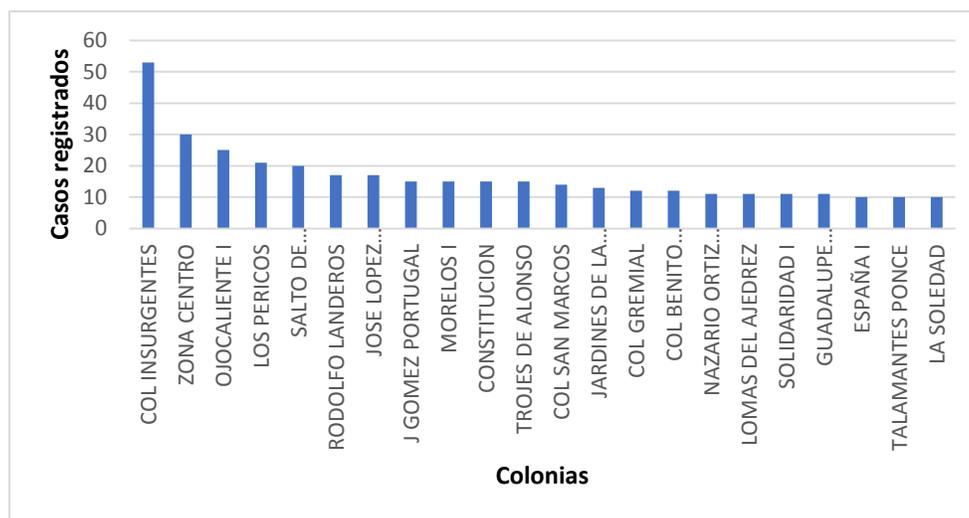


Figura 2. Casos de inundaciones en las colonias del municipio de Aguascalientes, de 2010 a 2016

Fuente: Elaboración propia con información de la Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes

En la *Figura 3*, se muestra el número de inundaciones por año, en ella destacan 2016 y 2013, con 211 y 222 casos, respectivamente. En total se registraron 898 casos de inundaciones (CEPC- Aguascalientes).

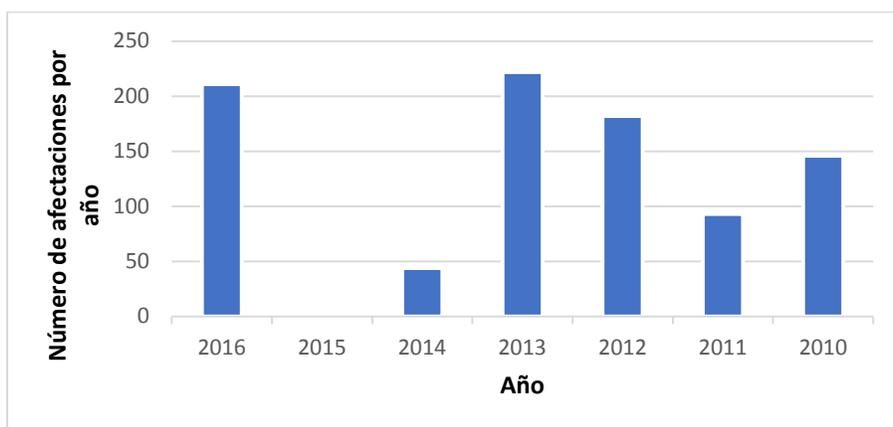


Figura 3. Afectaciones totales anuales por inundación de 2010 a 2016 en el municipio de Aguascalientes
Fuente: Elaboración propia con información de la Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes

En la *Figura 4*, se observa los límites de las colonias con incidencia de inundaciones en el municipio de Aguascalientes, las cuales han sido afectadas históricamente, de acuerdo con la recopilación de información hemerográfica y de campo realizada por las autoridades de Protección Civil.

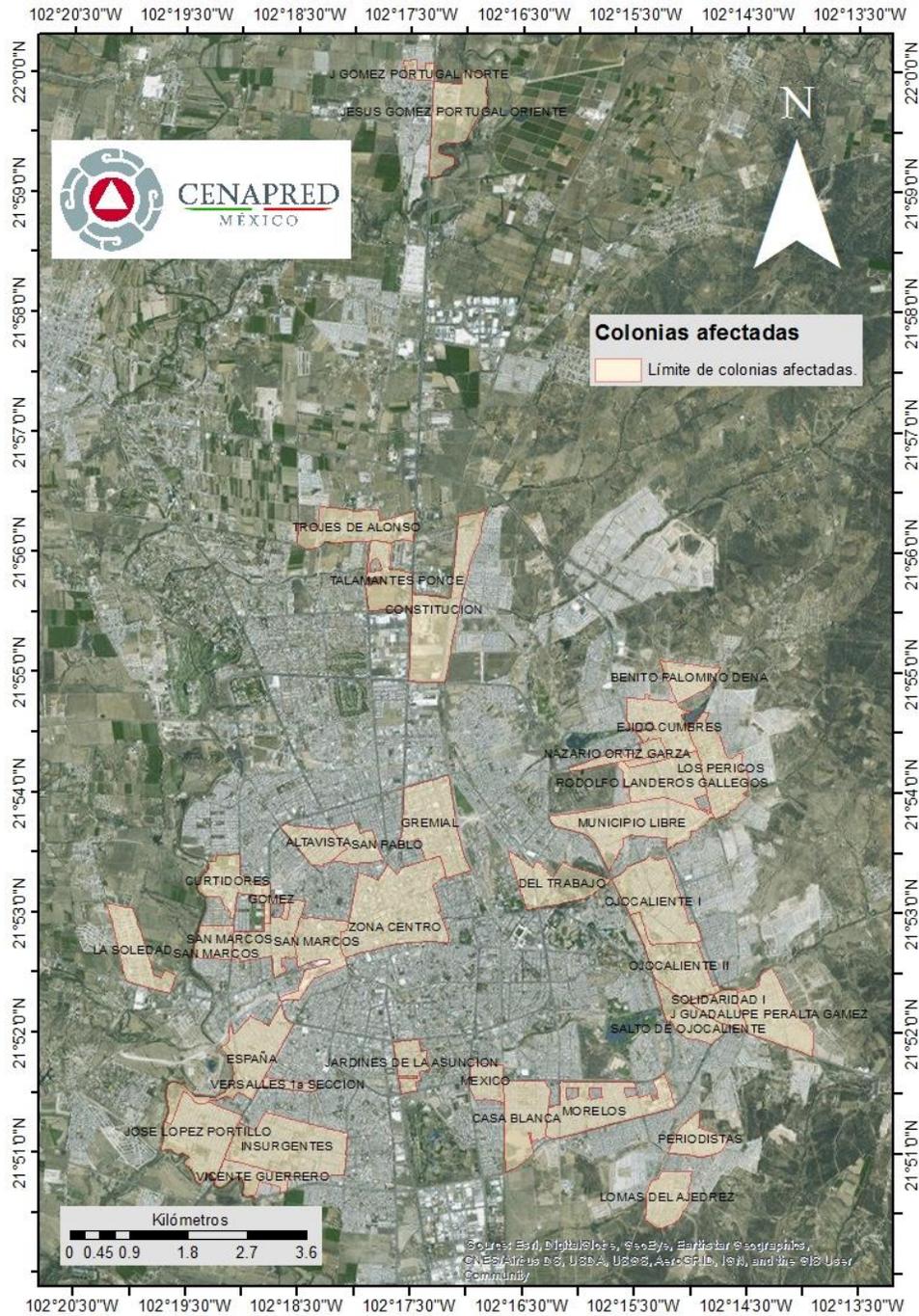


Figura 4. Colonias afectadas por inundación de 2010 a 2016 en el municipio de Aguascalientes

Fuente: Elaboración propia con información de la Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes

3.3 Zona de estudio: Algunas colonias de la ciudad de Aguascalientes

Con base en la información proporcionada por la Coordinación Estatal de Protección Civil de Aguascalientes, se identificaron varias colonias susceptibles de inundación en el periodo de 2010 a 2016.

El municipio de Aguascalientes carece de un estudio a detalle sobre inundaciones, por ello se tomó la decisión de realizar la simulación hidráulica por inundación para la zona urbana de Aguascalientes, ya que ahí se concentra la mayor población del municipio; se redujo el caso de estudio a las colonias Insurgentes, José López Portillo, Vicente Guerrero y España, debido a que en la colonia Insurgentes, se encuentra los mayores casos de inundación, además de contar con la información necesaria como, los MDE's de las colonias mencionadas.

En la *Figura 5*, se muestra las colonias seleccionadas para el análisis, las cuales están en función del número de afectaciones por inundación que presentan anualmente. Con lo anterior, se busca detectar la problemática para estar en posición de proponer soluciones.



Figura 5. Colonias afectadas por inundación de 2010 a 2016 en el municipio de Aguascalientes

Fuente: Elaboración propia

4 USO DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO

Para delimitar la cuenca de estudio se utilizó un LiDAR (Light Detection And Ranging -detección por luz y distancia) de terreno, con resolución de 5m x 5m, que fue descargado del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), cubriendo en su totalidad la ciudad de Aguascalientes. Adicionalmente, se descargó del SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas) del INEGI, para delimitar la subcuenca RH12lb dentro de la cual se encuentra la zona de interés. Se emplea este tipo de información digital, debido a su fácil acceso y resolución de detalle.

El modelo digital de alta resolución LiDAR de tipo terreno se obtiene de la nube de puntos ajustada al terreno mediante procesos geodésicos, de la que se seleccionan aquellos puntos que corresponden únicamente al terreno, generando una "nube de puntos clasificada" a la que se le aplica una interpolación a los puntos clasificados del último retorno y habiendo eliminado aquellos puntos que no pertenecen al terreno como los reflejados por infraestructura, vegetación y objetos aéreos como nubes o pájaros, de esta manera se puede generar un modelo digital de elevación de tipo terreno con una resolución horizontal de 5 m y vertical de 5 m (INEGI, 2017).

Adicionalmente, al modelo anterior, se descargó el LiDAR de superficie que se obtiene de la nube de puntos ajustada al terreno mediante procesos geodésicos, de la que se seleccionan todos los puntos que fueron captados sobre la superficie del terreno, generando una "nube de puntos clasificada" a la que se le aplica una interpolación a los puntos clasificados del primer al último retorno y que corresponden tanto al terreno como a objetos presentes en el suelo, como por ejemplo infraestructura y vegetación, de esta manera se puede generar un modelo digital de elevación de tipo superficie con una resolución horizontal de 5 m y 5 m en la vertical (INEGI, 2017).

4.1 Información topográfica y elaboración del Modelo Digital de Terreno (MDE)

La información topográfica se obtuvo a partir del MDE, construido a partir de 29 imágenes LiDAR, en formato raster, que cubren toda la ciudad de Aguascalientes y la subcuenca, es importante mencionar que estas imágenes sólo están disponibles para algunas zonas del país.

Para la elaboración del MDE se utilizó el programa de cómputo ArcGIS que dentro de sus funciones principales están:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes
- Compilar información geográfica
- Crear y administrar bases de datos geográficas
- Resolver problemas con el análisis espacial
- Crear aplicaciones basadas en mapas
- Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización

El resultado final se puede observar en la *Figura 6*, donde se realizó la delimitación del municipio y el MDE en escala de grises, el modelo digital de terreno se presenta a manera de píxeles de diferente color según su elevación.

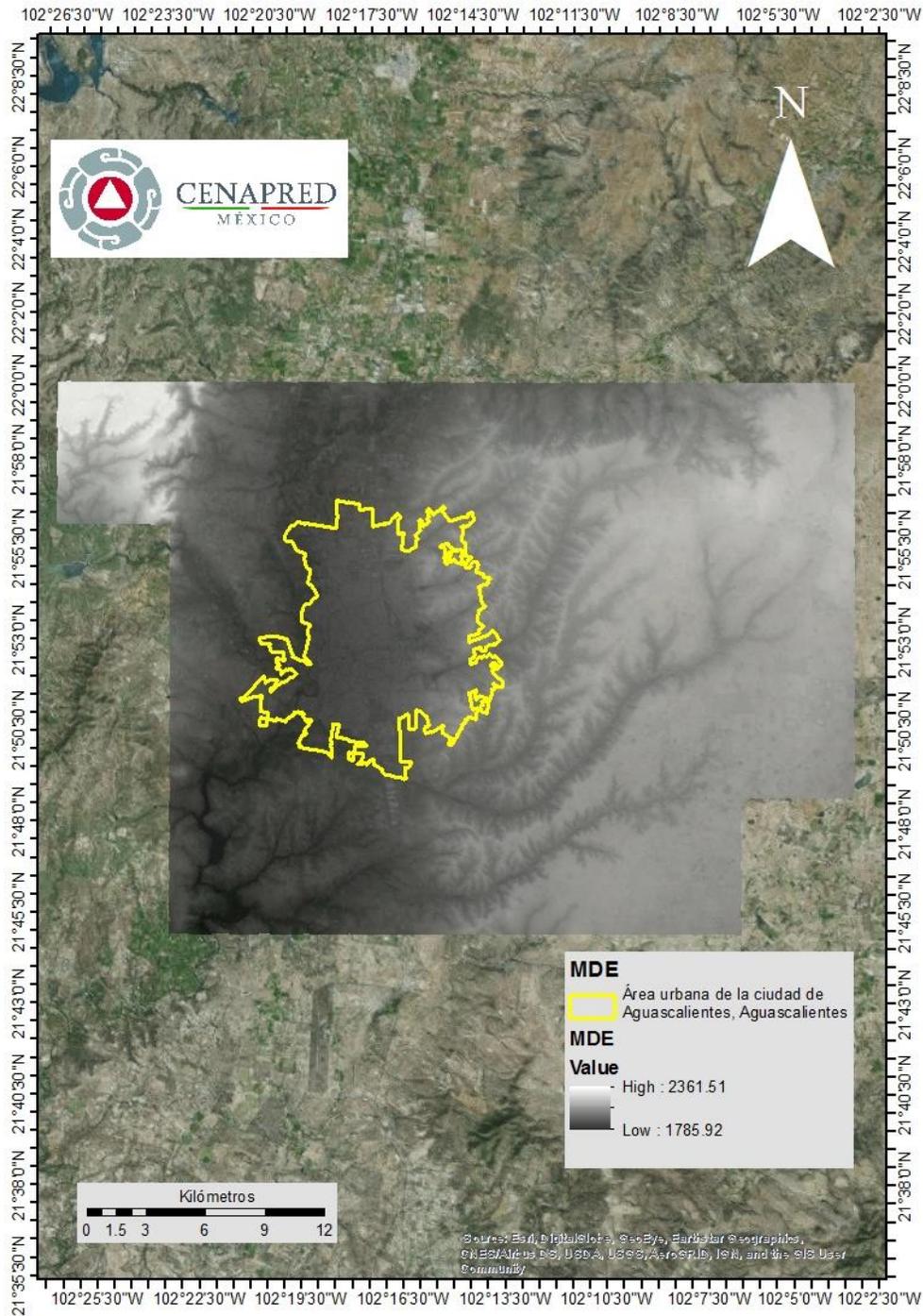


Figura 6. MDE utilizado para la realización del análisis morfológico

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI

5 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO E HIDROMÉTRICO

Para hacer el análisis de lluvias se descargó la información de las estaciones climatológicas más cercanas o que estén dentro de la ciudad de Aguascalientes, utilizando la base de datos del SMN-CONAGUA. En el servidor se puede consultar la información climatológica de todo el país que en algunos casos existe desde 1900 hasta la actualidad, también cuenta con información más actualizada, la cual es proporcionada por los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales de la CONAGUA.

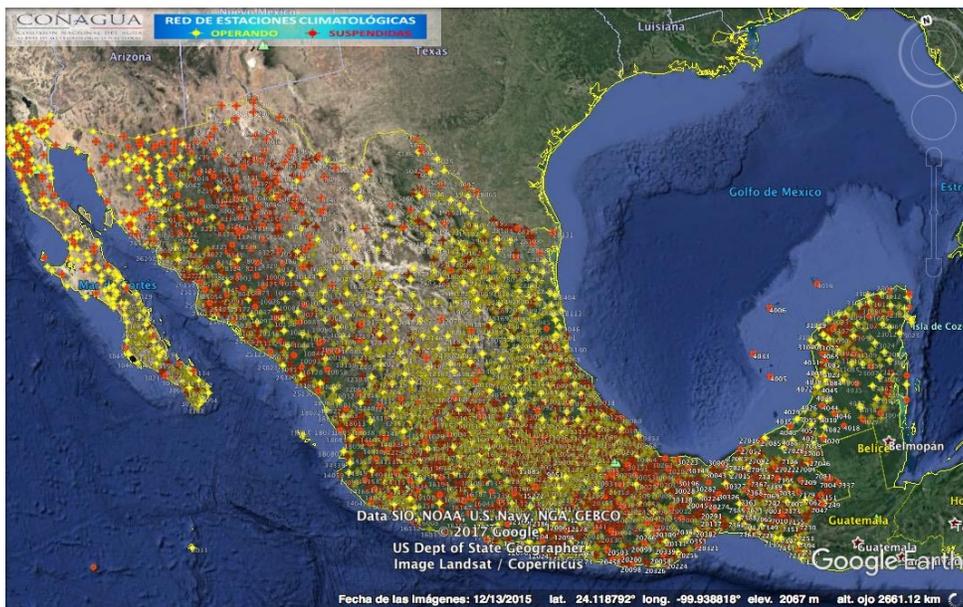


Figura 7. Red de estaciones climatológicas operadas por el Servicio Meteorológico Nacional y la CONAGUA

Fuente: SMN-CONAGUA

Las estaciones hidrométricas de igual manera se encuentran en una base de datos de la CONAGUA y tiene datos históricos de gastos presentados en diferentes ríos del país.

5.1 Estaciones climatológicas

Después de ubicar las estaciones cercanas al municipio se redujo el número de estaciones, ya que éstas deben contar como mínimo con 20 años de registro, y deben localizarse dentro de la cuenca de estudio (*Figura 8*). Las estaciones con datos suficientes son las que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.-Estaciones climatológicas con más de 20 años de registro

Estación	Nombre	Estatus	Coordenadas		Años de registro
			Longitud	Latitud	
1098	LA POSTA U.A.A.	Operando	21.9725°	-102.3625°	29
1090	JESUS MARIA (DGE)	Operando	21.9622°	-102.3506°	36
1007	JESUS MARIA (SMN)	Suspendida	21.9622°	-102.3447°	48
1030	AGUASCALIENTES	Operando	21.8956°	-102.3086	68
1076	LOS NEGRITOS	Operando	21.8706°	-102.3492°	36
1001	AGUASCALIENTES (OBS)	Operando	21.8503°	-102.2908°	54
1034	SANDOVALES	Operando	21.885°	-102.1092°	43

Fuente: Elaboración propia con información SMN – CONAGUA

5.2 Análisis estadístico de la información climática

Después de tener definidas las estaciones climatológicas a utilizar se identifica el dato máximo anual de precipitación, para cada estación y se aplican diferentes distribuciones de probabilidad.

Una *distribución de probabilidad* es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados. El ajuste puede llevarse a cabo utilizando el método de los momentos o el método de máxima verosimilitud.

Para las siete estaciones se obtuvieron los máximos de cada año de registro y, con ayuda del programa AX, se obtuvieron las regresiones Gumbel, Doble Gumbel o la que en su caso tuviera el

menor error, se realizó la extrapolación para cada caso y se obtuvo la altura de lluvia para los periodos de retorno (Tr) 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 años.

Se graficaron los resultados de cada Tr de las regresiones anteriores, también en la misma gráfica se ingresaron las alturas de lluvia medidas en cada estación, para comparar cuál fue el mejor ajuste y observar la tendencia de los datos de ésta. Al identificar la regresión que mejor se ajusta a los datos medidos, ésta se elige para continuar con el proceso.

Por ejemplo, en la estación Aguascalientes se eligió la regresión Gumbel (*Figura 9*).

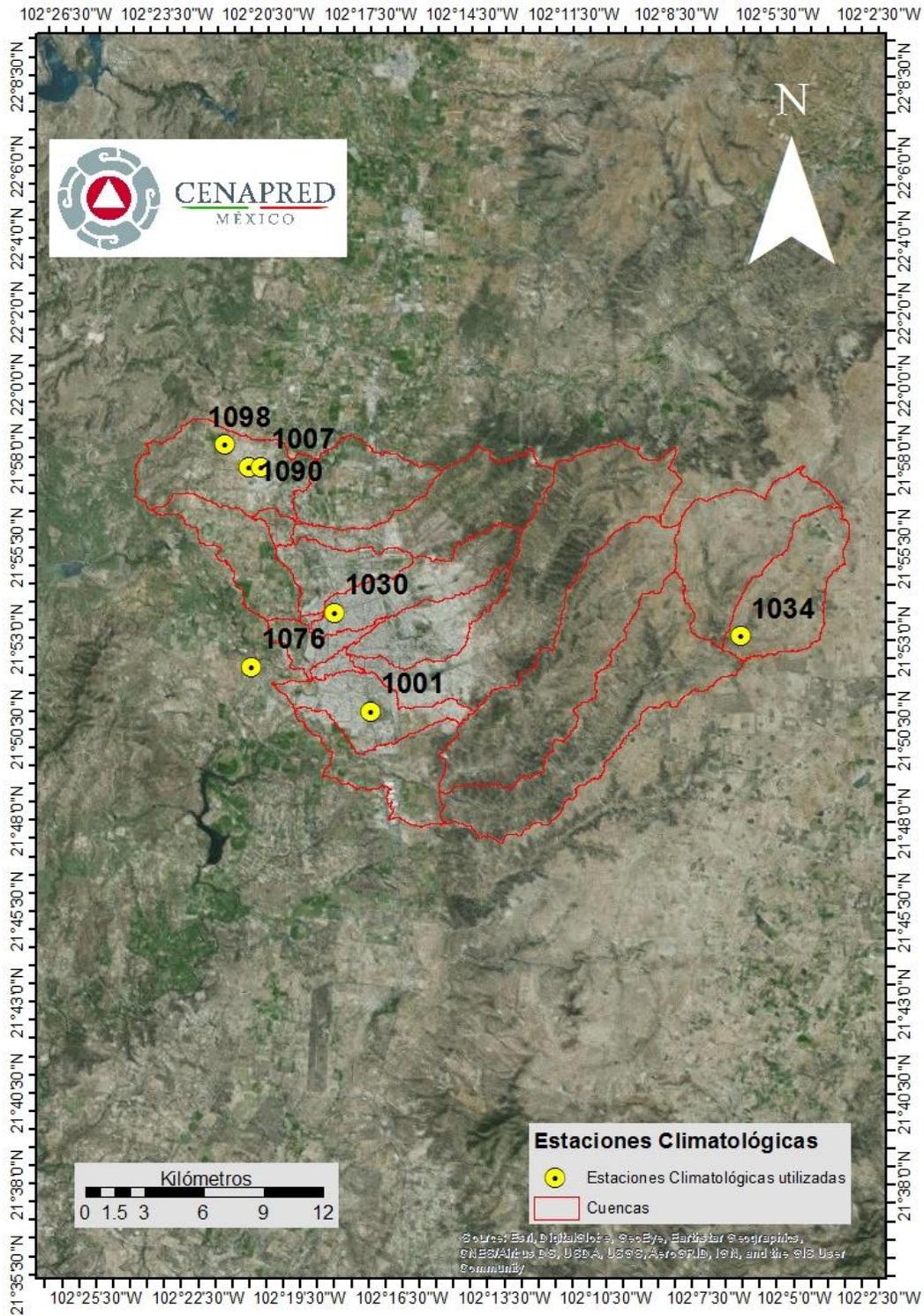


Figura 8. Estaciones Climatológicas por analizar en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

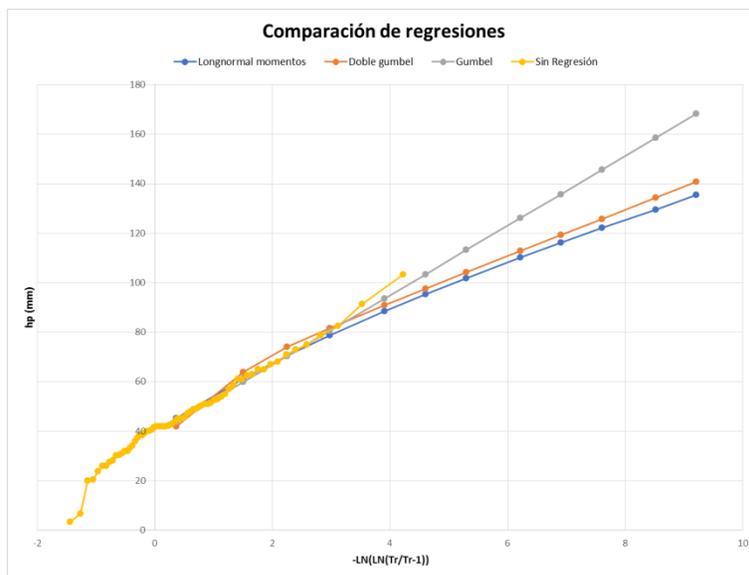


Figura 9. Comparación de distribuciones de probabilidad para la estación climatológica 01030, Aguascalientes

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y la CONAGUA

Los datos extrapolados con el programa AX fueron:

Tabla 3.-. Regresión Gumbel extrapolada con AX para diferentes Tr.

Gumbel (Tr)	Hp (mm)
2	43.8
5	59.8
10	70.3
20	80.4
50	93.6
100	103.4
200	113.2
500	126.1
1000	135.8
2000	145.6
5000	158.5
10000	168.3

Fuente: Elaboración propia

5.3 Polígonos de Thiessen

Debido a que la lluvia que se mide en una estación climatológica es un dato puntual de la ubicación exacta del aparato y difiere de la información espacial de los MDE's, es necesario determinar una lluvia media en la región, que contemple el área en estudio, esto en función del total de estaciones presentes en la zona.

Se utiliza el método de los Polígonos de Thiessen, que consiste en trazar líneas rectas entre las estaciones más cercanas, después se trazan otras rectas que bisectan los triángulos formados, de esto resultan polígonos en los que su área determina la influencia de cada estación sobre la cuenca. Estos polígonos a su vez son delimitados por el parteaguas de la cuenca.

Para este estudio se cuenta con siete estaciones climatológicas que sirvieron para trazar los polígonos, mismos que al circunscribirse con en el parteaguas determinan el área de influencia de cada estación sobre cada subcuenca en estudio (*Tabla 4 y Figura 10*).

Tabla 4. Estaciones climatológicas y área de influencia de cada estación para cada cuenca

	Estación	1030	1076	1001	1034	1007	1090	1098
Cuenca	Área Total (Km ²)	Áreas de influencia (Km ²)						
0	29.874125					8.276658	5.65773	15.939738
1	22.388075	6.818894				15.569181		
2	65.6111	5.581325		27.216224	32.813551			
3	32.6547	31.50619			0.38189	0.766619		
4	2.3405	0.002799				2.308394	0.029307	
5	54.47595			17.45945	37.0165			
6	13.872	13.732376				0.139624		
7	19.383825	4.574853	3.361865			1.581123	7.992199	1.873785
8	22.23905	22.23905						
9	58.3564			26.580621	31.775779			
10	7.018125	4.674539	2.343586					
11	17.4036	10.460133		6.943467				
12	18.87155	0.000506	1.78227	17.088774				

13	22.119275		0.257875	21.8614				
15	1.95205	1.328504	0.052155	0.571391				
16	34.479125				34.479125			
17	27.477275				27.477275			

Fuente: Elaboración propia

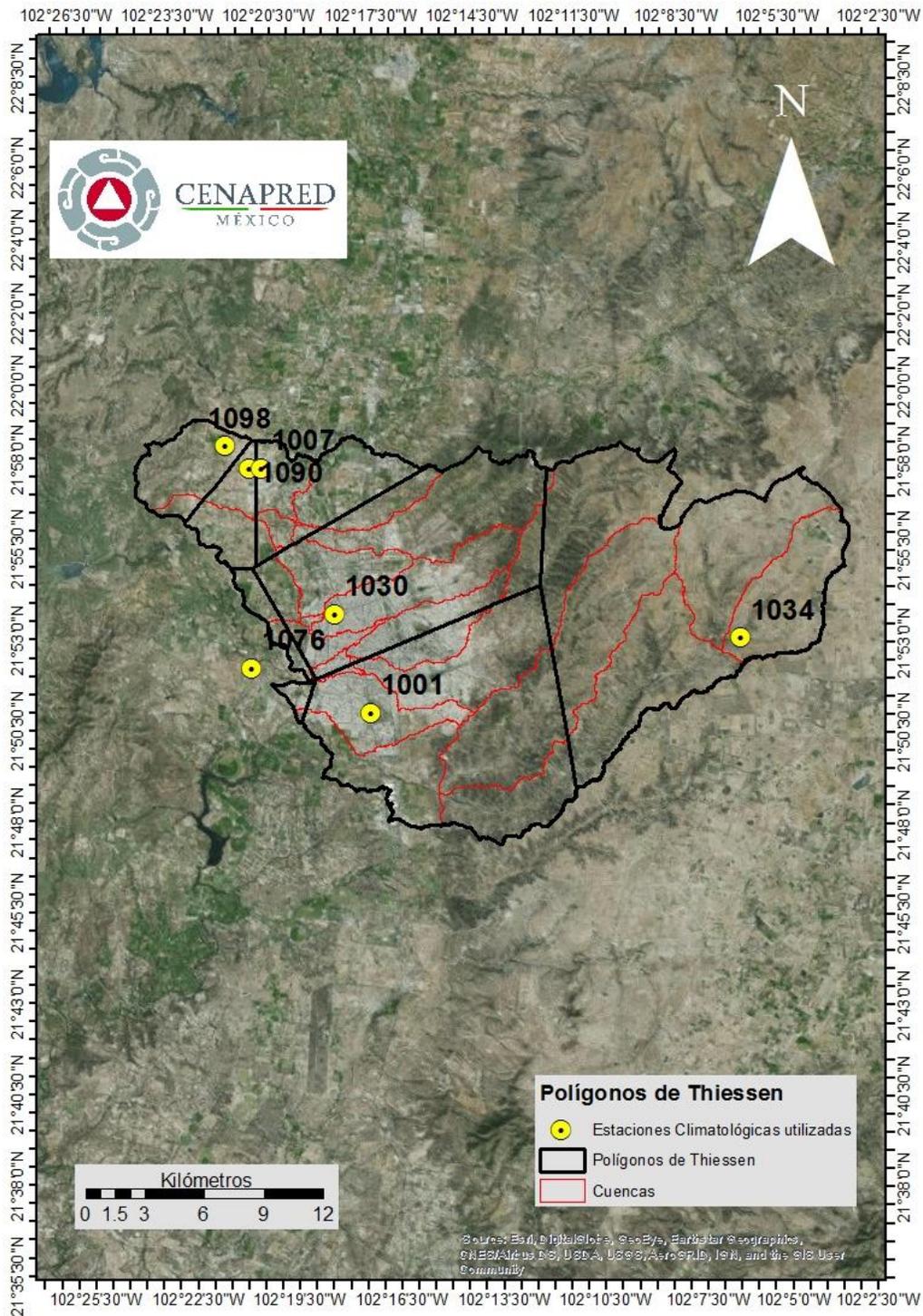


Figura 10. Polígonos de Thiessen obtenidos para las estaciones climatológicas dentro del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Lluvia media

Se obtuvo una lluvia media para cada cuenca en base a los polígonos de Thiessen, se pondera de acuerdo con el porcentaje de área que influye, respecto a la superficie total en estudio, algunas subcuencas cuentan con hasta tres estaciones de influencia. En la *Tabla 5* se muestra la precipitación media en mm para cada T_r y para cada cuenca.

La fórmula de la lluvia media es (Mijares, 1989):

$$h_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{p_i}$$

donde

A_i = Área de influencia de la estación i ,

A_T = Área total de la cuenca.

Tabla 5. Lluvia media y T_r para todas las cuencas de interés

Hp(mm)	Tr= años								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0	38.65	58.96	66.61	73.60	82.98	90.50	98.66	110.05	118.93
1	41.23	57.09	67.59	77.69	90.75	100.55	110.28	123.18	132.88
2	43.51	60.39	71.59	82.32	96.17	106.55	116.90	130.58	140.92
3	43.71	59.76	70.29	80.42	93.65	103.48	113.31	126.25	135.98
4	40.15	55.96	66.46	76.56	89.57	99.37	109.07	121.98	131.68
5	43.58	61.43	73.29	84.64	99.28	110.26	121.22	135.69	146.64
6	43.76	59.76	70.26	80.36	93.56	103.36	113.16	126.06	135.76
7	42.62	59.33	69.30	78.85	91.26	100.60	110.11	122.70	132.26
8	45.30	61.30	70.50	78.70	88.40	95.30	101.80	110.10	116.20
9	43.48	60.43	71.68	82.47	96.36	106.79	117.18	130.92	141.31
10	43.40	59.13	69.47	79.43	92.40	102.03	111.70	124.40	133.96
11	43.52	58.44	68.27	77.73	90.01	99.17	108.29	120.35	129.42
12	43.05	56.53	65.45	74.06	85.11	93.41	101.64	112.58	120.79
13	43.09	56.42	65.23	73.74	84.66	92.88	100.99	111.81	119.92
15	43.56	58.75	68.74	78.36	90.87	100.19	109.48	121.75	130.97
16	43.80	63.80	77.10	89.80	106.20	118.50	130.80	147.00	159.30
17	43.80	63.80	77.10	89.80	106.20	118.50	130.80	147.00	159.30

Fuente: Elaboración propia

5.5 Estaciones hidrométricas

Al realizar la búsqueda y ubicación de estaciones hidrométricas se identificó que en la zona no hay información que fuera de utilidad para el análisis estadístico, ya que la estación hidrométrica de la presa Abelardo L. Rodríguez, aguas arriba del municipio de Aguascalientes no cuenta con más de 3 años de registro de gastos, es posible que éstos sólo los utilizaron previo a la construcción de la presa. El Niagara, aguas abajo del municipio carece con registros útiles porque las estaciones presentes en el lugar miden gastos de un canal derivador.

6 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, CIUDAD DE AGUASCALIENTES

La cuenca es la unidad básica para un estudio hidrológico. Suponiendo que tenemos una superficie terrestre totalmente impermeable y sobre ella caen gotas de lluvia, éstas serán drenadas por medio de corrientes hacia un punto que es la salida de la cuenca, que en este caso el escurrimiento es superficial. También hay cuencas subterráneas que son asociadas a las superficiales.

Existen dos tipos de cuencas superficiales que son las endorreicas y las exorreicas. Cuando todas las corrientes van hacia un punto y convergen dentro de la cuenca, en un depósito, por ejemplo, un lago o una laguna, se llama endorreica. En caso contrario cuando las corrientes van hacia un punto fuera de los límites de la cuenca se llama exorreica.

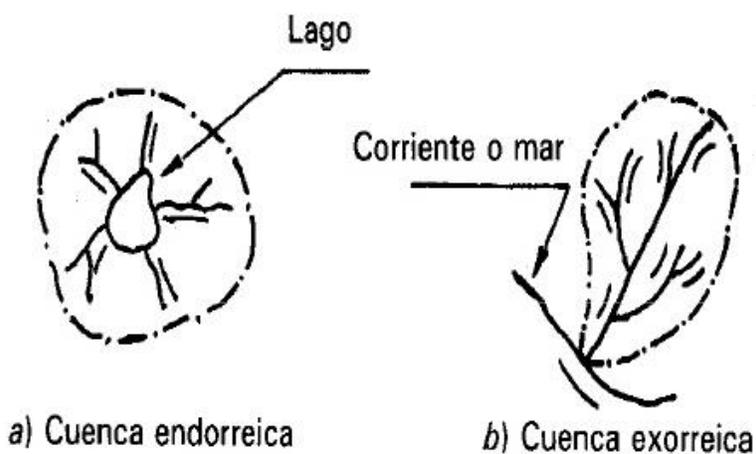


Figura 11. Tipos de cuencas
Fuente: (Mijares, 1989)

6.1 Características de una cuenca

Al presentarse el ciclo hidrológico dentro de una cuenca se tiene una respuesta por parte de ella. Esta reacción está conformada por las características geomorfológicas de la cuenca y su grado de urbanización.

Características de acuerdo con la relación lluvia-escorrentamiento:

6.1.1 Parteaguas.

Es una línea que trazamos hipotéticamente en los puntos más altos de acuerdo con la topografía para separar a una cuenca de otra adjunta.

6.1.2 Área

Es la superficie horizontal que es delimitada por el parteaguas.

6.1.3 Corriente principal.

Esta aplica sólo para el caso de cuencas exorreicas y se define como la corriente que pasa por toda la cuenca hasta el punto de salida. Existen más escurrimientos que aporten a la corriente principal, éstas se llaman tributarios que tienen su propia subcuenca.

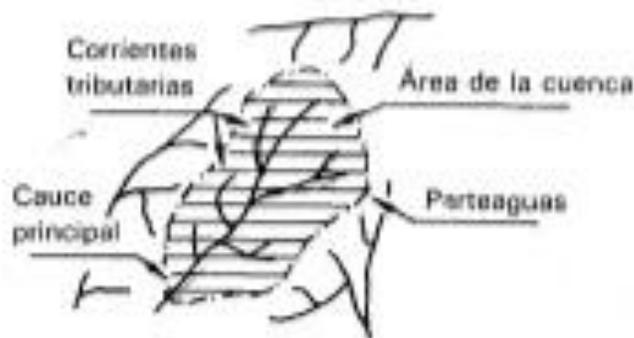


Figura 12. Tipos de cauces en una cuenca

Fuente: (Mijares, 1989)

6.1.4 Características de las corrientes:

Longitud de la corriente; es la distancia total de la corriente desde donde da inicio hasta el punto de salida de la cuenca.

Pendiente media; es el desnivel que hay entre los dos extremos de la corriente entre su longitud.

6.2 Área de la cuenca

En el programa de cómputo ArcGIS se trabajó con la subcuenca RH121b, la cual se descargó con anterioridad (*Figura 13*), para la cual se obtuvieron sus parámetros fisiográficos, tomando en cuenta sólo el área que es de nuestro interés, en este caso donde se encuentra el MDE.

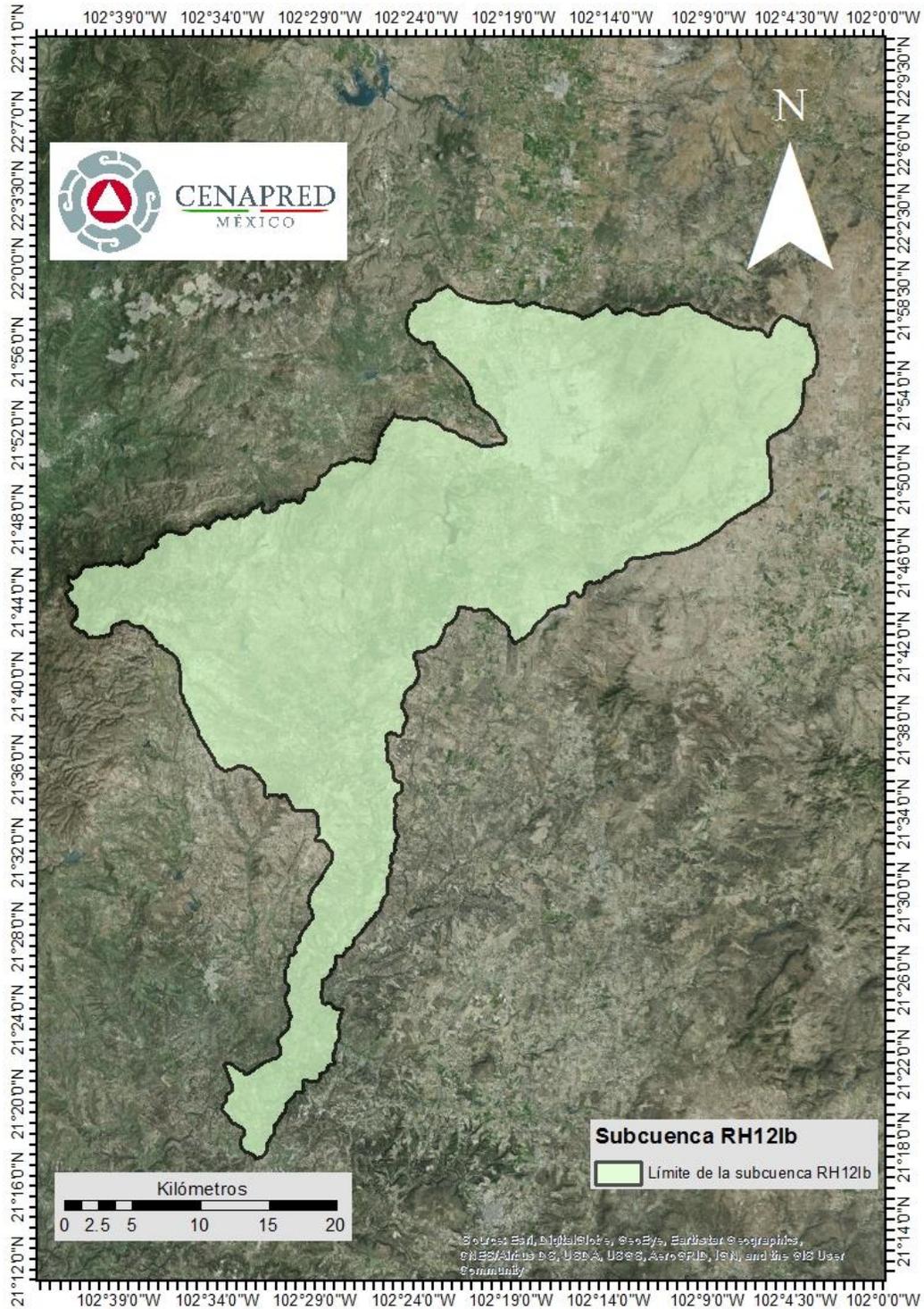


Figura 13. Subcuenca RH12lb

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI

6.3 Red de ríos y orden de corrientes

Con el complemento HEC-GeoHMS de la paquetería del programa ArcGIS se calcularon las subcuencas o microcuencas, según la escala del análisis, (más adelante para facilitar la comprensión sólo las llamaremos cuencas), esta herramienta permite delimitar los parteaguas a partir de la información de altimetría del sitio, que en este caso es obtenida del modelo digital (LiDAR) de terreno.

Una vez realizado el proceso para la delimitación, resultó un conjunto de microcuencas dentro de la subcuenca R12lbH, con sus respectivos ríos o líneas de flujo como se muestra en la *Figura 14*. En ella se observa la zona urbana, por, en la cual influyen diversas cuencas, después se identifican los ríos de cada una para esto se procedió hacer la búsqueda en el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL).

Para seguir caracterizando el área de estudio sólo se seleccionaron 17 microcuencas y sus respectivos ríos principales que se muestran en la *Figura 15* porque las restantes se encuentran aguas debajo de la zona que se analizará y no son caso de estudio.

Durante el proceso anterior se encontró que algunos ríos no se trazaron hasta el inicio de la cuenca y por eso se utilizó la red hidrográfica descargada del INEGI, para complementar este de manera manual. Se empalmó la red de ríos ya trazados y se unieron (*Figura 16*).

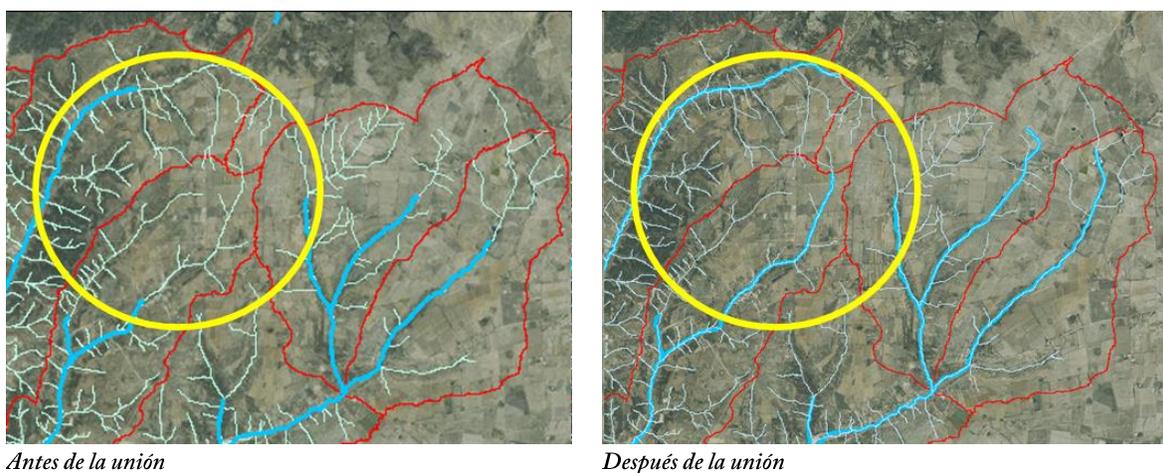


Figura 14.-Unión de cauces obtenidos con los ya existentes en la red hidrográfica del INEGI.

Fuente: Elaboración propia.

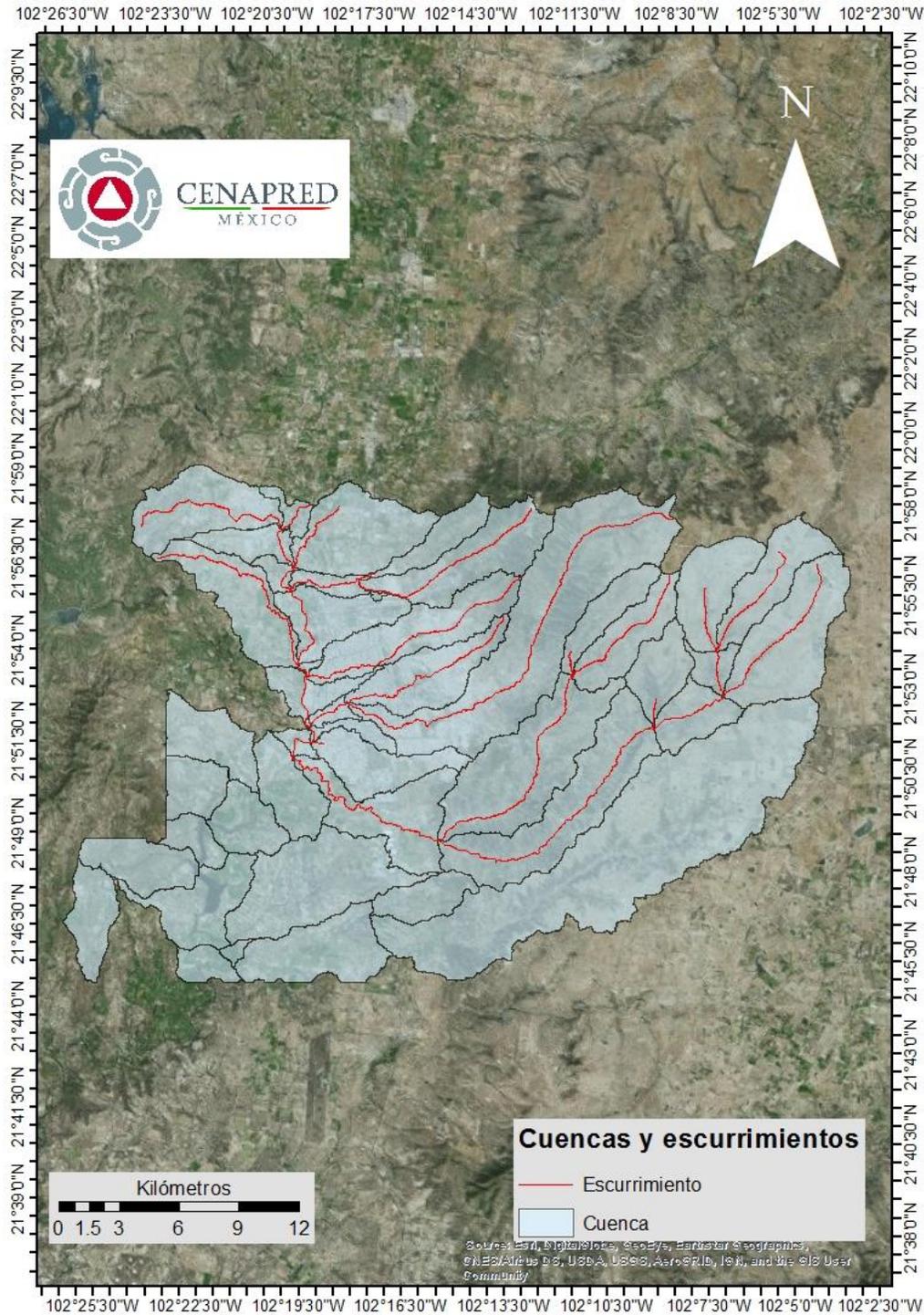


Figura 15.-Microcuencas y ríos de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

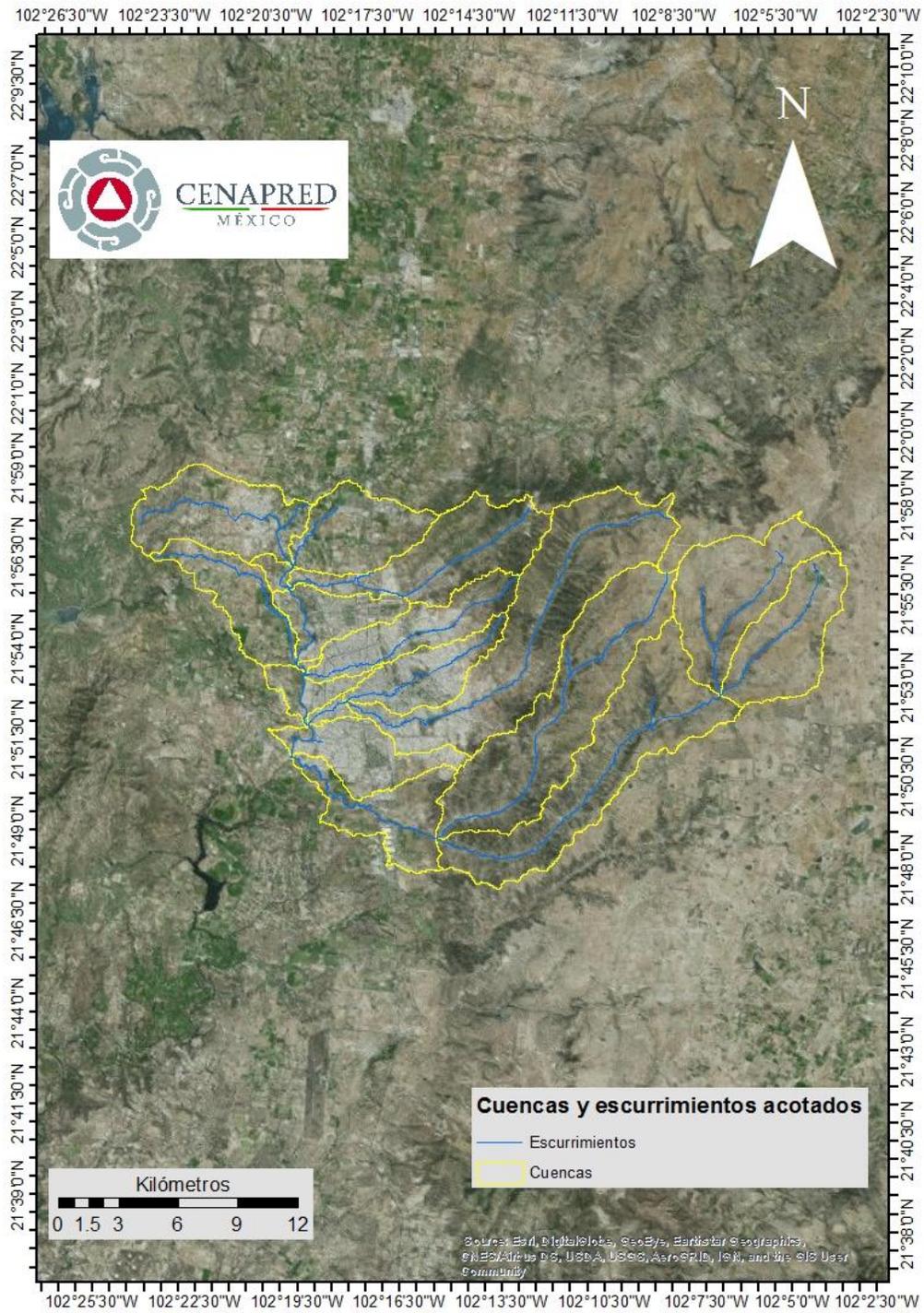


Figura 16.-Cuencas y ríos acotados a nuestro estudio.

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Longitud y pendiente del cauce principal

Después se procedió a calcular el área de las cuencas, la pendiente y longitud de los ríos, todo con el programa de cómputo ArcGIS.

Tabla 6.-Propiedades de las cuencas y sus cauces principales.

<i>Cuenca</i>	<i>Área (Km²)</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Longitud (Km)</i>
0	29.874125	0.020609	12.448546
1	22.388075	0.005093	5.244267
2	65.6111	0.007062	25.607661
3	32.6547	0.010327	15.99157
4	2.3405	0.00238	1.877878
5	54.47595	0.004506	20.657409
6	13.872	0.000815	5.057595
7	19.383825	0.020756	12.421706
8	22.23905	0.013949	14.258959
9	58.3564	0.007766	21.844709
10	7.018125	0.000729	3.114361
11	17.4036	0.015094	10.893198
12	18.87155	0.000804	2.909092
13	22.119275	0.004713	12.260347
15	1.95205	0.007005	2.847853
16	34.479125	0.008882	9.9366
17	27.477275	0.007527	10.001154

Fuente: Elaboración propia

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c) es el tiempo que tarda una gota de lluvia en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de la misma y nos ayuda a determinar el tiempo y tipo de respuesta ante un evento de precipitación. El tiempo de concentración de los cauces fue calculado con la fórmula de Kirpich (Mijares, 1989):

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

donde:

L = Longitud del cauce,

S = Pendiente del cauce.

Tabla 7.-Tiempo de concentración de cada cuenca.

Número de Cuenca	Tc (Horas)
0	2.061639806
1	1.8149129
2	5.426140359
3	3.262116391
4	1.103125974
5	5.467416474
6	3.573753547
7	2.052591899
8	2.660001607
9	4.628646248
10	2.568191213
11	2.097265168
12	2.346675414
13	3.595927884
15	1.003182055
16	2.396513208
17	2.566980157

Fuente: Elaboración propia

7 ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA DE DISEÑO

La estimación de la avenida de diseño es el proceso para calcular el volumen de agua y obtener los hidrogramas con sus características que emplearemos para el modelo hidráulico. Con esto pretendemos estimar el tamaño de nuestro fenómeno tomando en cuenta distintos periodos de retorno, para conocer la dimensión del gasto asociado a una probabilidad de ocurrencia.

7.1 Método lluvia- escurrimiento

Este tipo de métodos son por los cuales se estima el escurrimiento producido al presentarse una lluvia en una cuenca y que llega a los cauces y esta a su vez se asocia un gasto, mismo que se analiza con diversos fines como obras de protección, alertamiento de inundaciones, etc.

El gasto final es función del llamado coeficiente de escurrimiento, el cual depende de varios factores como: el uso de suelo, tipo de vegetación, material de las calles, etc.

7.2 Coeficiente de escurrimiento

Es necesario conocer el porcentaje de la zona urbana y rural para cada cuenca, así como determinar el coeficiente de escurrimiento para cada una. Para ello, en ArcGIS se realizó una intersección de la mancha urbana con las cuencas (*Figura 17 y Tabla 8*).

El coeficiente de escurrimiento es un valor que nos resulta del cociente entre el volumen de lluvia que se precipita y el que escurre, mostrando en que proporción el agua se infiltra en el suelo, de acuerdo con el tipo de superficie que se presente en el análisis, en este caso tenemos un coeficiente de 85% para zonas urbanas y un 15% para las rurales (Mijares, 1989).

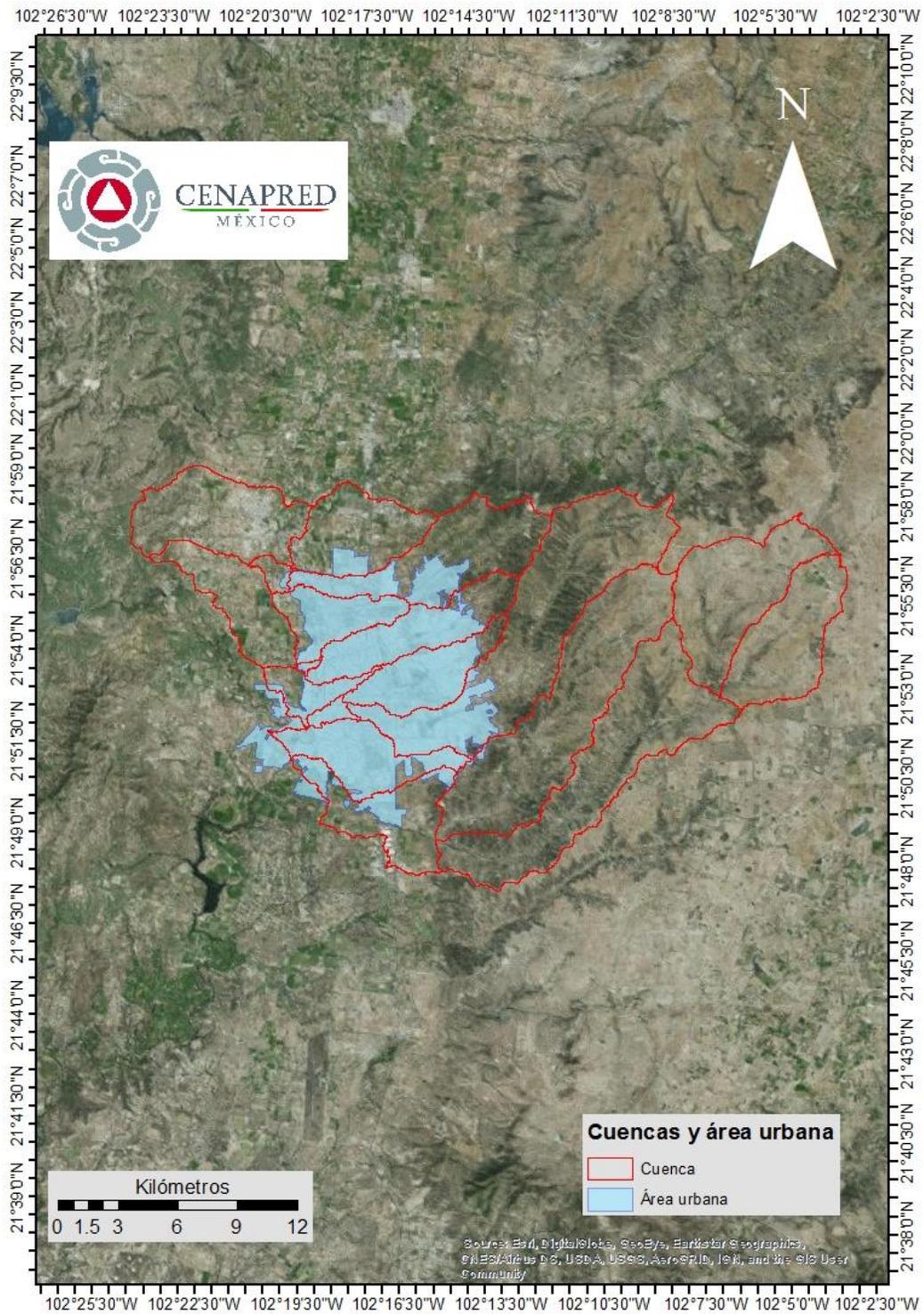


Figura 17.-Área Urbana y Área rural de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.-Porcentaje de área urbana y rural para obtener el coeficiente de escurrimiento por cada cuenca.

	Área Zona Urbana (km ²)	Ce= 0.85 Zona Urbana (%)	Ce= 0.15 Zona Rural (%)	Coeficiente de escurrimiento (Ce)
0	7.330644	24.53843838	75.46156162	0.321769069
1	2.309988	10.31793935	89.68206065	0.222225575
2	14.442935	22.01294446	77.98705554	0.304090611
3	10.710118	32.79809133	67.20190867	0.379586639
4	0.33106	14.14484085	85.85515915	0.249013886
5	0	0	100	0.15
6	11.122063	80.17634804	19.82365196	0.711234436
7	19.383825	100	0	0.85
8	16.628907	74.7734593	25.2265407	0.673414215
9	0	0	100	0.15
10	4.406105	62.78179713	37.21820287	0.58947258
11	15.362518	88.27207015	11.72792985	0.767904491
12	17.540742	92.94807263	7.051927372	0.800636508
13	5.748703	25.9895634	74.0104366	0.331926944
15	1.95205	100	0	0.85
16	0	0	100	0.15
17	0	0	100	0.15

Fuente: Elaboración propia

7.3 Factor de Reducción por Área (FRA)

El factor de reducción por área es muy importante para tomar en cuenta la distribución de una lluvia sobre la superficie de una cuenca, entre más grande es el área menor es la similitud entre las características de la precipitación que se presenta en distintas zonas de la misma.

Utilizando un factor de reducción por área para la precipitación media ya calculada para cada cuenca se generan lluvias con menor magnitud (*Tabla 9*) (UAM en línea).

Tabla 9.-Factor de reducción por área

Área (Km ²)	Factor
1	1
10	0.96

20	0.87
50	0.77
100	0.7
200	0.6
500	0.47
1000	0.36

Fuente: (UAM en línea)

7.4 Estación Sinóptica Meteorológica

El SMN proporcionó los datos de la Estación Sinóptica Meteorológica (ESIME) Aguascalientes, esta estación climatológica nos sirvió para conocer la duración promedio de una lluvia para la zona (Tabla 10). El Resultado es 2.15 horas. Este dato es de suma importancia porque así se conoce cuánto tiempo dura en promedio una lluvia para la zona de estudio, esta duración es útil para la elaboración de los hidrogramas.

Tabla 10.-Promedio de duración de una lluvia para la ESIME Aguascalientes.

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Duración (hrs)	2.10	2.04	2.24	1.79	2.53	1.81	2.15	2.51	2.13	2.45	1.93

Fuente: Elaboración propia

7.5 Intensidades

La intensidad de lluvia es la variación de altura de precipitación en milímetros, con respecto al tiempo, para conocer las intensidades de lluvia se utilizó la metodología de CHEN (Campos Aranda, 2010). En la cual se toman las diferentes intensidades cada 5 minutos para una lluvia de 24 horas, de esta manera puede estimarse la intensidad máxima, la cual servirá para estimar el gasto pico.

7.6 Método de la fórmula Racional

El cálculo del gasto (Q) para cada cuenca se realizó por medio del método racional. La fórmula Racional toma en cuenta el área de la cuenca y la intensidad de la precipitación. Esto es que, al caer una lluvia sobre una cuenca con una intensidad dada a lo largo del tiempo, llegará un momento en el que la precipitación se acumule y genere un volumen de agua que será el gasto de salida de la cuenca, todo esto en proporción a los coeficientes de escurrimiento, pendiente de la cuenca y área.

Cuando la cuenca no es impermeable se debe de tomar en cuenta el factor de infiltración, por medio del coeficiente de escurrimiento (Mijares, 1989). La cuenca analizada resultó no impermeable.

El gasto que se utiliza en este estudio es el pico, es decir, el volumen máximo escurrido que se puede presentar en la cuenca en algún momento de la lluvia.

La expresión de la formula racional es la siguiente:

$$Q=0.278CiA$$

donde:

Q = Gasto en m^3/s

C = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad de la lluvia

A = Área de la cuenca en Km^2

Tabla 11.-Precipitación, intensidad y gasto para la cuenca 0.

Tr	hp, mm	I, mm/s	Q , m^3/s
2	22.77	10.51	28.08
5	34.73	16.03	42.83
10	39.23	18.11	48.39

20	43.35	20.01	53.47
50	48.87	22.56	60.28
100	53.31	24.60	65.75
200	58.11	26.82	71.67
500	64.82	29.92	79.95
1000	70.05	32.33	86.40

Fuente: Elaboración propia

8 ANÁLISIS HIDROLÓGICO, VOLÚMENES DE LOS HIDROGRAMAS Y ANÁLISIS HIDRÁULICO

Es necesario elegir un tipo de hidrograma a utilizar con la finalidad de conjuntar el análisis hidrológico e hidráulico, ya que éste nos llevará a conocer el volumen de agua y cómo se distribuye en el tiempo para la cuenca de estudio.

8.1 Hidrograma Triangular (HT)

El gasto pico, calculado anteriormente será la altura del triángulo que representara el hidrograma y a partir del mismo se obtienen las características de la base y lados. (Figura 18).

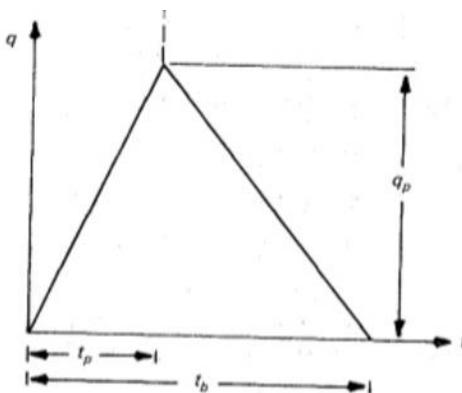


Figura 18.-Características de un hidrograma unitario triangular.

Fuente: (Mijares, 1989)

donde:

T_p : Tiempo pico, dónde se presenta el mayor gasto,

Q_p : Gasto pico,

t_c : Tiempo de concentración,

t_b : Tiempo base (total),

t_r : Tiempo de retardo.

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6t_c$$

$$t_b = 2.67t_p$$

$$t_r = 0.6t_c$$

Tabla 12.-Características del hidrograma unitario triangular para la cuenca 0.

$t_b =$	4.54	h
$t_p =$	1.70	h
$t_r =$	0.62	h
$t_c =$	2.06	h
$A =$	29.87	km ²
$C =$	0.32	

Fuente: Elaboración propia

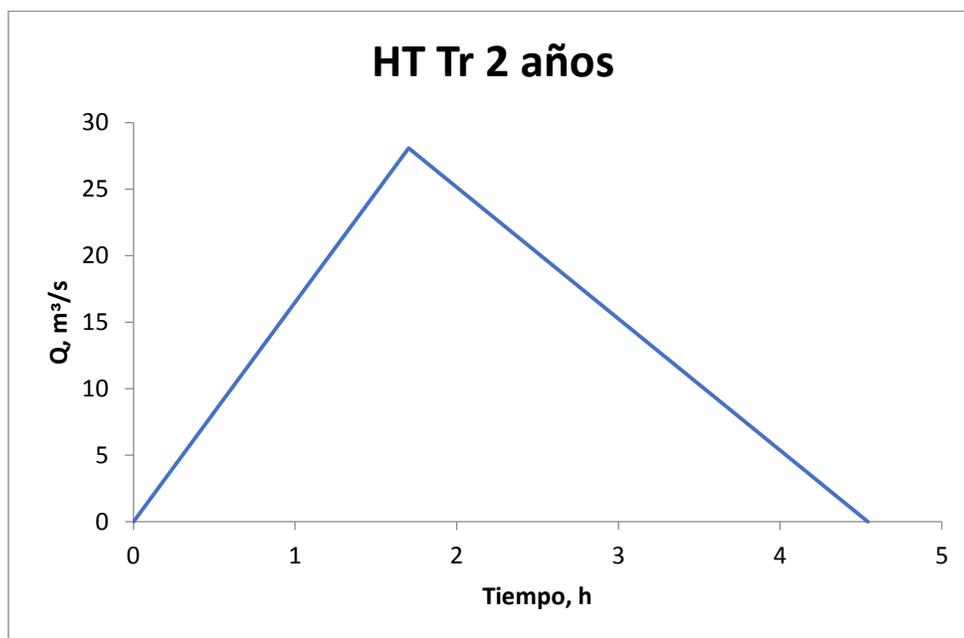


Figura 19.-Hidrograma Triangular para la cuenca 0 y un Tr de 2 años.

Fuente: Elaboración propia

8.2 Preparación de archivos en ArcGis

Por la extensión de la cuenca en estudio y para hacer el análisis de la capacidad de los ríos, se establecieron los hidrogramas hasta, sin resultar objeto de estudio las corrientes fuera de la zona urbana. En cada río se trazaron sus secciones transversales a cada 100 m y los resultados obtenidos se exportaron para futuras simulaciones al software de HecRAS (*Figura 20*).

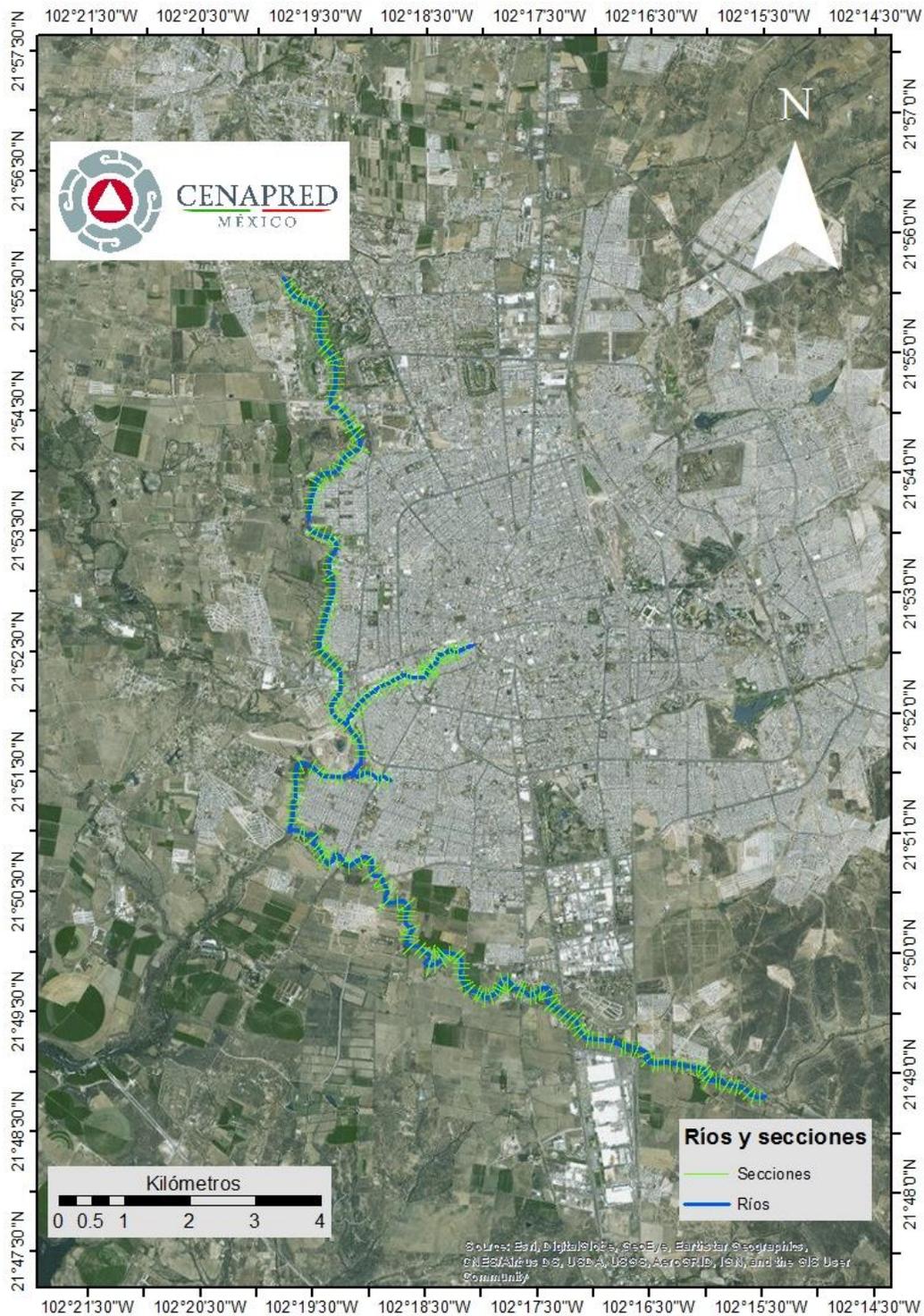


Figura 20.-Ríos y secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia

Se acota el modelo para facilitar la simulación, hay corrientes que se unieron con el objeto de realizar los hidrogramas envolventes, como el caso de la cuenca 0, 1, 3 y 4 que confluyen en el mismo punto para aportar a un río mayor (Figura 21). La envolvente agrupa todos los pequeños hidrogramas que descargan en el mismo punto de la cuenca y tiene todos los tiempos de los demás que lo conforman.

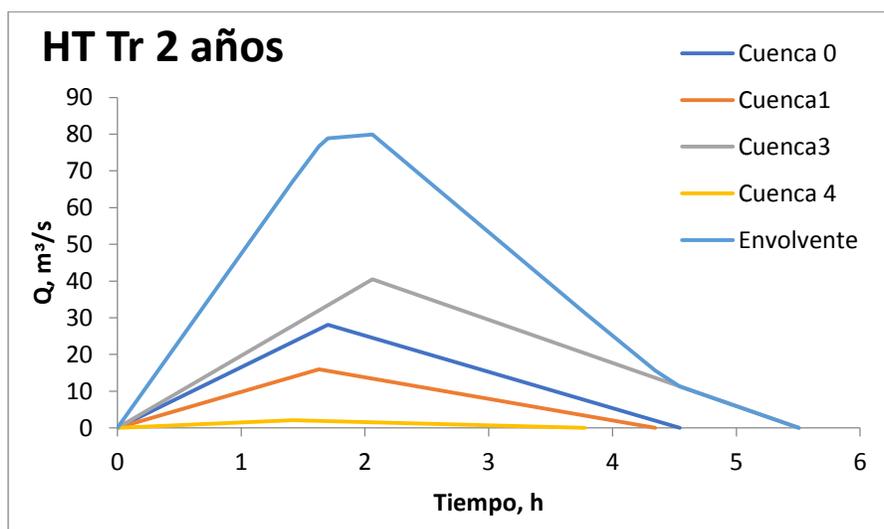


Figura 21.-Envolvente para la cuenca 0, 1, 3 y 4 para un Tr de 2 años.

Fuente: Elaboración propia

8.3 Método utilizando SWMM

En un principio se definió utilizar únicamente el programa HecRAS, pero no fue posible, ya que se cuenta con la red del sistema de alcantarillado de la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes, sin embargo, este programa no puede procesar tuberías, por lo que se optó por utilizar primero el programa EPA SWMM, el cual sirve para modelar sistemas de drenaje, y así poder realizar un mejor análisis de la zona de estudio, con base en el resultado de volúmenes de desbordamientos más precisos.

Primero se ingresó de manera manual en el programa SWMM, las características de las tuberías de drenaje (diámetro, longitud y rugosidad) para cada tramo y pozo de visita de las cuatro colonias que se identificaron como susceptibles de inundación. Durante este proceso se observó que la

información del alcantarillado presentó un error en las cotas de ubicación, para los pozos de visita, por lo que se procedió a identificar los que fueran correctos y se ligaron algunos que coincidieran con algún Banco de Nivel (BN) del INEGI. Después de realizar este procedimiento, se comprobó que las cotas se encontraban desfasadas por 13 metros, corrigiendo los datos erróneos, en el programa se asignó los valores de las cotas verificadas (*Figura 22*).

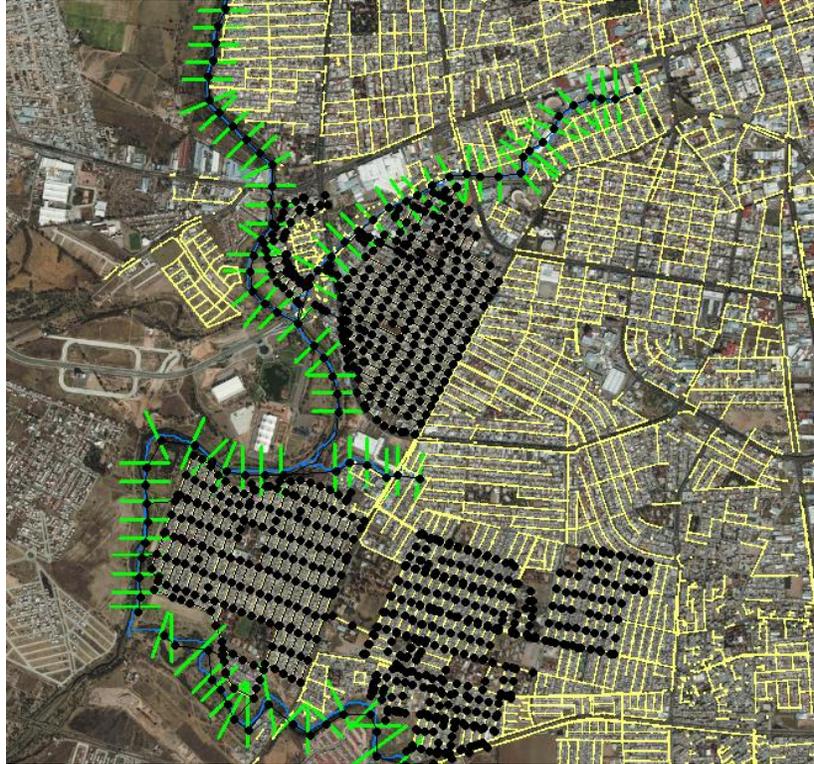


Figura 22.-Pozos de visita con sus respectivas tuberías.

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la CEPC-Aguascalientes

En el programa SWMM se asignó a cada nodo o pozo ciertas propiedades como se muestra en la *Figura 23*.

Property	Value
Name	CE0071
X-Coordinate	3616.784
Y-Coordinate	4924.155
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	1847.45
Max. Depth	2.11
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
User-assigned name of junction	

Figura 23.-Propiedades de un nodo (pozo de visita).

Fuente: SWMM

En la figura anterior, se puede observar, las propiedades como: *Name* representa el nodo, sus coordenadas en X y Y, estas muy útiles, ya que el programa carece de un sistema de georreferenciación automático, en la fila *Invert El.*, se incluyó el valor de la cota corregida del pozo, mientras que en el *Max. Depth* se asignó la profundidad del pozo.

En el caso de la tubería o links también se asignan los valores a las propiedades necesaria para la modelación numérica, *Figura 24.*

Property	Value
Name	349
Inlet Node	CE0071
Outlet Node	CE0070
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.2
Length	141.09
Roughness	0.025
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flow Gate	NO
User-assigned name of Conduit	

Figura 24.-Propiedades de un link (tubería).

Fuente: SWMM

En este caso no es necesario asignar un nombre a cada elemento, ya que al crear el elemento se indica de qué nodo a qué nodo va el tubo. Con auxilio del programa de ArcGis, en un archivo formato Shape, se determinó la sección transversal del tubo, la cual es circular para todos los casos, en *Max. Depth* se incluyó el diámetro, en *Length* la longitud del mismo y en *Roughness* la rugosidad de éste de acuerdo con su materia.

En el mismo programa se añadieron las secciones naturales de cada río para analizar un posible desbordamiento, los datos de estas se obtuvieron del archivo que se exportó del software *Hec-Ras*.

En la *Figura 25* se muestra una sección de un río en *Hec-Ras*.

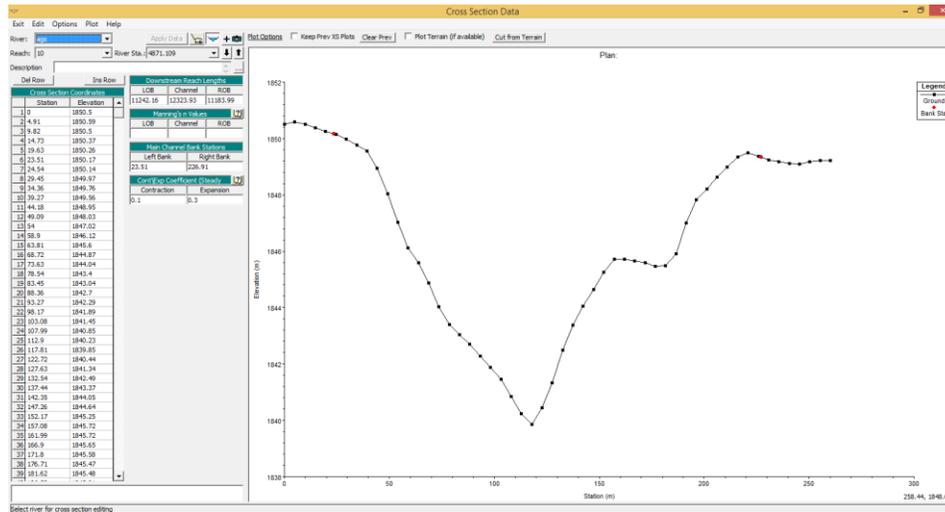


Figura 25.-Sección de un río elaborado con el programa HecRas.

Fuente: Elaboración propia.

Después de capturar los datos del sistema de alcantarillado, se elaboraron pequeños hidrogramas correspondientes con el área de las colonias analizadas, tomando en cuenta la cuenca en la que están situadas. El gasto resultante se dividió entre el número de nodos de cabeza de atarjea para cada colonia y, se ingresaron en su ubicación correspondiente. En la ventana de propiedades de cada pozo de visita, se insertó el hidrograma en el casillero *Inflows*, Figura 26.

Property	Value
Name	CE0028
X-Coordinate	3918.961
Y-Coordinate	5066.298
Description	
Tag	
Inflows	YES
Treatment	NO
Invert El.	1850.20
Max. Depth	1.1
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

Click to specify any external inflows received at the junction

Figura 26.- Forma para ingresar un hidrograma.

Fuente: SWMM

En la siguiente figura se muestra el hidrograma que se insertó, para un Tr de 2 años, que corresponde a la cuenca 15 de la colonia España.

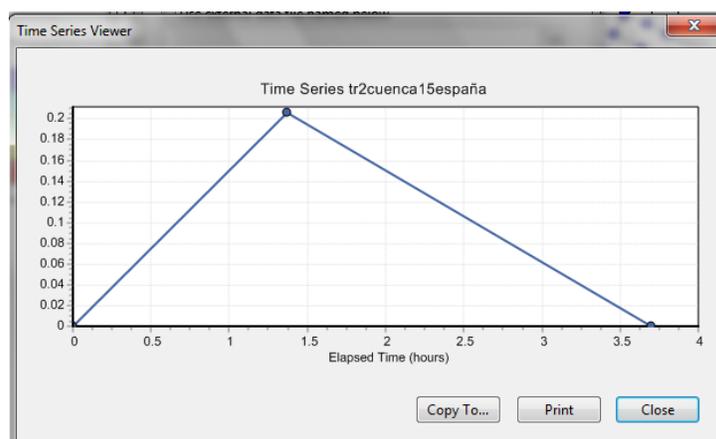


Figura 27.-Hidrograma de entrada en un nodo del proyecto en SWMM.

Fuente: Elaboración propia

Después de dicho proceso, se procedió a correr el modelo en el programa SWMM, e identificar qué *warnings*, o errores se presentaron, para después calibrarlo y una vez corregidos los problemas

adecudamente el modelo. Las dificultades más comunes suceden al ingresar datos, por ejemplo, al no poner una cota congruente, el programa nos arroja un error. Se analizaron los resultados del programa que indican uno o varios hidrogramas de desbordamiento con su ubicación (*Figura 28*).

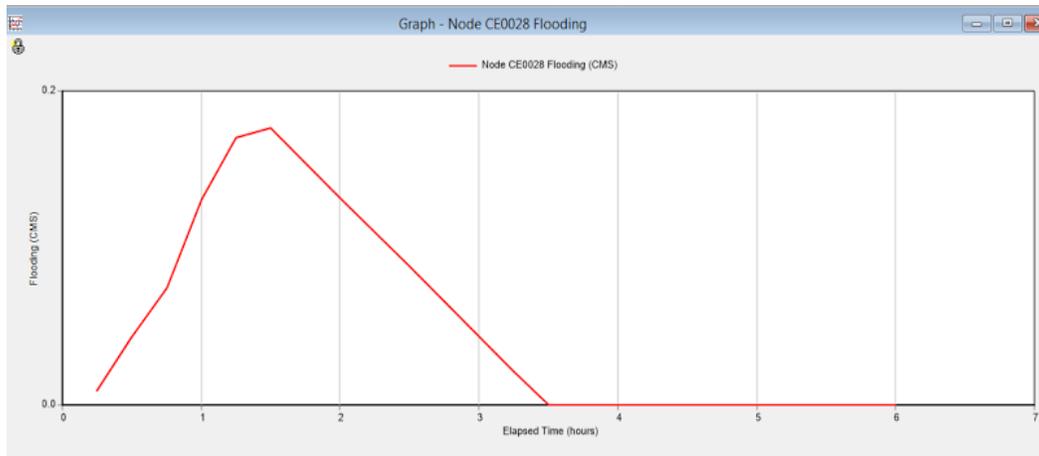


Figura 28.-Hidrograma de desbordamiento.

Fuente: Elaboración propia

8.4 Método utilizando HecRAS

Para complementar el análisis se procedió a utilizar el programa HecRAS y crear una o varias mallas con base en los resultados anteriores. Se incorporaron los hidrogramas de desbordamiento que se obtuvieron con el programa SWMM y se corrió la primera simulación, para un Tr de 2 años. El trabajo se facilitó y después se inició con la simulación de Tr=1000 años, así sucesivamente hacia las de menor periodo de retorno, de esta forma se eliminan nodos que no presentan desbordamiento.

Al finalizar con las simulaciones para todos los periodos de retorno, se exportaron los diferentes archivos con información de tirante y velocidad en dos dimensiones. Es importante mencionar que, no fue necesario hacer un análisis unidimensional extra en Hec-Ras de los ríos que pasan por la ciudad, debido a que en el modelo del sistema de alcantarillado se ingresaron los datos de los ríos como secciones irregulares y no hubo nodos de desbordamiento.

9 OBTENCIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIÓN

De acuerdo con los resultados de las simulaciones, obtenidos para cada periodo de retorno, se analizan los resultados en el programa de cómputo ArcGis, donde se elaboraron los mapas para cada variable que se necesite caracterizar.

9.1 Generación de escenarios de peligro

Los escenarios de peligro son presentados mediante mapas de tirante de inundación en metros para cada periodo de retorno, en los cuales se puede observar cómo se incrementa el tirante conforme aumenta la cantidad de años de cada Tr .

En la *Figura 29* se observa el mapa de tirante para un Tr de 1000 años que en este caso se considera la situación más desfavorable que se puede presentar en la ciudad, en la simbología del mapa se encuentra un semáforo en diferentes tonos de azul que muestra en forma descendente la profundidad del tirante, en el tono más oscuro está la profundidad mayor y en tonos claros las profundidades menores.

En la parte inferior del mapa se pueden varias zonas donde el tirante es mayor a 2 m, esto es porque hay un río que pasa por la zona. Ya dentro de la ciudad se observan otras áreas con tirantes altos y es debido a que la topografía del lugar se presta para esto, puede ser porque una calle tiene una parte baja, una avenida grande puede servir como un pequeño vaso ya que tiene guarnición a los costados.

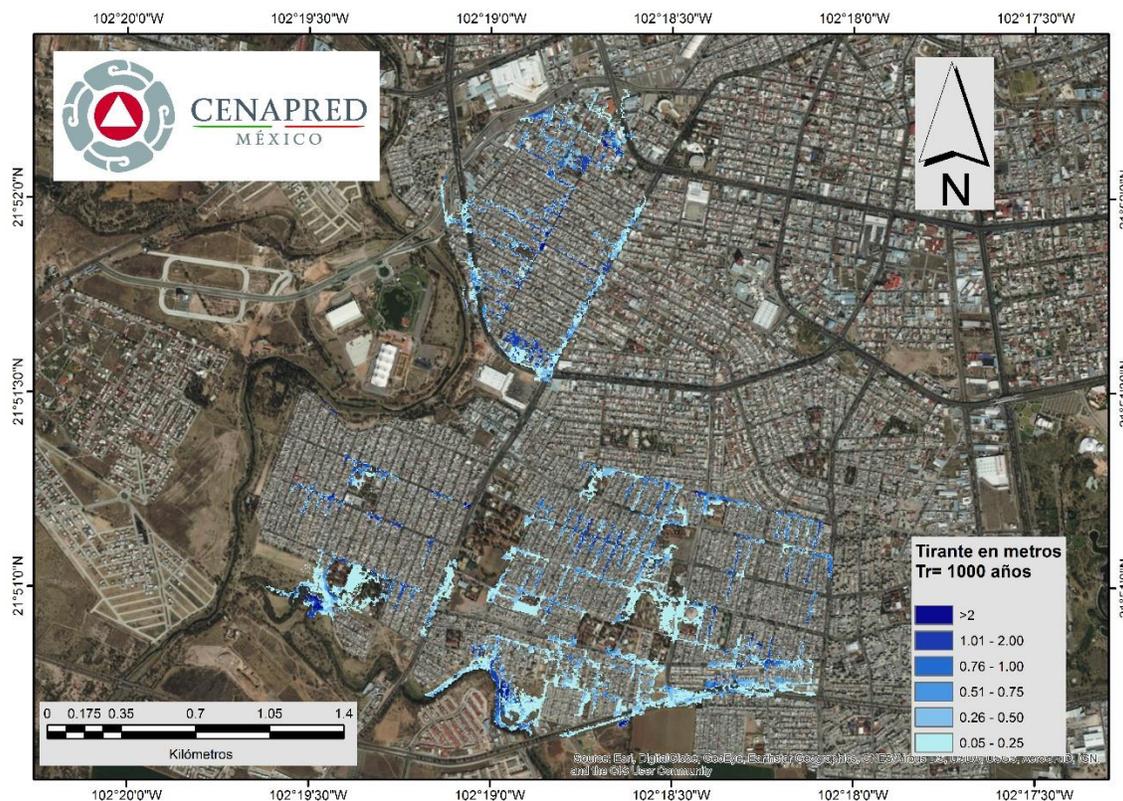


Figura 29.- Mapa de Tirante para un Tr de 1000 años.

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo A, se encuentran los mapas de tirante para cada periodo de retorno, donde se puede hacer una comparativa del aumento entre cada Tr, donde el menor tirante se presenta en el periodo de retorno de 2 años y el mayor en el de 1000 años, teniendo en cuenta que para 1000 años hay más zonas iluminadas con un tono azul fuerte, presentando tirantes de agua mayores a 2 m.

9.2 Generación de mapas de velocidad

Los mapas de velocidad de igual manera se obtuvieron de las simulaciones, en ellos se observa que en la mayoría de los periodos de retorno no hay áreas con velocidades (metros por segundo) significativas en cuestión de peligro, pero de igual manera aumentan conforme al periodo de retorno.

La Figura 30 representa el mapa de velocidad para un Tr de 1000 años, la escala de colores en tonos verdes indica la velocidad que se presenta en cada lugar. Dentro de la ciudad es poca la presencia de velocidades altas, esto debido a que no hay pendientes pronunciadas en sus calles. En la parte inferior del mapa se pueden observar las mayores velocidades, esto es porque algunas calles vierten superficialmente al río, el gasto que no se logra conducir por el sistema de alcantarillado.

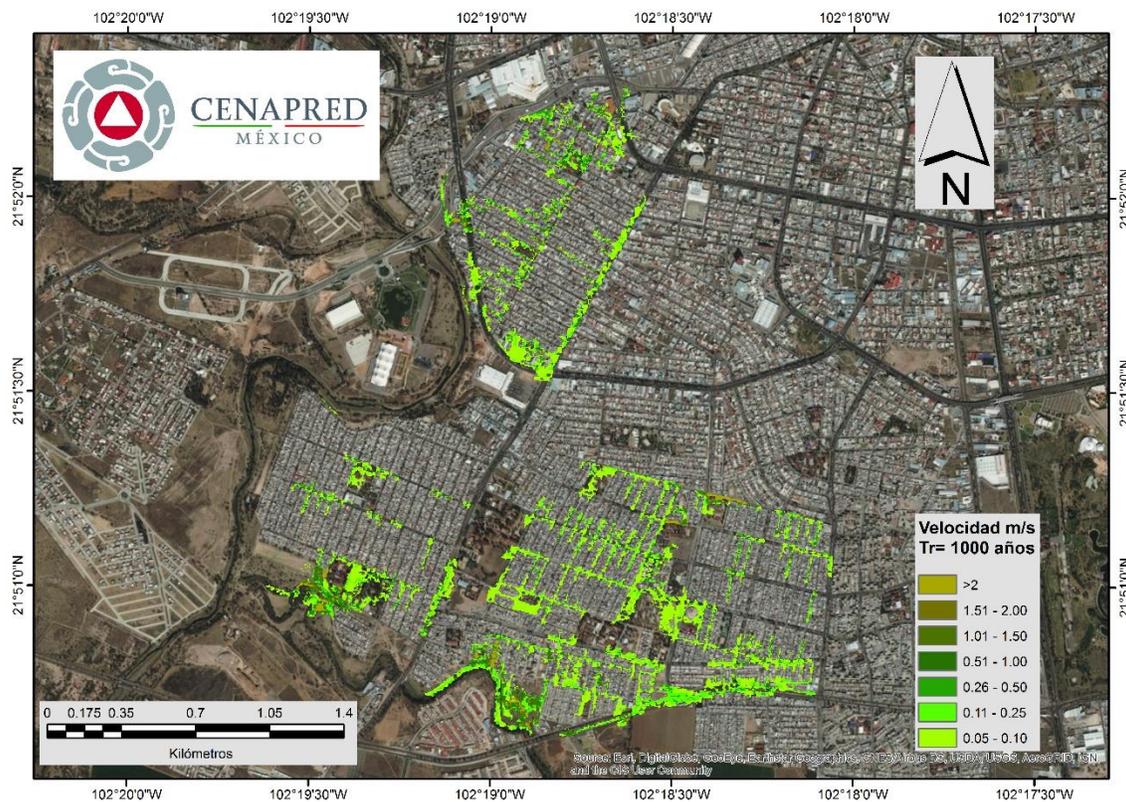


Figura 30.-Mapa de Velocidad para un Tr de 1000 años.

Fuente: Elaboración propia

El Anexo B contiene los mapas de velocidad para cada Tr, se aprecia el aumentando la velocidad para cada periodo de retorno, por lo cual se identifican las zonas con mayor cambio o más desfavorables, estas últimas se presentan para la probabilidad de ocurrencia de 1000 años, siendo el escenario menos desfavorable el de 2 años. Se observan similitud en las zonas con mayor velocidad en los mapas y su aumento de área conforme al Tr.

10 OBTENCIÓN DE LA SEVERIDAD POR INUNDACIÓN

Los mapas por severidad de inundación se obtienen a partir de la combinación de tirante y velocidad, en la metodología seguida se establece como un punto en el plano cartesiano de un nomograma donde se representen funciones de severidad, se toma el valor de X como el tirante y Y es el valor de la velocidad. Al encontrarse los puntos puede clasificarse la severidad, una representación de severidad por inundación comúnmente utilizada en nuestro país es el diagrama de Dorrigo.

10.1 Diagrama de Dorrigo

Para clasificar los puntos con el diagrama de Dorrigo, el cual indica en color cuál es el grado de severidad de acuerdo con las características de la inundación, profundidad y velocidad, se puede asignar a cada área de inundación un rango de severidad.

En la *Figura 31* se encuentra el nomograma de Dorrigo, con el cual se hace la clasificación de los puntos.

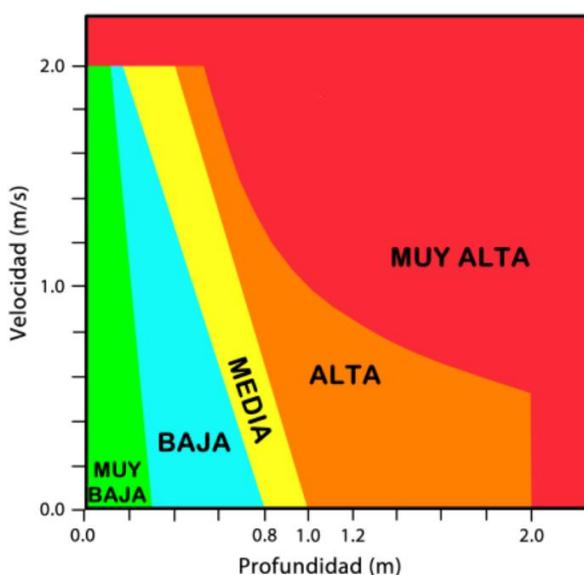


Figura 31. Nomograma de Dorrigo

Fuente: A. Galván, 2017.

10.2 Obtención de mapas de severidad para diferentes periodos de retorno

La elaboración de los mapas de severidad se realiza mediante el programa de cómputo ArcGIS, los resultados del tirante de inundación se convirtieron a puntos tomando en cuenta el tirante máximo presentado durante la modelación numérica, después se realizó lo mismo, con la velocidad. En el mismo programa se verificó que el número de puntos de velocidad y tirante coincidiera, es decir, cada punto debe tener dos datos, velocidad y profundidad.

En un nuevo proyecto se cargaron los puntos de tirante y velocidad, utilizando como abscisas los datos de tirante y como ordenadas los de velocidad, se cargó el diagrama de Dorrigo partiendo desde el punto (0,0) del plano cartesiano y de esta forma los puntos se distribuyen dentro del nomograma, después se identifican los puntos que están dentro de cada distinción de severidad (muy baja, baja, media, alta y muy alta). En una nueva hoja de cálculo se le asignó a cada punto su respectiva severidad, todo esto sin eliminar el identificador o *ID* de cada punto. De la misma manera, se realizó la unión de los puntos con datos de velocidad con los puntos de severidad. Lo anterior se hizo para todos los periodos de retorno. Finalmente, se elaboraron los mapas de severidad como se puede observar en las siguientes imágenes.

La *Figura 32* muestra el mapa de severidad para el Tr de 1000 años, donde la escala se representa en color rojo como muy alta y verde muy baja. Encontramos zonas con severidad alta ya que se da la combinación de tirante no muy alto, con una velocidad considerable. Hay casos de zonas en donde la velocidad es alta pero el tirante es muy bajo y esto no representa una severidad alta, puede darse el caso contrario donde la profundidad del tirante es alta pero la velocidad es mínima, es decir el agua está estancada y esto tampoco genera una severidad alta.

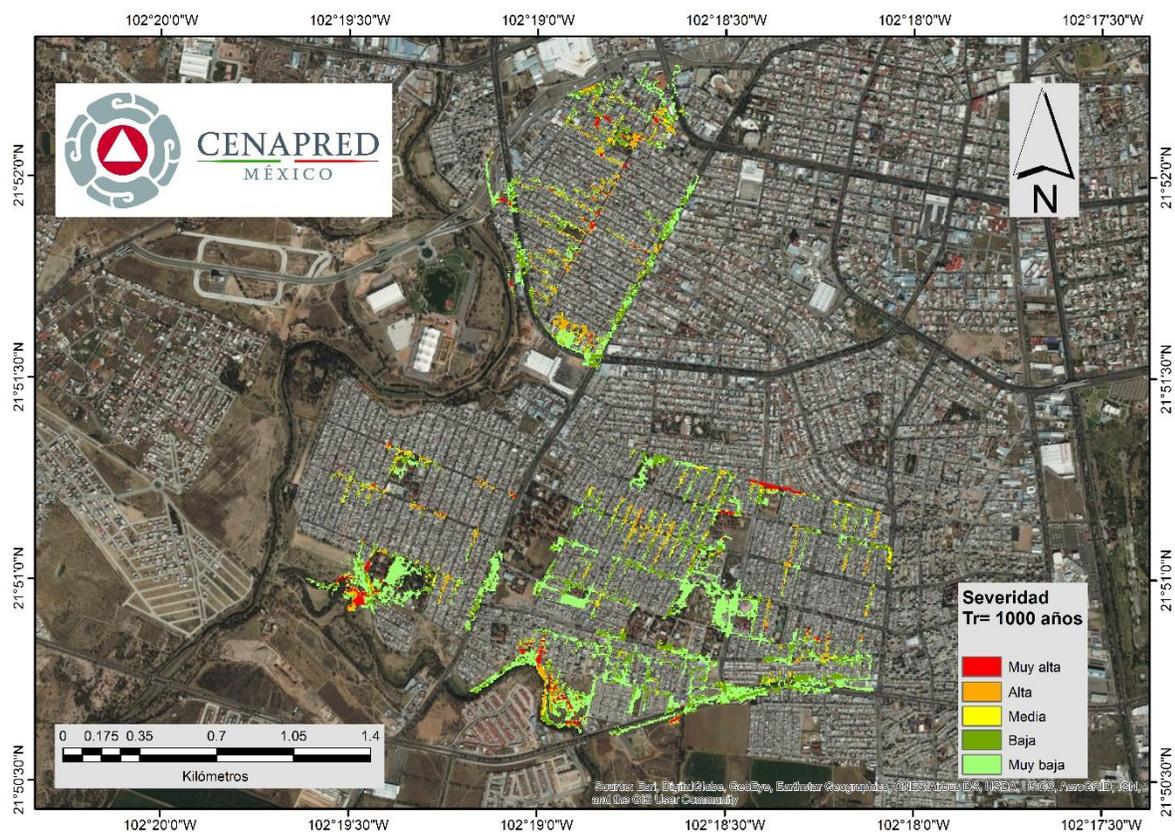


Figura 32. Mapa de Severidad para un Tr de 1000 años

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo C están los mapas de severidad para cada periodo de retorno, también en estos se aprecia el aumento del grado de severidad entre cada Tr, y se muestran las zonas que inician con una severidad baja en un Tr de 2 años, pero para el Tr de 1000 años aumenta por mucho el área y el grado de severidad.

11 VULNERABILIDAD

En este capítulo se analizó la vulnerabilidad física de las viviendas que están dentro de la zona de estudio para saber qué tan susceptibles a recibir daño ante una inundación.

Para identificar la vulnerabilidad se siguió la clasificación y los tipos de vivienda que tiene el CENAPRED según el tipo de material con el que están contruidos los muros y techo.

Tabla 13.-Tipos de material para muros de las viviendas.

Tipo	Material
M1	Material de desecho
M2	Láminas de cartón
M3	Lámina de asbesto o metálica
M4	Carrizo, bambú o palma
M5	Embarro o bajareque
M6	Madera
M7	Adobe
M8	Tabique, ladrillo,

Fuente: CENAPRED, 2006.

Tabla 14.-Tipos de material para el techo de las viviendas.

Tipo	Material
T1	Material de desecho
T2	Láminas de cartón
T3	Lámina de asbesto o metálica
T4	Palma, tejamanil o madera
T5	Teja
T6	Losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería

Fuente: CENAPRED, 2006.

Clasificación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad se clasifica en 5 tipos como se muestra en la tabla 13. También se le asigna un color de acuerdo con su tipo.

Tabla 15.-Clasificación de la vulnerabilidad.

Tipo	Color	Vulnerabilidad
I	Rojo	Muy Alta
II	Naranja	Alta
III	Amarillo	Media
IV	Verde	Baja
V	Verde	Muy Baja

Fuente: A. Gakoán, 2017

Tabla 16.-. Clasificación de la vulnerabilidad.

COMBINACIÓN	TIPO DE VIVIENDA	COMBINACIONES ENTRE TIPO DE MATERIAL PARA EL TECHO Y PARA LOS MUROS
1	I	Vivienda con muros y techo de material de desecho
2	I	Vivienda con muros y techo de lámina de cartón
3	I	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica
4	II	Vivienda con muros de lámina de asbesto o metálica y techo de lámina de cartón
5	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de cartón
6	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de asbesto o metálica
7	II	Vivienda con muros de barro o bajareque y techo de lámina de cartón
8	II	Vivienda con muros de barro o bajareque y techo de lámina de asbesto o metálica
9	II	Vivienda con muros de barro o bajareque y techo de palma, tejamanil o madera
10	II	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de cartón
11	III	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metálica
12	II	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metálica
14	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de palma, tejamanil o madera
15	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	II	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón
17	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
19	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	IV	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con viquería

Fuente: A. Galván, 2017

11.1.1 Elaboración de mapa de Vulnerabilidad

Para la elaboración del mapa de Vulnerabilidad se toma la clasificación de la tabla anterior y se procesaron los puntos de las casas levantadas mediante Street View para que en Excel se filtren de acuerdo a las combinaciones y asignarles un tipo de vulnerabilidad, una vez teniendo todos los puntos de las viviendas clasificados se cargan en ArcGis para elaborar el mapa correspondiente, quedando de la siguiente manera.

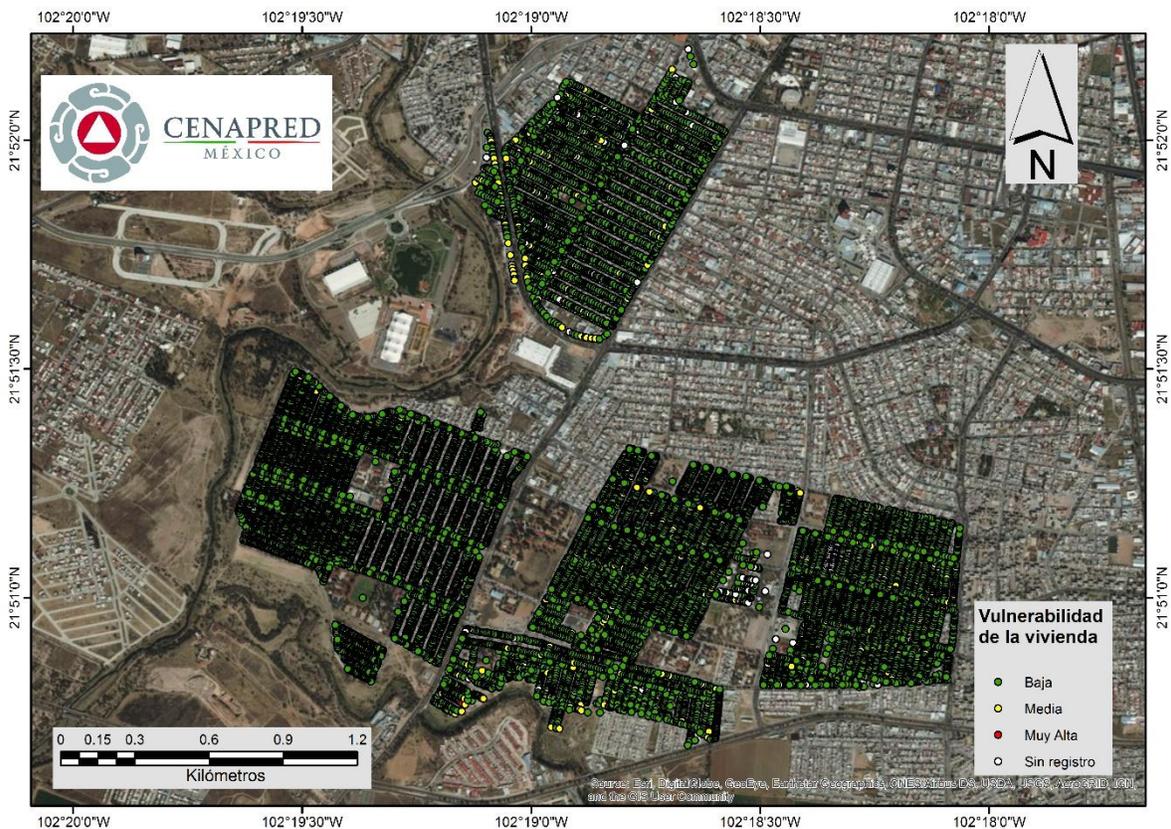


Figura 33.-Mapa de vulnerabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen anterior la mayoría de las viviendas son de vulnerabilidad baja, un bajo porcentaje con vulnerabilidad media y sólo un punto con vulnerabilidad muy alta. Los puntos en color blanco son aquellos en los que no se pudo obtener información debido a que el sistema de View Street no tenía información disponible o porque no son casas, por ejemplo, terrenos baldíos.

11.1.2 Tipificación del menaje y funciones de vulnerabilidad.

Para saber la función de vulnerabilidad de la vivienda se toma en cuenta que cada una de ellas cuenta con un grupo de enseres y muebles que combinado a la profundidad o tirante de la inundación puede generarse una función que represente el porcentaje de daños esperado para cada periodo de

retorno. Para cada tipo de vivienda hay un porcentaje diferente de pérdidas de acuerdo con el tirante, como se puede observar en las siguientes curvas.

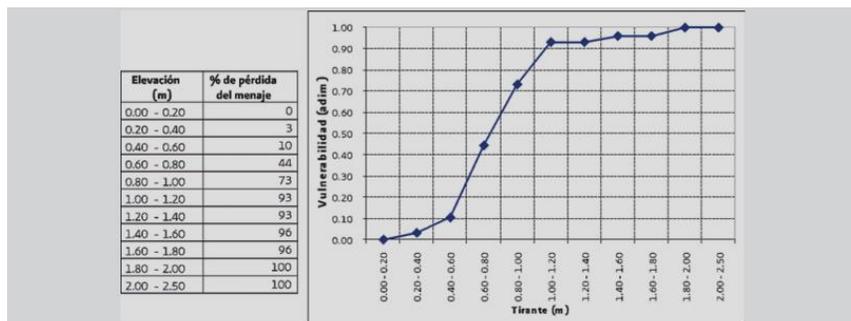


Figura 34.-Función de vivienda tipo I.

Fuente: CENAPRED, 2006.

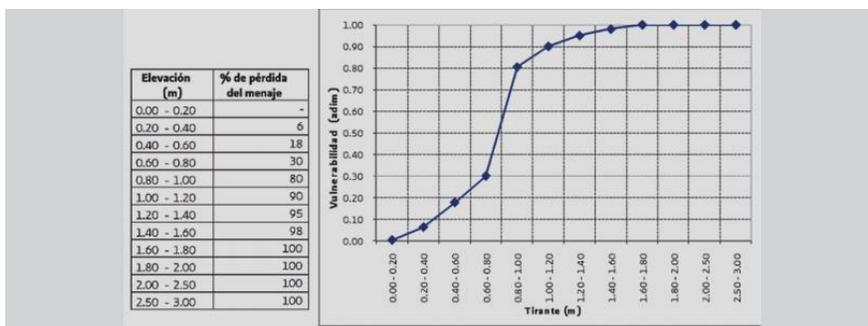


Figura 35.-Función de vivienda tipo II.

Fuente: CENAPRED, 2006.

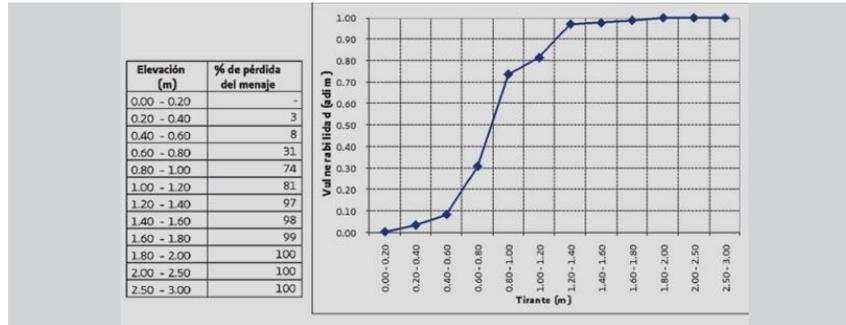


Figura 36.-Función de vivienda tipo III.

Fuente: CENAPRED, 2006.

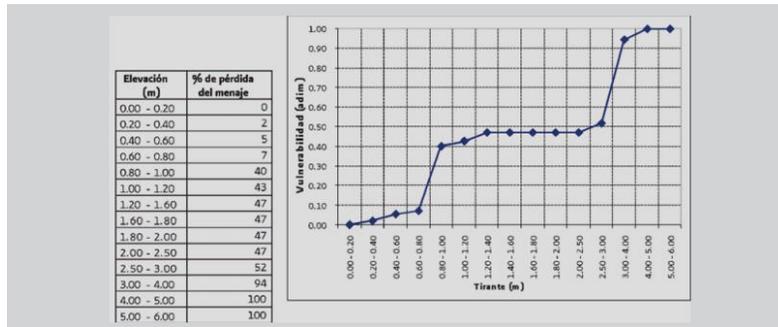


Figura 37.-Función de vivienda tipo IV.

Fuente: CENAPRED, 2006.

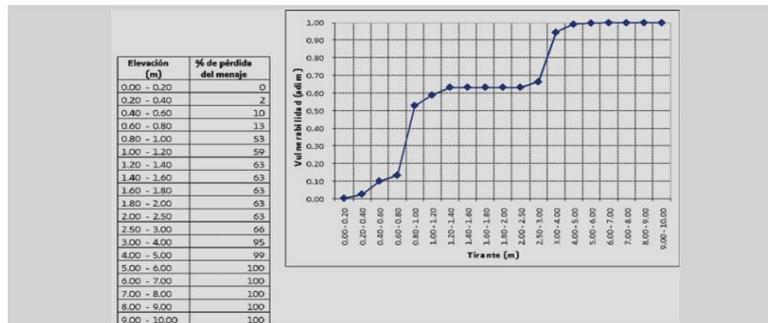


Figura 38.-Función de vivienda tipo IV.

Fuente: CENAPRED, 2006.

ÍNDICE DE RIESGO

El Índice de Riesgo es la combinación del peligro y vulnerabilidad, tomando como parámetro principal el tirante de la inundación.

11.2 Elaboración de los mapas de Índice de Riesgo

Con ArcGIS se llevó a cabo la unión de la información de los tirantes de inundación para cada periodo de retorno con cada punto levantado de las casas. A algunas viviendas no se les asignó ningún valor de tirante ya que en algunas partes la mancha de inundación se encuentra alejada de la casa.

Después en Excel se les asigna el porcentaje de pérdida a cada vivienda de acuerdo con su tipo. La fórmula que se utilizó para conocer el índice de riesgo para cada vivienda para cada T_r es:

$$R_j = C_j P(i) \cdot V_j Y_i$$

Donde

i ; es el numerador para cada uno de los periodos de retorno analizados.

j ; se refiere a las viviendas.

$P(i)$; es la función de peligro.

$V_j Y_i$; es la función de vulnerabilidad.

$$I_{R_j} = \frac{R_j}{C_{MAX}}$$

donde:

R_j ; valor de los bienes expuestos

C_{MAX} ; máximo valor del bien expuesto dentro de la localidad.

Los rangos para caracterizar e índice de riesgo son:

$0.67 < I_R < 1.0$; Alto

$0.33 < I_R < 0.67$; Medio

$< I_R < 0.33$; Bajo

Tabla 17.-Función de Peligro.

Intensidad <i>i</i> (no.)	Tr(<i>i</i>) (años)	P(<i>i</i>)
1	2	0.60
2	5	0.20
3	10	0.12
4	25	0.04
5	50	0.02
6	100	0.012
7	250	0.004
8	500	0.002
9	1000	0.001
10	2000	0.0006

Fuente: CENAPRED, 2006.

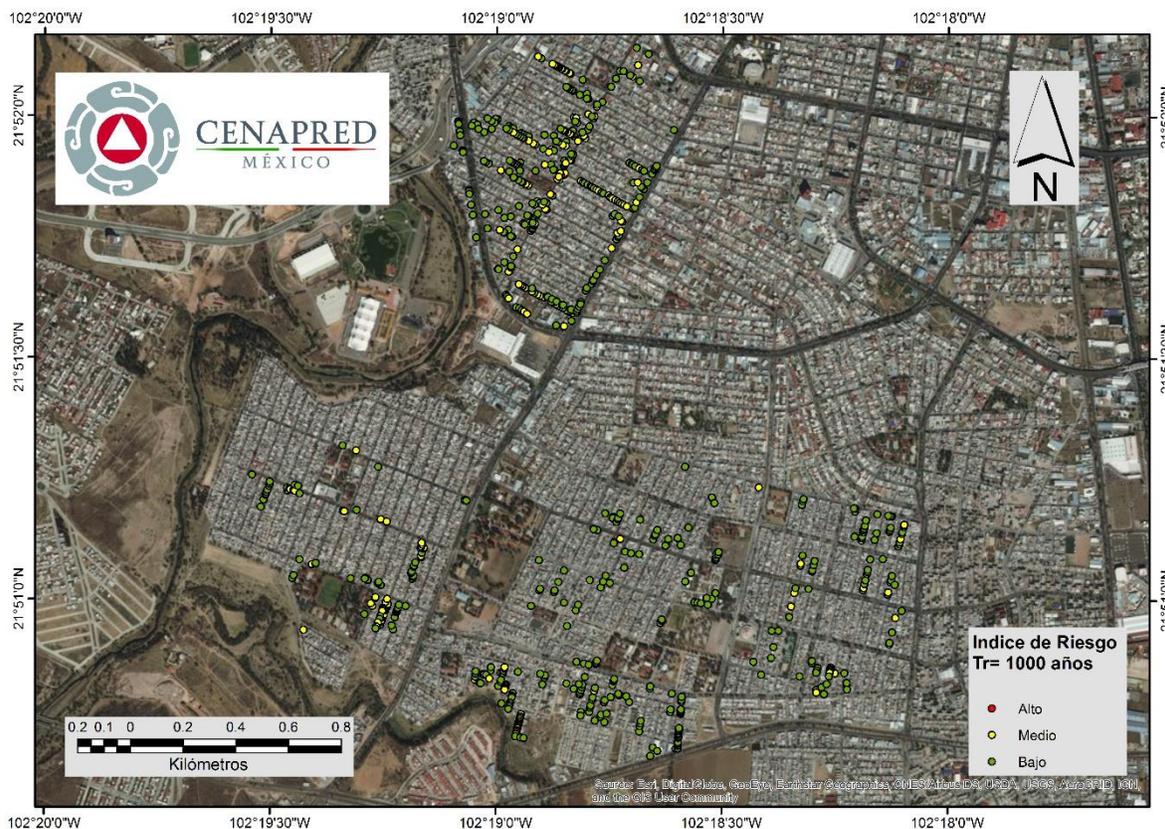


Figura 39.-Mapa de Índice de Riesgo para un Tr de 1000 años.

Fuente: Elaboración propia

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al realizar un análisis hidrológico e hidráulico para una ciudad es muy importante contar con información suficiente y de calidad. Uno de los principales insumos es el Modelo Digital de Elevación por lo que es recomendable hacer un estudio para contar con uno de excelente resolución, y así se puedan obtener buenos resultados. Al utilizar el LiDAR de superficie es posible realizar modelaciones de gran calidad en el programa de cómputo *HecRas*, que es de uso libre y hondamente validado, el cual brinda un detalle excelente para analizar el flujo de la inundación sólo sobre las calles.

Por otra parte, el sistema de alcantarillado ofrece un escenario distinto y más realista para una simulación de inundación pluvial, tomarlo en cuenta es de vital importancia, ya que permite conocer qué cantidad de agua se absorbe y desaloja durante una lluvia intensa, y aún después de ésta, además de la manera en que se comporta el sistema y su capacidad para seguir funcionando durante un escenario de inundación.

Después del trabajo realizado se recomienda tener especial cuidado en el proceso de ampliación del sistema de alcantarillado, ya que el desarrollo del modelo sin la debida meticulosidad puede provocar errores en información de suma importancia, como, diámetros, longitudes, elevaciones, trascendentales para un buen cálculo hidráulico, el mal manejo de los datos en los modelos puede llegar a provocar fallas y en incluso que no anden las simulaciones numéricas.

A la Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes se le hace la recomendación de prestar especial atención en los mapas de tirantes, velocidad y severidad para cada periodo de retorno e identificar las zonas con severidad alta, así como tirantes y velocidades de mayor importancia, para dado el caso de una lluvia intensa se destinen los esfuerzos en los lugares con mayor peligro de inundación. Es necesario monitoreando la lámina de lluvia de la estación ESIME Aguascalientes durante eventos de precipitación intensa, para verificar si la lámina que se esté presentando contra el umbral para estimar de manera preliminar a que periodo de retorno correspondería y así identificar un posible escenario de inundación.

Finalmente, es necesario continuar con los estudios de vulnerabilidad física de la vivienda ante un evento de inundación, así como estimar el daño esperado de este fenómeno. Con ello, se elaborarán

mapas de riesgo, que suelen ser útiles para los tomadores de decisiones, y una gran herramienta de trabajo para las autoridades de Protección Civil, ya que pueden generarse acciones como, planes de emergencia y medidas de mitigación que disminuyan los daños. Estos productos pueden ser compartidos en el Atlas Nacional de Riesgos para que la información sea difundida a toda la población en general.

13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aparicio Mijares, F. J., 2013: Fundamentos de hidrología de superficie, Limusa, México, pp. 20-21, 140, 188, 206, 233-234.

Campos Aranda, Daniel, 2010: Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana, Ingeniería Investigación y Tecnología (FI UNAM), Vol. LXI, núm. 2, pp. 179-188.

CENAPRED, 2016: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2011, México, pp. 7.

CENAPRED, 2006: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, México.

Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes. 2017: Archivo digital con registros de casos de inundaciones en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes. Archivo interno.

Coordinación Estatal de Protección Civil Aguascalientes. 2017: Archivo digital del sistema de alcantarillado de la zona urbana de Aguascalientes, Aguascalientes. Archivo interno.

Ohmstede, A. E., 2004: Desastres agrícolas en México: Catálogo Histórico, Fondo de Cultura Económica, volumen 2, México, pp. 93, 99, 134 y 159.

14 REFERENCIAS DIGITALES

Breña Puyol, A. F., 2003, Hidrología Urbana. Disponible en: <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/> [Consultado el 19/03/2017]

Emergency Events Database, s/a. Disponible en <http://www.emdat.be/> [Consultado el 20/02/2017]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/presentacion.aspx> [Consultado el 15/02/2017]

Información Climatológica. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica> [Consultado el 10/02/2017]

DOF, 2012. Ley General de Protección civil. Disponible en: <https://www.siem.gob.mx/siem/Leyes/LeyGeneralDeProteccionCivil.pdf> [Consultado el 25/02/2017]

OMM, 1974: Glosario Internacional de Hidrología, Organización Meteorológica Mundial. Disponible en http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf, [Consultado el 20/02/2017]

SAGARPA, 2012: Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas, pp. 6. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_HIDROLOG%20C3%8DA.pdf [Consultado el 28/03/2017]

15 ANEXO A. Mapas de tirante

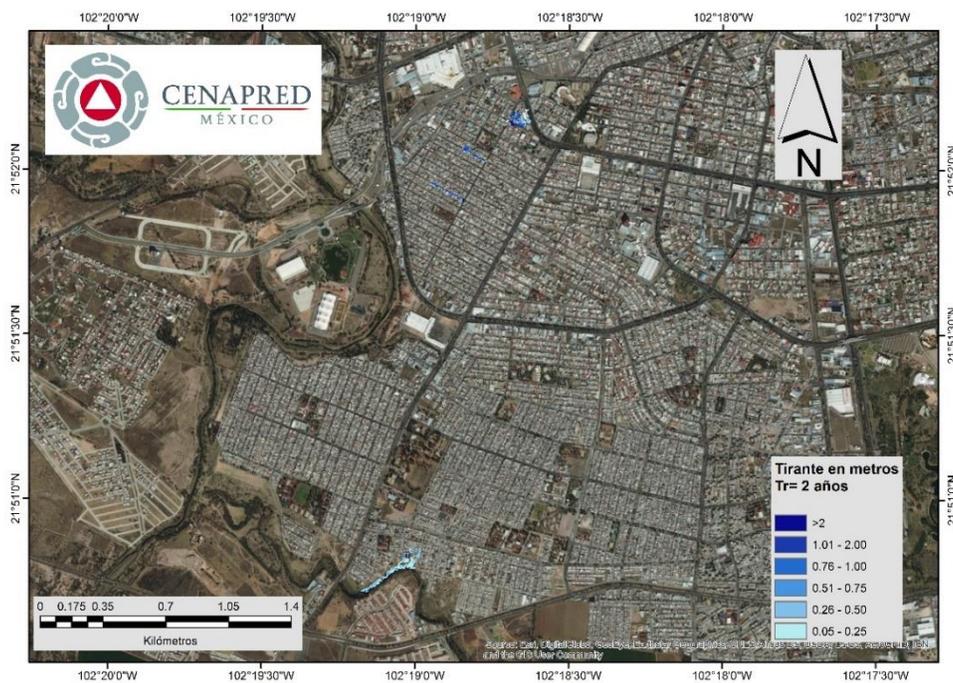


Figura 40. Mapa de Tirante para un Tr de 2 años

Fuente: Elaboración propia

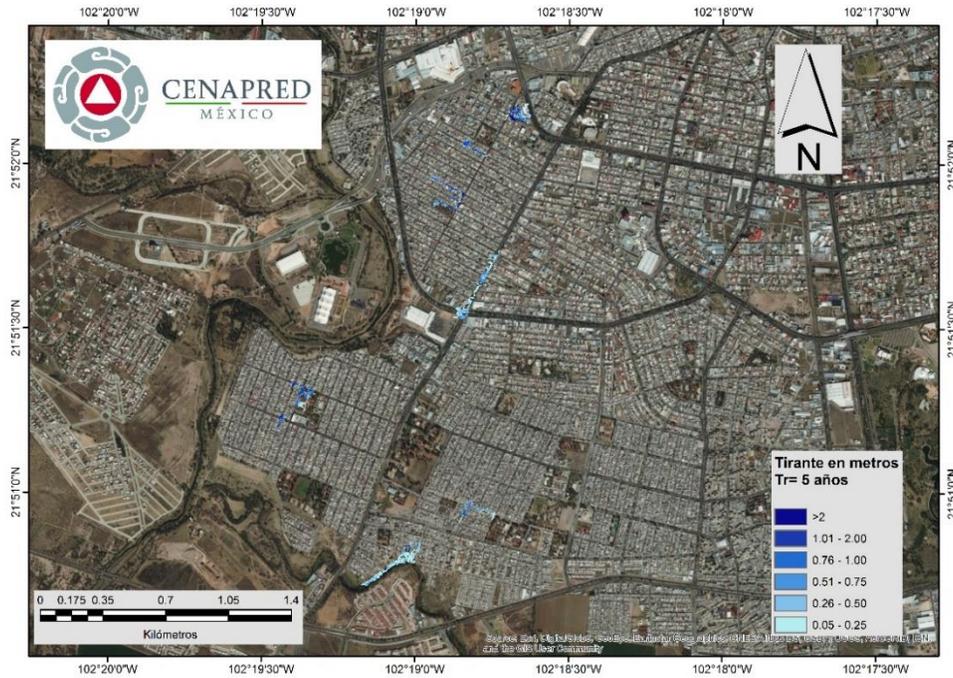


Figura 41. Mapa de Tirante para un Tr de 5 años

Fuente: Elaboración propia

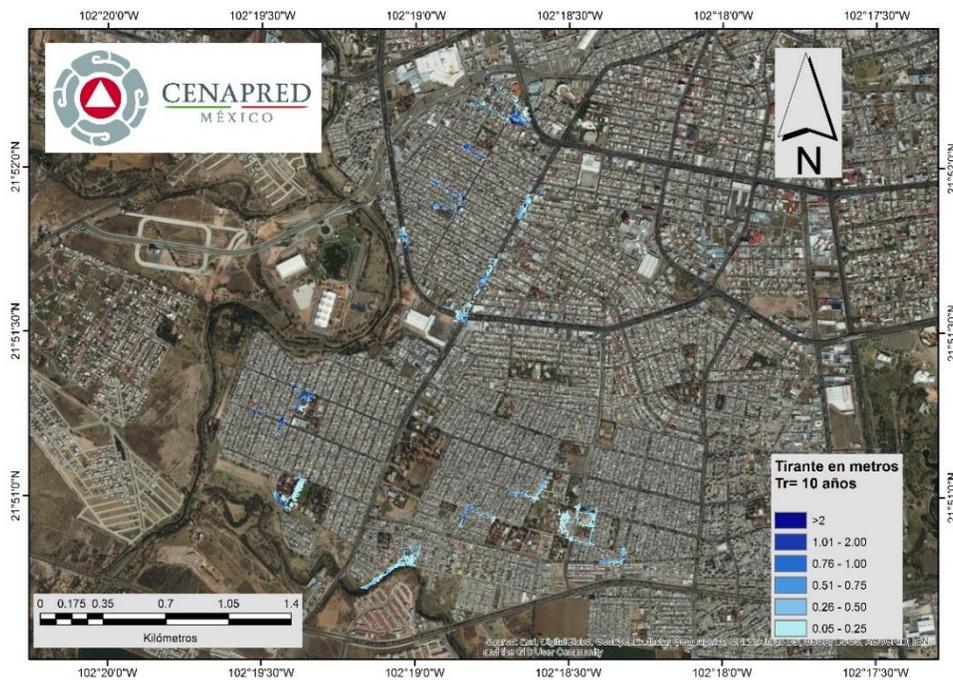


Figura 42. Mapa de Tirante para un Tr de 10 años

Fuente: Elaboración propia

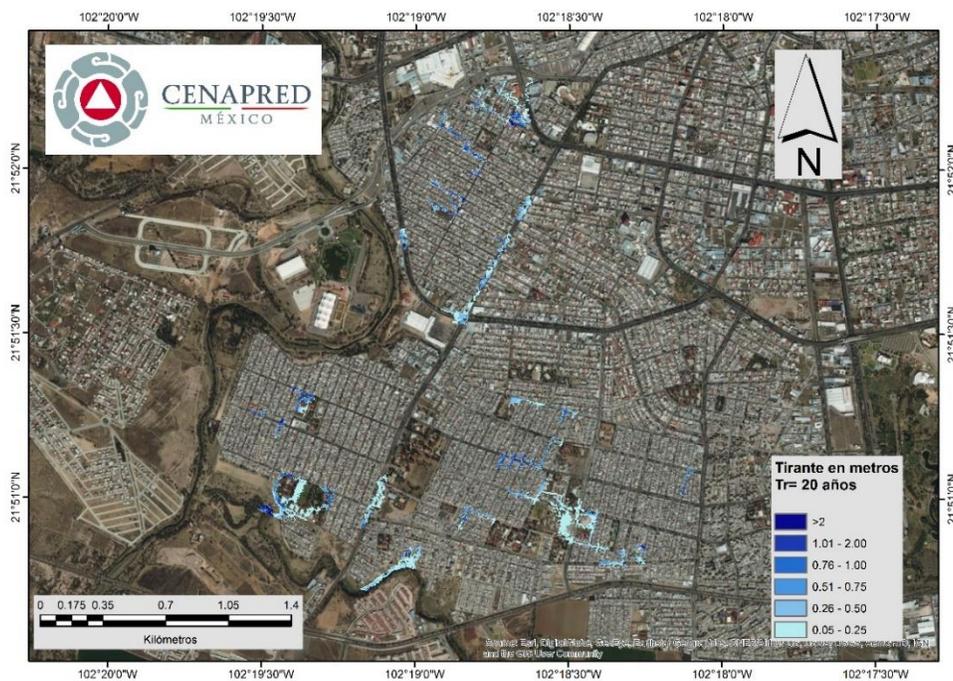


Figura 43. Mapa de Tirante para un Tr de 20 años

Fuente: Elaboración propia

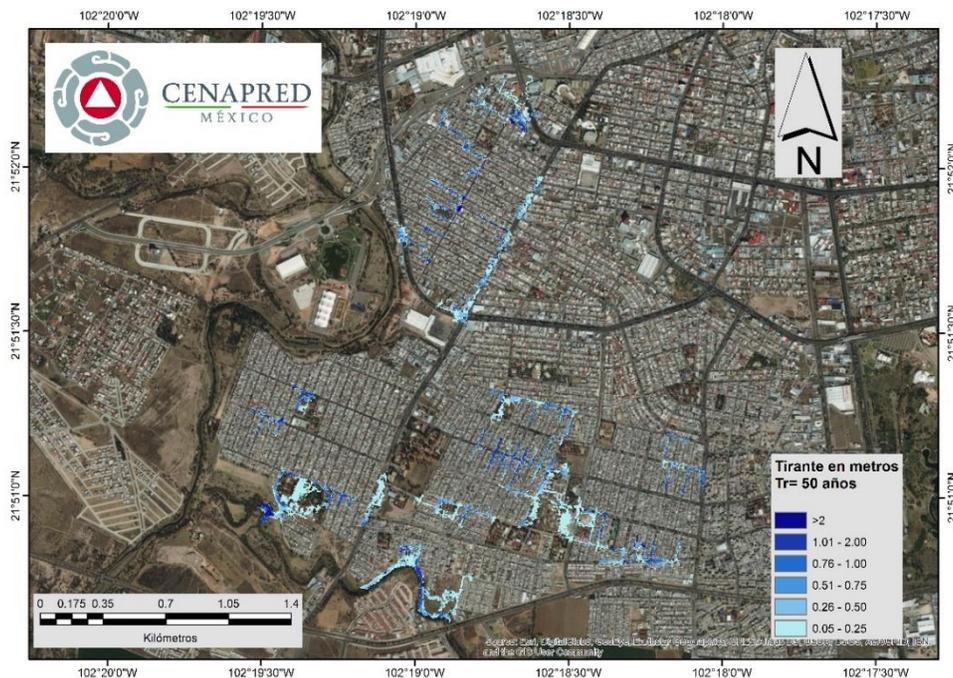


Figura 44. Mapa de Tirante para un Tr de 50 años

Fuente: Elaboración propia

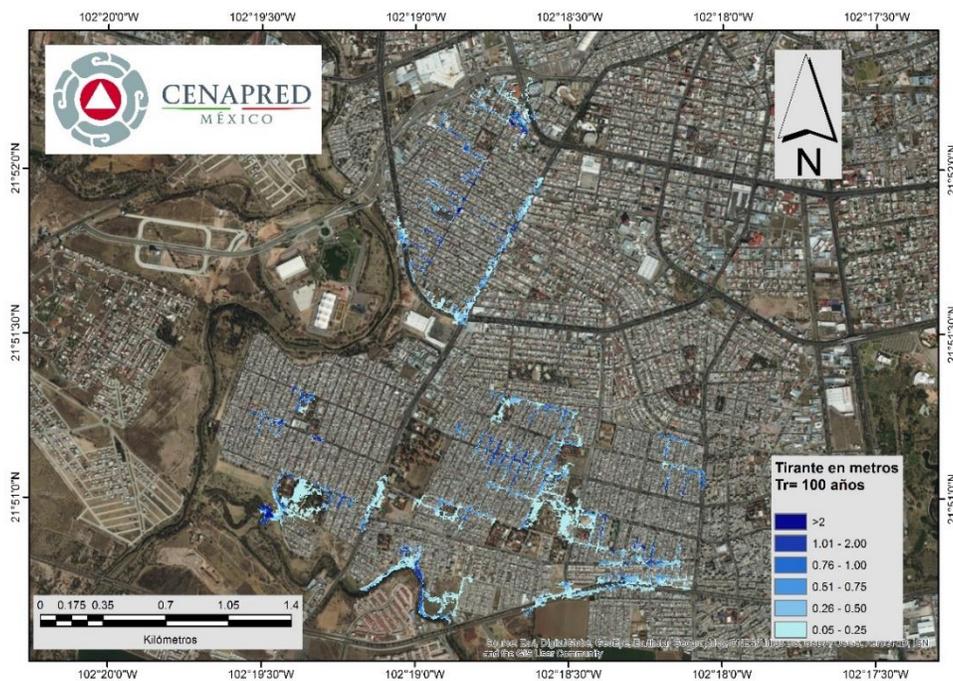


Figura 45. Mapa de Tirante para un Tr de 100 años

Fuente: Elaboración propia

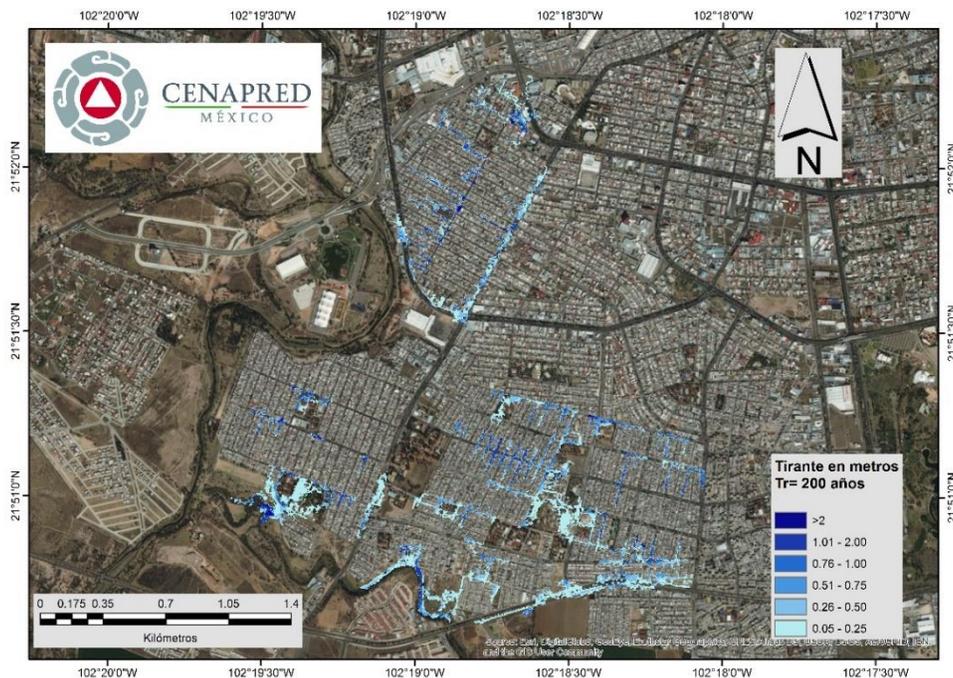


Figura 46. Mapa de Tirante para un Tr de 200 años

Fuente: Elaboración propia

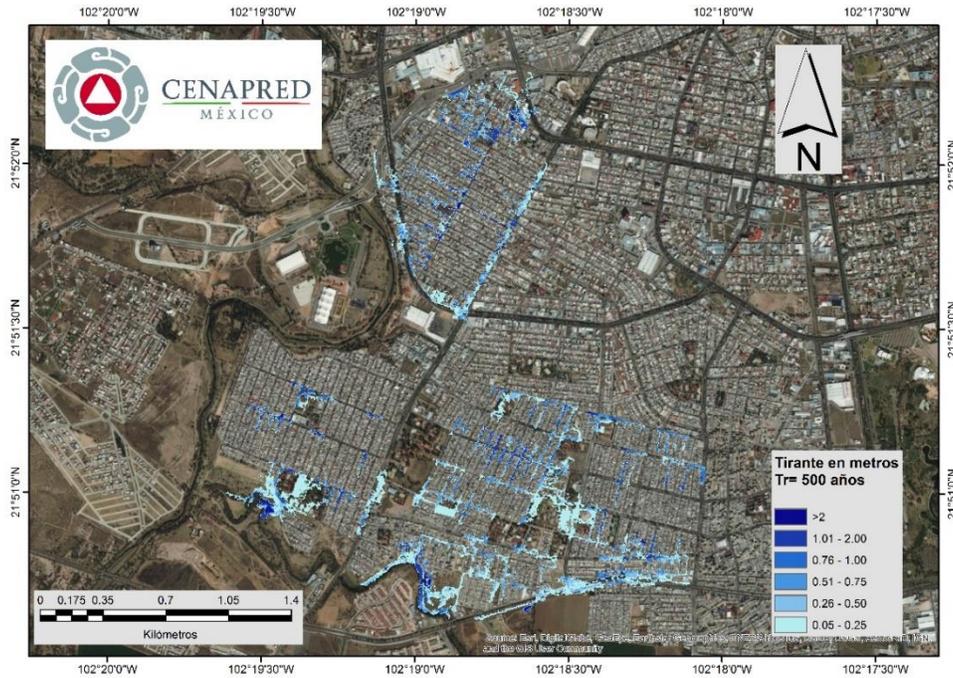


Figura 47. Mapa de Tirante para un Tr de 500 años

Fuente: Elaboración propia

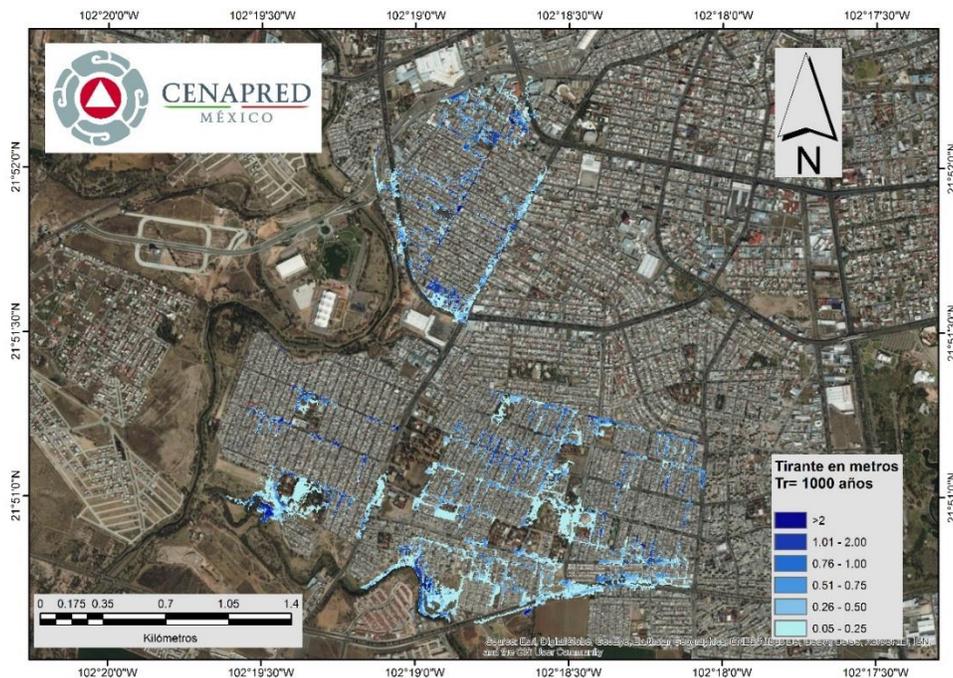


Figura 48. Mapa de Tirante para un Tr de 1000 años

Fuente: Elaboración propia

16 ANEXO B. Mapas de velocidad

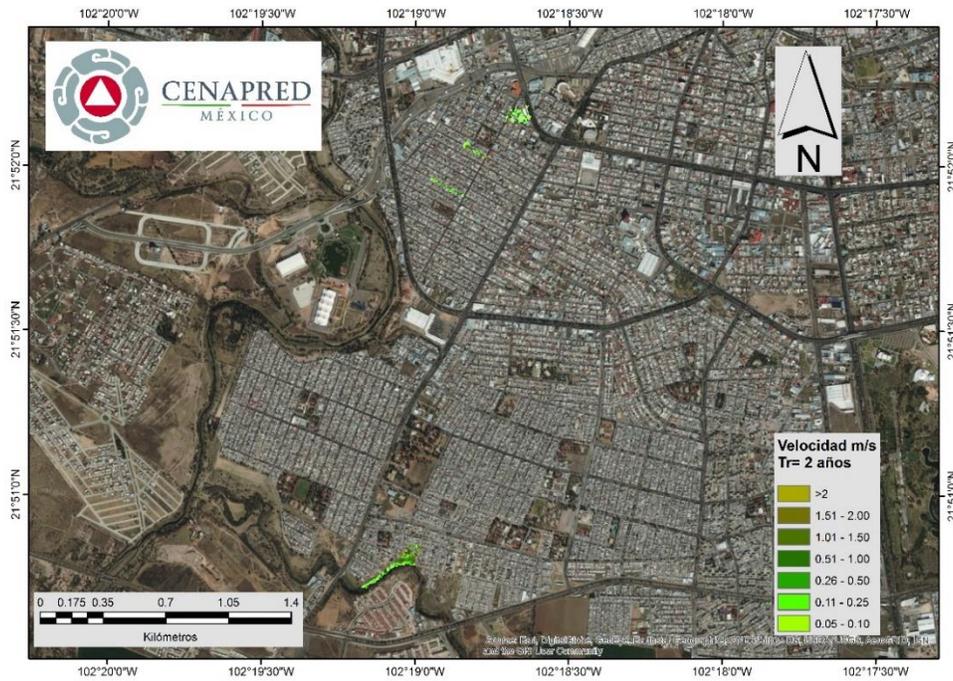


Figura 49. Mapa de Velocidad para un Tr de 2 años

Fuente: Elaboración propia

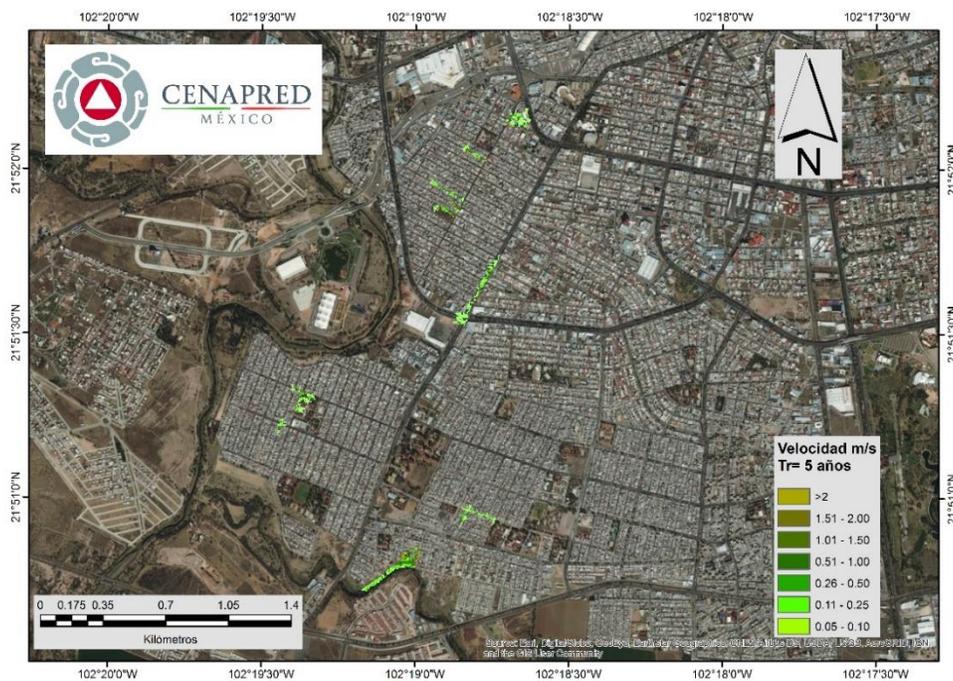


Figura 50. Mapa de Velocidad para un Tr de 5 años

Fuente: Elaboración propia

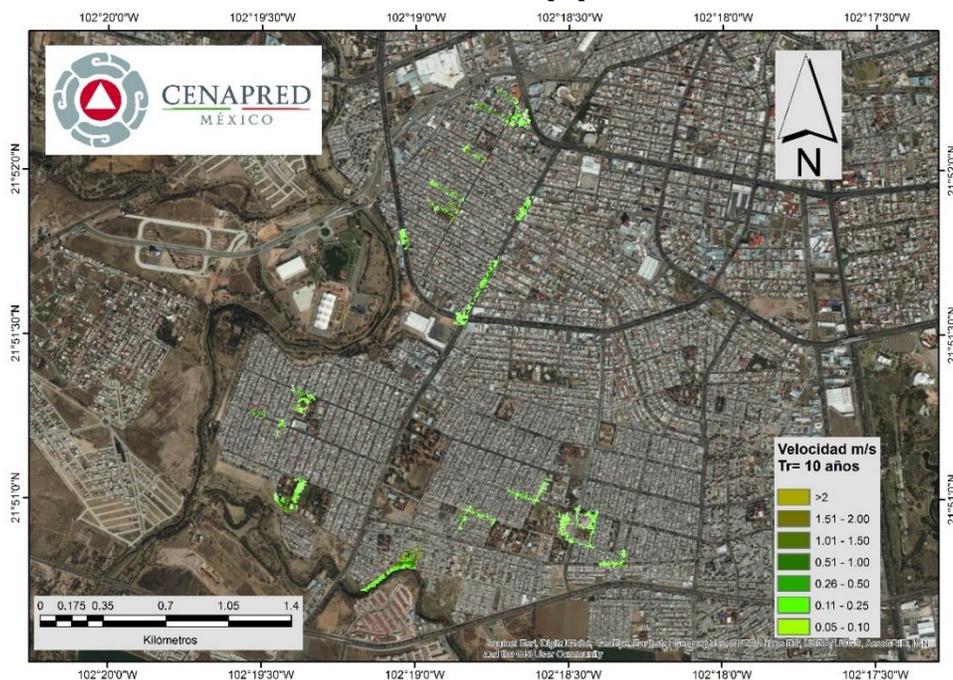


Figura 51. Mapa de Velocidad para un Tr de 10 años

Fuente: Elaboración propia

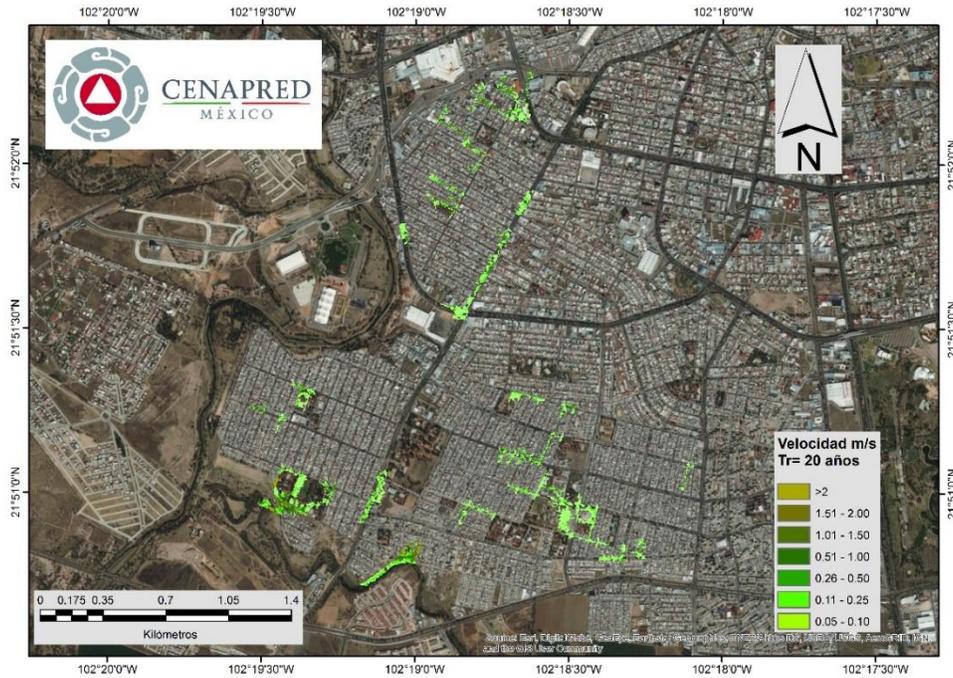


Figura 52. Mapa de Velocidad para un Tr de 20 años

Fuente: Elaboración propia

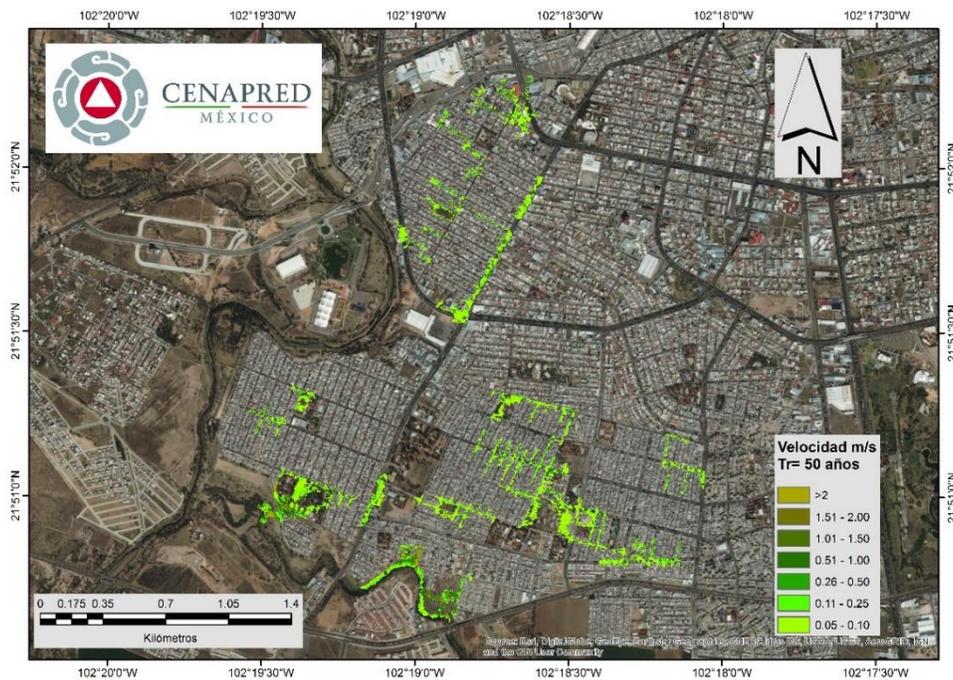


Figura 53. Mapa de Velocidad para un Tr de 50 años

Fuente: Elaboración propia

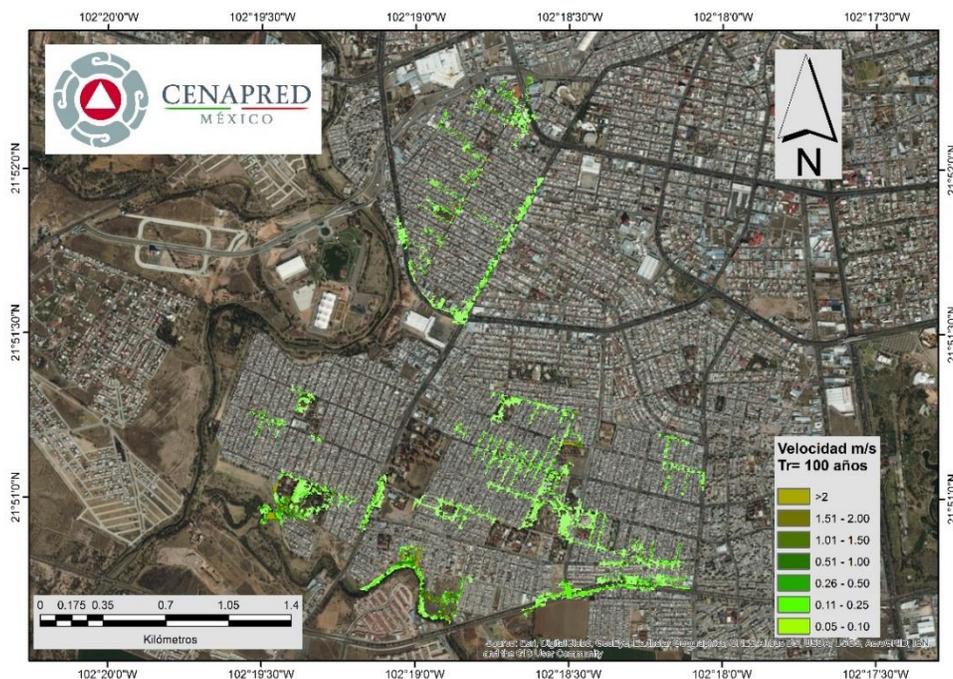


Figura 54. Mapa de Velocidad para un Tr de 100 años

Fuente: Elaboración propia

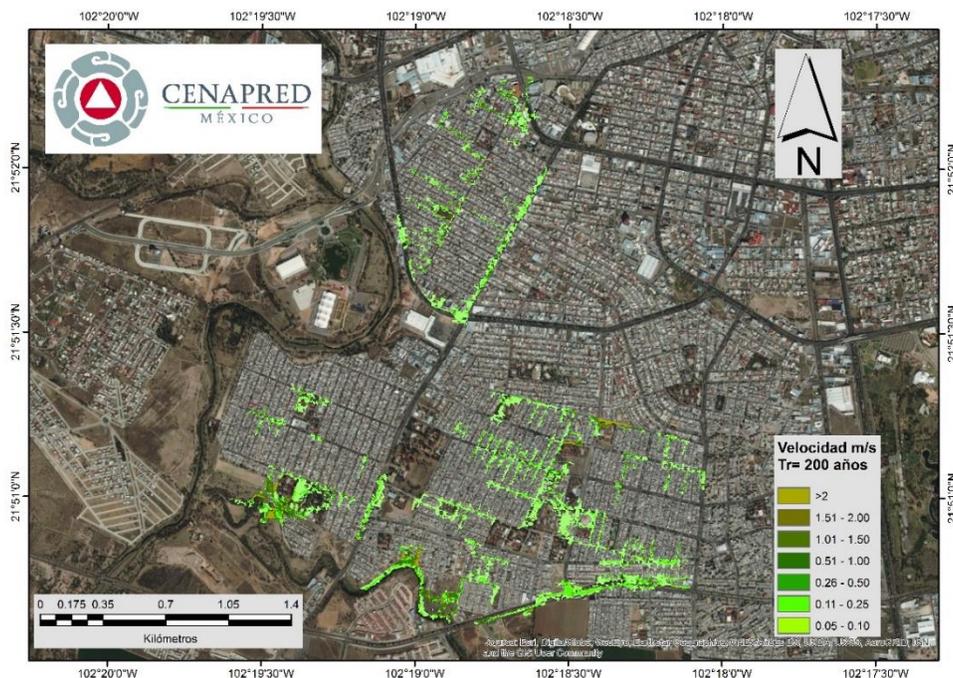


Figura 55. Mapa de Velocidad para un Tr de 200 años

Fuente: Elaboración propia

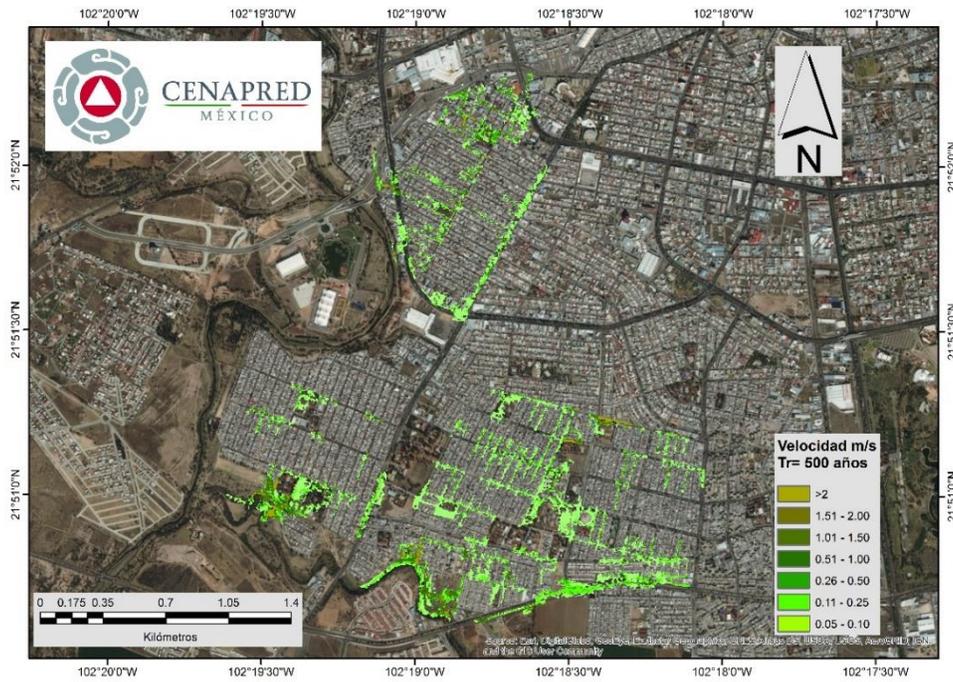


Figura 56. Mapa de Velocidad para un Tr de 500 años

Fuente: Elaboración propia

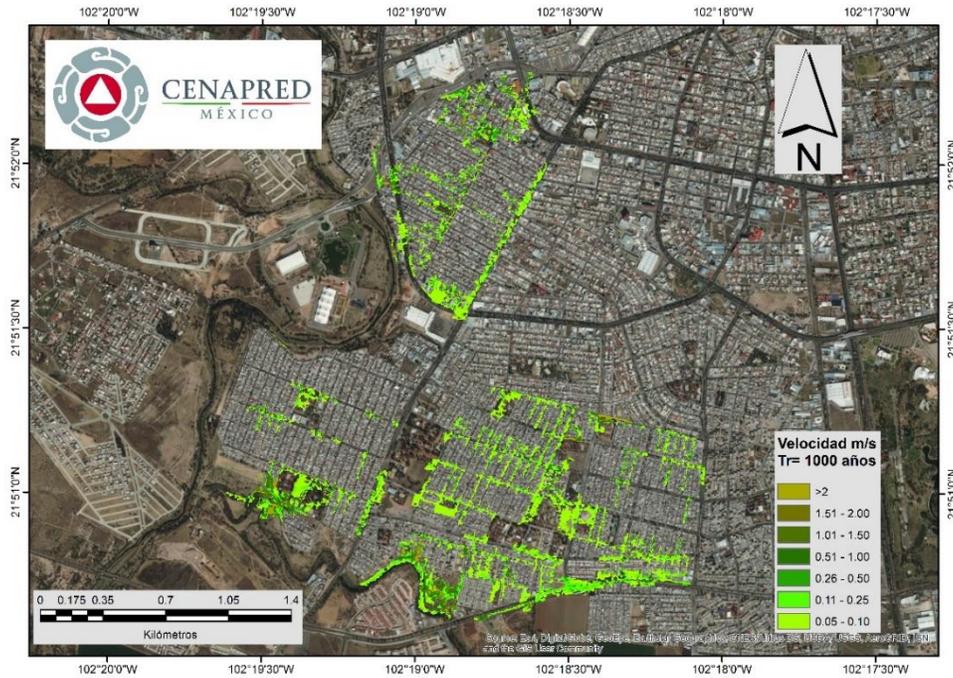


Figura 57. Mapa de Velocidad para un Tr de 1000 años

Fuente: Elaboración propia

17 ANEXO C. Mapas de severidad

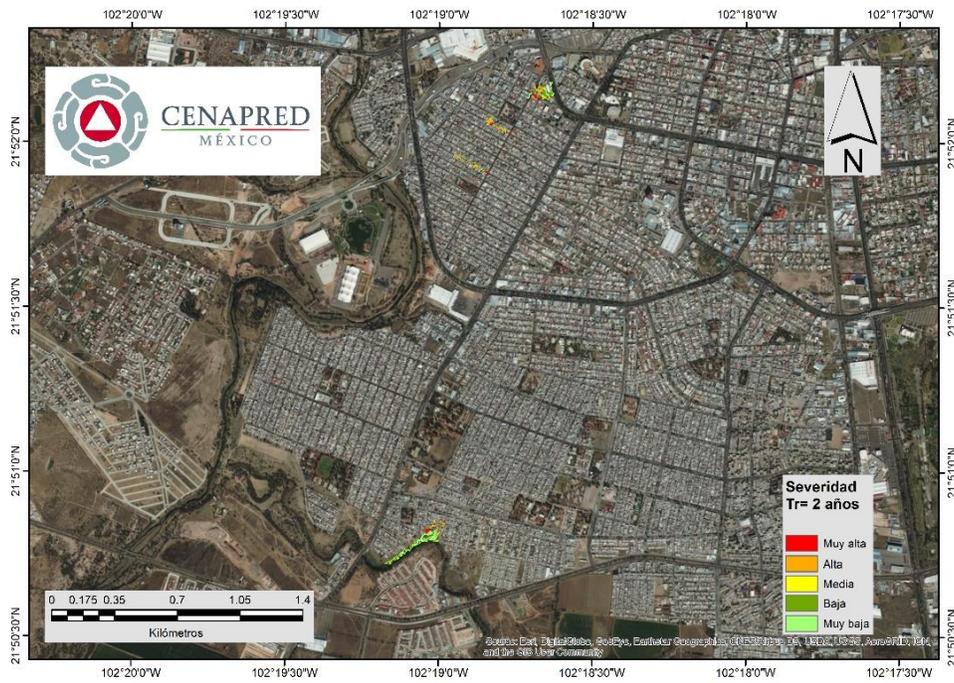


Figura 58. Mapa de Severidad para un Tr de 2 años

Fuente: Elaboración propia

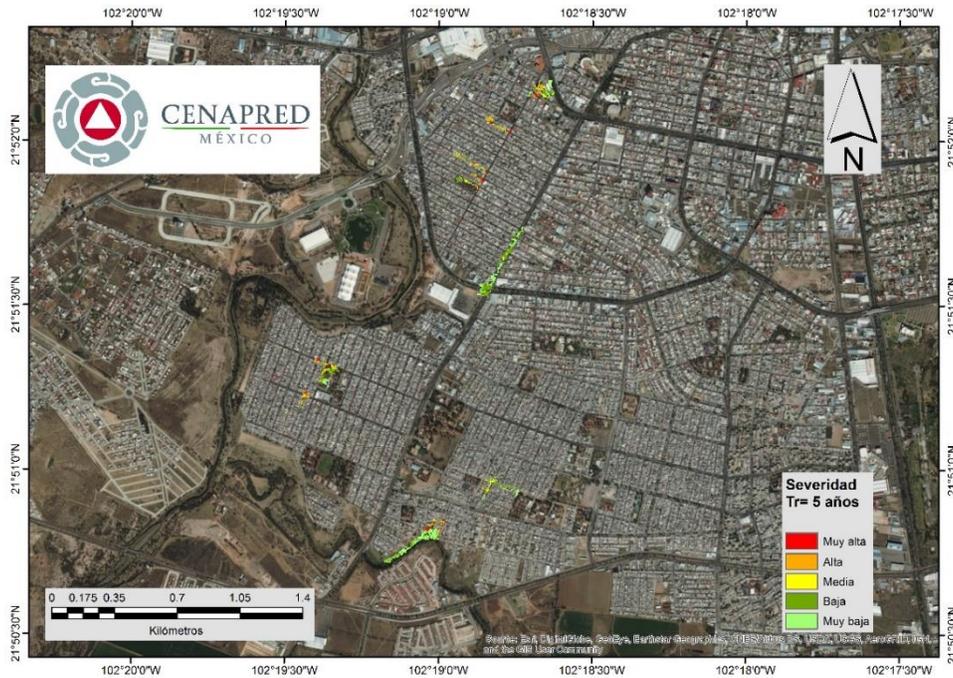


Figura 59. Mapa de Severidad para un Tr de 5 años

Fuente: Elaboración propia

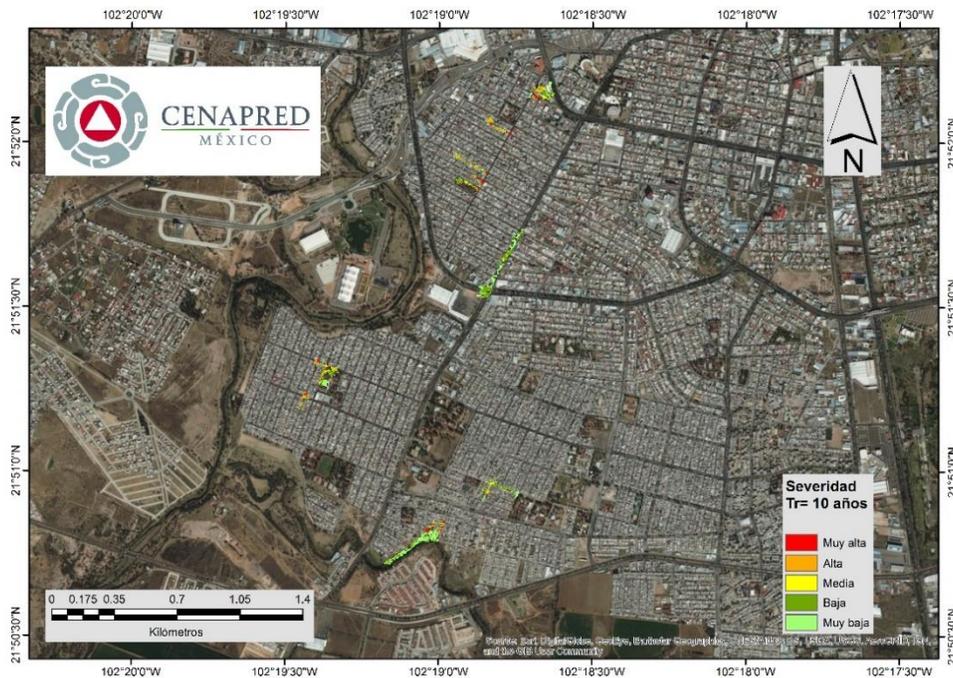


Figura 60.-Mapa de Severidad para un Tr de 10 años.

Fuente: Elaboración propia

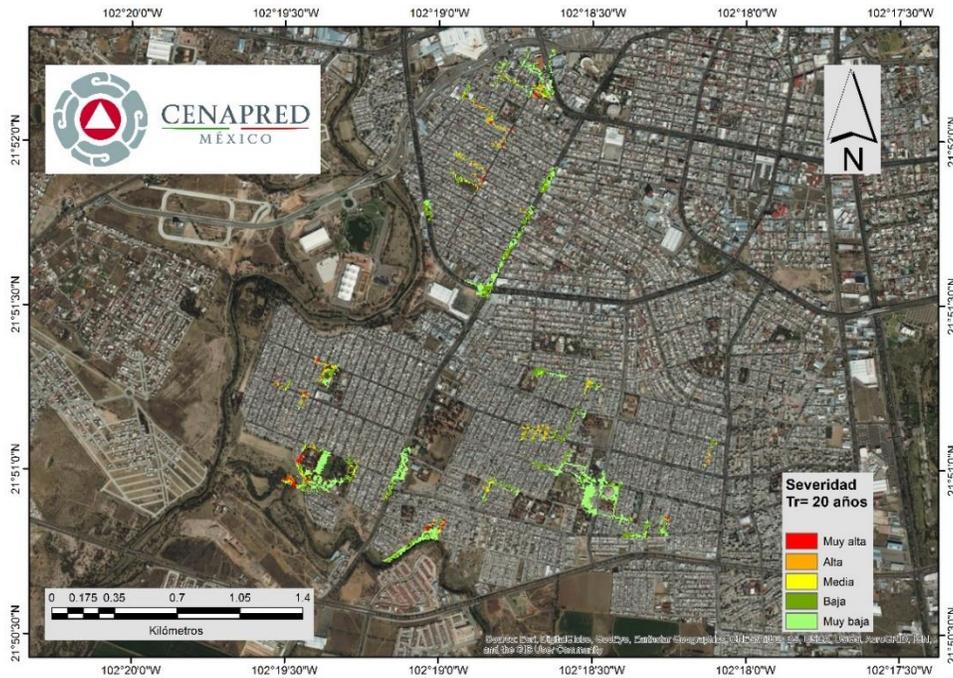


Figura 61. Mapa de Severidad para un Tr de 20 años

Fuente: Elaboración propia

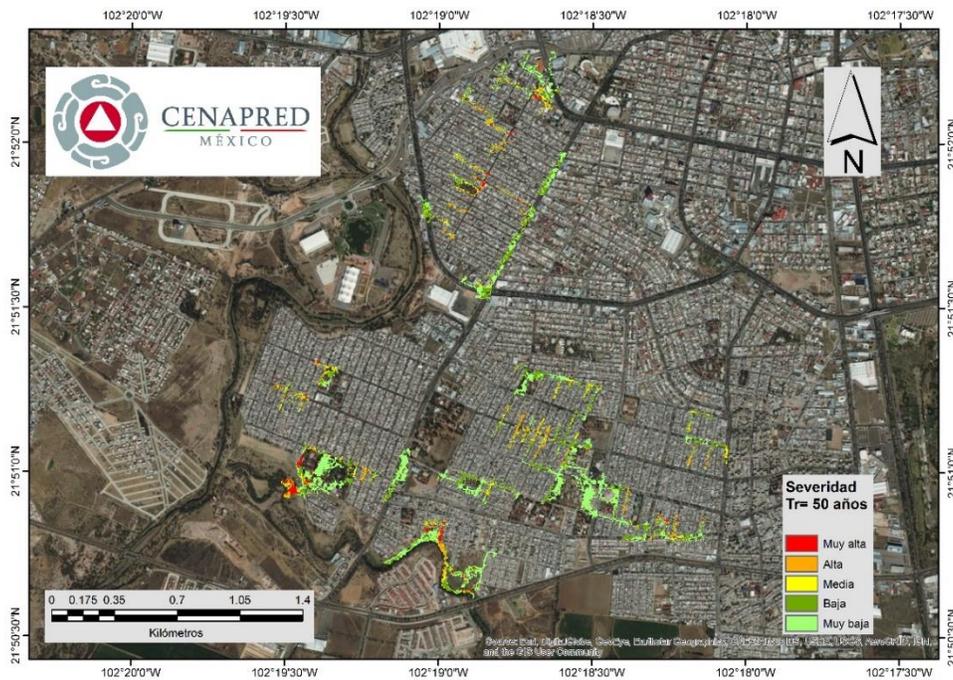


Figura 62. Mapa de Severidad para un Tr de 50 años

Fuente: Elaboración propia

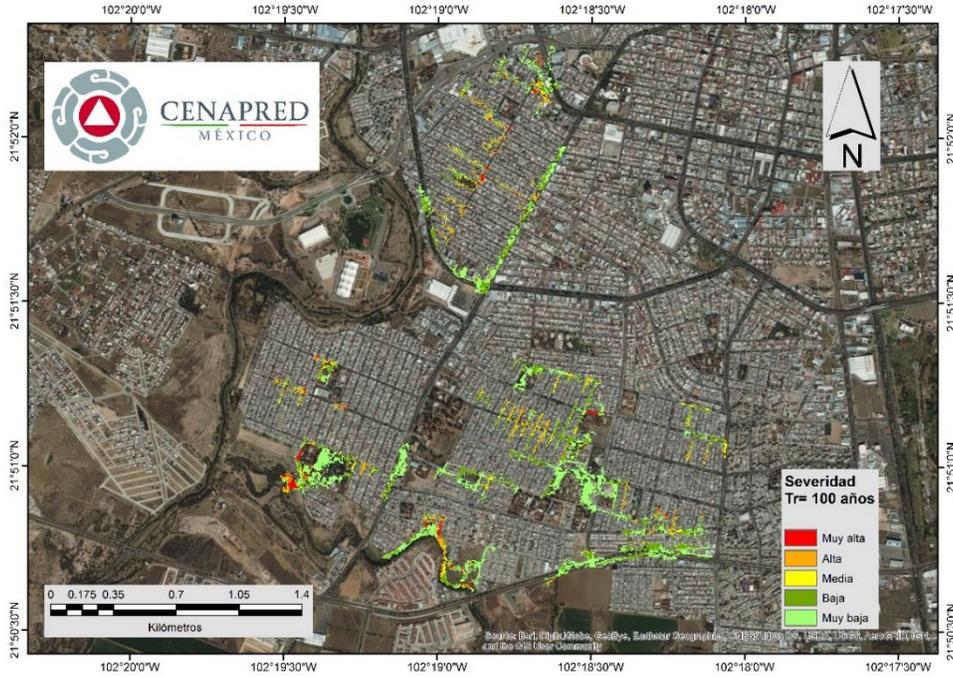


Figura 63. Mapa de Severidad para un Tr de 100 años

Fuente: Elaboración propia

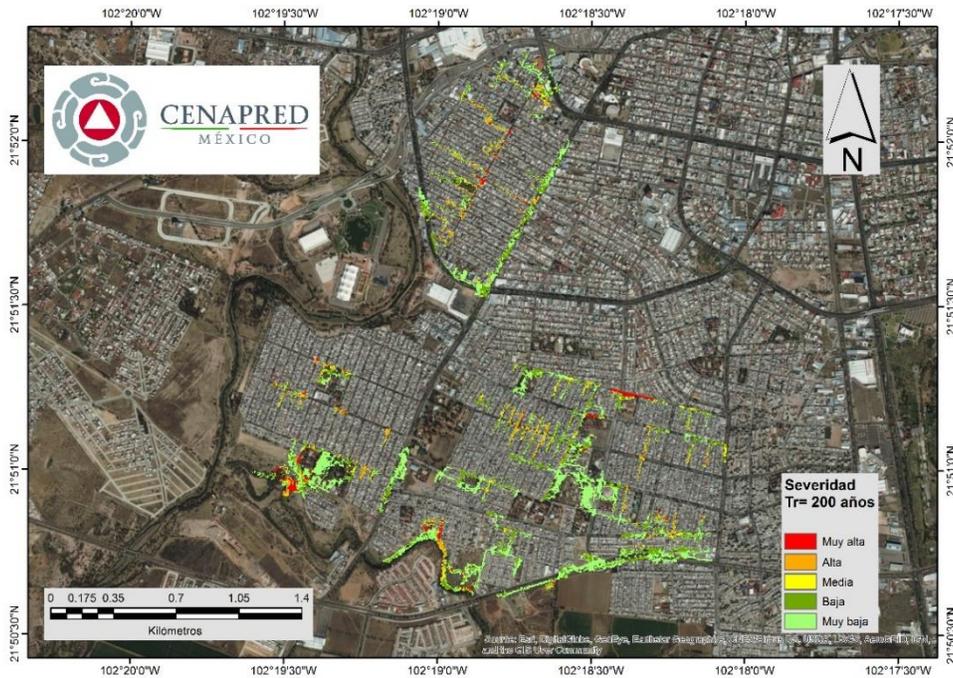


Figura 64. Mapa de Severidad para un Tr de 200 años

Fuente: Elaboración propia

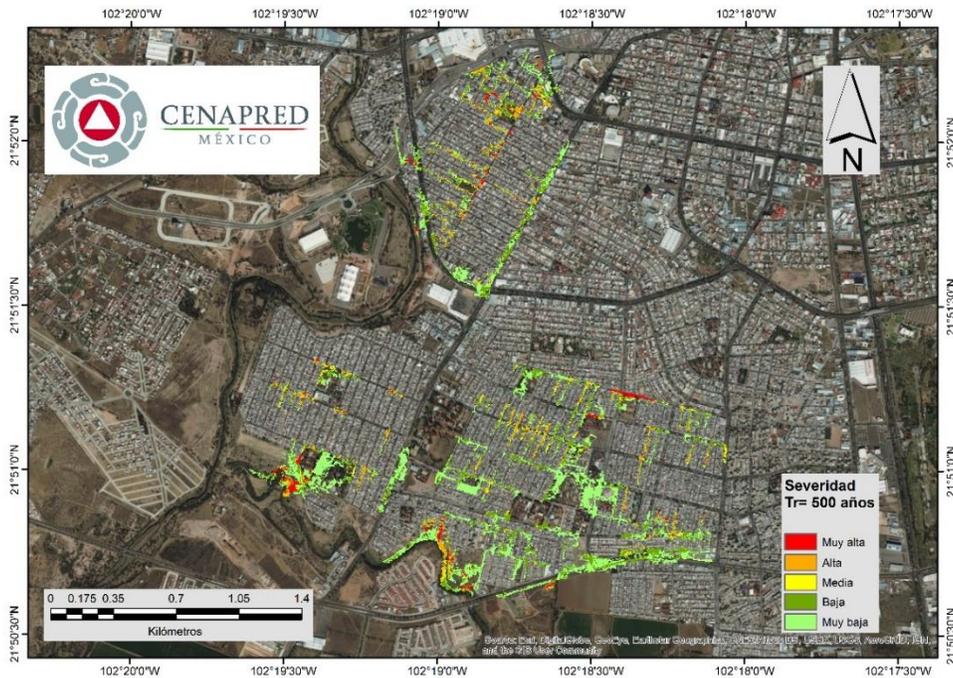


Figura 65. Mapa de Severidad para un Tr de 500 años

Fuente: Elaboración propia

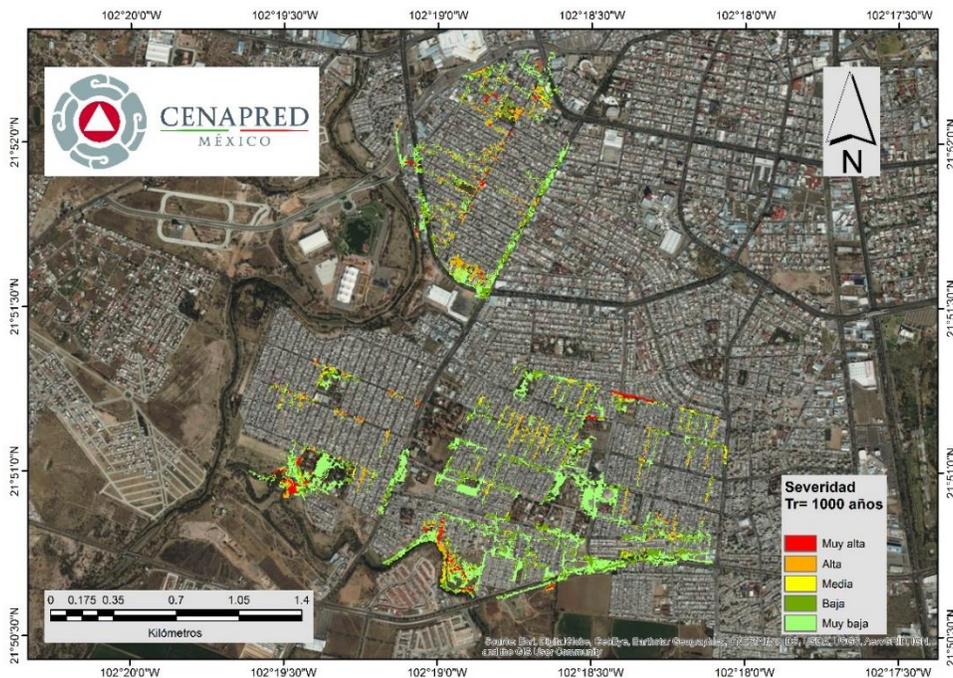


Figura 66. Mapa de Severidad para un Tr de 1000 años

Fuente: Elaboración propia

18 ANEXO D. Mapa de Vulnerabilidad



Figura 67.-Mapa de Vulnerabilidad

Fuente: Elaboración propia

19 NAEXO E. Mapas de Índice de Riesgo



Figura 68. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 2 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 69. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 5 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 70. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 10 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 71. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 20 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 72. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 50 años

Fuente: Elaboración propia

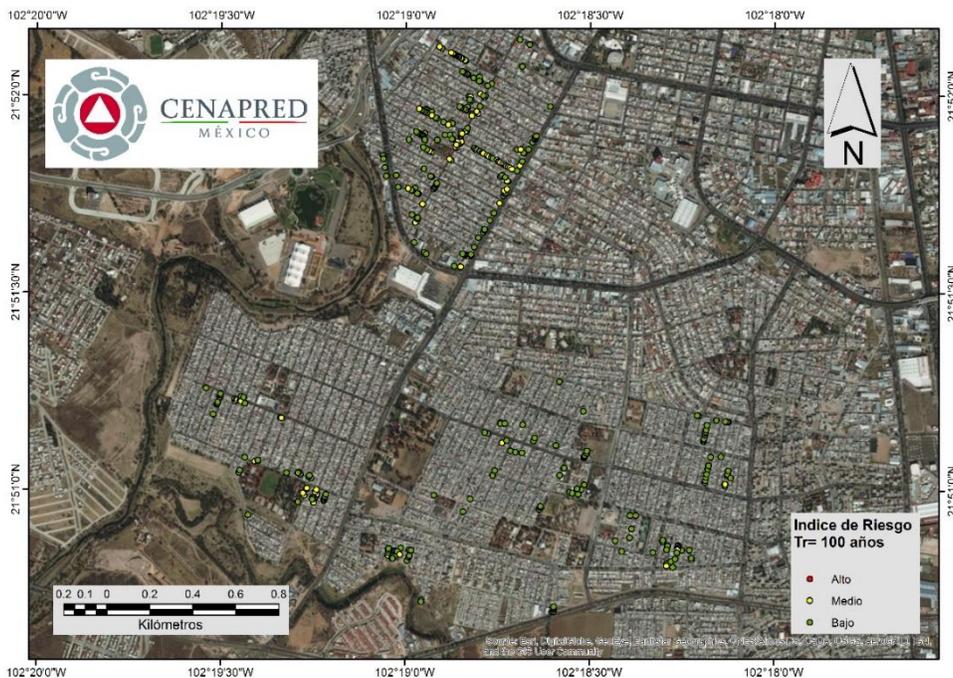


Figura 73. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 100 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 74. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 200 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 75. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 500 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 76. Mapa de Índice de riesgo para un Tr de 1000 años

Fuente: Elaboración propia