



El Marqués
Gobierno Municipal
2021-2024

El
Marqués
HECHOS QUE TRANSFORMAN



SOLUCIONES SIG

Modelación Hidráulica Integral y
PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE
INUNDACIONES
de El Marqués, Querétaro



L.A.E. Enrique Vega Carriles
Presidente Municipal de El Marqués

C. José Belén Robles Campos
Secretario de Gobierno

Lic. Alejandro Vázquez Mellado Larracochea
Director de Protección Civil

C. Ramiro Ramírez Ramírez
Regidor

Síndico Claudia Martínez Guevara
Regidora

C. Elisa Rendón Guerrero
Regidora

Lic. Alma Adriana Guzmán Ruiz
Regidora

Biól. Jesús Ramírez López
Regidor

Lic. María Isabel Yáñez Rincón
Regidora

C. Ma. Guadalupe Huerta Sánchez
Regidora

Lic. Teodocio Robles Becerra
Regidor

Lic. Crystian Vargas Molina
Regidor

C. María Felipa Castañón Loyola
Regidora

Ing. Abraham Martínez Hernández
Regidor

Lic. Aidé Ramírez López
Regidora

C. María De La Luz Pérez Naranjo
Regidora



EQUIPO CONSULTOR

Lic. Juan Carlos Calva Ríos
Director General

Lic. Geóg. Jorge Enrique Morales Jiménez
Apoderado Legal

Ing. Mariana Sánchez Velázquez
Coordinador Administrativo

Lic. Geóg. Mónica L. Martínez Herrera
Líder de Proyecto

Lic. Geóg. Luis Alberto Pérez Reyes
Lider de Proyecto

Arq. Marisol Martínez Herrera
Lider de Proyecto

Lic. Laura Cienfuegos Saldaña
Coordinador Dpto. Creativo

Lic. Diego Cruz Fadrique
Comunicólogo Dpto. Creativo

CONTENIDO

7
9
10

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

11

FASE I ANÁLISIS HIDRÁULICO

18 Factores topográficos

23 Modelación de inundaciones

23 Parámetros hidráulicos

30 Potencial de escurrimiento de la cuenca de análisis

42 Datos de precipitación local

57 Potencial de escurrimiento total

66 Hietogramas de diseño de precipitaciones proyectadas

71 Hidrogramas de Flujo

72 Modelación bidimensional de inundaciones

76 Resultados de modelación hidráulica integral

77 *Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación media. Profundidad*

87 *Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación máxima. Profundidad*

95 *Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación media. Velocidad*

104 *Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación máxima. Velocidad*

113 *Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación media. Potencia de flujo*

122 *Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación máxima. Potencia de flujo*





FASE II PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIONES DE EL MARQUÉS

Identificación de zonas de mayor siniestralidad reportada a través de verificación en gabinete y campo de los puntos críticos frecuentes de inundación

Levantamiento en campo para la definición de acciones de infraestructura verde

Definición de acciones de infraestructura resiliente

- Infraestructura verde
- Obras de captación, conducción, infiltración y suministro de aguas
- Obras de aumento y mejoramiento de espacios verdes
- Otras medidas a considerar

Estrategias y acciones relativas a la reducción de riesgos de inundaciones de instrumentos de planeación vigentes

Propuestas conceptuales de infraestructura verde

- Polígonos propuestos para implementación de infraestructura verde
- Lineamientos generales de diseño
- Propuestas conceptuales de diseño de Infraestructura verde

130

134

144

152

152

153

156

172

174

183

189

212

214

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son una problemática frecuente en muchas de las comunidades de nuestro país, sus efectos han causado importantes daños en la población, infraestructura, en las actividades económicas e incluso pérdidas de vidas humanas, en especial en las zonas con mayor vulnerabilidad (Matías, et al, 2007).

El acelerado desarrollo de los asentamientos humanos, la degradación del medio ambiente, la deforestación, el cambio climático son factores que modifican la respuesta hidrológica de las cuencas e incrementan la ocurrencia e intensidad de inundaciones, lo que ha provocado un mayor aumento de los desastres derivados de este fenómeno a nivel global (SEGOB/CENAPRED, 2014).

Las inundaciones son eventos recurrentes que se suelen producir en las planicies aluviales o en las áreas planas y más bajas del terreno, como resultado de lluvias intensas o continuas, que al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, desbordan e inundan las superficies aledañas a los cursos de agua.

El Glosario Hidrológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OMM/UNESCO, 2012), definen el fenómeno de inundación como: “desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua”. Refiriéndose a “confines normales” como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, una inundación es una elevación inusual del agua que puede generar afectaciones.

En el fascículo “Inundaciones” del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) del 2014, define como inundación a todo suceso que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoqué un incremento en el nivel del agua, genere invasión o penetración del fluido en sitios donde regularmente es nulo, lo cual provoque daños en la población, las actividades agrícolas, ganaderas y en la infraestructura.

Contar con estrategias para hacer frente a los fenómenos hidrometeorológicos se ha convertido

en una necesidad para garantizar la seguridad de las personas y sus bienes, en materia internacional la seguridad hídrica es un objetivo del desarrollo sostenible que alude principalmente a la gestión de los riesgos e impactos de dichos fenómenos (PNH 2014-2018). En México la Ley General de Protección Civil alude a la prevención como criterio rector (artículos 5 y 10), y en su artículo 2 fracción XVIII define la Gestión Integral del Riesgo (GIR) como “el conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción, que involucra a los tres niveles de gobierno, así como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad. Involucra las etapas de: identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción.” (LGPC, 2014).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el municipio de El Marqués ha experimentado los efectos de la variabilidad climática, con temporadas de lluvias intensas y atípicas cada vez más frecuentes. Consecuencia de ello han sido las inundaciones y daños económicos que afectan el presupuesto público y a la sociedad en general en sus bienes materiales, tanto en vivienda como en movilidad, entre otros aspectos.

El fortalecimiento preventivo es una acción implementada en la presente administración, la Coordinación Municipal de Protección Civil de El Marqués ha elaborado la actualización del Atlas de Peligros y Riesgos, entre otros aspectos, en lo que destaca en materia climatológica la instalación de un Sistema de monitoreo con 47 estaciones meteorológicas en el municipio, lo que permite tener un conocimiento en tiempo real sobre datos climáticos, entre ellos la probabilidad e intensidad de lluvia. Esta misma institución instituyó el Sistema de Alertamiento Temprano, que actualmente cuenta con más de mil 500 usuarios registrados, el cual permite a la ciudadanía conocer en tiempo real sobre los acontecimientos climáticos y diversos hechos que se registran en El Marqués, ya que también informa acerca de cierres viales por las

carreteras estatales, federales con las que cuenta el municipio, habilitación de refugios temporales, o cualquier medida de prevención que Protección Civil considere pertinente para que la ciudadanía pueda garantizar su integridad física, la de sus bienes y su entorno.

La prevención y gestión del riesgo ante inundaciones implica la necesidad de desarrollar distintas líneas de actuación. Unas dirigidas a la aplicación de medidas directas de prevención y protección, tales como obras de corrección y contención, y otras dirigidas a la aplicación de medidas de planificación ante la eventual ocurrencia de situaciones de emergencia. En estos ámbitos se sitúa el presente estudio, Modelación Hidráulica Integral y Plan de Gestión de Riesgo de Inundaciones de El Marqués, Querétaro, como un instrumento que fortalece las capacidades de atención, prevención, reacción ante este tipo de eventos catastróficos tan frecuentes en el territorio con enfoques de Gestión Integral de Riesgo de Desastres y sustentabilidad ecológica, lo que contribuye a la planeación territorial y fomenta una visión correctiva-preventiva de reducción de riesgos en el desarrollo del territorio municipal.



ANTECEDENTES

De acuerdo con el Programa Estratégico de Temporada de Lluvias El Marqués, Qro. 2021 y la temporada de lluvias comprende del 15 de mayo al 30 de noviembre.

Se caracteriza por la presencia de ciclones tropicales en los océanos Atlántico y Pacífico, lo que genera lluvias de fuertes a torrenciales en gran parte del territorio nacional (C.M.PC de El Marqués, Qro, 2021).

Por lo que, conforme al mismo Programa, en el municipio existe un importante riesgo ante inundaciones o encharcamientos, con acumulación de agua entre los 40 y los 80 cm, ya que muchos de los centros de población se encuentran asentados al margen del Río Querétaro, suscitando la presencia periódica de inundaciones fluviales a causa de avenidas extraordinarias, dada la insuficiente capacidad de conducción del cauce del Río.

Dentro de El Marqués existen varios cuerpos de captación de agua para uso agrícola y de abrevadero, sin embargo entre dichos cuerpos, los de mayor capacidad de almacenamiento son dos: "presa de El Carmen" y "presa Los Pirules", los cuales durante la temporada de lluvias aumentan considerablemente su nivel, por lo cual representan un alto riesgo para las

localidades, asentamientos irregulares e infraestructura ubicada al margen de los arroyos, ríos y drenes que dirigen los escurrimientos hacia aguas abajo.

Finalmente, se concluye en el mismo instrumento que, derivado de la falta de mantenimiento, escasa operación y nula creación de sistemas de captación, conducción, almacenamiento y regulación hidráulica pluvial, aunado a la insuficiencia de los sistemas de red sanitaria de cada localidad, se presentan afectaciones de menor o mayor intensidad dentro del municipio. (C.M.PC de El Marqués, Qro, 2021).

OBJETIVO

La Modelación Hidráulica Integral y Plan de Gestión de Riesgo de Inundaciones de El Marqués, Querétaro tiene por objetivo fortalecer la prevención, preparación y gestión de riesgos asociados a las inundaciones.

Elaborar una modelación hidráulica bidimensional de los cauces, bordos y presas de El Marqués para reconocer las zonas más críticas, donde es prioridad la intervención oportuna para reducir el riesgo al que se encuentra expuesto el municipio.

Delimitar propuestas esquemáticas de obras enfocadas a la reducción de los efectos de las inundaciones desde una perspectiva de la planeación sustentable, donde las obras propuestas, no solo mitiguen los impactos de los fenómenos de inundaciones, sino que mejoren el entorno urbano al proveer de servicios ambientales.

El Plan de Gestión ante inundaciones tiene por objetivo definir acciones de alto impacto, basado en la diferenciación espacial del fenómeno que al mediano y largo plazo promueva esquemas de manejo hídrico responsable e inteligente que beneficie a la ciudadanía del municipio de El Marqués.

FASE I

ANÁLISIS HIDRÁULICO

| EL MARQUÉS, QRO.

El análisis del fenómeno de inundación tiene como temática esencial examinar el comportamiento hidráulico de los flujos superficiales presentes dentro del territorio, este análisis debe partir de la identificación de la cuenca hidrológica del área de estudio.

Para la elaboración de los mapas de peligro por inundaciones en el municipio de El Marqués,

se emplean las metodologías planteadas por CENAPRED, se utiliza la información local de precipitación de las estaciones meteorológicas del municipio que cuentan con datos de todo el año 2021, insumos provenientes de instituciones federales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), organismos internacionales

como la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de EUA, la Agencia Espacial Europea (ESA), e imágenes de alta resolución tomadas en campo con vehículo aéreo no tripulado, con el objetivo de garantizar la calidad de los productos cartográficos.



Análisis hidráulico del área de estudio

FIGURA 1

Componentes de una cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es la unidad básica de los estudios hidrológicos, se puede definir como aquella superficie del terreno donde fluye el agua de las precipitaciones o de la nieve derretida, y converge en un área de terreno bajo donde el flujo se adhiere a un cuerpo de agua como un río, un lago, un estuario, un mar o en el océano, es decir es aquella área drenada por los flujos de agua que en algún sitio se unen y desembocan hacia otro cuerpo de agua. "Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un sitio común llamado también punto de salida de la cuenca". (Cotler, et. al., 2013:7).

La cuenca hidrográfica es el área de pendiente que aporta con el flujo de agua a una salida común como un drenaje concentrado, ésta puede ser parte de otra cuenca hidrográfica de mayor dimensión y también puede contener cuencas hidrográficas de menor extensión, denominadas subcuencas y éstas a su vez microcuencas. (ESRI/ArcMap, 2016).

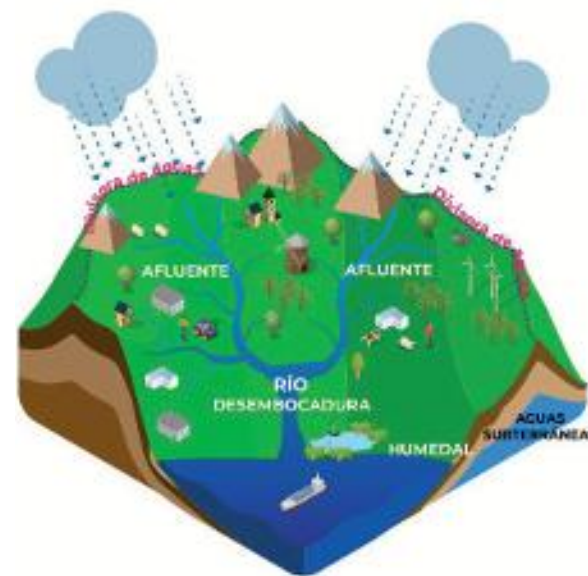


FIGURA 2

Subcuencas hidrográficas a nivel nacional

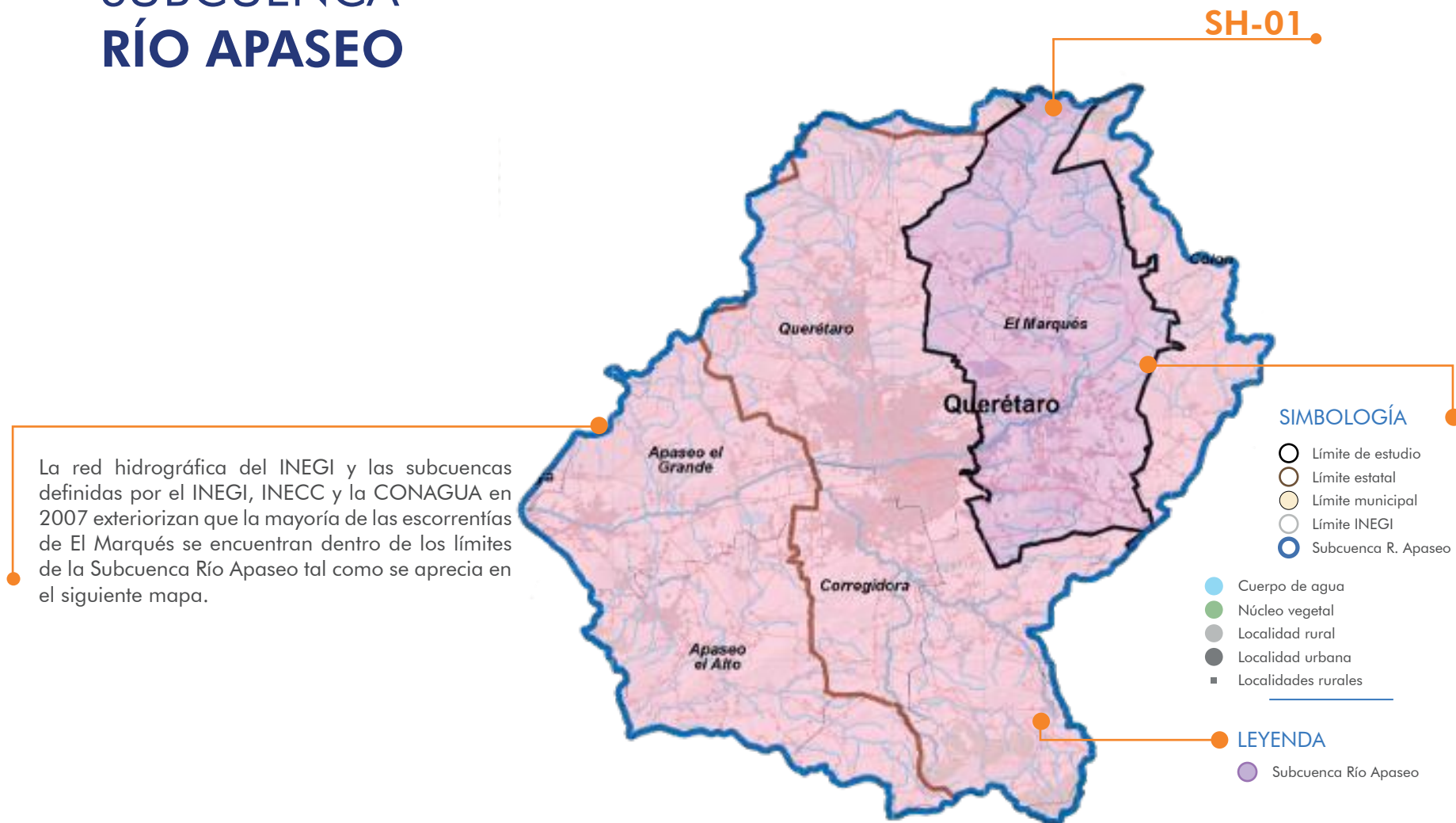
Los límites entre las cuencas hidrográficas se distinguen como divisiones de drenaje o parteaguas. La salida, o punto de fluidez, es el punto en la superficie en el que el agua segrega fuera de una determinada área, es el punto más bajo a lo largo del límite de una cuenca hidrográfica. La corriente o arroyo es la superficie donde fluye el agua y la Subcuenca es aquella zona donde los arroyos o corrientes secundarios desaguan en el río principal (ESRI/ArcMap, 2016).

En el año 2007 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) instituyeron criterios topográficos e hidrográficos comunes para la delimitación de cuencas hidrográficas del país. El producto de dicha labor distinguió 1,471 cuencas hidrográficas, clasificando 1,389 como exorreicas, 77 endorreicas y 5 arreicas. Clasificadas según la salida que asumen, las endorreicas o cerradas (el punto de salida se encuentra dentro de los límites de la cuenca y por lo general son un lago), exorreicas o abiertas (el punto de salida se ubica en los límites de la cuenca y la descarga se vierte en una corriente o en el mar) y arreicas (aquellas donde los ríos no llegan a confluir, donde se pierden o infiltran). (Cotler, et. al., SEMARNAT, 2013; Cotler & Pineda, 2007; Cotler, SEMARNAT, 2010).



MAPA 1

SUBCUENCA RÍO APASEO



La cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica, es, sin embargo, una representación a gran escala de los sistemas hidrológicos a nivel nacional, por lo que debe considerarse como referentes que no necesariamente responderán a las condiciones locales topográficas, es por ello que la primera actividad para el análisis hidráulico es la identificación precisa de la cuenca y los parteaguas funcionales para el territorio de El Marqués.

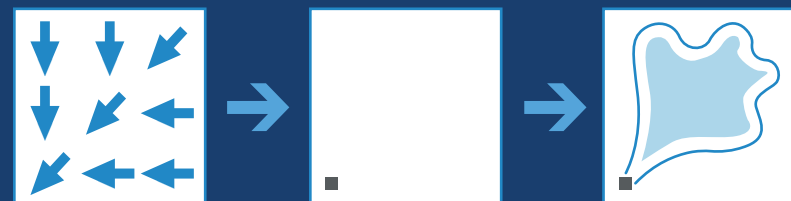
Para dicho efecto y para tener una mayor precisión en la modelación integral de los cauces que convergen en el municipio, se procesó un modelo digital de elevación hidrológicamente correcto procedente del ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model), 2014 con una resolución espacial de 30 metros para determinar el área de aportación total.

Identificación de cuenca hidrográfica.

“Las cuencas hidrográficas se pueden definir en base a un Modelo Digital de Elevación al calcular la dirección del flujo y utilizarla en la herramienta Cuenca hidrográfica. Para determinar el área de contribución, primero se debe crear un ráster que represente la dirección del flujo con la herramienta Dirección de flujo.” (ESRI/ArcMap, 2016d).

FIGURA 3

Delimitación de Cuenca hidrográfica

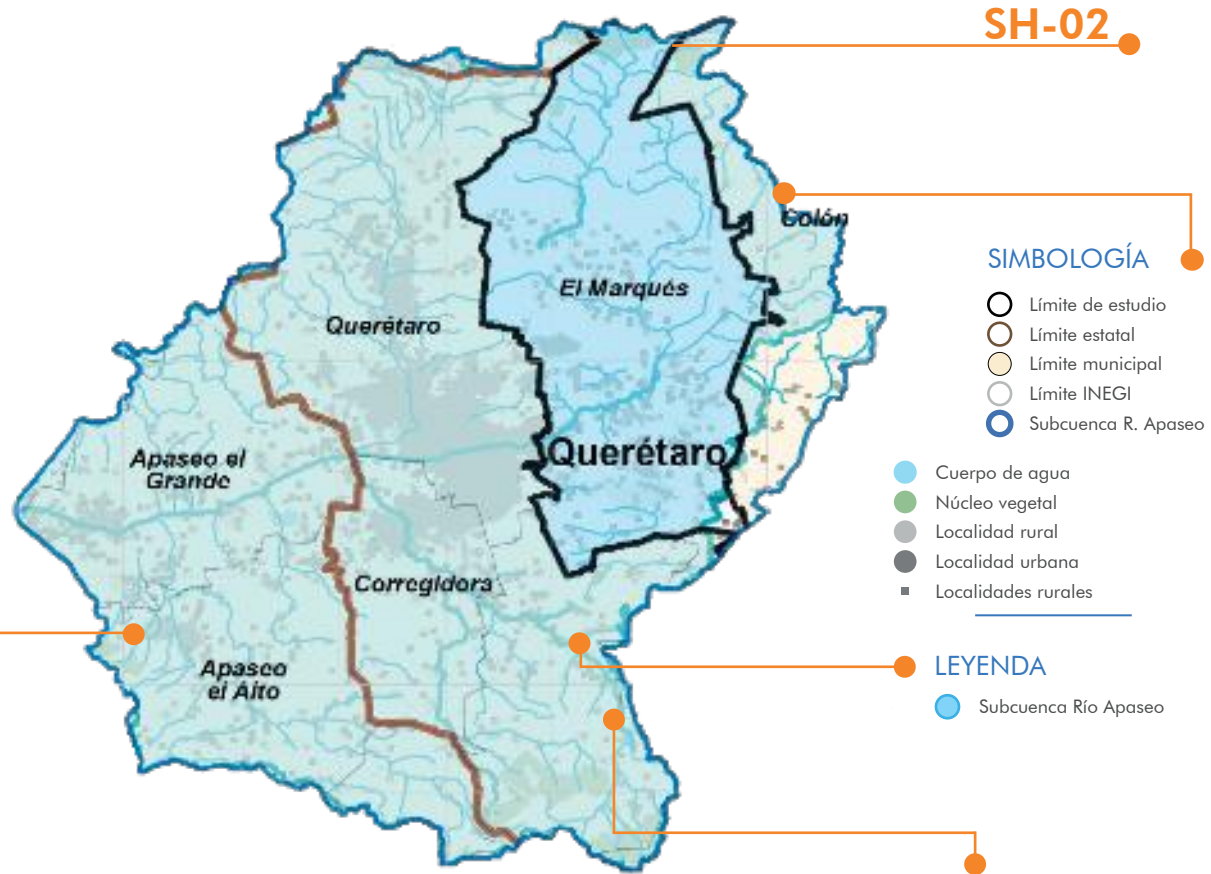


MAPA 2

CUENCA DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Tomando en cuenta las superficies de mayor potencial de escurrimientos del análisis derivado de la actualización del Atlas de Peligros y Riesgos 2021 para la modelación de los flujos municipales se detalló aún más la superficie de la cuenca estimada para el análisis de las inundaciones, la cual fue calculada considerando la red hidrográfica del INEGI y las subcuencas definidas por el INEGI, INECC y la CONAGUA en 2007, la Subcuenca Río Apaseo, por tanto en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), se aplicó la herramienta hidrológica “relleno de sumideros (fill)”, “dirección de flujo (flow accumulation)” (que en el siguiente apartado serán detalladas) y “cuenca (basin)” con lo que se detalla con mayor precisión una cuenca de análisis que considere el área de influencia de la zona de mayor captación.

UBICACIÓN



“Después, deberá introducir las ubicaciones para las que desea determinar el área de cuenca. Las ubicaciones de origen pueden ser entidades, como diques o escalas hidrométricas, para las que desea determinar las características del área de contribución. También puede utilizar un umbral de acumulación de flujo. Cuando el umbral se utiliza para definir una cuenca hidrográfica, los puntos de fluidez para la cuenca hidrográfica serán los cruces de una red de arroyos derivados de la acumulación de flujo. Por lo tanto, se debe especificar un ráster de acumulación de flujo y la cantidad mínima de celdas que constituyen un arroyo (el valor de umbral).”

FIGURA 4

Modelo Digital de Superficie compuesto

1

Las inundaciones, al ser producto de la acumulación de flujos superficiales asociados a precipitaciones intensas y a la capacidad de drenaje del territorio, tienen un componente topográfico muy importante, pues la identificación de zonas bajas donde confluye el agua es el principal elemento para definir zonas susceptibles al fenómeno. Ante la falta de datos clave sobre el drenaje artificial de las aguas precipitadas, el análisis de las inundaciones estrictamente se enfoca al reconocimiento de las zonas topográficas de acumulación y flujo, para identificar la susceptibilidad de la geomorfología al fenómeno.

A fin de establecer con precisión el análisis hidrológico se realizó una composición para definir un Modelo Digital de Superficie de alta resolución (5 m por pixel) derivado de las imágenes LIDAR disponibles en el área de estudio, de la información disponible por la NASA del Shuttle Radar Topography Mission Global SRTMG, 2017 con una resolución de un Arco-segundo la cual se procesó para bajar la escala de análisis a la información LIDAR.

2



3

Posteriormente se concluyó el mosaico con información de los vuelos de drone en las zonas de bordos en las afueras del área con LIDAR, pues éstas zonas son importantes para la definición de los flujos superficiales cuenca arriba en El Marqués.

4

Es significativo reconocer que los factores antrópicos de las inundaciones; red de drenaje artificial y redirección del flujo superficial del agua por infraestructura humana son elementos que condicionan el comportamiento de los resultados presentados, no obstante, la susceptibilidad identificada reconoce la intensidad mediante condiciones geográficas, inherentes al contexto geográfico de la sociedad.

El análisis tiene como principio básico la topografía, por lo cual es necesario precondicionar el terreno para generar un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) hidrológicamente correcto, que no tenga huecos de información, pues los huecos son un elemento que altera drásticamente los resultados de una modelación de flujo. Una vez precondicionado el terreno con las herramientas de identificación y relleno de sumideros se procede a los siguientes procesos hidráulicos.

5

FIGURA 5 FACTORES TOPOGRÁFICOS

Dirección de Flujo

1

Primero, para definir las características hidrológicas hay que entender cómo se comporta el relieve en términos de drenaje, es decir, hacia donde vierten las aguas de cada celda en el MDE; esto es posible con la herramienta Dirección de flujo.

2

“Esta herramienta toma una superficie como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda. Si se elige la opción Ráster de eliminación de salida, se creará un ráster de salida con un radio del cambio máximo de elevación desde cada celda a lo largo de la dirección de flujo hasta la longitud de la ruta entre los centros de las celdas y se expresa en porcentajes. Si se elige la opción Forzar todas las celdas de eje para que se desplacen hacia fuera, todas las celdas en el eje del ráster de superficie se desplazan hacia fuera desde el ráster de superficie”. (ESRI/ArcMap, 2016a)

3

“Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Este enfoque comúnmente se denomina el modelo de flujo de ocho direcciones (D8) y sigue un acercamiento presentado en Jenson and Domingue (1988)”. (ESRI/ArcMap, 2016a).

4

“La dirección de flujo está determinada por la dirección del descenso más empinado, o la caída máxima, desde cada celda. Se calcula de la siguiente manera: $\text{maximum_drop} = \text{change_in_z-value} / \text{distance} * 100$ ”

6

“Cuando se encuentra la dirección de un descenso más empinado, la celda de salida se codifica con el valor que representa esa dirección.” (ESRI/ArcMap, 2016a)

7

“Si todos los elementos próximos son más altos que la celda de procesamiento, se considerará un ruido que se rellena con el valor más bajo de los elementos próximos, y tiene una dirección de flujo hacia esta celda. Sin embargo, si un sumidero de una celda está junto al borde físico del ráster o tiene como mínimo una celda NoData como vecino, no se rellena porque la información del vecino no es suficiente.”

8

“Para que se considere como un sumidero verdadero de una celda, debe estar presente toda la información de vecino.” (ESRI, 2016a).

9

“Si dos celdas fluyen entre sí, se trata de sumideros que tienen una dirección de flujo indefinida. Este método que deriva una dirección de flujo de un Modelo Digital De Elevación (DEM) se presenta en Jenson and Domingue (1988)”. (ESRI/ArcMap, 2016a).

5

La distancia se calcula entre los centros de las celdas. Por lo tanto, si el tamaño de celda es 1, la distancia entre dos celdas ortogonales es 1, y la distancia entre dos celdas diagonales es 1,414 (la raíz cuadrada de 2). Si el descenso máximo de varias celdas es el mismo, la vecindad se agranda hasta que se encuentra el descenso más empinado.” (ESRI/ArcMap, 2016a).

FIGURA 6

Acumulación de Flujo

1

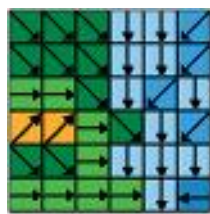
La acumulación de Flujo es un proceso que, mediante los datos agregados por la Dirección de Flujo define los valores necesarios para definir la red de escorrentías superficiales, es el siguiente paso a tomar para caracterizar el comportamiento hidráulico del relieve.

2

“La herramienta Acumulación de flujo calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster de salida. Si no se proporciona un ráster de peso, se aplica un peso de 1 a cada celda, y el valor de celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluye en cada celda.” (ESRI/ArcMap, 2016b).

3

En el siguiente gráfico siguiente, la imagen superior izquierda muestra la dirección de viaje desde cada celda y la superior derecha el número de celdas que fluyen hacia cada celda. (ESRI, ArcMap, 2016b).



Flow direction



Direction coding



Flow accumulation

4

Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos. Esto se analiza en Identificación de redes de arroyos. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar crestas. (ESRI/ArcMap, 2016b).

6

Con la ecuación condicional obtenemos una red de escorrentías en formato ráster que clasifica el máximo de celdas aportadas a cada escorrentía definida. El siguiente paso para la definición de las inundaciones es la identificación del Orden de escorrentías para identificar la intensidad de flujo y acumulación del agua superficial.

5

El resultado de la acumulación flujo, sujeta a una ecuación condicional arroja la escorrentía superficial del terreno con mayor o menor definición, pues va a depender del número de celdas confluentes máximas de cada escorrentía, por ejemplo, si se desea obtener una red que identifique toda escorrentía generada a partir de 100 celdas de aportación, el valor condicional será 100, la ecuación, introducida en la Calculadora ráster es: Value > 100

Clasificación de Corrientes por Orden Shreve

Una vez definida la red hidrográfica es indispensable clasificarla por orden, pues el orden de clasificación ayuda a identificar la confluencia de arroyos, es decir, aquellas zonas no solo de mayor acumulación sino donde la confluencia de los ríos de diverso orden aporte más agua a los arroyos superficiales.

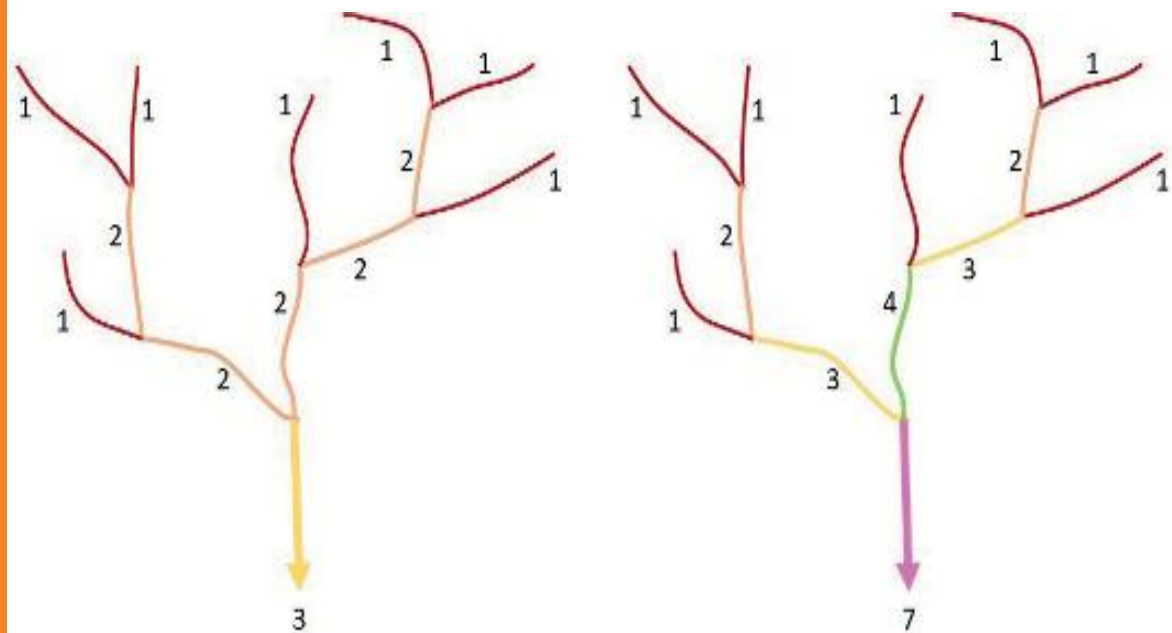
“La clasificación de arroyos es un método que asigna un orden numérico a los vínculos en una red de arroyos. Este orden es un método para identificar y clasificar los tipos de arroyos basado en la cantidad de afluentes. Se pueden inferir algunas características de los arroyos simplemente al conocer el orden.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

“Por ejemplo, los arroyos de primer orden están dominados por un flujo de agua por tierra; no tienen un flujo concentrado de aguas arriba. Por esta razón, son más susceptibles a problemas de contaminación sin origen de punto y pueden obtener más beneficios de las zonas de influencia ribereñas amplias que de otras áreas de la cuenca hidrográfica.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

“La herramienta Clasificación de arroyos tiene dos métodos para asignar órdenes. Estos son los métodos propuestos por Strahler (1957) y Shreve (1966).” (ESRI/ArcMap, 2016c).

FIGURA 7

Clasificación de Corrientes Strahler (Izquierda) y Shreve (Derecha)



“En ambos métodos, siempre se asigna un valor de 1 a los segmentos de arroyo aguas arriba, o los vínculos exteriores.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

MAPA 3

FLUJOS SUPERFICIALES POR ORDEN STRAHLER

Método de Strahler

“En el método de Strahler, se asigna un orden de 1 a todos los vínculos sin afluentes y se los conoce como de primero orden.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

“La clasificación de arroyos aumenta cuando los arroyos del mismo orden intersecan. Por lo tanto, la intersección de dos vínculos de primer orden creará un vínculo de segundo orden, la intersección de dos vínculos de segundo orden creará un vínculo de tercer orden, y así sucesivamente. Sin embargo, la intersección de dos vínculos de distintos órdenes no aumentará el orden. Por ejemplo, la intersección de un vínculo de primer orden y segundo orden no creará un vínculo de tercer orden pero mantendrá el orden del vínculo con el orden más alto.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

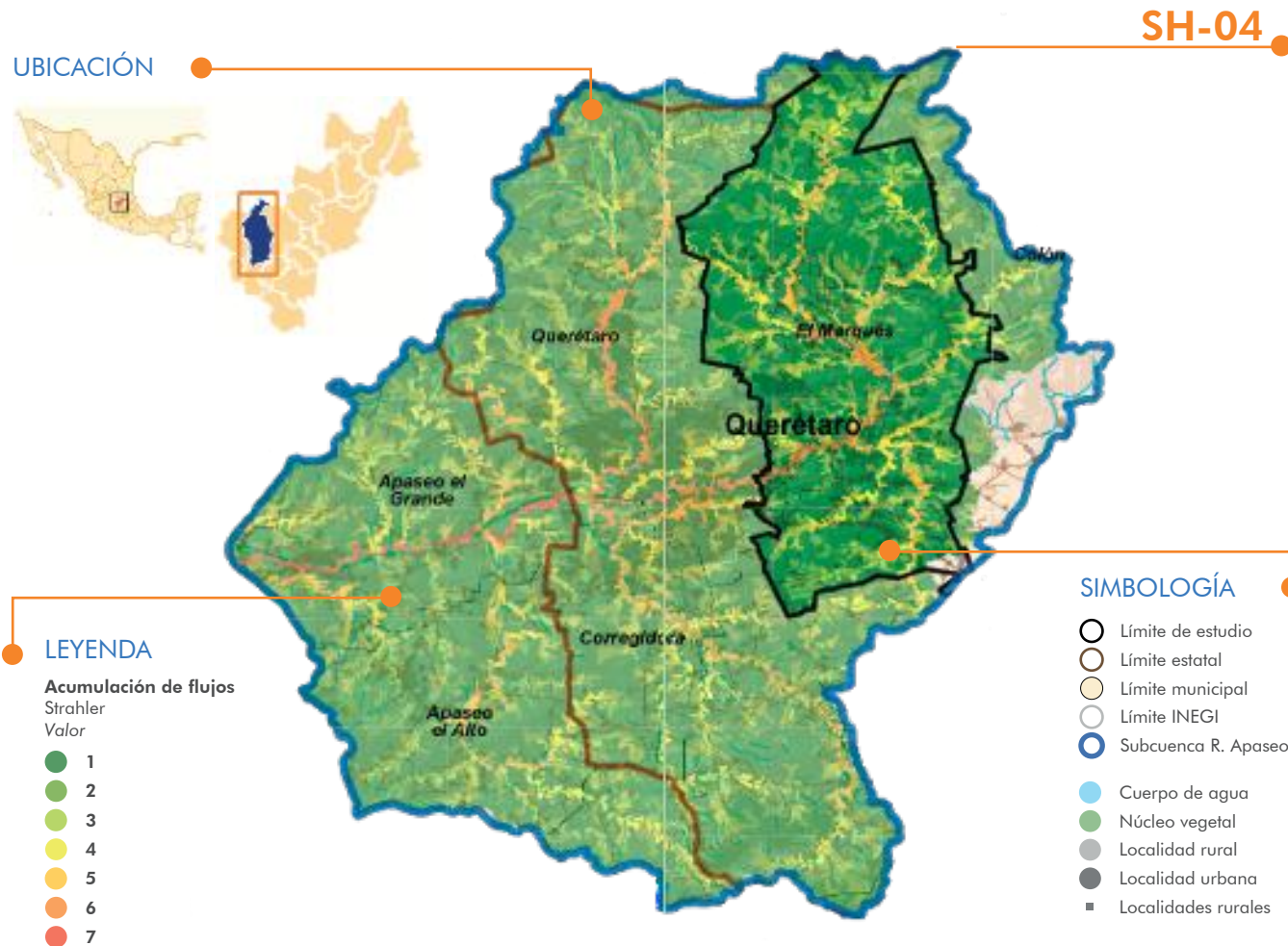
“El método de Strahler es el método de clasificación de arroyos más conocido. Sin embargo, debido a que este método sólo aumenta el orden en las intersecciones del mismo orden, no tiene en cuenta todos los vínculos y puede ser susceptible a la adición o remoción de vínculos.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

A continuación se presentan los resultados de la clasificación de los flujos superficiales por orden Strahler y su respectiva acumulación de flujos en el área de análisis contigua al territorio municipal.



MAPA 4

ACUMULACIÓN DE FLUJOS



Modelación de inundaciones

La modelación integral de flujo dinámico contempla los cauces provenientes de la presa El Carmen, la presa Los Pirules, los bordos existentes en el municipio y en su área de captación, lo que complementa la información generada en el atlas de riesgos 2021, pues la modelación simultánea tiene por bien identificar como se suman hacia los cauces principales los flujos en terreno, definiendo los productos de tirante, velocidad y potencia flujo por escenarios simultáneos en toda la cuenca hidrográfica definida, lo que aporta detalle sobre los flujos, y más considerando los datos de las estaciones.

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Hidrograma unitario

El hidrograma unitario es la representación estadística que expresa el tiempo de drenado de una cuenca, pues estima en razón de tiempo gasto la cantidad de agua que fluirá por los afluentes definidos en la superficie topográfica de una cuenca determinada. “Los hidrogramas unitarios son gráficos de líneas que determinan cuánta agua descargará la salida de un curso de agua en el transcurso de tiempo durante una tormenta predicha. Pueden crearse analizando el tiempo que tardan las precipitaciones en viajar por una cuenca hidrográfica hasta el curso de agua.” (ESRI/ArcGIS, 2018).

Para establecer el análisis del flujo superficial del agua se toma en cuenta la definición de la cuenca hidrográfica presentada en el mapa 2, SH-02, el siguiente paso es determinar cuánto tiempo tarda el agua en llegar a la salida, lo que permitirá predecir mejor en qué momento se producirá la inundación durante un hipotético evento de precipitaciones. “Para determinar el tiempo que tarda el agua en fluir hasta un punto determinado, necesitamos determinar primero con qué velocidad se mueve.

Calcularemos la velocidad del agua en movimiento gracias a un campo de velocidad, otro tipo de capa ráster. Existen muchos tipos de campos de velocidad y se pueden calcular con una amplia variedad de ecuaciones matemáticas. Crearemos un campo de velocidad variable espacialmente, pero invariable en el tiempo y la descarga. Esto significa que nuestro campo de velocidad se basará en las siguientes suposiciones:” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

- 1 La velocidad se ve afectada por componentes espaciales tales como la pendiente y la acumulación de flujo (variables espacialmente).
- 2 La velocidad en una ubicación dada no cambia con el paso del tiempo (invariable en el tiempo).
- 3 La velocidad en una ubicación dada no depende del caudal de agua de la ubicación (invariable en la descarga).

“En realidad, la velocidad podría ser variable en el tiempo, además de variable en la descarga. Sin embargo, la incorporación de estas variantes requeriría datasets adicionales que quizá no estén disponibles y requeriría técnicas de modelado que quizá no pueden replicarse en el entorno SIG. El

campo de velocidad variable espacialmente e invariable en el tiempo y la descarga arrojará resultados por lo general exactos, aunque es importante recordar que cualquier método siempre será una aproximación de los fenómenos observados.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

“Usaremos un método de creación de campos de velocidad propuesto por primera vez por Maidment y otros (1996). En este método, se asigna a cada celda del campo de velocidad una velocidad basada en la pendiente local y el área de la cuenca contribuyente (el número de celdas que fluyen hacia esa celda, o acumulación de flujo). Se basan en la siguiente ecuación:” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

$$V = V_m * (sbAc) / (sbAcm)$$

“Donde V es la velocidad de una celda individual con una pendiente local de s y un área de cuenca contribuyente aguas arriba de A. Los coeficientes b y c pueden determinarse mediante calibración, un método estadístico que afina los parámetros de modelo de modo que los datos predichos sean lo más cercanos posible a los datos observados. En este escenario, usaremos el valor recomendado del método, que es b = c = 0,5. Vm es la velocidad media de todas las celdas de la cuenca hidrográfica. Supondremos una velocidad media de Vm = 0,1 m/s. Por último, sb Acm es el término medio de pendiente-área en toda la cuenca hidrográfica.

Para evitar resultados poco realistas, demasiado rápidos o lentos, estableceremos límites para las velocidades mínima y máxima. El límite inferior será de 0,02 metros por segundo, mientras que el límite superior será de 2 metros por segundo.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

El siguiente paso es la definición del término pendiente-área, para dicho fin es indispensable calcular la pendiente del terreno con base en un Modelo Digital de Elevaciones. “Una vez generada la capa ráster tanto para la pendiente como para el área de acumulación de flujo, calcularemos una nueva capa ráster que las combine. La capa mostrará el término pendiente-área (el valor sb Ac de la ecuación de Maidment y otros). La ecuación para la definición del término área-pendiente es la siguiente:” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

$$\text{Raíz cuadrada (Pendiente)} * \text{Raíz cuadrada (Acumulación de flujo)}$$

“El motivo por el que averiguaremos la raíz cuadrada de la pendiente y la acumulación de flujo es que usaremos los coeficientes recomendados (b = c = 0.5) de Maidment y otros. Un coeficiente de 0,5 equivale a la raíz cuadrada del valor. Ahora que ya disponemos del término pendiente-área, podemos calcular un campo de velocidad a partir de la siguiente ecuación:” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

$$V = V_m (sb Ac) / (sb Acm) \quad (1)$$

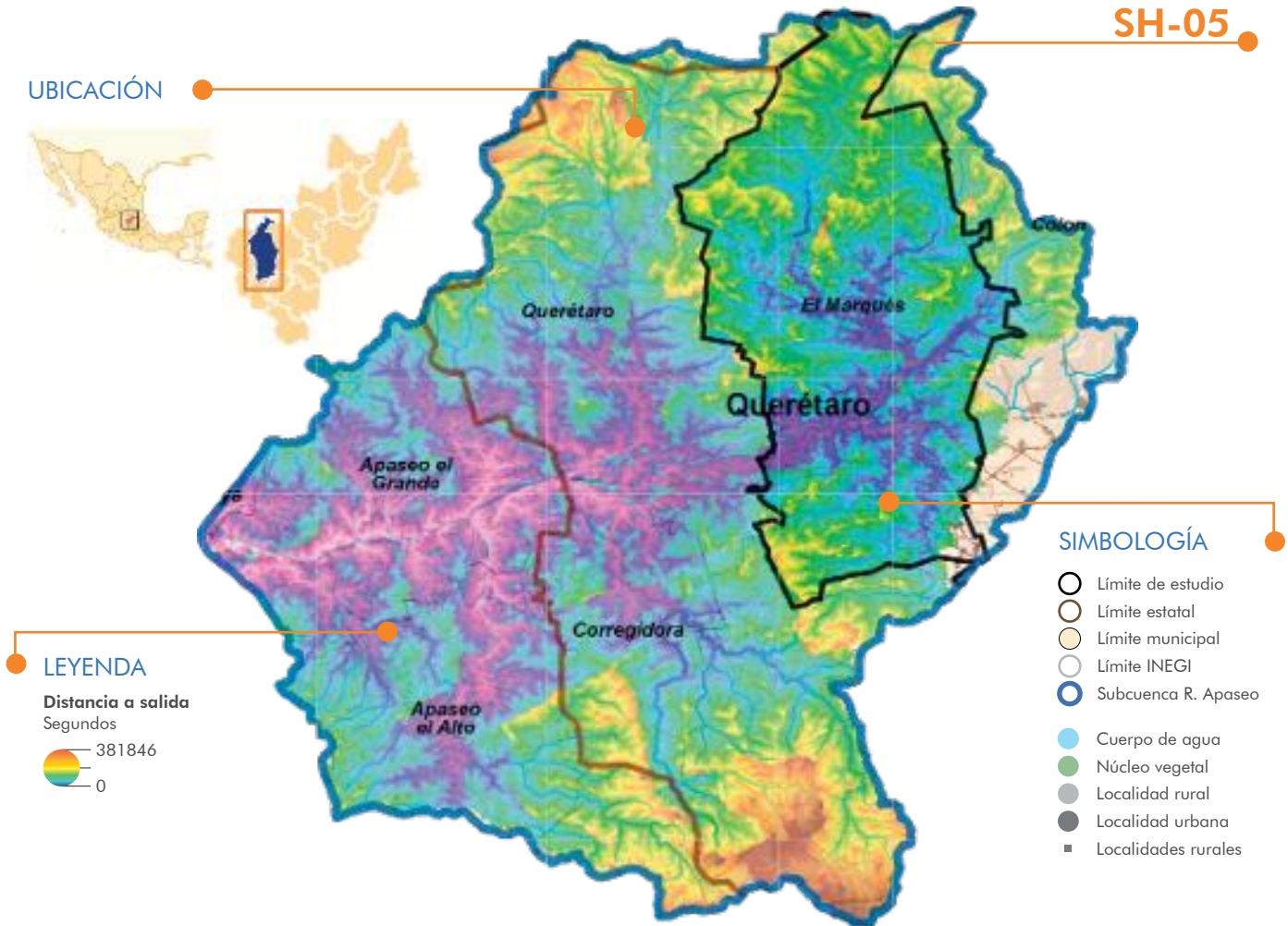
“Vm es la velocidad media de todas las celdas de la cuenca hidrográfica. Emplearemos un valor medio supuesto de Vm = 0,1, el recomendado por Maidment y otros. Del mismo modo, sb Acm es el término medio de pendiente-área en toda la cuenca hidrográfica. Dado que hemos calculado el término de pendiente-área de la cuenca, podemos determinar la media exacta en lugar de basarnos en un valor supuesto.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

Definido el campo de velocidad para cada cuenca hidrográfica, se aplica la fórmula descrita en el párrafo anterior mediante la siguiente ecuación:

$$0.1 * (\text{“Término área-pendiente”} / [\text{Media Término área-pendiente}])$$

MAPA 5

TIEMPO DE SALIDA DE LOS FLUJOS SUPERFICIALES



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model), 2014

“La capa ráster obtenida es un campo de velocidad, pero sus velocidades máxima y mínima son poco realistas. Por ejemplo, algunos valores del campo presentan una velocidad de 0 metros por segundo, algo improbable durante un evento de precipitaciones extremas. Además, el valor máximo de aproximadamente 7,5 metros por segundo es poco realista incluso en una inundación grave. Limitaremos los valores de velocidad con un límite inferior de 0,02 metros por segundo y un límite superior de 2 metros por segundo mediante el proceso Condicionante para las estructuras ráster.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

“El siguiente paso para la definición de las inundaciones es la generación de un mapa isócrono cuya función es cartografiar el tiempo que tarda en alcanzar una ubicación determinada desde cualquier punto de un área. Para crear el mapa isócrono, se necesita primero una cuadrícula de peso. El resultado será un mapa que muestre el tiempo que tarda el agua en llegar a la salida, ese valor se reclasificará y obtendremos nuestro mapa isocrónico.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

“El tiempo de flujo se calcula con una ecuación relativamente simple: la longitud que debe recorrer el agua, dividida entre la velocidad a la que fluye. Aunque ya sabemos a qué velocidad fluye el agua gracias a su campo de velocidad, desconocemos la longitud de flujo. Para determinar la longitud de flujo, necesitamos dos variables: dirección del flujo (que conocemos) y peso (que no conocemos). El peso, respecto del caudal, representa la impedancia. Por ejemplo, el agua tarda más en fluir por suelo forestal que al resbalar sobre una superficie rocosa lisa, dado que se ve obstaculizada por el terreno. Aunque calcular el peso podría parecer difícil sin contar con datos detallados del terreno, es posible derivar una ecuación para calcularlo a partir de las dos ecuaciones siguientes para determinar el tiempo de flujo:” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

$$\text{Flow time [T]} = \text{Flow Length [L]} / \text{Velocity [LT-1]} \quad (1)$$

$$\text{Flow time [T]} = \text{Flow Length [L]} * \text{Weight [L-1T]} \quad (2)$$

Al combinar estas ecuaciones, se obtiene una nueva ecuación:

$$\text{Peso [L-1T]} = 1 / \text{Velocity [LT-1]} \quad (3)$$

“De este modo, es posible determinar el peso a partir de nuestra capa de campo de velocidad. Más adelante, usaremos la capa de cuadrícula de peso junto con su capa de dirección de flujo para determinar la longitud y el tiempo de flujo.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

Así es como para el cálculo del peso se realiza la siguiente ecuación en álgebra de mapas:

$$1 / \text{Campo de velocidad condicionada}$$

“El siguiente es emplear la herramienta Longitud de flujo. Aunque esta herramienta, como sugiere su nombre, calcula normalmente la longitud de flujo, cuenta con un parámetro opcional para incluir un ráster de peso. Si se incluye un ráster de peso, la herramienta calcula en su lugar el tiempo de flujo.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

Si se emplea la herramienta Longitud de Flujo con la capa de Dirección de Flujo y asignando el peso con la capa obtenida previamente, la herramienta arroja el mapa de tiempo de flujo hasta la salida de la cuenca.

“La capa ráster de tiempo de flujo contiene un número ingente de valores únicos, lo que hace que el análisis posterior sea complicado y engorroso. Para facilitar las cosas, reclasificaremos la capa de tiempo de flujo en zonas isócronas.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

“Una isócrona es una línea de contorno que pasa por todos los puntos que presentan aproximadamente el mismo tiempo de desplazamiento hasta la salida de la cuenca. Definiremos isócronas a intervalos de tiempo iguales de 3,600 segundos (o 60 minutos). Con este intervalo, cada celda de la primera zona isócrona requerirá aproximadamente 3,600 segundos en alcanzar la salida, cada celda de la segunda zona isócrona requerirá 3,600 segundos, y así en adelante. Más tarde usaremos estos intervalos de tiempo como la ordenada de su hidrograma unitario.” (ESRI/ArcGIS, 2018b).

Reclasificaremos el mapa resultante en intervalos de 60 minutos (3,600 segundos) con el fin de que ésta sea la unidad en común para la definición de los hietogramas y su final cruce en hidrogramas de flujo.

Los datos obtenidos nos arrojan una tabla, la cual, al calcular el área de cada isócrona nos da los datos suficientes para estimar el valor del hidrograma unitario.

El cálculo del área recorrida por cada unidad de tiempo seleccionada se describe con la ecuación:

Área calculada/segundos de isócrona (3,600)

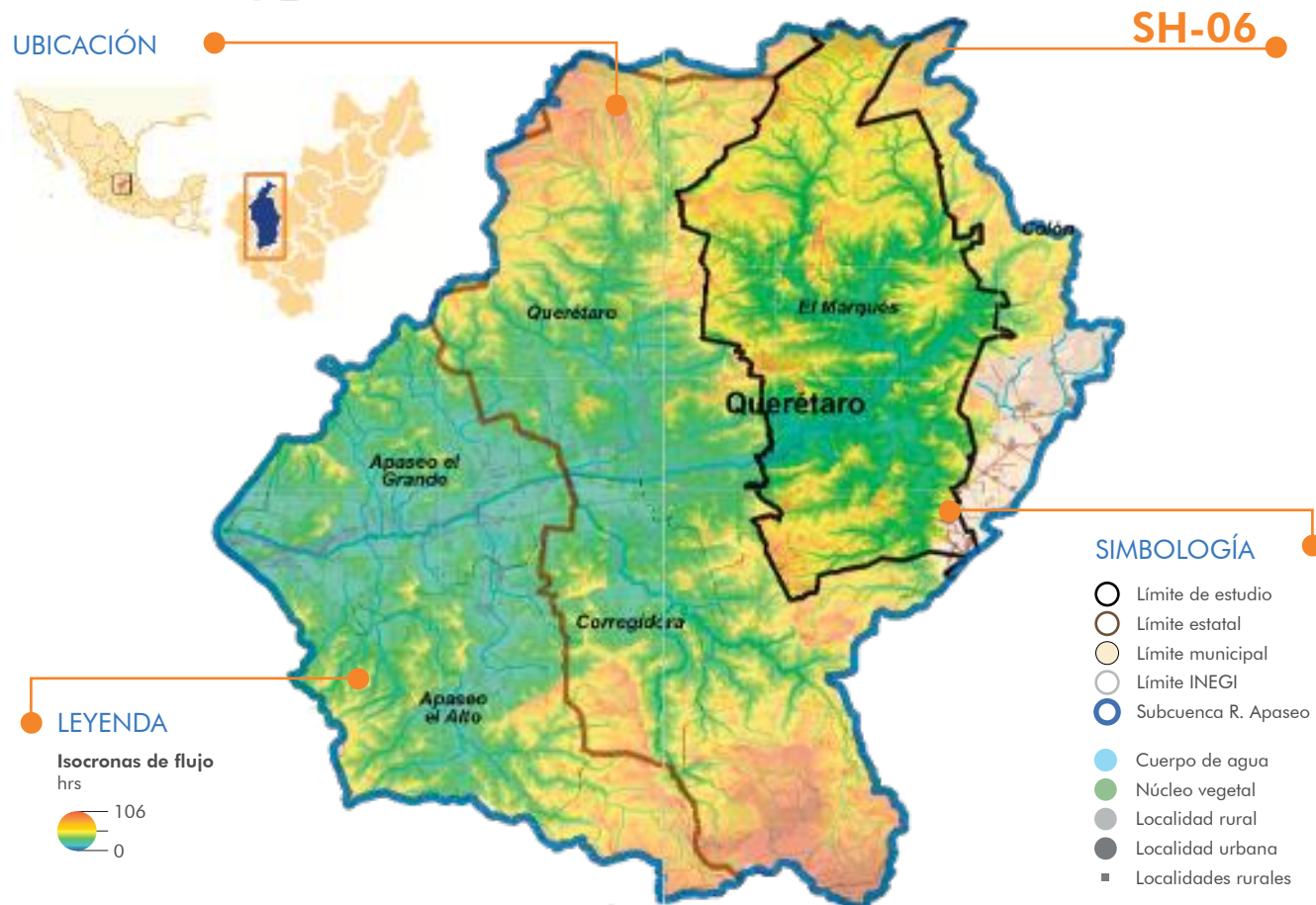
Con la ecuación anterior se tiene un diagrama que aumenta en el tiempo y que representa la cantidad de lluvia en metros cuadrados sobre unidad de tiempo, cada 3,600 segundos y que identifica la capacidad de drenaje de la cuenca en su totalidad, con esta información se puede estimar mediante el método de integración un hidrograma de flujo, pues con estos datos es posible estimar la relación entre la capacidad de la cuenca para drenar y la cantidad de precipitación de ingreso. Por lo que el siguiente paso es la modelación de las lluvias proyectadas por cada cuenca.

En el mapa **SH-06** se detallan los resultados de las isócronas en la cuenca de análisis, las áreas con tonalidades azules evidencian donde se acumula el agua y las verdes son donde escurre, pues el periodo para que se acumule es mayor, por tanto, las zonas identificadas en azul definen zonas con mayor potencial a acumulación de agua, a inundaciones.

De esta forma se construye el hidrograma unitario, al ser la relación entre las isócronas y el área de captación total de la cota, siendo una relación de masa por unidad de tiempo, y que, en conjunto con las lluvias y el método de hidrograma en S define el volumen total por unidad de tiempo.

MAPA 6

ISÓCRONAS ESTIMADAS PARA LA CUENCA DE ANÁLISIS



MAPA 7

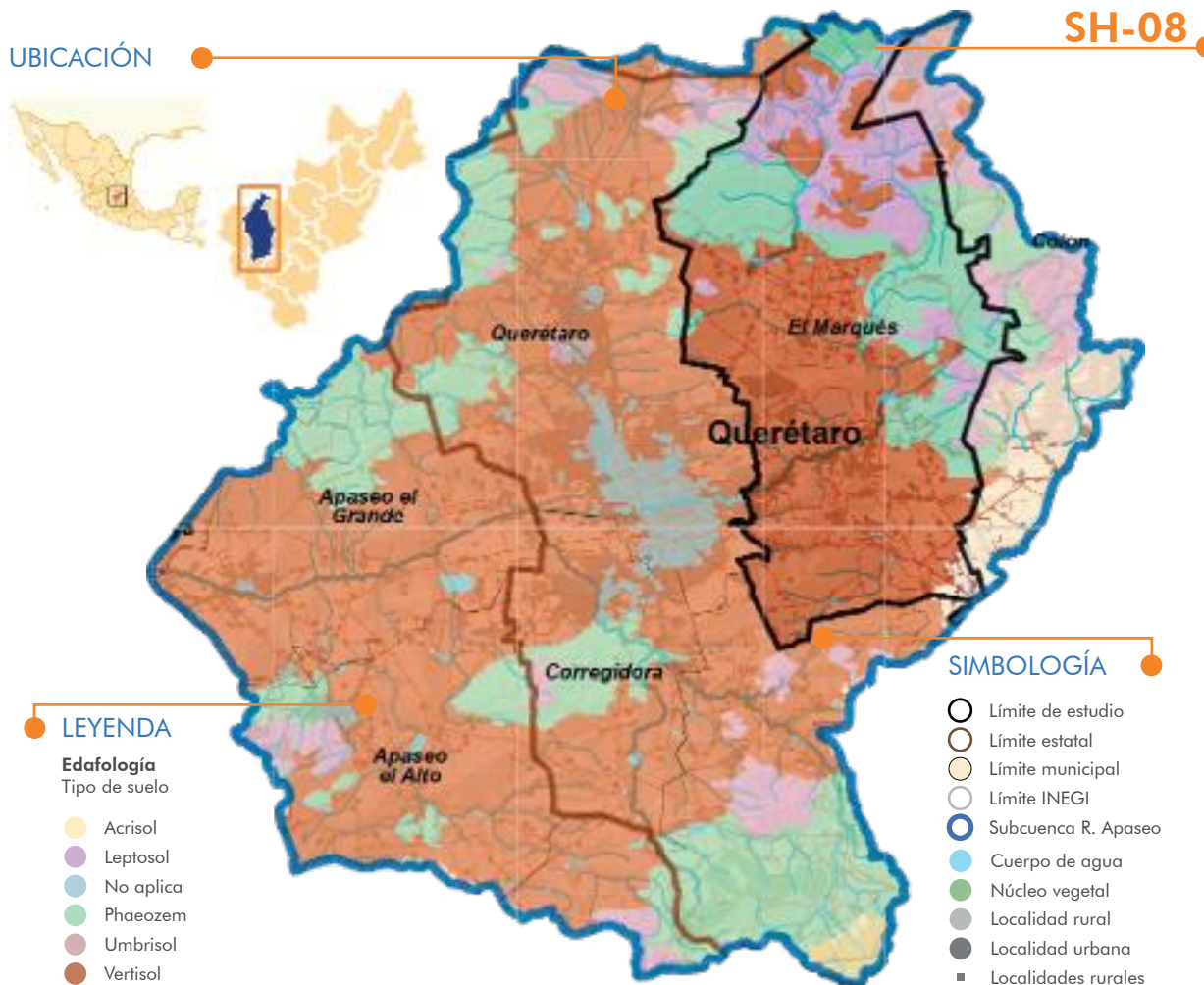
HIDROGRAMA UNITARIO



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model), 2014

MAPA 8

EDAFOLOGÍA DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



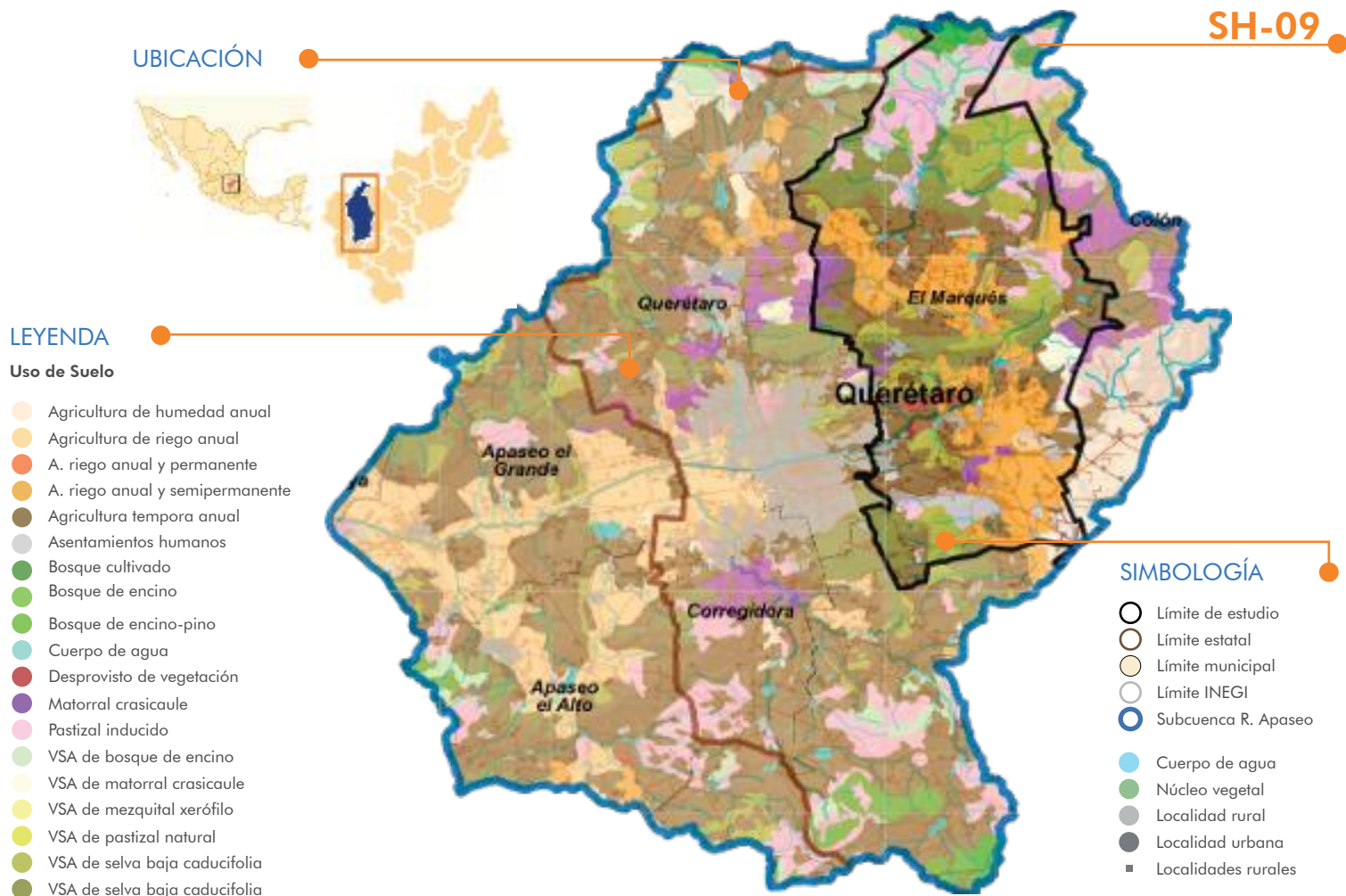
POTENCIAL DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA DE ANÁLISIS

El uso del suelo incide en la generación de escurrimientos durante un evento de precipitación, las coberturas naturales tienen capacidad para infiltrar una porción del agua, mientras que las coberturas antropogénicas suelen dificultar dicho proceso por lo que es en ellas donde suelen generarse mayores escurrimientos en lluvias intensas, lo que propicia un mayor riesgo de inundaciones para El Marqués por acumulación de escurrimientos.

La edafología de la cuenca de análisis define la capacidad de retención de agua que el suelo de un determinado territorio puede soportar con base en la textura de suelo, su relación es inversamente proporcional a la granulometría del suelo, siendo una relación donde a mayor volumen de los materiales, menor capacidad de escurrimiento puesto que el agua permea con mayor facilidad a los sustratos inferiores, por el contrario, mayor compresión del suelo, menor capacidad de infiltración.

MAPA 9

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN SERIE VII DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de Uso de suelo y Vegetación Serie VII, INEGI, 2020

TABLA 1

Capacidad de una cuenca vertiente para producir escorrentía durante un evento de precipitación)

La cobertura del uso de suelo y vegetación del área de análisis hidrológico se identificó con la información de la clasificación de serie VII del INEGI, 2020 (publicada en el año 2021) (ver mapa SH-09) y se complementó con una clasificación supervisada sobre una imagen satelital LANDSAT de febrero del año 2022, la cual se integró al uso de suelo para identificar un mayor detalle de los sistemas expuestos presentes en el territorio.

Desde el año 1972 el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS) desarrolló un método para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad.

El método hidrológico del Soil Conservation Service SCS de Estados Unidos define mediante el parámetro Número de Curva (NC) la capacidad de una cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta o precipitación efectiva para definir el Coeficiente de Escorrentía de la cuenca.

Para evaluar la dinámica espacial de los escurrimientos dentro de la cuenca de análisis, se clasificó la cobertura de uso de suelo y vegetación serie VII del INEGI, 2020 y la cobertura de edafología conforme su tipo de granulometría con el número de curva, de acuerdo con la siguiente tabla.

Tipo de cubierta y condición hidrológica	CN / HSG			
	A	B	C	D
Números de Curva para condiciones previas a la urbanización*				
Números de Curva para condiciones posteriores a la urbanización				
Espacios abiertos (céspedes, parques, campos de golf, cementerios, jardines, etc.):				
Estado regular (cubierta vegetal de 50% a 75% del área)	77	85	90	92
Buen estado (cubierta vegetal > 75% del área)	68	80	86	90
Áreas impermeables:				
Cuerpos de agua abiertos: lagos, humedales, estanques, etc.	100	100	100	100
Estacionamientos pavimentados, tejados, caminos de acceso, etc. (excluyendo el derecho de paso)	98	98	98	98
Adoquines porosos y hormigón permeable (el 85% es impermeable y el 15% es césped):				
Césped en condición regular (CNs media ponderada)	95	96	97	97
Césped en buena condición (CNs media ponderada)	94	95	96	97
Asfalto	98	98	98	98
Grava (incluido el derecho de paso)	76	85	89	91
Suelo arcilloso (incluido el derecho de paso)	72	82	87	89
Agrícola				
Mal estado (cobertura vegetal <50% o con pastoreo intensivo y sin mantillo)	68	79	86	89

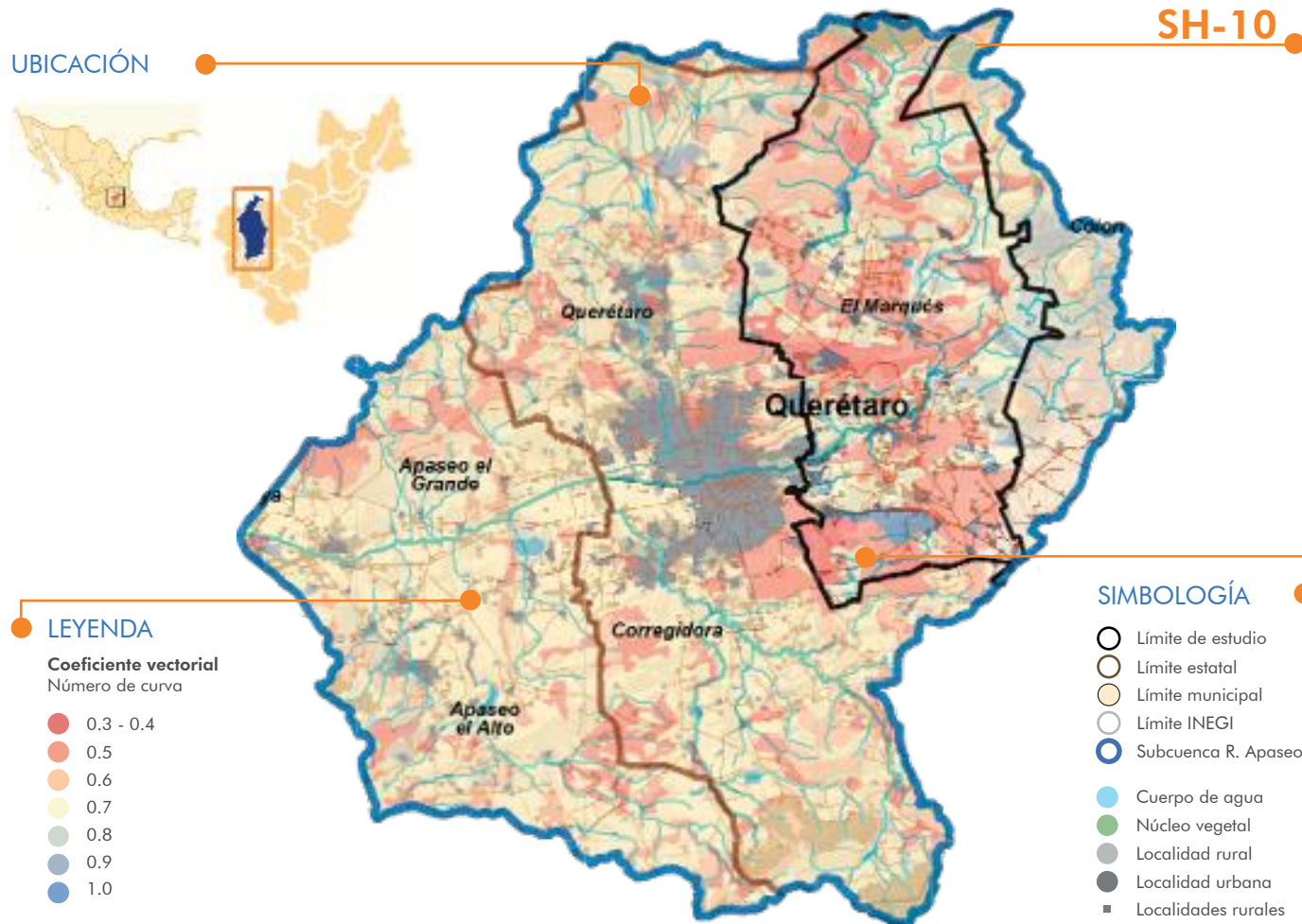
TABLA 1

Capacidad de una cuenca vertiente para producir escorrentía durante un evento de precipitación)

Tipo de cubierta y condición hidrológica	CN / HSG			
	A	B	C	D
Números de Curva para condiciones previas a la urbanización*				
Números de Curva para condiciones posteriores a la urbanización				
Estado regular (cobertura vegetal de 50% al 75% y con pastoreo no intensivo)	49	69	79	84
Buen estado (cobertura vegetal > 75% y con pastoreo ligero u ocasional)	39	61	74	80
Bosques:				
Mal estado (la hojarasca del bosque, los árboles pequeños y la maleza son destruidos por el pastoreo intenso o la quema regular)	45	66	77	83
Estado regular (bosques pastoreados, pero no quemados y poca hojarasca cubre el suelo)	36	60	73	79
Bueno (los bosques están protegidos del pastoreo, y la hojarasca y maleza cubren adecuadamente el suelo)	30	55	70	77

Como resultado se obtiene el siguiente mapa, el cual representa un potencial de escurrimiento que toma en cuenta tanto la cobertura del suelo emitida por INEGI en su serie VII como las propiedades físicas del sustrato edafológico antes mostrado, las cuales en conjunto definirán finalmente la capacidad de retención de agua.

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (NÚMERO DE CURVA)



MAPA 11

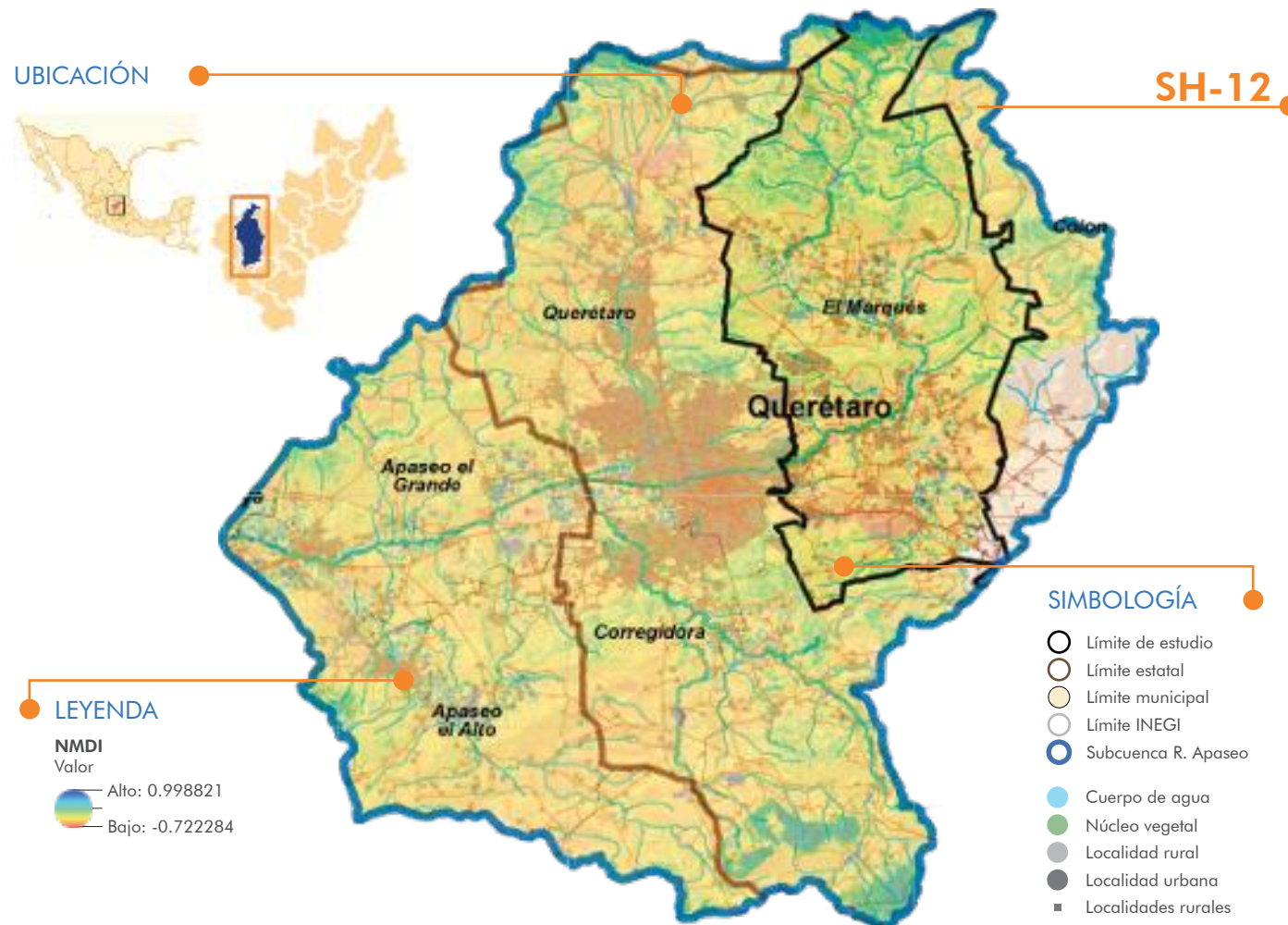
ÍNDICES ESPECTRALES SENTINEL 2, 2022 ÍNDICE DE URBANIZACIÓN

Si bien, el Uso de Suelo Serie VII del INEGI aporta mucho mayor detalle que la serie anterior, su escala nacional no permite el reconocimiento preciso de los procesos territoriales existentes en el municipio y que bien pueden influir en el comportamiento hidrológico de los flujos superficiales, como son la antropización, la agricultura y la temporalidad de la vegetación, es por ello que se trabajó una clasificación de uso de suelo y vegetación mediante indicadores geoespectrales derivados de una composición de imágenes satelitales SENTINEL-2 para el año 2022, los cuales en conjunto permitirán tener un coeficiente que identifique el estado actual de los sistemas expuestos que intervienen en el ciclo hidrológico del territorio.



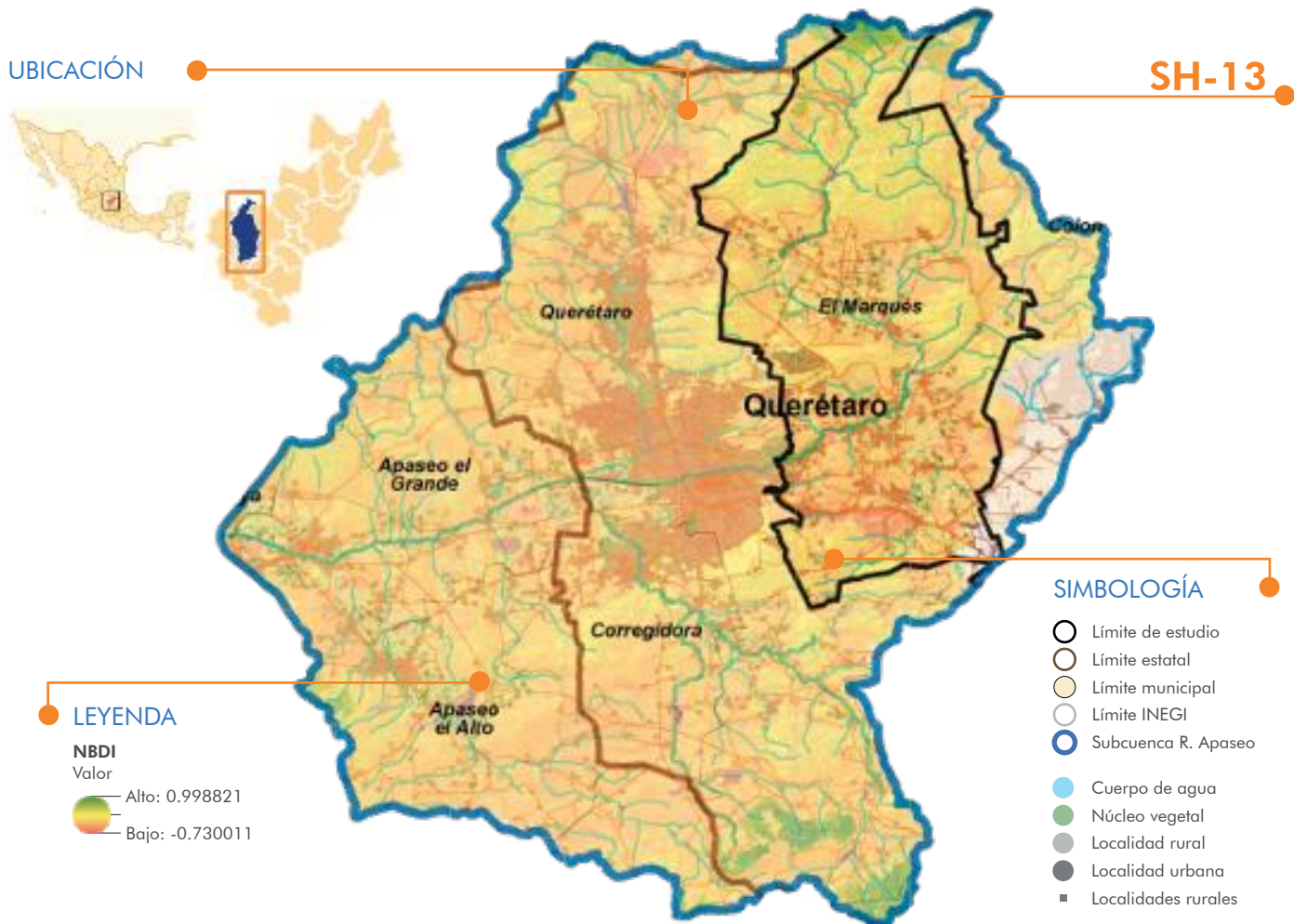
MAPA 12

ÍNDICES ESPECTRALES SENTINEL 2, 2022 ÍNDICE DE HUMEDAD



MAPA 13

ÍNDICES ESPECTRALES SENTINEL 2, 2022 ÍNDICE DE VEGETACIÓN



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de composición de imágenes satelitales SENTINEL-2, 2022

TABLA 2

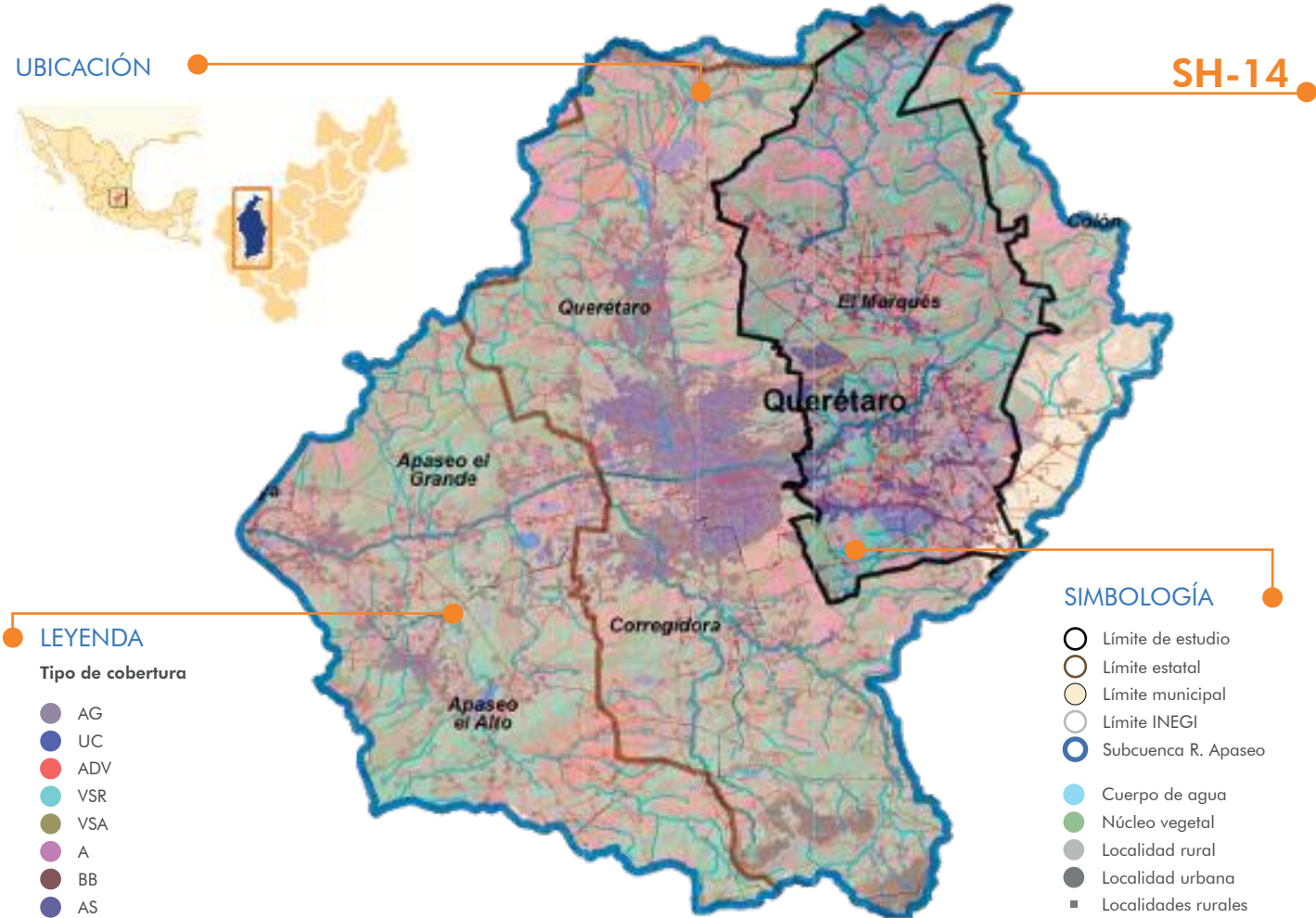
Tipo de cobertura del número de curva

Cada indicador en conjunto coadyuvó a clasificar el territorio del Marqués con base en los tipos de cobertura definidos por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. Para la estimación del número de curva, así se clasificó el tipo de cobertura presente en el mapa consecuente, de acuerdo con el siguiente listado de claves, y su respectivo número de curva.

AG	Cuerpos de agua, humedales
UC	Urbano construido
ADV	Área desprovista de vegetación
VSR	Vegetación arbustiva
VSA	Ecosistemas inducidos, secundarios o cultivados
A	Agricultura
AS	Agricultura semipermanente
BB	Bosque

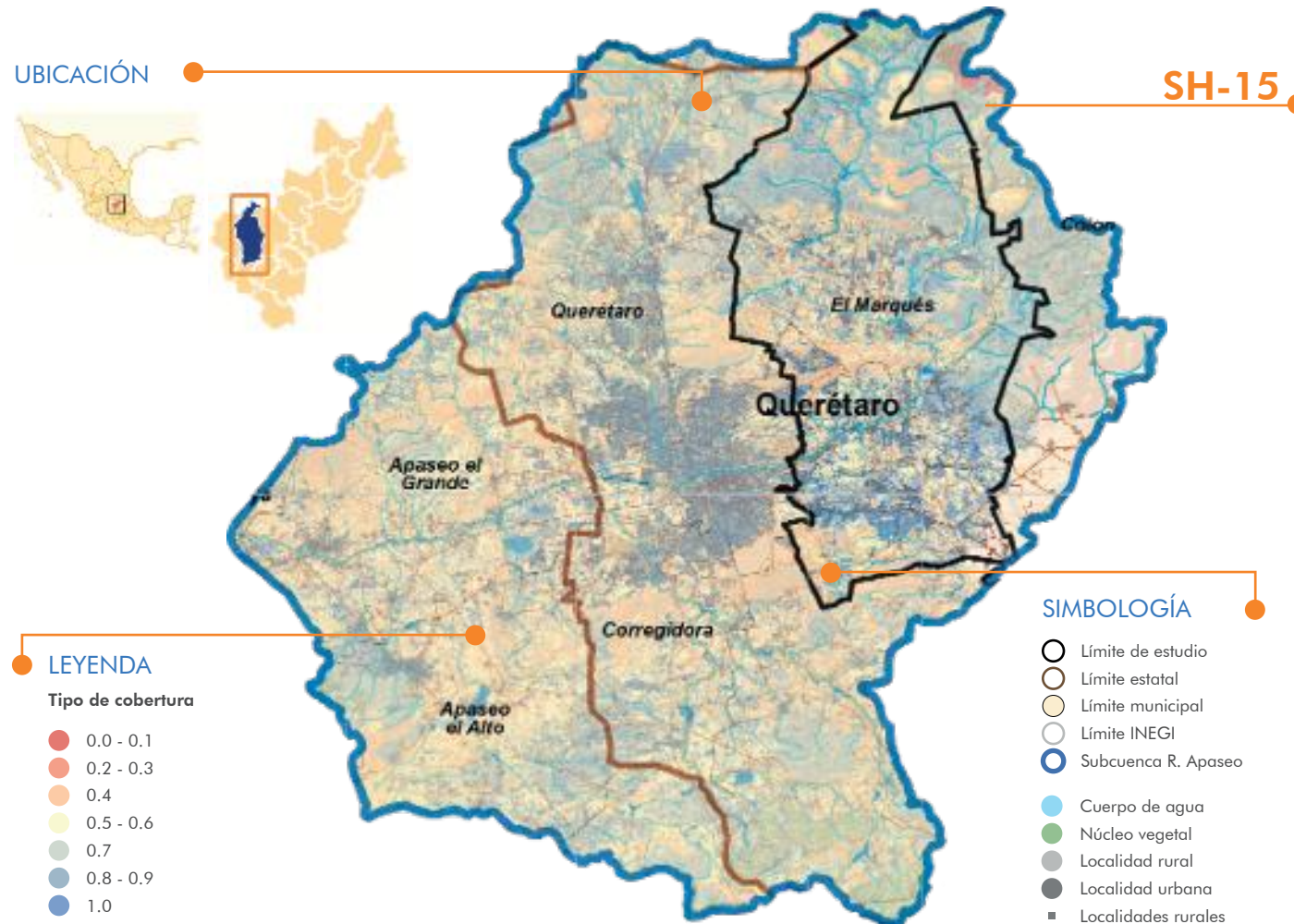
MAPA 14

TIPO DE COBERTURA ACTUALIZADA SENTINEL 2 DE NÚMERO DE CURVA DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



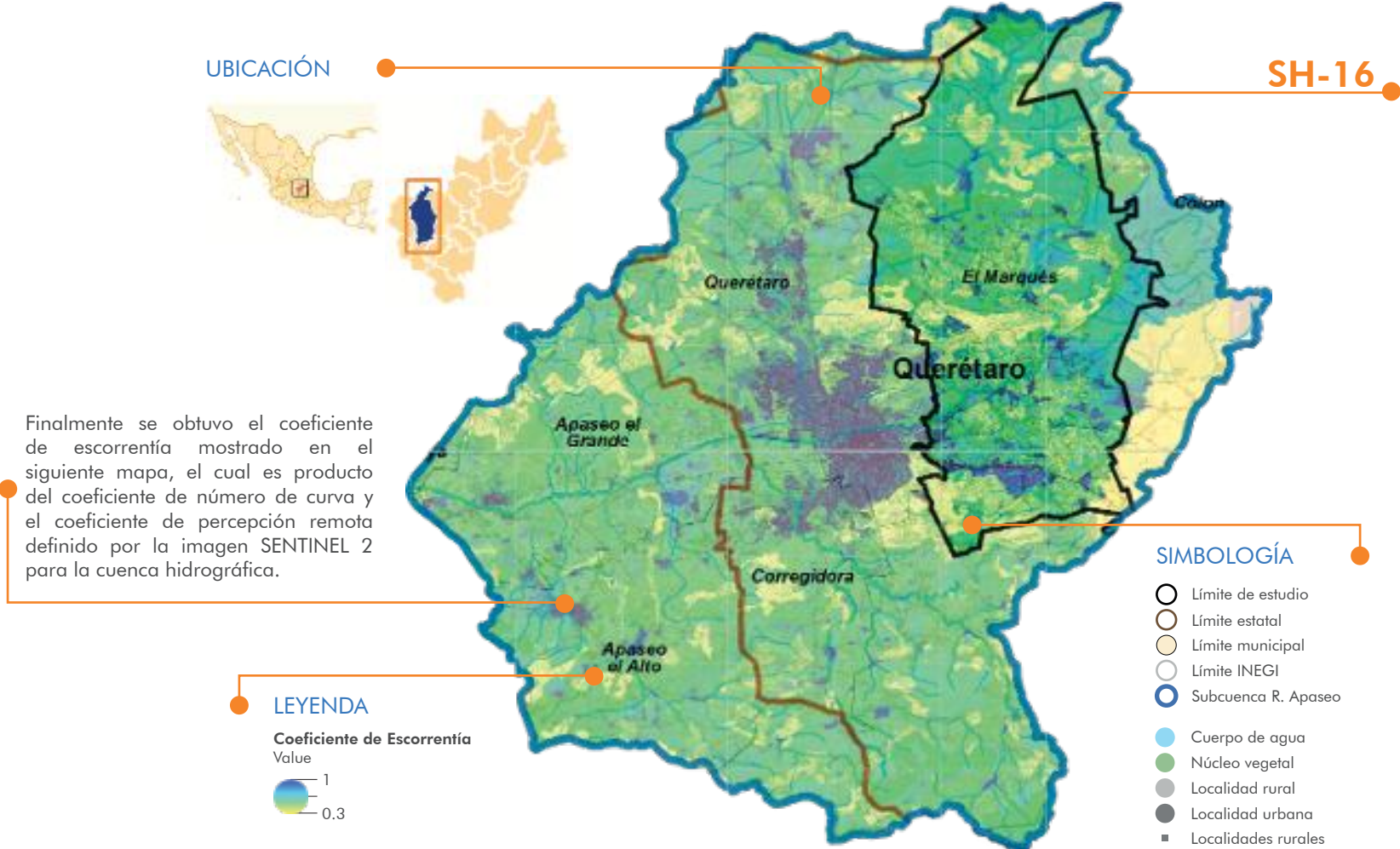
MAPA 15

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (PERCEPCIÓN REMOTA) DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



MAPA 16

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA INTEGRADO DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS), 1972, Uso de suelo y Vegetación Serie VII, INEGI, 2020, indicadores territoriales generados a partir de composición de imágenes satelitales SENTINEL-2, 2022



DATOS DE PRECIPITACIÓN LOCAL

La modelación integral de flujo dinámico contempla complementa el desarrollo local de la precipitación, información disponible gracias a los datos provenientes de las estaciones meteorológicas de El Marqués. Se consideró la información de aquellas estaciones que contaban con los datos de la temporada de lluvias del año 2021 y 2022, los cuales pueden consultarse en:

<https://soluciones.maps.arcgis.com/apps/dashboards/030ece1ba9364e0a85f467034250f268>

Los datos registrados por hora se sumaron por estación para estimar el dato de lluvia diaria acumulada, siendo este insumo, básico para los ejercicios de proyección de lluvia acumulada en 24 horas.

Se integró una base de datos con estaciones con un año de datos completo, tomando 2021 como referente para la integración de datos provenientes de 24 estaciones meteorológicas, para las cuales se estimaron los valores medios, máximos y la desviación estándar para el periodo de lluvias del año 2021, el cual se estimó corrió del primero de mayo al catorce de octubre. Lo anterior con el objetivo de proyectar los datos observados a los periodos de retorno recomendados por el CENAPRED para la estimación de escenarios de inundación.

TABLA 3

Muestra de datos de precipitación por estación meteorológica de El Marqués (2021-2022)

Estación	Latitud	Longitud	Elevación	Lluvia acumulada	Promedio diario	Desviación estándar	Lluvia máxima	Días
Alfajayucan-CMPC-El Marqués	20.75	-100.22	6587.3	692.6 4	4.2	9.6	76.7	166
Amazcala-CMPC-El Marqués	20.71	-100.26	6303.9	297.8	1.8	6.1	62.4	166
Calamanda-CMPC-El Marqués	20.55	-100.19	6273.7	411.2 2	2.5	5.4	31.1	166
Chichimequillas - CMPC - El Marqués	20.77	-100.33	6452.5	633.2	3.8	12.0	98.0	166
El Colorado-CMPC-El Marqués	20.56	-100.25	6290.7	482.8 2	2.9	7.4	58.9	166
El Coyote-CMPC-El Marqués	20.56	-100.19	0.0	506.7	3.1	6.2	33.0	166
El Lobo-CMPC-El Marqués	20.73	-100.2	6597.0	284.7	1.7	5.9	47.9	166
El Mirador - CMPC - El Marqués	20.6	-100.34	6510.8	674.0	4.1	8.6	70.8	166
El Rosario-CMPC-El Marqués	20.53	-100.31	6818.1	779.8	4.7	10.3	71.2	166
Gpe La Venta (Base Operativa)-CMPC-El Marqués	20.64	-100.23	6215.6	665.1 4	4.0	9.5	65.7	166
La Cañada-CMPC-El Marqués	20.67	-100.24	6280.2	624.5	3.8	11.2	73.6	166
La Piedad-CMPC-El Marqués	20.58	-100.25	6277.6	569.8	3.4	8.4	61.7	166
La Pradera - CMPC - El Marqués	20.66	-100.34	6659.4	837.2	5.0	11.8	78.2	166

TABLA 3

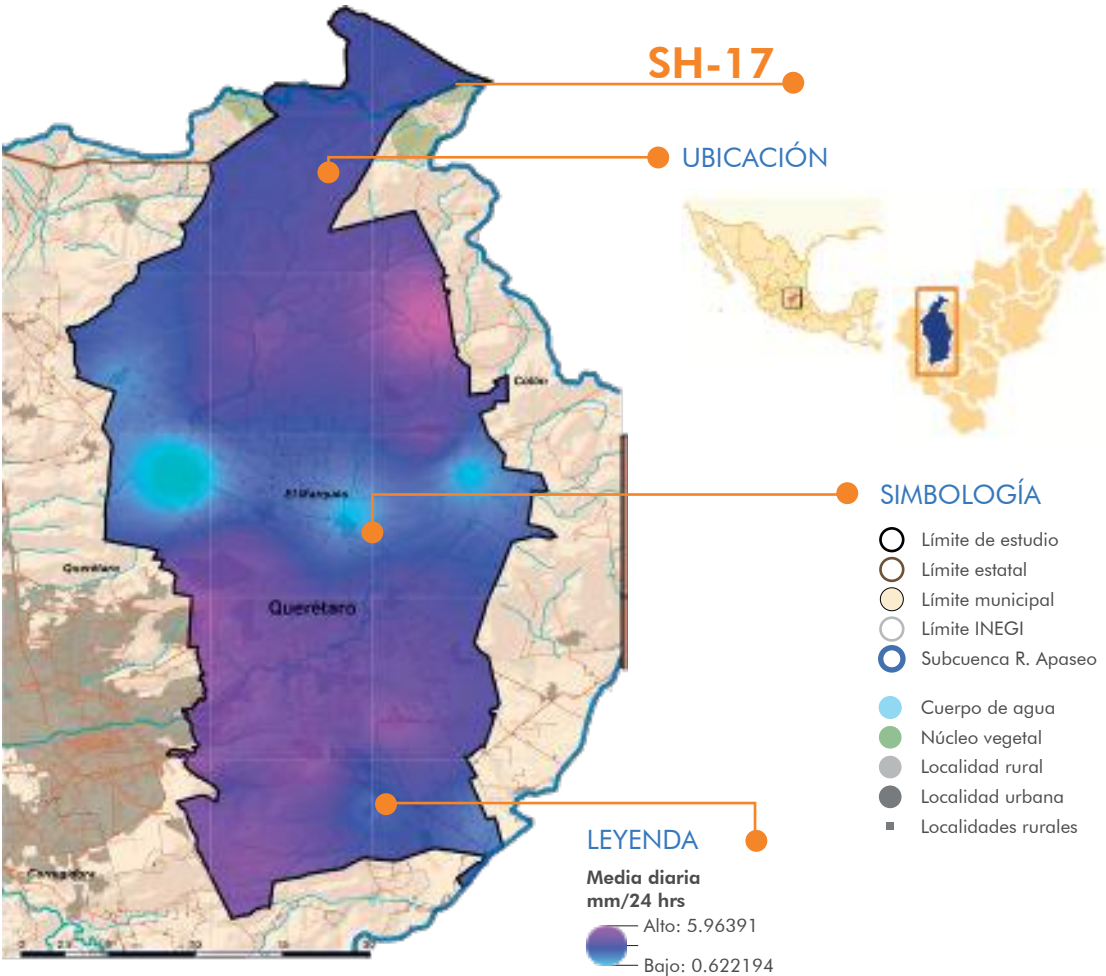
Muestra de datos de precipitación por estación meteorológica de El Marqués (2021-2022)

Estación	Latitud	Longitud	Elevación	Lluvia acumulada	Promedio diario	Desviación estándar	Lluvia máxima	Días
Las Lajitas - CMPC - El Marqués	20.8	-100.4	6723.2	543.6 3	3.3	8.2	67.9	166
Los Heroes-CMPC-El Marqués	20.62	-100.28	6365.5	704.6	4.2	11.0	80.6	166
Los Pocitos-CMPC-El Marqués	20.08	-100.31	6767.5	722.8	4.4	11.0	62.4	166
Miranda-CMPC-El Marques	20.57	-100.32	6675.4	655.1	3.9	10.7	83.7	166
Paseos del Marqués-CMPC-El Marqués	20.6	-100.24	6250.4	793.8 4	4.8	9.7	61.8	166
Rincones de El Marqués - CMPC - El Marqués	20.58	-100.28	6337.7	772.4	4.7	8.6	47.3	166
San Vicente Ferrer-CMPC-El Marqués	20.73	-100.35	6404.5	103.3	0.6	4.3	53.0	166
Tierra Blanca - CMPC - El Marqués	20.78	-100.38	0.0	363.8 2	2.2	6.1	58.7	166
Zibatá - CMPC - El Marqués	20.68	-100.32	7076.0	712.1	4.3	13.8	156.5	166

Con base en lo anterior, se elaboraron los mapas de precipitación media diaria con hasta 5.96 mm de lluvia y precipitación máxima con cerca de 160 mm de acumulación diaria, como puede observarse a continuación.

MAPA 17

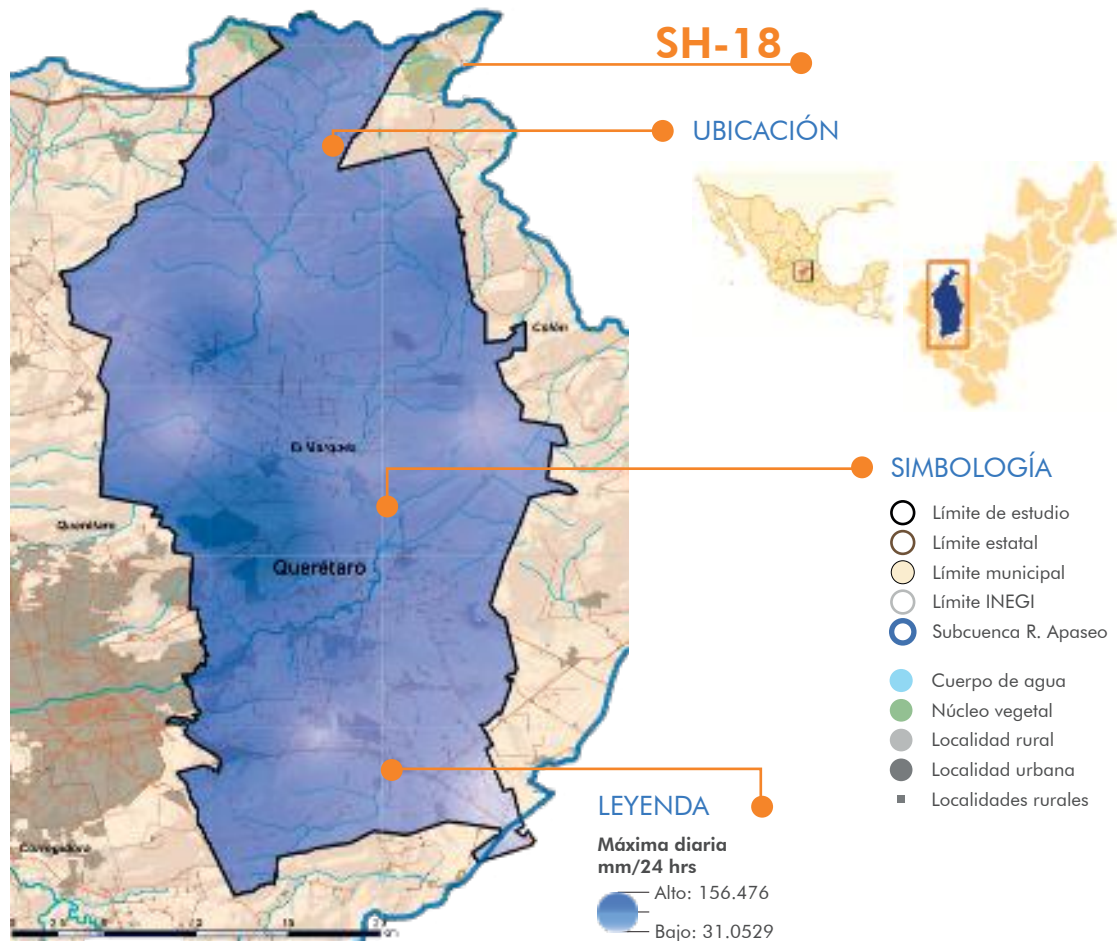
PRECIPITACIÓN MEDIA REGISTRADA



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

MAPA 18

PRECIPITACIÓN MÁXIMA REGISTRADA



Con dicha información se proyectaron los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2021, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 y 500 años, conforme el método Gauss Gumbel.

En teoría de probabilidad y estadística la distribución de Gumbel es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. Su principio se basa en la distribución esperada dentro de una serie de tiempo tomando la media, la máxima y la desviación estándar como valores que pueden predecir el comportamiento de distribución normal de una serie de datos.

TABLA 4

Periodos de retorno calculados con el método Gauss Gumble

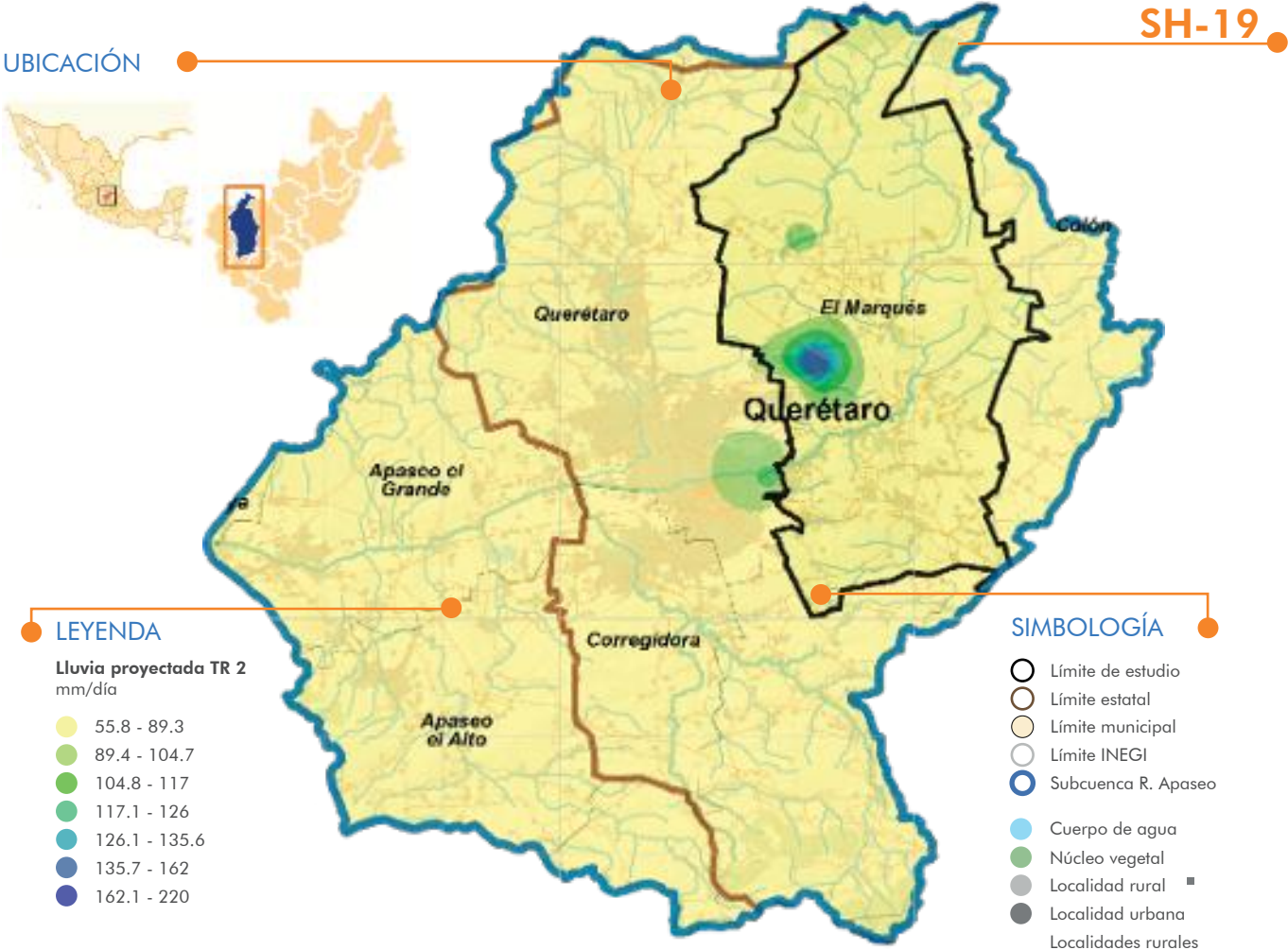
Nombre de la Estación	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años	250 años	500 años
Alfajayucan	75.13	83.81	89.56	95.08	102.21	107.56	114.60	119.92
Amazcala	61.46	67.10	70.83	74.41	79.05	82.52	87.10	90.55
Calamanda	30.18	35.15	38.44	41.59	45.68	48.74	52.77	55.81
Chichimequillas	96.05	107.14	114.48	121.52	130.63	137.46	146.45	153.24
El Colorado	57.74	64.58	69.11	73.45	79.07	83.29	88.84	93.03
El Coyote	32.01	37.76	41.56	42.21	49.94	53.48	58.15	61.67
El Lobo	46.89	52.34	55.95	59.41	63.90	67.25	71.68	75.01
El Mirador	69.39	77.30	82.54	87.56	94.06	98.93	105.35	110.19
El Rosario	69.52	79.02	85.31	91.34	99.15	105.00	112.70	118.52
Gpe La Venta (Base Operativa)	64.15	72.95	78.78	84.37	91.61	97.03	104.17	109.56
La Cañada	119.50	134.91	145.11	154.89	167.56	177.05	189.55	198.98
La Griega	71.80	82.10	88.92	95.45	103.92	110.26	118.61	124.92

TABLA 4

Periodos de retorno calculados con el método Gauss Gumble

Nombre de la Estación	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años	250 años	500 años
La Piedad	60.39	68.11	73.21	78.11	84.45	89.20	95.45	100.17
La Pradera	76.25	87.17	94.39	101.32	110.30	117.02	125.87	132.55
Las Lajitas	66.55	74.10	79.10	83.89	90.10	94.75	100.88	105.50
Los Heroes	78.83	88.95	95.65	102.07	110.39	116.62	124.83	131.02
Los Pocitos	60.59	70.77	77.50	83.96	92.32	98.59	106.84	113.07
Miranda El Marqués	81.99	91.86	98.40	104.67	112.78	118.87	126.87	132.92
Paseos de El Marqués	81.99	91.86	98.40	104.67	112.78	118.87	126.87	132.92
Presa de Rayas	79.21	91.58	99.77	107.62	117.79	125.41	135.44	143.02
Rincones de El Marqués	45.94	53.91	59.19	64.25	70.81	75.72	82.19	87.07
San Vicente Ferrer	52.27	56.22	58.84	61.35	64.60	67.03	70.24	72.66
Tierra Blanca	57.67	63.26	66.96	70.51	75.10	78.54	83.07	86.49
Zibatá	154.24	166.98	175.41	183.50	193.97	201.82	212.15	219.95

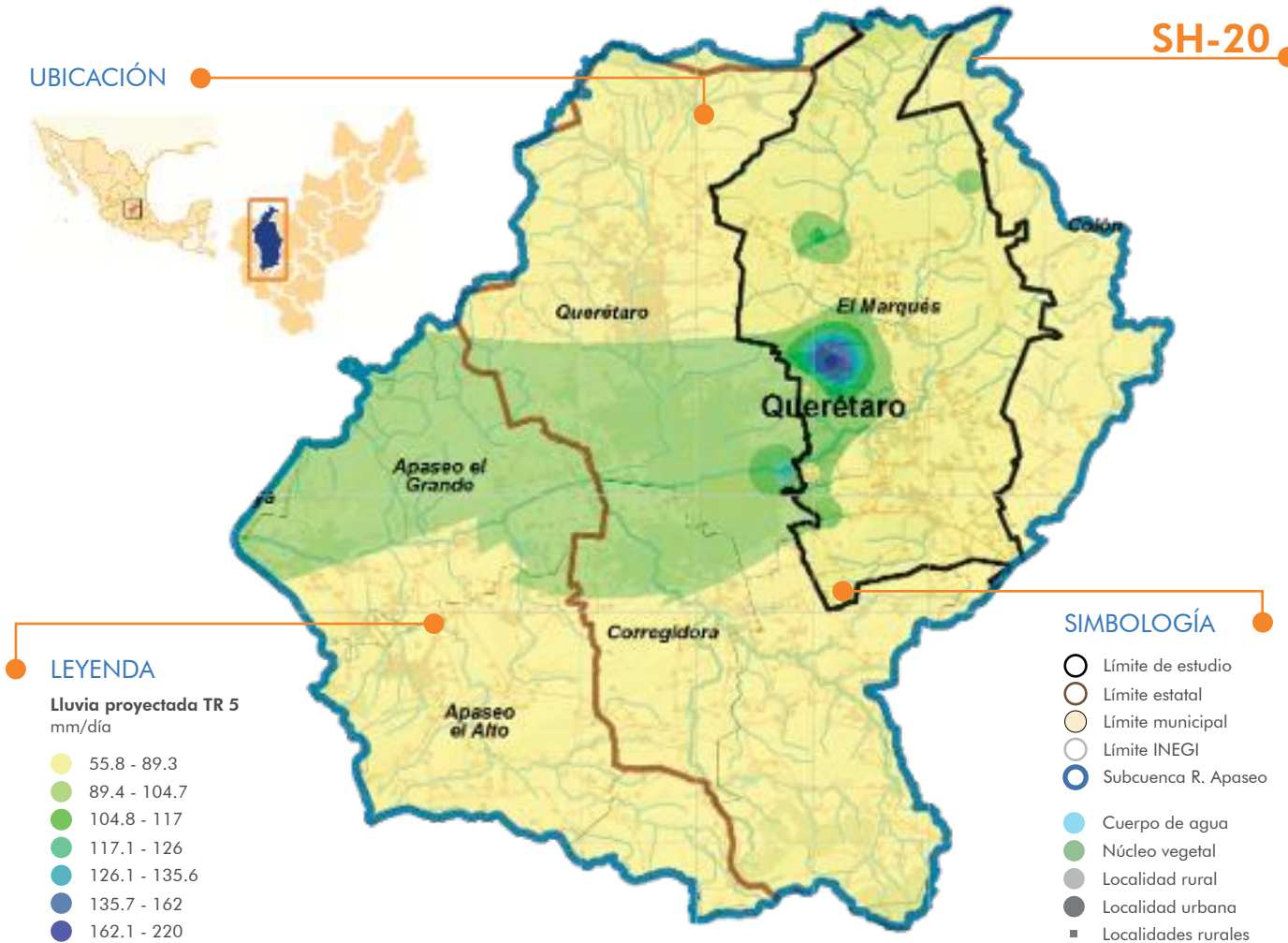
PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 2 AÑOS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

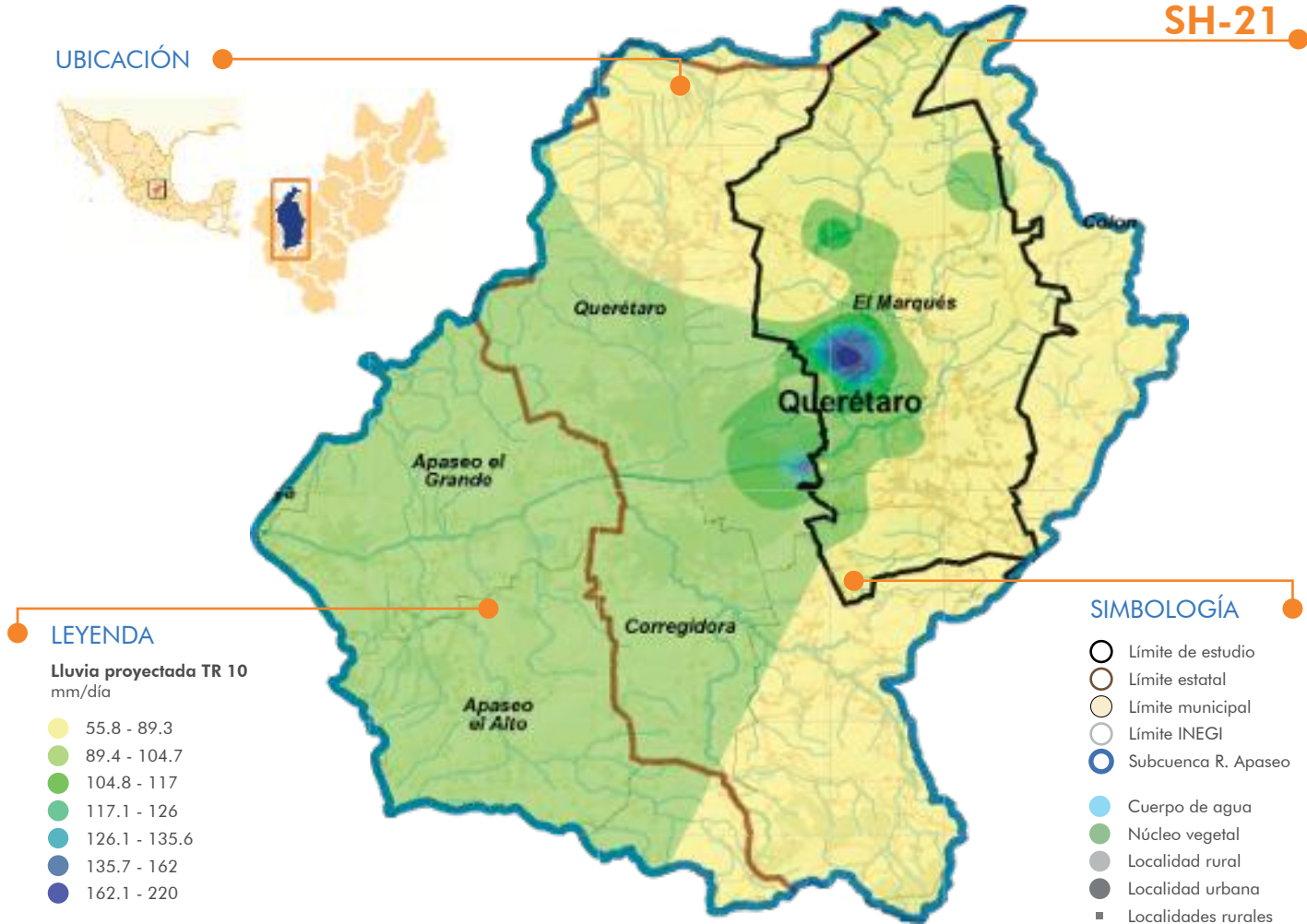
MAPA 20

PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 5 AÑOS



MAPA 21

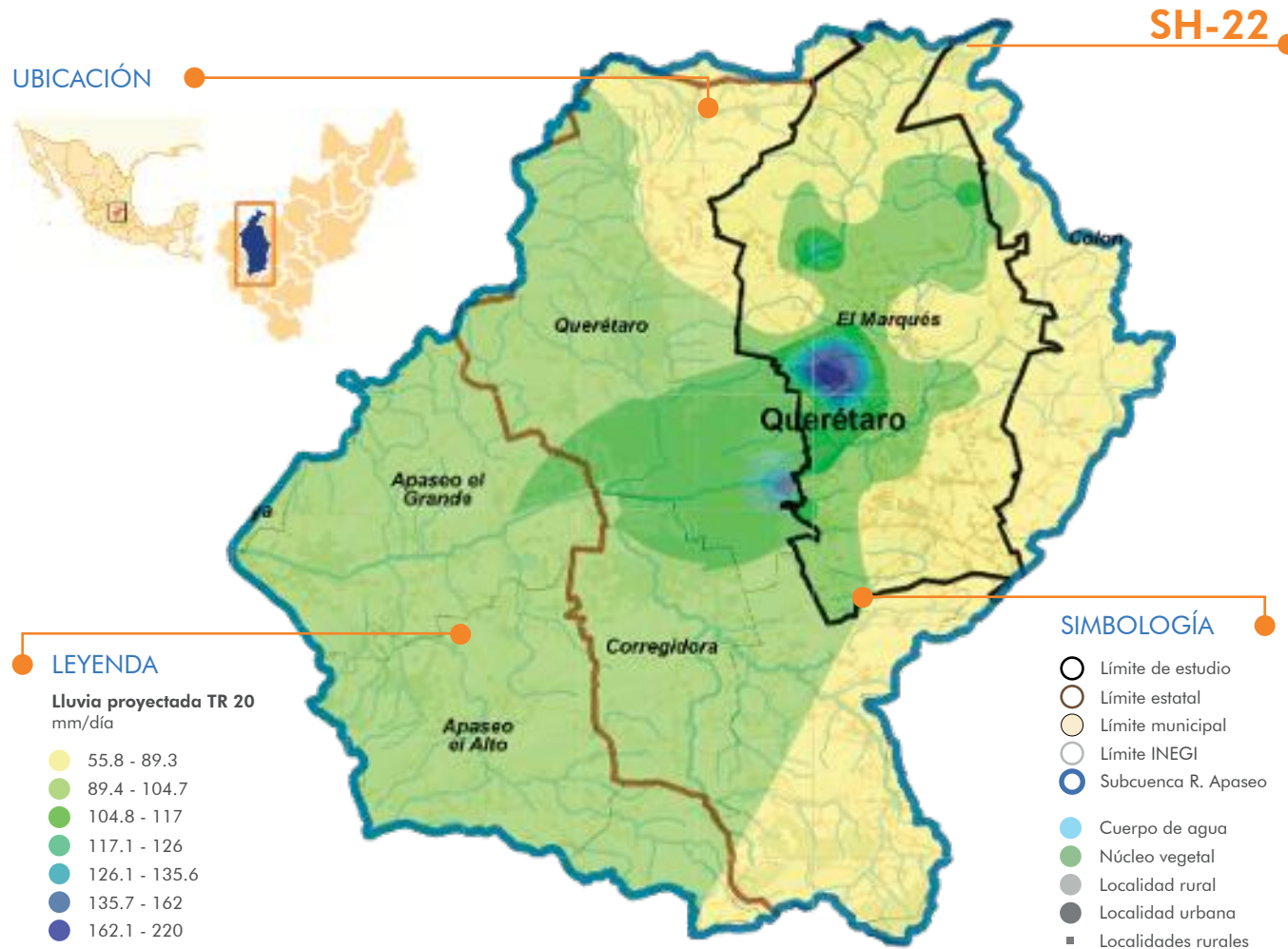
PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 10 AÑOS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

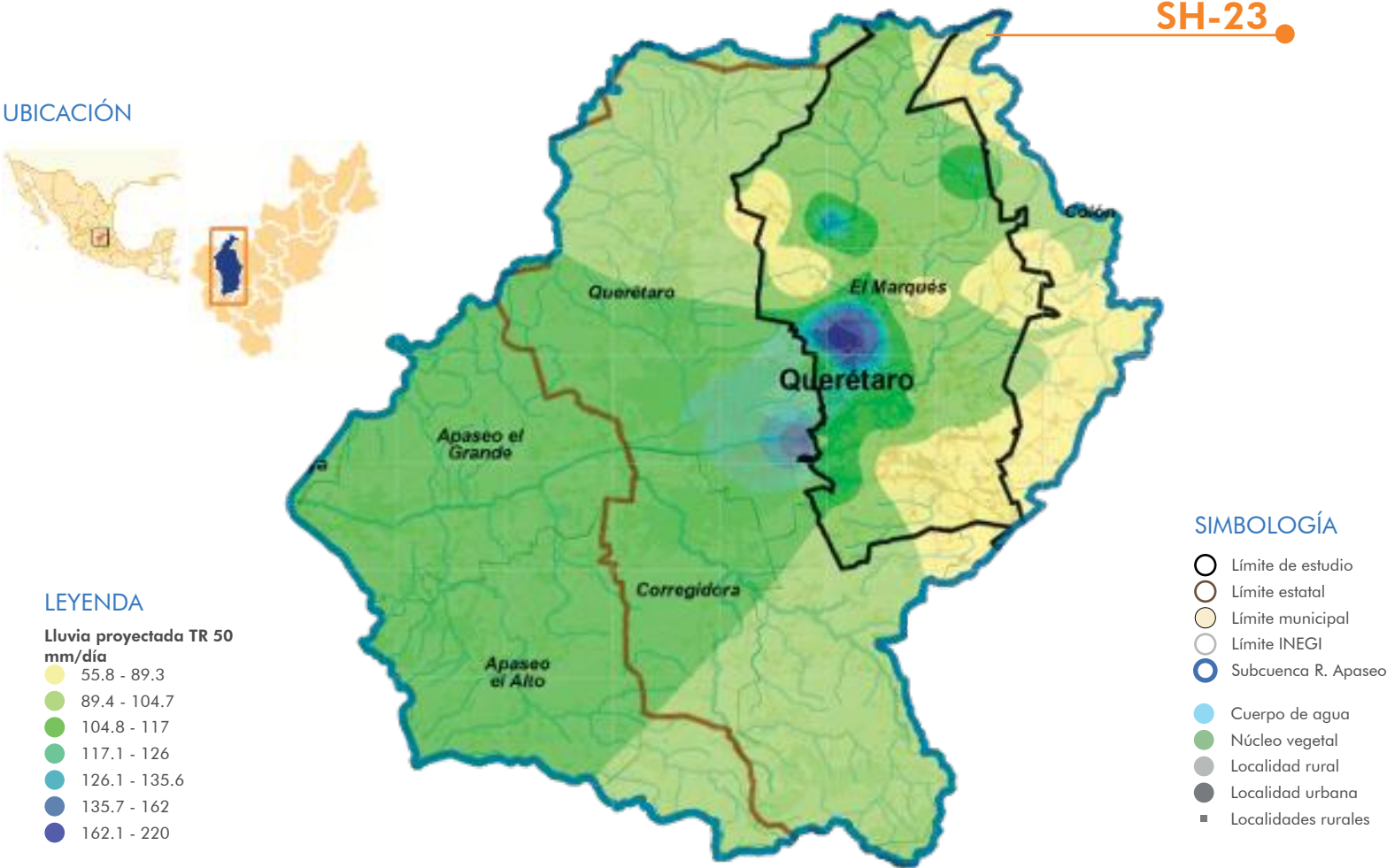
MAPA 22

PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 20 AÑOS



MAPA 23

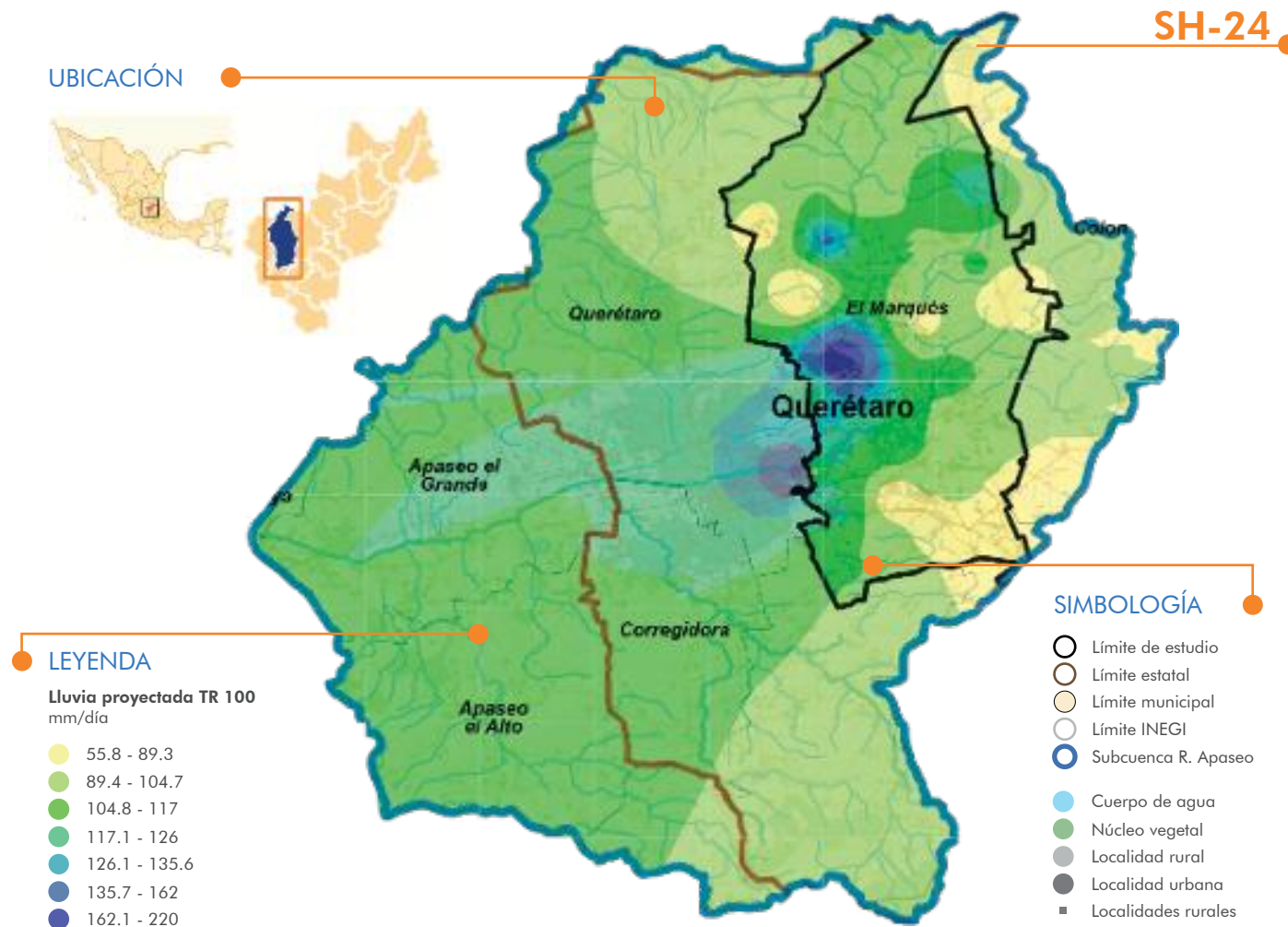
PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 50 AÑOS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

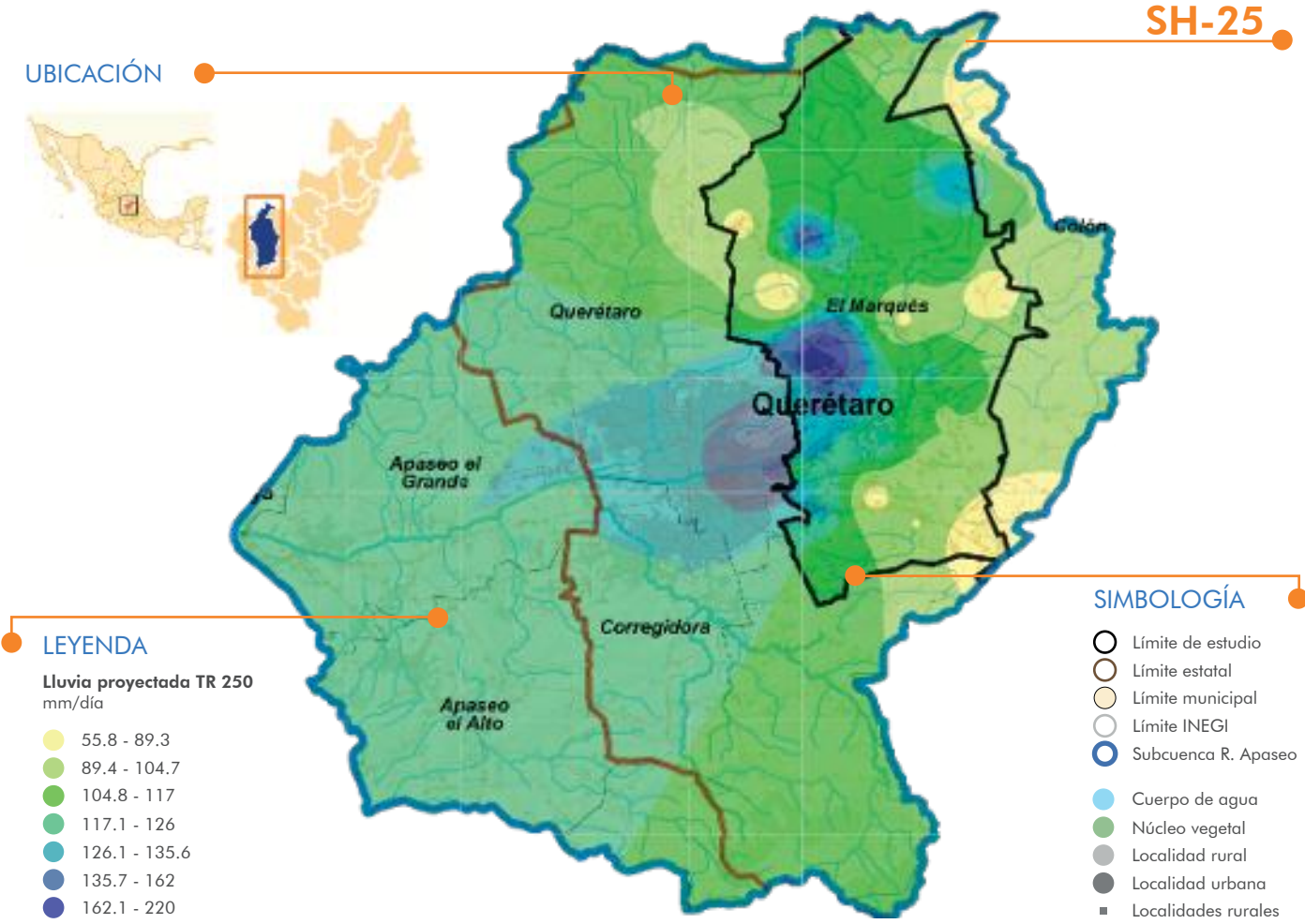
MAPA 24

PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 100 AÑOS



MAPA 25

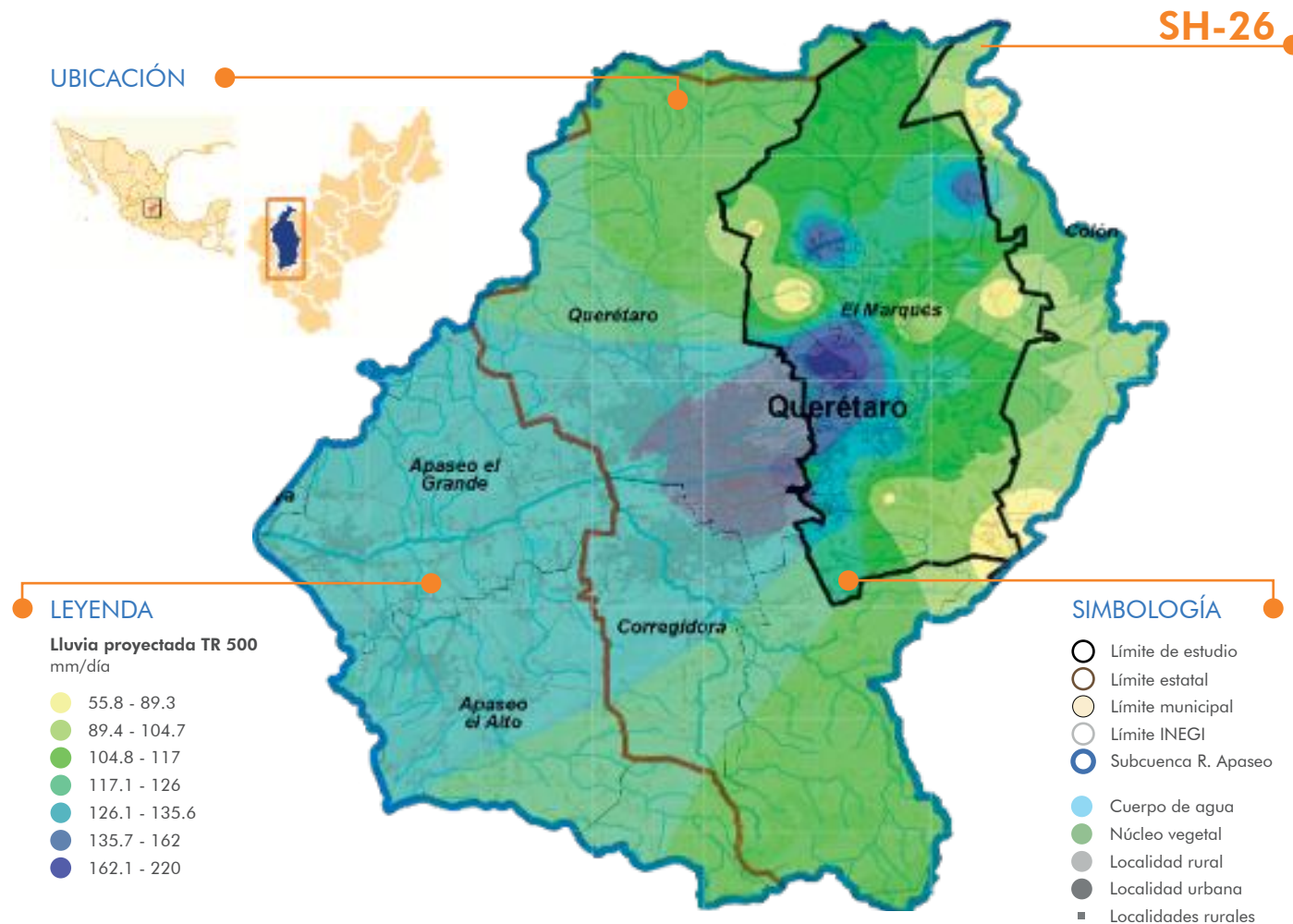
PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 250 AÑOS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información de las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

MAPA 26

PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN A 500 AÑOS



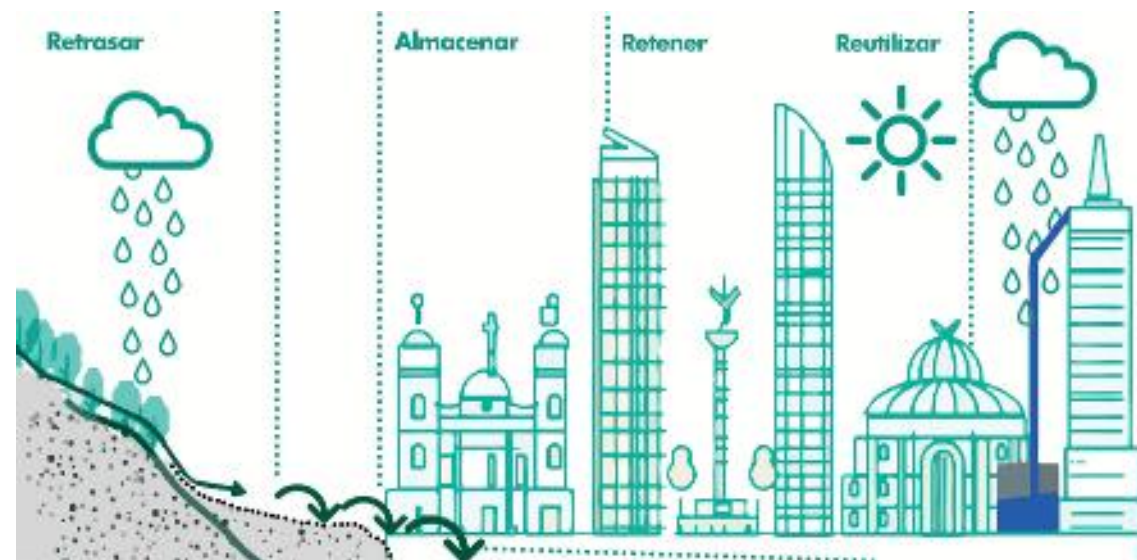
POTENCIAL DE ESCURRIMIENTO TOTAL

Para obtener el potencial de escurrimientos presentes en la cuenca se integraron mediante álgebra de mapas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) el coeficiente de escurrimiento o número de curva integrado por la edafología, el uso de suelo serie VII del INEGI, los indicadores territoriales construidos en este estudio a partir de un compuesto de imágenes satelitales SENTINEL-2, 2022, con cada una de las coberturas interpoladas de las proyecciones de precipitación registradas por las estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 y 500 años, definidos de acuerdo a la guía de contenido mínimo para la elaboración del atlas nacional de riesgos bajo los lineamientos técnicos elaborados por el CENAPRED publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 21 de diciembre de 2016.

Los mapas derivados estiman el “excedente pluvial” en mm, que bien se traduce en l/m² para el territorio de la cuenca hidrográfica, en términos simples, el excedente pluvial o escurrimiento delimita las zonas con mayor propensión a la acumulación, marcadas con tonalidades azules, al ser áreas impermeables con mayor excedencia de agua en términos de volumen neto.

FIGURA 8

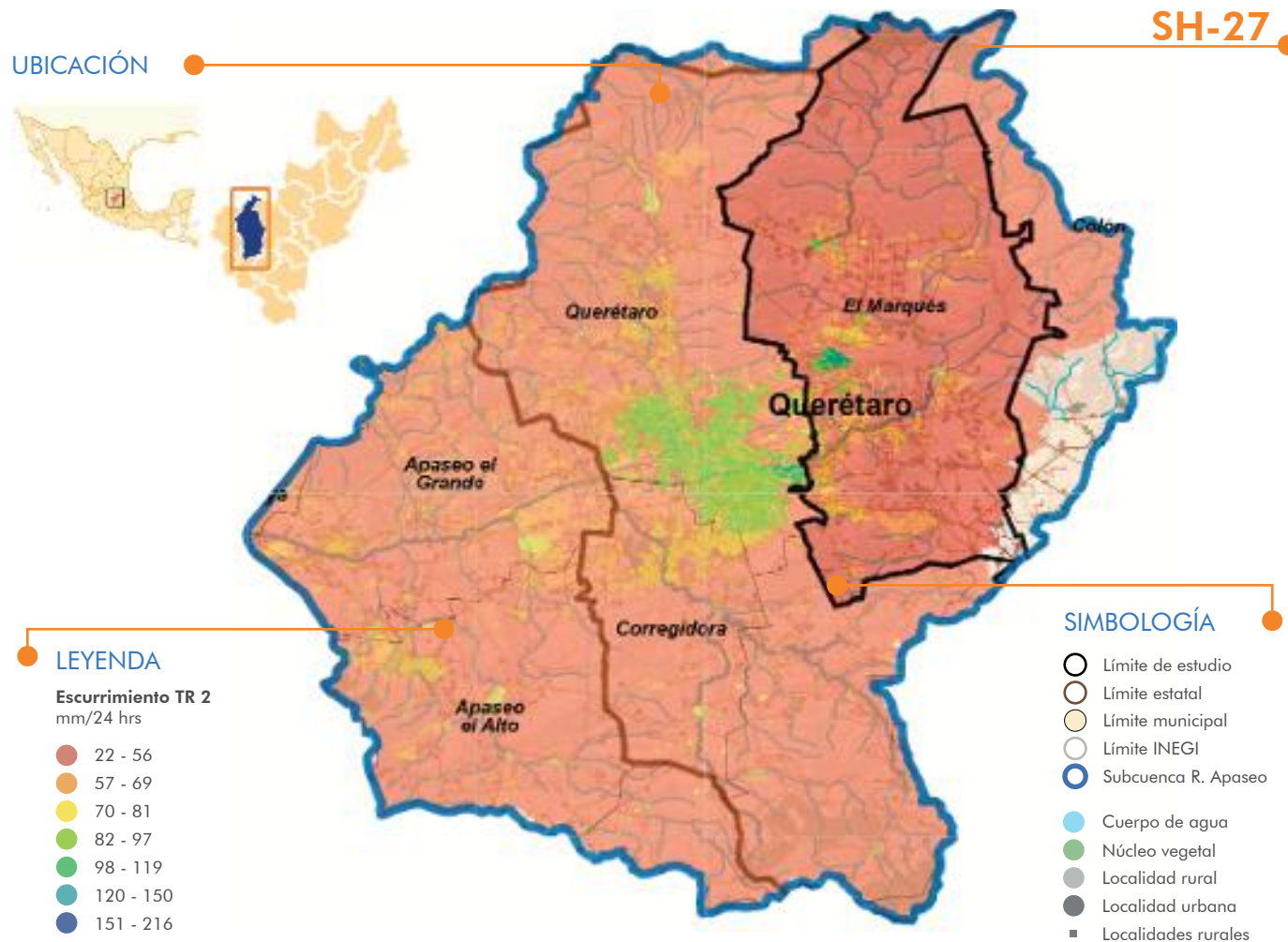
Esquema de potencial de escurrimiento



A continuación, se presenta la cartografía resultado de este análisis espacial y donde es posible apreciar los cambios en las distintas tasas de retorno estimadas de acuerdo al comportamiento de la lluvia en la cuenca de análisis.

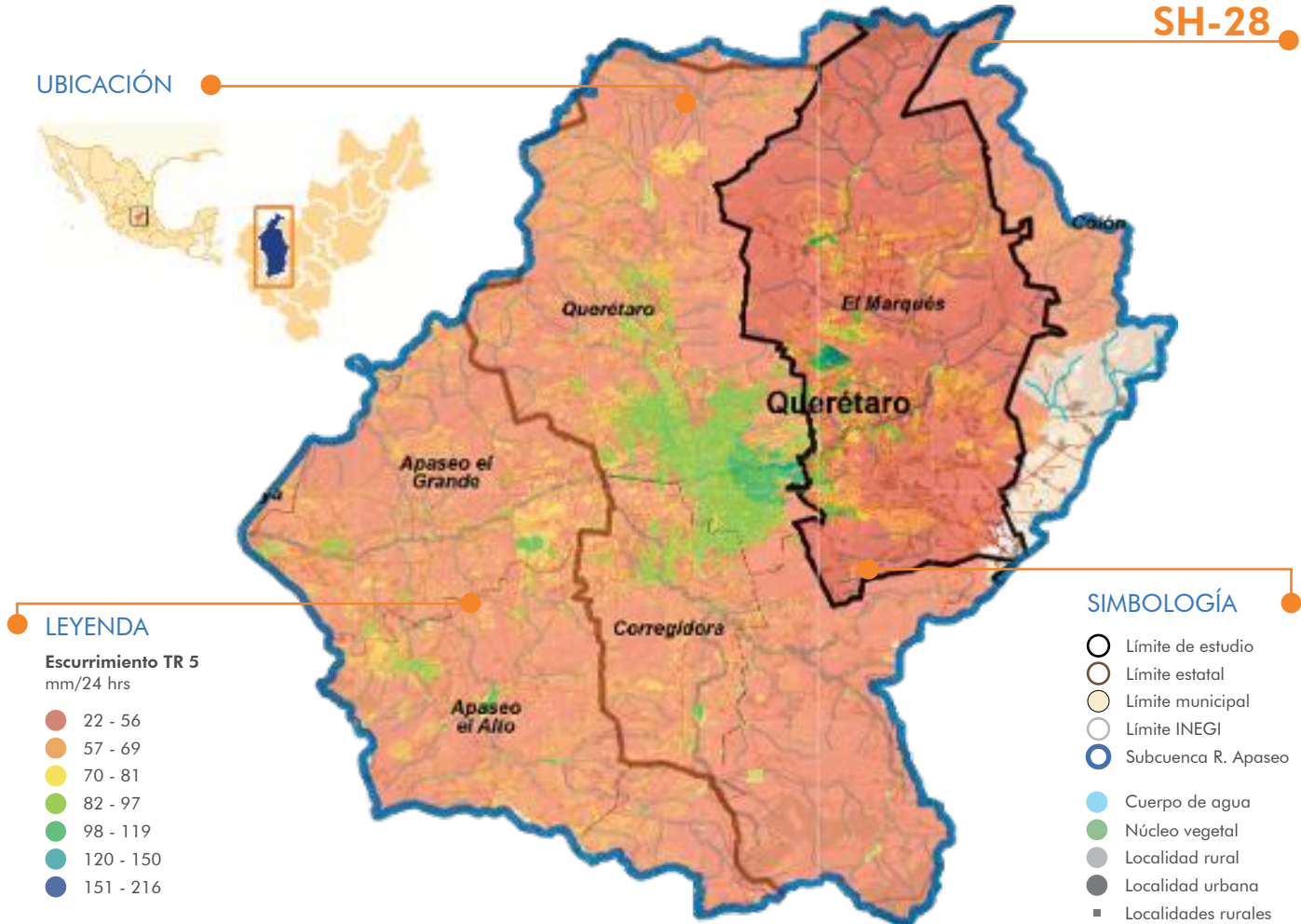
MAPA 27

POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



MAPA 28

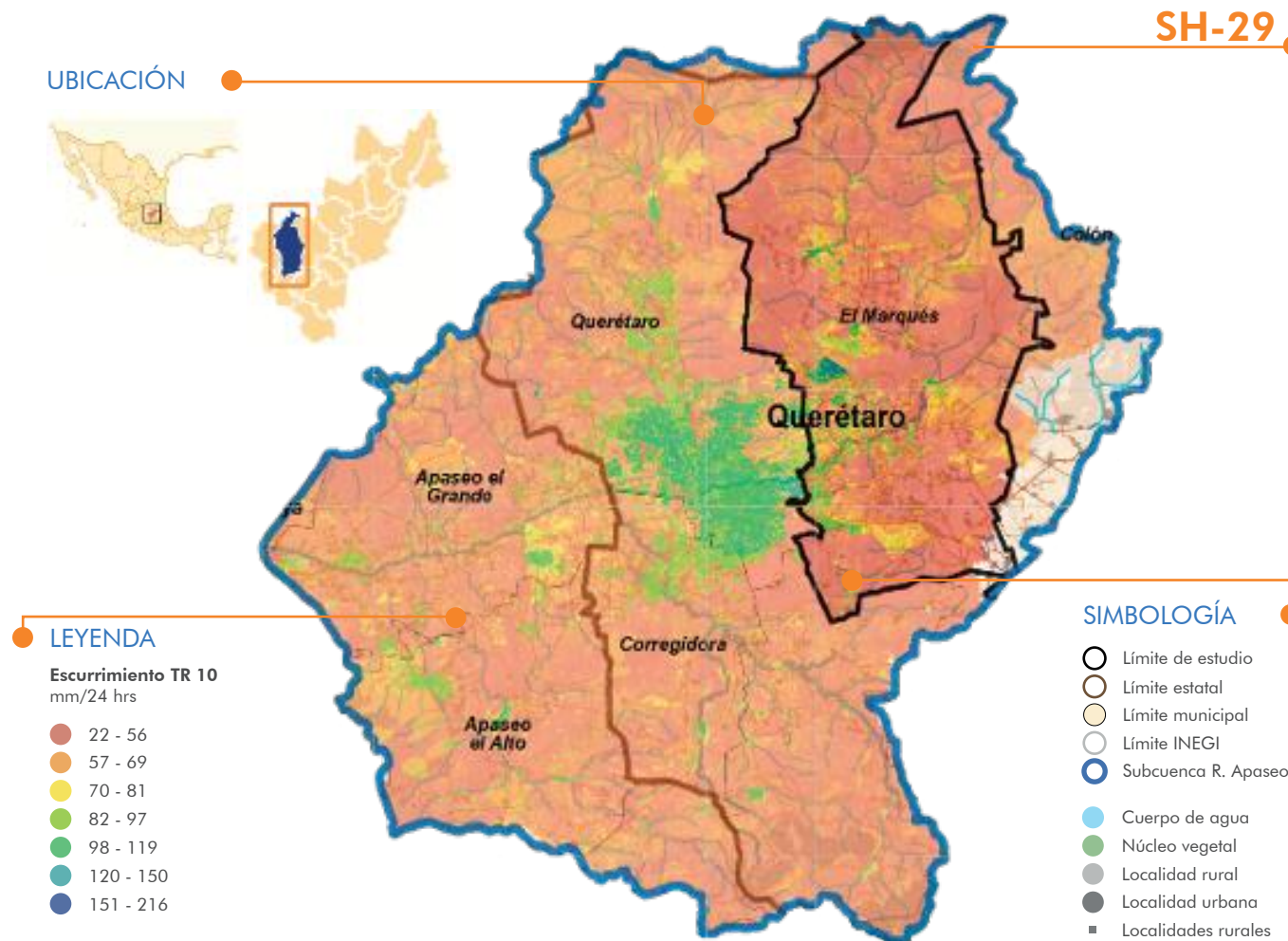
POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS), 1972, del Uso de suelo y Vegetación Serie VII, INEGI, 2020, imágenes satelitales SENTINEL-2, 2022, estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

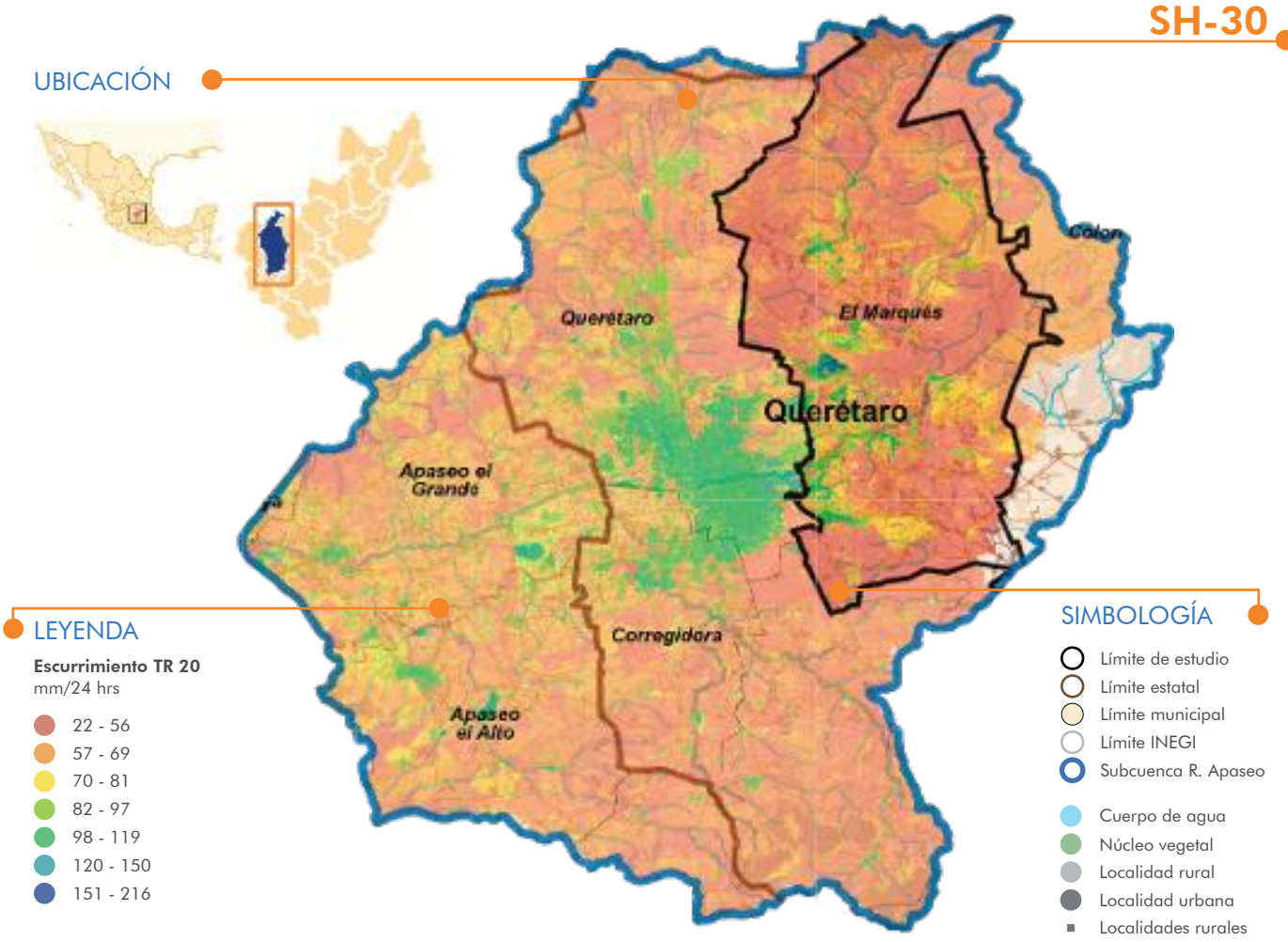
MAPA 29

POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



MAPA 30

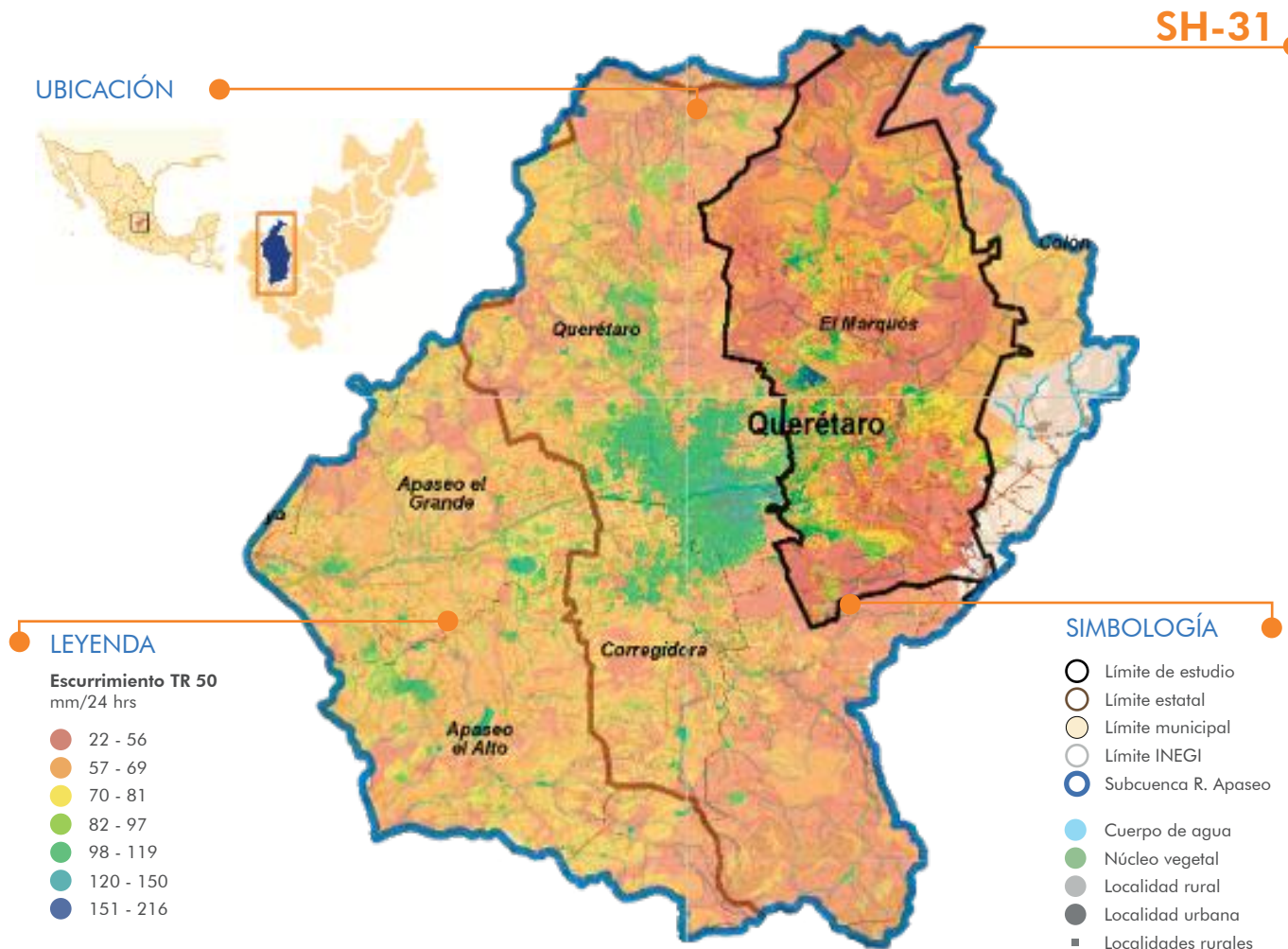
POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 20 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS), 1972, del Uso de suelo y Vegetación Serie VII, INEGI, 2020, imágenes satelitales SENTINEL-2, 2022, estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

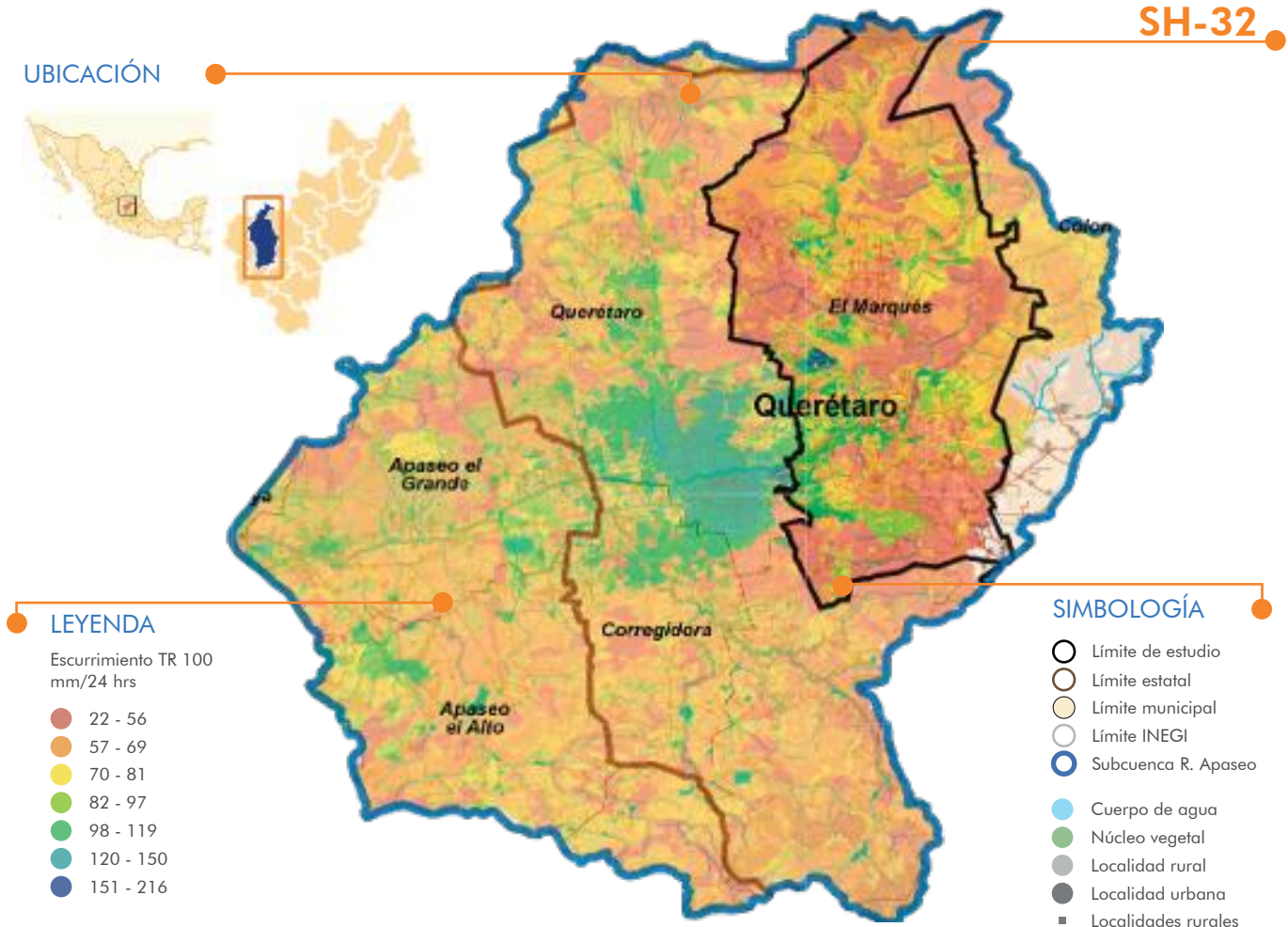
MAPA 31

POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



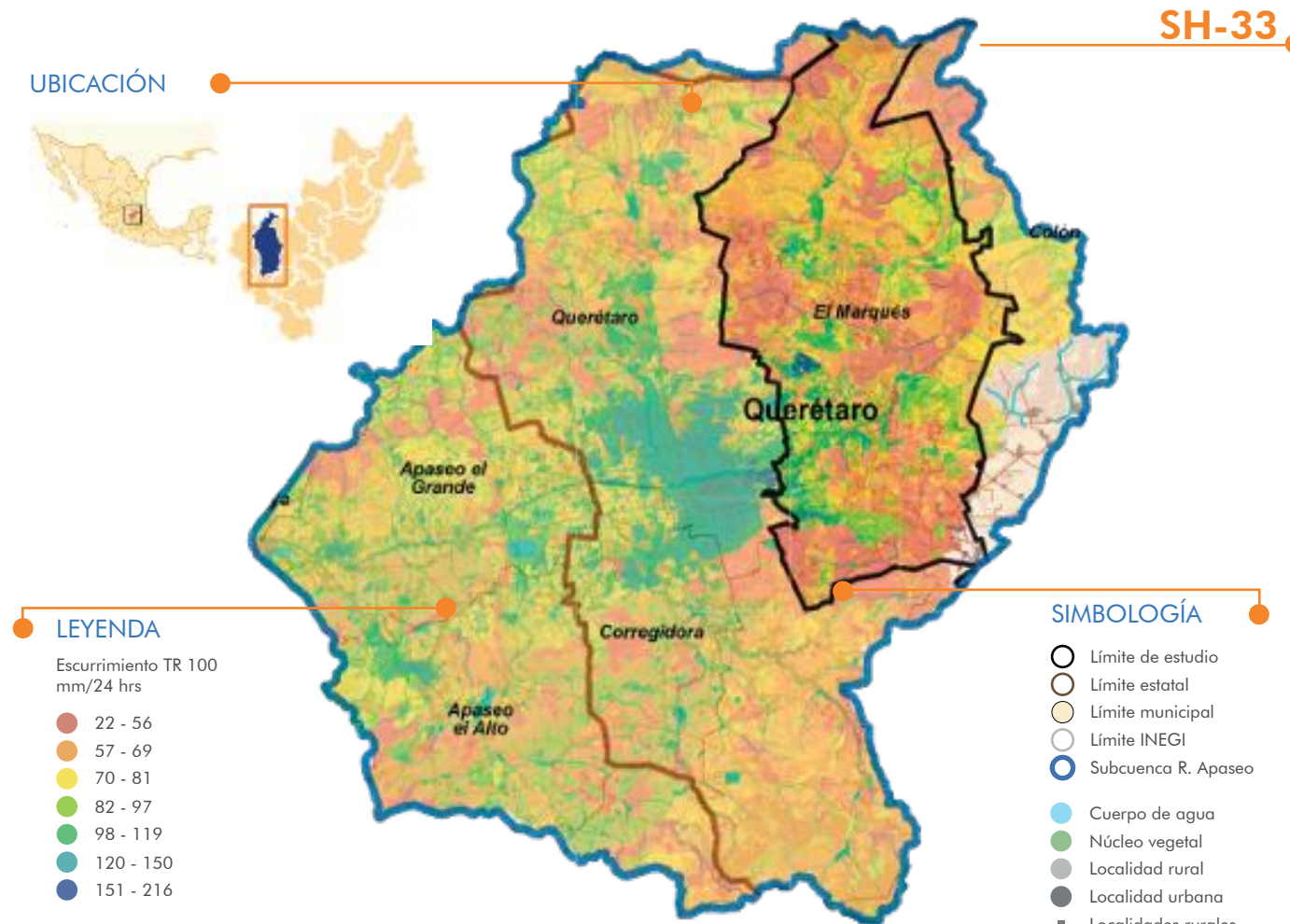
MAPA 32

POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



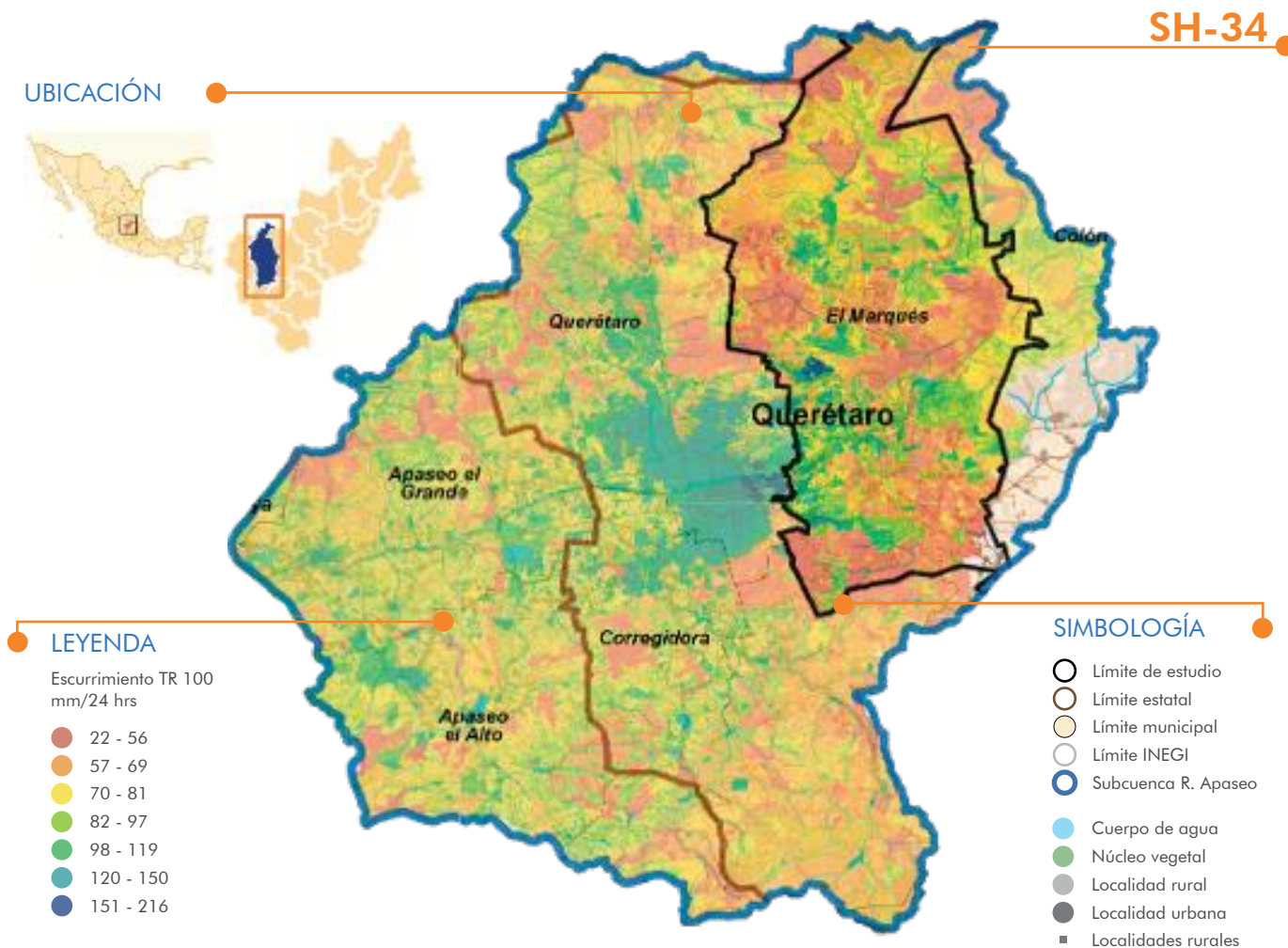
Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS), 1972, del Uso de suelo y Vegetación Serie VII, INEGI, 2020, imágenes satelitales SENTINEL-2, 2022, estaciones meteorológicas de El Marqués, Querétaro, 2022

POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 250 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



MAPA 34

POTENCIAL DE ESCURRIMIENTOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS DE LA CUENCA DE ANÁLISIS



HIETOGRAMAS DE DISEÑO DE PRECIPITACIONES PROYECTADAS

El Hietograma de diseño refleja la distribución de la intensidad de las precipitaciones en función del tiempo, para conocer el comportamiento de las precipitaciones en minutos de varias horas en distintos periodos de retorno, no solo del dato de la precipitación máxima para determinado tiempo con un periodo de retorno dado en milímetros.

Para calcular los hietogramas se utilizó el Programa de distribución de lluvia por bloques alternados¹ del instituto Flumen en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica, en el cual se estimó el tipo de curva intensidad-duración-frecuencia, según la dirección General de Carreteras, tomando como parámetros hidráulicos el dato de precipitación máxima en milímetros resultado del potencial de escurrimiento para cada periodo de retorno analizado (la integración de la acumulación diaria de lluvia proyectada por periodos de retorno con los datos meteorológicos de las estaciones instaladas en el Marqués y el coeficiente de escorrentía o número de curva antes mostrado del uso de suelo más actual) y el Factor Regional (FR) correspondiente al municipio tomado del “Análisis regional para estimar precipitaciones de diseño en la República Mexicana” del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con la siguiente función:

$$I \text{ (mm/h)} = \frac{P_{24hr}}{24} \cdot FR^{\frac{2.07D}{3600}}$$

Precipitación acumulada en 24 horas (Pd):

Los datos de precipitación se obtuvieron de la información de acumulación diaria de lluvia de las estaciones meteorológicas instaladas en El Marqués, datos disponibles a partir de 2021 calculadas para los diferentes periodos de retorno propuestos en la guía de contenido mínimo por el CENAPRED en 2016 para ser incluidas en los atlas de riesgos de nuestro país y el coeficiente de escorrentía o número de curva del uso de suelo más actual, dicha información se interpoló en un SIG por el método “Topo to Raster”, se observó la precipitación máxima de la cuenca de análisis y se tomaron los valores de lluvia acumulada en 24 horas.

Duración de lluvia (D):

La duración de la lluvia de diseño debe ser similar a la duración total del drenaje de la cuenca en el hidrograma unitario; es decir la isócrona máxima resultante en el análisis previo.

Intervalos de tiempo del hietograma, es decir de cada cuántos minutos queremos obtener el dato de precipitación, y en consecuencia el bloque del hietograma

Los intervalos de tiempo del Hietograma van a ser equivalentes a los intervalos con los cuáles se construyó el hidrograma unitario, para este estudio es equivalente a 3,600 segundos, es decir 60 minutos, 1 hora. Es de vital importancia que estos valores sean los mismos, pues de lo contrario sería imposible integrar los valores para la creación de un Hidrograma de Flujo.

Factor Regional:

Integrado como el coeficiente que caracteriza la intensidad de precipitación de la zona de la que queremos obtener el hietograma. El factor regional se obtuvo de un reciente trabajo del Instituto de Ingeniería de la UNAM denominado “Análisis Regional para estimar precipitaciones de diseño en la República Mexicana”. En dicho trabajo se establecen los Factores Regionales para las grandes zonas hidrológicas de la República Mexicana para distintos periodos de retorno; fue así como se identificó el parámetro necesario para la modelación de la precipitación.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, publicó en el año 2018, este estudio donde se elaboraron análisis regionales a partir de la información de 2,293 pluviómetros, lo que permite estimar precipitaciones de diseño (asociadas a diversos periodos de retorno) para distintas duraciones; se presenta también un procedimiento que utiliza series sintéticas para la validación de las zonas homogéneas mediante la comparación de los coeficientes de variación históricos y sintéticos. Al hacer el análisis regional se logran resultados espacialmente consistentes, evitando las inconsistencias que se obtienen cuando se analiza cada estación individualmente. Los resultados obtenidos permiten estimar hietogramas de diseño para distintos intervalos de tiempo y distintas duraciones totales de la tormenta, utilizando el método de bloques alternos (Chow, Maidment & Mays, 1988), para cualquier cuenca de la República. Se analizaron los datos de un total de 2293 estaciones de la base de datos Climate Computing Project (CLICOM). Para el caso de Querétaro se tomaron 34 estaciones cuyo valor promedio de años de registro de las estaciones fue 32.24.

Se tomaron en cuenta estaciones operando por al menos 20 años y con la información completa en ese periodo de registro. Para cada una de las estaciones se obtuvieron los valores diarios máximos anuales y se calcularon los estadísticos: media, desviación estándar, coeficiente de variación (CV), además del valor máximo y valor mínimo.

Se elaboraron relaciones precipitación -duración-período de retorno, basándose en el estudio que realizó Chen (1983) donde obtuvo una fórmula generalizada de intensidad-duración-período de retorno para cualquier localidad en los Estados Unidos, con dichas relaciones se construyó una ecuación con la cual se puede calcular la precipitación para cualquier duración y período de retorno, la cual es la siguiente:

$$P_t^T = \frac{a_i P_i^0 \log(10^{2-x} T^{x-1})}{(t+b)^c} \left(\frac{t}{60}\right)$$

Efectiva para $T \geq 1$ año y $5 \text{ min} \leq t \leq 24 \text{ h}$, donde P_t^T precipitación, en milímetros, para una duración t , en minutos y un período de retorno T , en años, $X = P1 \ 100/P1 \ 10$, a , b y c Parámetros de la tormenta que se determinan según el factor $R = P1 \ T / P24 \ T$. Esta función fue adaptada por Baeza, R. C. (2007). Estimación regional de factores de conectividad para el cálculo de las relaciones intensidad duración-frecuencia. Tesis de Maestría. México, DF: Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM, para el contexto mexicano y se aplicaron funciones de distribución de las muestras regionales, con lo que el análisis definió 59 regiones para todo el territorio mexicano tomando en cuenta coeficientes de variación y condiciones topográficas y meteorológicas, de cada una de ellas especificó factores por periodo de retorno, las cuales se pueden apreciar a continuación. (Para más información y detalle sobre el proceso de obtención de los factores regionales propuestos para estimar precipitaciones de diseño en la República Mexicana consultar el estudio del Instituto de Ingeniería, UNAM, 2018²)

²Disponible en: <https://www.google.com/search?q=An%C3%A1lisis+regional+para+estimar+precipitaciones+de+dise%C3%B1o+en+la+Rep%C3%BAblica+Mexicana%2C+del+Instituto+de+Ingenier%C3%ADa%2C+UNAM%2C+2016&dq=An%C3%A1lisis+regional+pa>

TABLA 5

Factores por periodo de retorno para las regiones de Querétaro

Factores de regionalización por Tasas de Retorno (TR años)

Entidad federativa	Región	2	5	10	20	50	100	200	500
Querétaro	(42) Zona Alta	0.93	1.29	1.53	1.75	2.04	2.26	2.48	2.77
	(43) Zona Baja	0.94	1.27	1.49	1.70	1.98	2.18	2.38	2.65

Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con información del "Análisis regional para estimar precipitaciones de diseño en la República Mexicana" del Instituto de Ingeniería, UNAM, 2018

FIGURA 9

59 regiones definidas tomando en cuenta coeficientes de variación y condiciones topográficas y meteorológicas por el Instituto de Ingeniería, UNAM

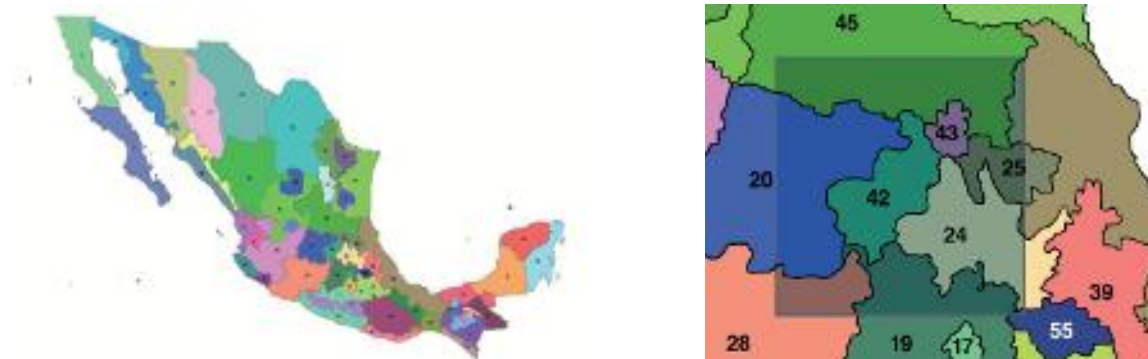


TABLA 6

Parámetros hidráulicos para la estimación de hietogramas de diseño para los periodos o tasas de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 y 500 años

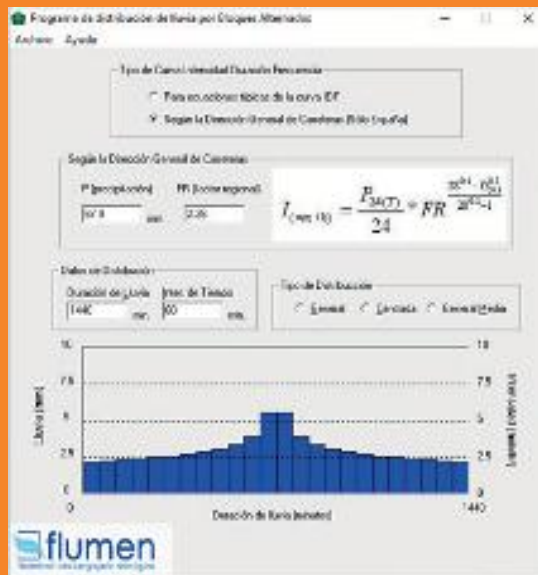
Cabe destacar que las tasas de retorno estimadas por el Instituto de Ingeniería, UNAM no contemplan el periodo de retorno a 250 años, como sí lo marca la guía de contenido mínimo del CENAPRED en 2016, no obstante, esta información es la recomendada para ser integrada en los análisis de los atlas de riesgos, por lo que se emplea como una referencia y el contexto real es aportado con las proyecciones de las lluvias registradas por las estaciones meteorológicas de El Marqués.

Por tanto para la estimación de los Hietogramas de Diseño de Precipitaciones proyectadas se integró en el Programa de Distribución de Lluvia por Bloques alternados, la distribución general de la precipitación con los datos de distribución, duración de la lluvia e intervalo de tiempo en minutos, producto de las isócronas del hidrograma unitario clasificado en intervalos de 60 minutos (3,600) segundos antes detallado, lo que resulto en hietogramas que muestran la relación existente entre la lluvia en milímetros (mm) y la duración de la lluvia en minutos, la intensidad de la precipitación en milímetros por hora (mm/hr). Con la información específica para el municipio de los parámetros hidráulicos antes detallados del Potencial de escurrimiento (precipitación media y máxima en milímetros para un periodo de acumulación de 24 horas/1,440 minutos) y el factor regional de los periodos o tasas de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 y 500 años, identificados en la siguiente tabla.

Periodo o tasa de retorno (años)	Potencial de escurrimiento (precipitación en milímetros para un periodo de acumulación de 24 horas/1,440 minutos)		
	(Precipitación media)	(Precipitación máxima)	Zona Alta
2	46.6	151.1	0.93
5	52.3	163.6	1.29
10	56.1	171.9	1.53
20	59.7	179.8	1.75
50	64.4	190.1	2.04
100	67.9	197.7	2.26
250/200	72.5	207.9	2.48
500	75.9	215.5	2.77

FIGURA 10

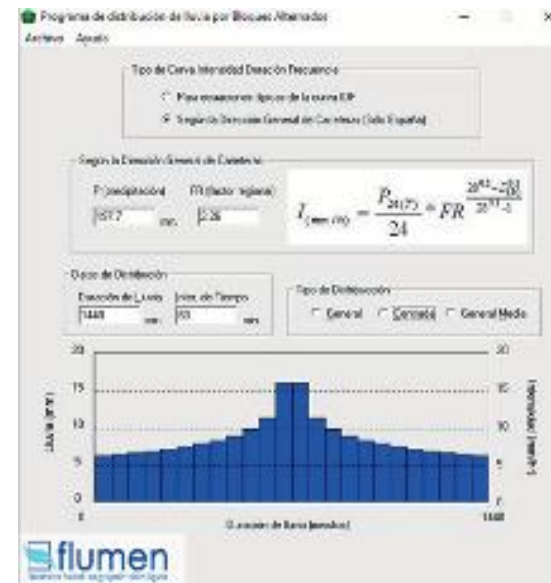
Programa de Distribución de Lluvia por Bloques alternados, precipitación media



Fuente: Instituto Flumen en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica ente de investigación mixto de titularidad compartida entre la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), con sede en la ciudad de Barcelona, España

FIGURA 11

Programa de Distribución de Lluvia por Bloques alternados, precipitación máxima



Fuente: Instituto Flumen en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica ente de investigación mixto de titularidad compartida entre la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), con sede en la ciudad de Barcelona, España

HIDROGRAMAS DE FLUJO

Con el cálculo del Hidrograma unitario es posible calcular un Hidrograma de Flujo o de Crecidas, ya que los parámetros necesarios para la definición del caudal final son la precipitación de entrada y la respuesta de drenaje de la cuenca, es así como, mediante la metodología de Hidrograma en S, se estima el caudal asociado a una lluvia de diseño.

La metodología calcula la razón existente entre el volumen de entrada y la velocidad de drenaje de cada cuenca estudiada; así se obtiene el caudal del gasto asociado a la Precipitación de diseño estimada para diferentes periodos de retorno.

FIGURA 12

Ejemplo de Método de Hidrograma en S, periodo de retorno de 250 años

TIEMPO	HIDROGRAMA UNITARIO	HIDROGRAMA DE DISEÑO																	VALOR INICIAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.4	7.8	8.3	8.9	9.5	10.2	11.0	11.7	12.5	13.3	14.1	15.0		15.9	16.8	17.7	18.6	19.5	20.4	21.3	22.2	23.1	24.0	24.9	25.8	26.7	27.6	28.5	29.4	30.3	31.2	32.1	33.0	33.9	34.8	35.7	36.6	37.5	38.4	39.3	40.2	41.1	42.0	42.9	43.8	44.7	45.6	46.5	47.4	48.3	49.2	50.1	51.0	51.9	52.8	53.7	54.6	55.5	56.4	57.3	58.2	59.1	60.0	60.9	61.8	62.7	63.6	64.5	65.4	66.3	67.2	68.1	69.0	69.9	70.8	71.7	72.6	73.5	74.4	75.3	76.2	77.1	78.0	78.9	79.8	80.7	81.6	82.5	83.4	84.3	85.2	86.1	87.0	87.9	88.8	89.7	90.6	91.5	92.4	93.3	94.2	95.1	96.0	96.9	97.8	98.7	99.6	100.5	101.4	102.3	103.2	104.1	105.0	105.9	106.8	107.7	108.6	109.5	110.4	111.3	112.2	113.1	114.0	114.9	115.8	116.7	117.6	118.5	119.4	120.3	121.2	122.1	123.0	123.9	124.8	125.7	126.6	127.5	128.4	129.3	130.2	131.1	132.0	132.9	133.8	134.7	135.6	136.5	137.4	138.3	139.2	140.1	141.0	141.9	142.8	143.7	144.6	145.5	146.4	147.3	148.2	149.1	150.0	150.9	151.8	152.7	153.6	154.5	155.4	156.3	157.2	158.1	159.0	159.9	160.8	161.7	162.6	163.5	164.4	165.3	166.2	167.1	168.0	168.9	169.8	170.7	171.6	172.5	173.4	174.3	175.2	176.1	177.0	177.9	178.8	179.7	180.6	181.5	182.4	183.3	184.2	185.1	186.0	186.9	187.8	188.7	189.6	190.5	191.4	192.3	193.2	194.1	195.0	195.9	196.8	197.7	198.6	199.5	200.4	201.3	202.2	203.1	204.0	204.9	205.8	206.7	207.6	208.5	209.4	210.3	211.2	212.1	213.0	213.9	214.8	215.7	216.6	217.5	218.4	219.3	220.2	221.1	222.0	222.9	223.8	224.7	225.6	226.5	227.4	228.3	229.2	230.1	231.0	231.9	232.8	233.7	234.6	235.5	236.4	237.3	238.2	239.1	240.0	240.9	241.8	242.7	243.6	244.5	245.4	246.3	247.2	248.1	249.0	249.9	250.8	251.7	252.6	253.5	254.4	255.3	256.2	257.1	258.0	258.9	259.8	260.7	261.6	262.5	263.4	264.3	265.2	266.1	267.0	267.9	268.8	269.7	270.6	271.5	272.4	273.3	274.2	275.1	276.0	276.9	277.8	278.7	279.6	280.5	281.4	282.3	283.2	284.1	285.0	285.9	286.8	287.7	288.6	289.5	290.4	291.3	292.2	293.1	294.0	294.9	295.8	296.7	297.6	298.5	299.4	300.3	301.2	302.1	303.0	303.9	304.8	305.7	306.6	307.5	308.4	309.3	310.2	311.1	312.0	312.9	313.8	314.7	315.6	316.5	317.4	318.3	319.2	320.1	321.0	321.9	322.8	323.7	324.6	325.5	326.4	327.3	328.2	329.1	330.0	330.9	331.8	332.7	333.6	334.5	335.4	336.3	337.2	338.1	339.0	339.9	340.8	341.7	342.6	343.5	344.4	345.3	346.2	347.1	348.0	348.9	349.8	350.7	351.6	352.5	353.4	354.3	355.2	356.1	357.0	357.9	358.8	359.7	360.6	361.5	362.4	363.3	364.2	365.1	366.0	366.9	367.8	368.7	369.6	370.5	371.4	372.3	373.2	374.1	375.0	375.9	376.8	377.7	378.6	379.5	380.4	381.3	382.2	383.1	384.0	384.9	385.8	386.7	387.6	388.5	389.4	390.3	391.2	392.1	393.0	393.9	394.8	395.7	396.6	397.5	398.4	399.3	400.2	401.1	402.0	402.9	403.8	404.7	405.6	406.5	407.4	408.3	409.2	410.1	411.0	411.9	412.8	413.7	414.6	415.5	416.4	417.3	418.2	419.1	420.0	420.9	421.8	422.7	423.6	424.5	425.4	426.3	427.2	428.1	429.0	429.9	430.8	431.7	432.6	433.5	434.4	435.3	436.2	437.1	438.0	438.9	439.8	440.7	441.6	442.5	443.4	444.3	445.2	446.1	447.0	447.9	448.8	449.7	450.6	451.5	452.4	453.3	454.2	455.1	456.0	456.9	457.8	458.7	459.6	460.5	461.4	462.3	463.2	464.1	465.0	465.9	466.8	467.7	468.6	469.5	470.4	471.3	472.2	473.1	474.0	474.9	475.8	476.7	477.6	478.5	479.4	480.3	481.2	482.1	483.0	483.9	484.8	485.7	486.6	487.5	488.4	489.3	490.2	491.1	492.0	492.9	493.8	494.7	495.6	496.5	497.4	498.3	499.2	500.1	501.0	501.9	502.8	503.7	504.6	505.5	506.4	507.3	508.2	509.1	510.0	510.9	511.8	512.7	513.6	514.5	515.4	516.3	517.2	518.1	519.0	519.9	520.8	521.7	522.6	523.5	524.4	525.3	526.2	527.1	528.0	528.9	529.8	530.7	531.6	532.5	533.4	534.3	535.2	536.1	537.0	537.9	538.8	539.7	540.6	541.5	542.4	543.3	544.2	545.1	546.0	546.9	547.8	548.7	549.6	550.5	551.4	552.3	553.2	554.1	555.0	555.9	556.8	557.7	558.6	559.5	560.4	561.3	562.2	563.1	564.0	564.9	565.8	566.7	567.6	568.5	569.4	570.3	571.2	572.1	573.0	573.9	574.8	575.7	576.6	577.5	578.4	579.3	580.2	581.1	582.0	582.9	583.8	584.7	585.6	586.5	587.4	588.3	589.2	590.1	591.0	591.9	592.8	593.7	594.6	595.5	596.4	597.3	598.2	599.1	600.0	600.9	601.8	602.7	603.6	604.5	605.4	606.3	607.2	608.1	609.0	609.9	610.8	611.7	612.6	613.5	614.4	615.3	616.2	617.1	618.0	618.9	619.8	620.7	621.6	622.5	623.4	624.3	625.2	626.1	627.0	627.9	628.8	629.7	630.6	631.5	632.4	633.3	634.2	635.1	636.0	636.9	637.8	638.7	639.6	640.5	641.4	642.3	643.2	644.1	645.0	645.9	646.8	647.7	648.6	649.5	650.4	651.3	652.2	653.1	654.0	654.9	655.8	656.7	657.6	658.5	659.4	660.3	661.2	662.1	663.0	663.9	664.8	665.7	666.6	667.5	668.4	669.3	670.2	671.1	672.0	672.9	673.8	674.7	675.6	676.5	677.4	678.3	679.2	680.1	681.0	681.9	682.8	683.7	684.6	685.5	686.4	687.3	688.2	689.1	690.0	690.9	691.8	692.7	693.6	694.5	695.4	696.3	697.2	698.1	699.0	699.9	700.8	701.7	702.6	703.5	704.4	705.3	706.2	707.1	708.0	708.9	709.8	710.7	711.6	712.5	713.4	714.3	715.2	716.1	717.0	717.9	718.8	719.7	720.6	721.5	722.4	723.3	724.2	725.1	726.0	726.9	727.8	728.7	729.6	730.5	731.4	732.3	733.2	734.1	735.0	735.9	736.8	737.7	738.6	739.5	740.4	741.3	742.2	743.1	744.0	744.9	745.8	746.7	747.6	748.5	749.4	750.3	751.2	752.1	753.0	753.9	754.8	755.7	756.6	757.5	758.4	759.3	760.2	761.1	762.0	762.9	763.8	764.7	765.6	766.5	767.4	768.3	769.2	770.1	771.0	771.9	772.8	773.7	774.6	775.5	776.4	777.3	778.2	779.1	780.0	780.9	781.8	782.7	783.6	784.5	785.4	786.3	787.2	788.1	789.0	789.9	790.8	791.7	792.6	793.5	794.4	795.3	796.2	797.1	798.0	798.9	799.8	800.7	801.6	802.5	803.4	804.3	805.2	806.1	807.0	807.9	808.8	809.7	810.6	811.5	812.4	813.3	814.2	815.1	816.0	816.9	817.8	818.7	819.6	820.5	821.4	822.3	823.2	824.1	825.0	825.9	826.8	827.7	828.6	829.5	830.4	831.3	832.2	833.1	834.0	834.9	835.8	836.7	837.6	838.5	839.4	840.3	841.2	842.1	843.0	843.9	844.8	845.7	846.6	847.5	848.4	849.3	850.2	851.1	852.0	852.9	853.8	854.7	855.6	856.5	857.4	858.3	859.2	860.1	861.0	861.9	862.8	863.7	864.6	865.5	866.4	867.3	868.2	869.1	870.0	870.9	871.8	872.7	873.6	874.5	875.4	876.3	877.2	878.1	879.0	879.9	880.8	881.7	882.6	883.5	884.4	885.3	886.2	887.1	888.0	888.9	889.8	890.7	891.6	892.5	893.4	894.3	895.2	896.1	897.0	897.9	898.8	899.7	900.6	901.5	902.4	903.3	904.2	905.1	906.0	906.9	907.8	908.7	909.6	910.5	911.4	912.3	913.2	914.1	915.0	915.9	916.8	917.7	918.6	919.5	920.4	921.3	922.2	923.1	924.0	924.9	925.8	926.7	927.6	928.5	929.4	930.3	931.2	932.1	933.0	933.9	934.8	935.7	936.6	937.5	938.4	939.3	940.2	941.1	942.0	942.9	943.8	944.7	945.6	946.5	947.4	948.3	949.2	950.1	951.0	951.9	952.8	953.7	954.6	955.5	956.4	957.3	958.2	959.1	960.0	960.9	961.8	962.7	963.6	964.5	965.4	966.3	967.2	968.1	969.0	969.9	970.8	971.7	972.6	973.5	974.4	975.3	976.2	977.1	978.0	978.9	979.8	980.7	981.6	982.5	983.4	984.3	985.2	986.1	987.0	987.9	988.8	989.7	990.6	991.5	992.4	993.3	994.2	995.1	996.0	996.9	997.8	998.7	999.6	1000.5	1001.4	1002.3	1003.2	1004.1	1005.0	1005.9	1006.8	1007.7	1008.6	1009.5	1010.4	1011.3	1012.2	1013.1	1014.0	1014.9	1015.8	1016.7	1017.6	1018.5	1019.4	1020.3	1021.2	1022.1	1023.0	1023.9	1024.8	1025.7	1026.6	1027.5	1028.4	1029.3	1030.2	1031.1	1032.0	1032.9	1033.8	1034.7	1035.6	1036.5	1037.4	1038.3	1039.2	1040.1	1041.0	1041.9	1042.8	1043.7	1044.6	1045.5	1046.4	1047.3	1048.2	1049.1	1050.0	1050.9	1051.8	1052.7	1053.6	1054.5	1055.4	1056.3	1057.2	1058.1	1059.0	1059.9	1060.8	1061.7	1062.6	1063.5	1064.4	1065.3	1066.2	1067.1

Preparación del Terreno

En HEC RAS 6.2, se subió el Modelo Digital de Superficie de alta resolución (5 m por pixel) derivado de las imágenes LIDAR disponibles en el área de estudio, NASA SRTMG y la información de los vuelos de drone en las zonas de bordos en las afueras del área con LIDAR, el mallado de cada segmento se realizó en una red de 50x50 metros dentro del software para la estimación de los cálculos hidráulicos.

La preparación del terreno se realizó tomando en cuenta que una menor distancia de la malla deriva en errores topológicos y tomando en cuenta la escala del área en estudio, el mallado es útil para una modelación eficiente.

MODELACIÓN BIDIMENSIONAL DE INUNDACIONES

En HEC RAS 6.2, se integran los parámetros necesarios para la definición de la crecida máxima de los arroyos, en este caso de la zona de estudio del posible flujo de la presa El Carmen, la presa Los Pirules, bordos existentes en el municipio (lo que complementa la información generada en el atlas de riesgos 2021) con la información obtenida en el Hidrograma de Flujo. Toda la información de la modelación hidrológica se integra en una memoria de cálculo hidráulica en la cartografía digital del Atlas de Riesgos, la cual contiene la geometría de los cauces en función del modelo utilizado

(en este caso bidimensional), las condiciones de frontera y demás características, como coeficientes de Manning, parámetros de tiempo y caudales de aportación de los afluentes, etc. La delimitación de las modelaciones se apoya con la información de Protección Civil municipal y el atlas de riesgos actual acerca de afectaciones pasadas, es indispensable reconocer las condiciones de aguas arriba y aguas abajo para que el software reconozca datos de entrada y condiciones de salida de la cuenca de análisis.

FIGURA 13

Delimitación de Terreno propicio a Modelación y Mallado de 50x50

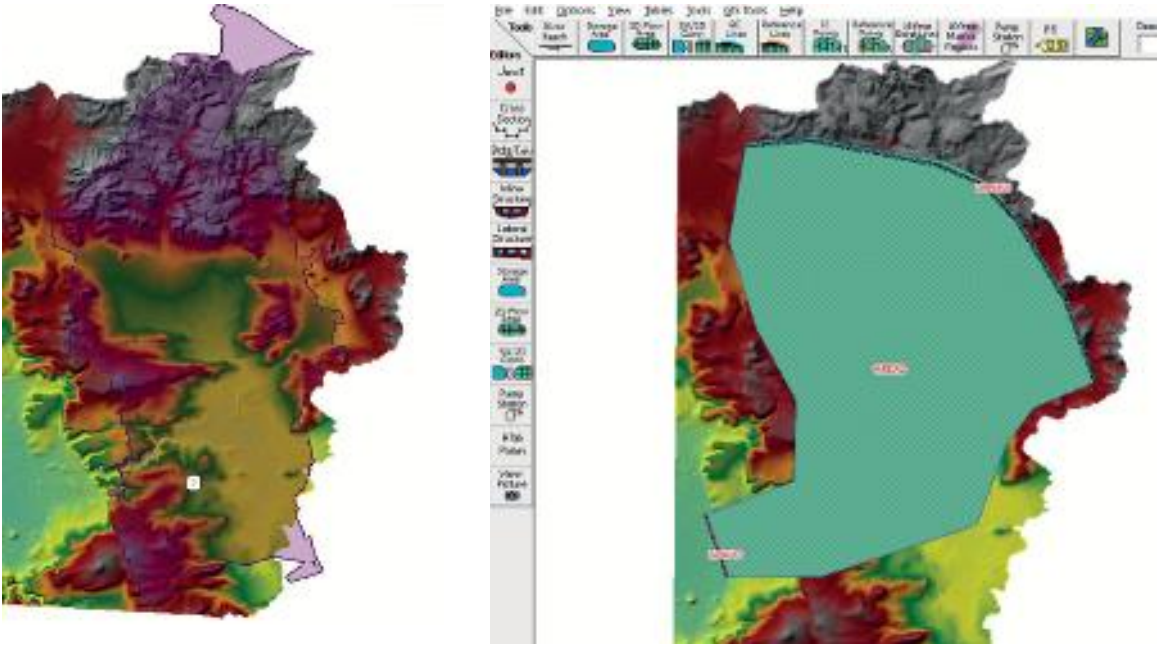
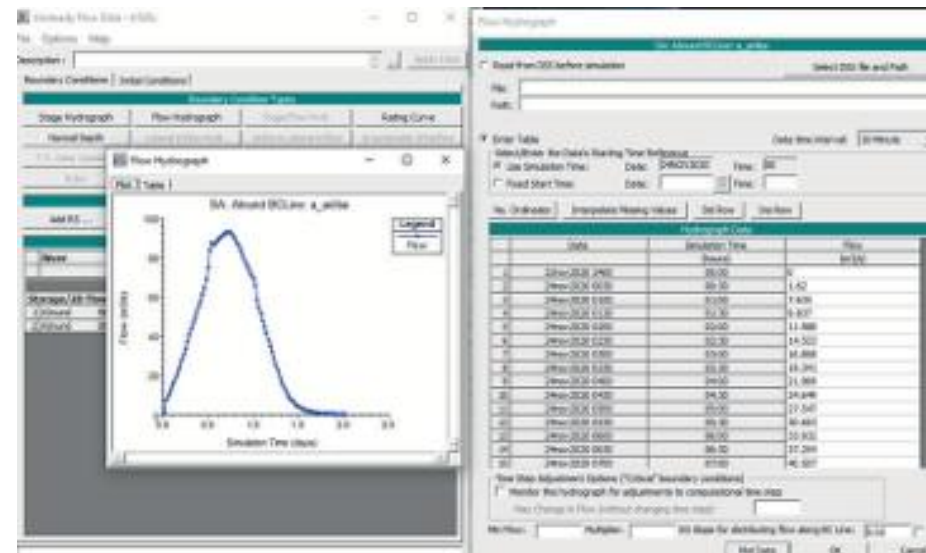


FIGURA 14

Integración de Datos de Flujo Dinámico



En el Software integramos la información del Hidrograma de Flujo estimado para cada cuenca de análisis y Periodo de retorno en la condición de cuenca aguas arriba, es por eso por lo que es de vital importancia haber estimado la precipitación para la cuenca de análisis, ya que el dato de entrada definirá el caudal máximo de agua que se modelará en el terreno.

El tiempo de intervalo para cada fila del Hidrograma es de 60 minutos, en concordancia con los cálculos hasta ahora establecidos; el ingreso del Hidrograma de Flujo debe realizarse con cuidado, considerando que los parámetros coincidan con aquellos que establecimos a lo largo del total del desarrollo de los datos hidráulicos para cada cuenca estudiada. Al representar los datos en una gráfica se identifica

el periodo de máxima crecida para la cuenca de análisis para el periodo de retorno estudiado. Los resultados tienen dos componentes principales; Velocidad y Profundidad del cauce máximo, en términos de intensidad, la Profundidad se tomó como elemento para la clasificación del fenómeno, pues se reconoce la falta de datos para la generación de un análisis bidimensional.

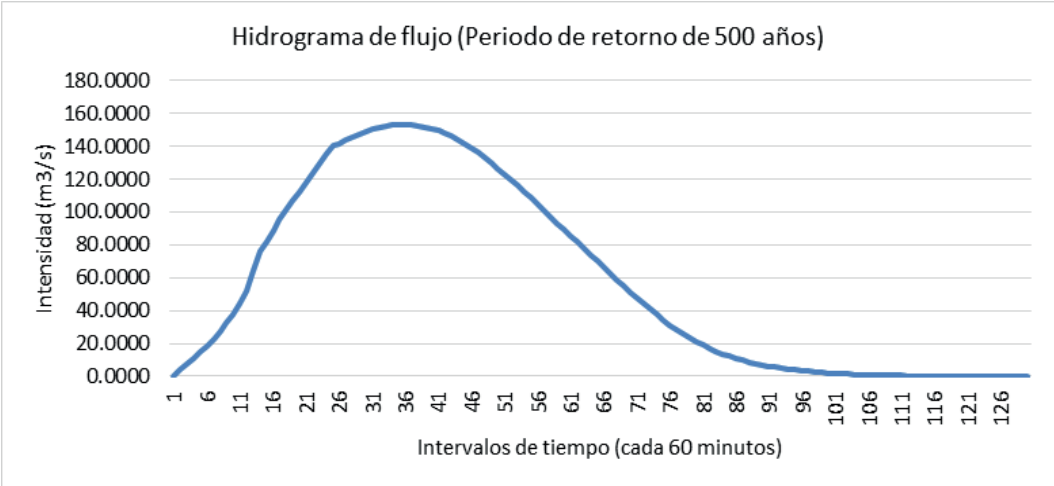
FIGURA 15

Hidrograma de flujo, periodo de retorno de 2 años



FIGURA 16

Hidrograma de flujo, periodo de retorno de 500 años



Fuente: Elaboración Soluciones SIG SA de CV. Para cada periodo de Retorno

RESULTADOS DE MODELACIÓN HIDRÁULICA INTEGRAL

Las modelaciones de flujo dinámico detallan escenarios que muestran la probabilidad de ocurrencia de una lluvia con diferentes magnitudes, un escenario con periodo de retorno bajo tiene una mayor probabilidad de ocurrencia y frecuencia que un escenario con periodo de retorno alto, que suele marcar tendencias atípicas de precipitación.

El análisis de flujos considera el enfoque de cuenca donde hay áreas de aportación de flujo de la cuenca alta y media que en temporada de lluvias afectan comunidades del municipio que se encuentran aguas abajo, por tal motivo y por las necesidades de implementar acciones estratégicas de prevención y atención que coadyuven a la mejora de las actividades del personal de Protección Civil se elaboraron diferentes modelaciones hidráulicas integrales de flujo dinámico de profundidad, velocidad y potencia de flujo correspondientes a las áreas de mayor afectación, aquellas derivadas de los flujos de presa El Carmen, la presa Los Pirules, bordos aledaños al municipio (lo que complementa la información generada en el atlas de riesgos 2021), se elaboraron con las precipitaciones medias y máximas de los datos antes descritos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 y de 500 años.

La siguiente serie de mapas identifican el Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación media y máxima, donde primero se presentan la modelación correspondiente al acumulado de precipitación registrado por las estaciones meteorológicas de El Marqués (SH-35) para la fecha con mayor precipitación registrada, que corresponde al día 30 de Agosto y que funge como referente para los escenarios presentados.

Los valores resultantes se subdividen en tirante (profundidad máxima del cauce), velocidad de traslación del flujo y potencia de flujo, indicadores que pretenden establecer los valores para detonar acciones en materia de Gestión Integral de riesgos al corto, mediano y largo plazo.

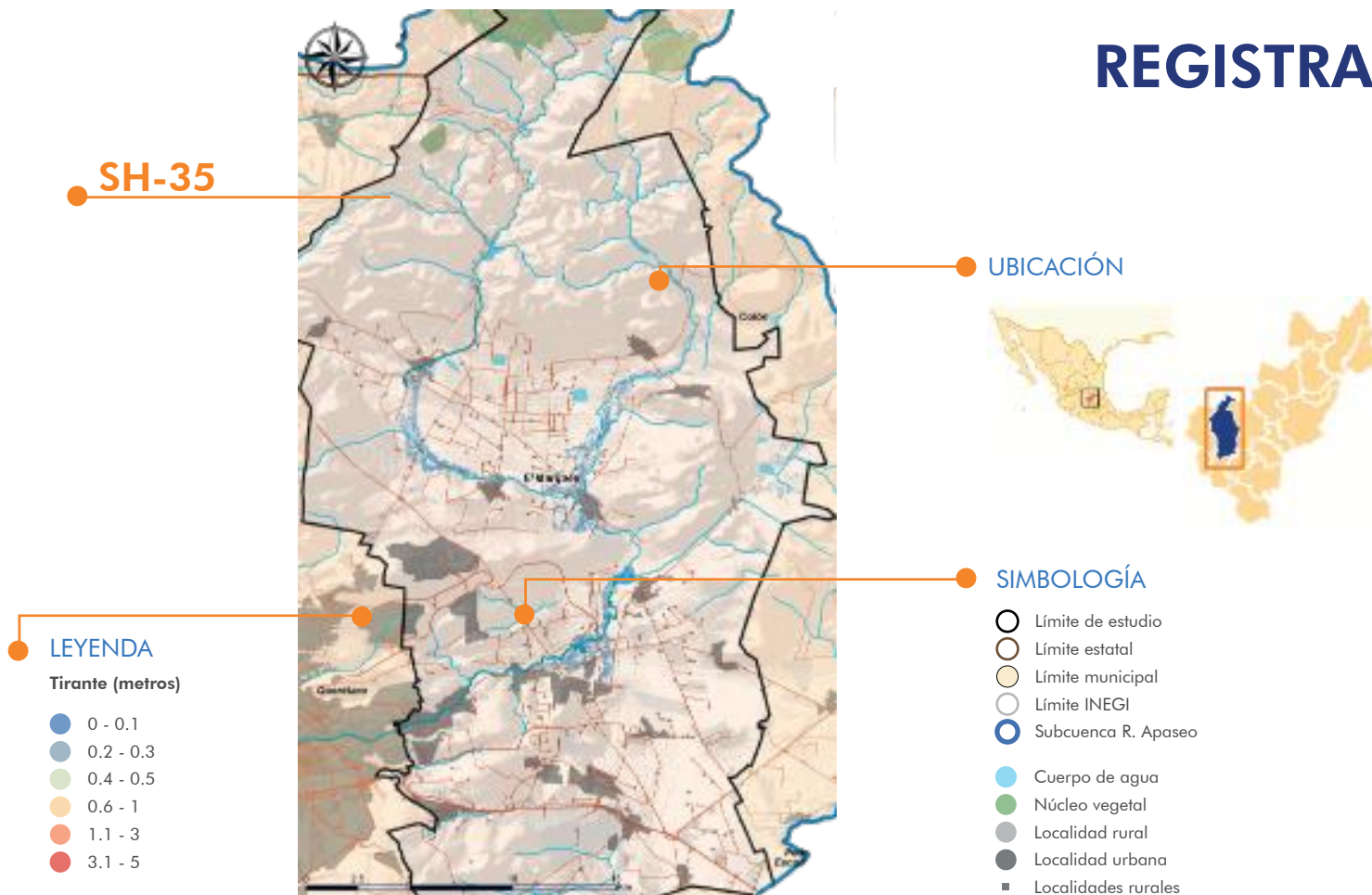
Los mapas muestran en escala de intensidad en 7 clases para resaltar la información, las áreas en rojo representan aquellas áreas con altas probabilidades de afectación por inundación. Para una mejor apreciación de la información se recomienda consultar la información en la versión digital del Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués disponible en: <https://solucionessig.com.mx/ElMarquesPublico/>.

La modelación del flujo dinámico en Hec-Ras para el periodo de retorno de 500 años estima mayor superficie de posible afectación de inundación que el periodo de retorno de 2 años, un mayor alcance en el posible desbordamiento del cauce.

**Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación *media*.
Profundidad**

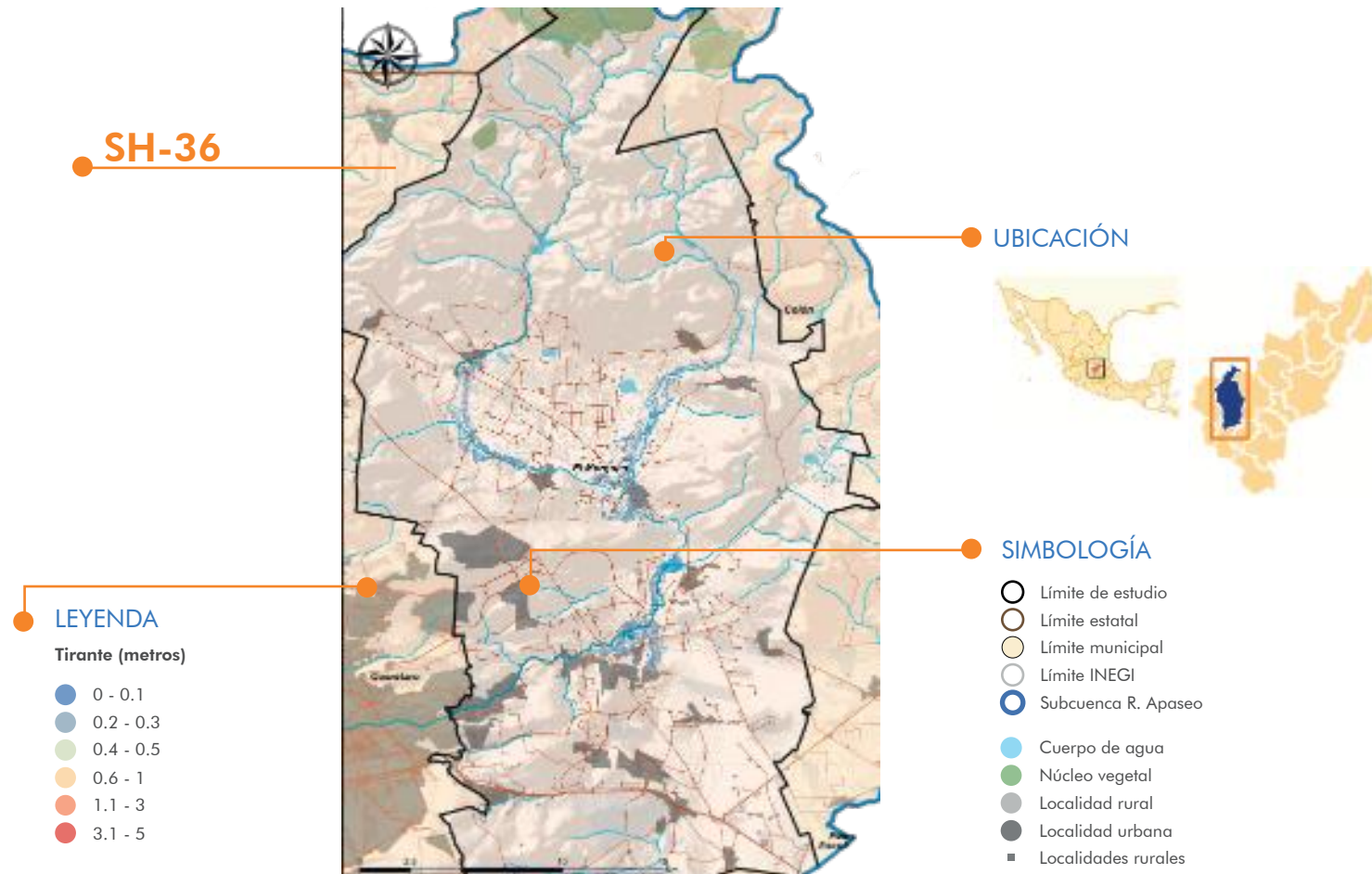
MAPA 35

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA REGISTRADA



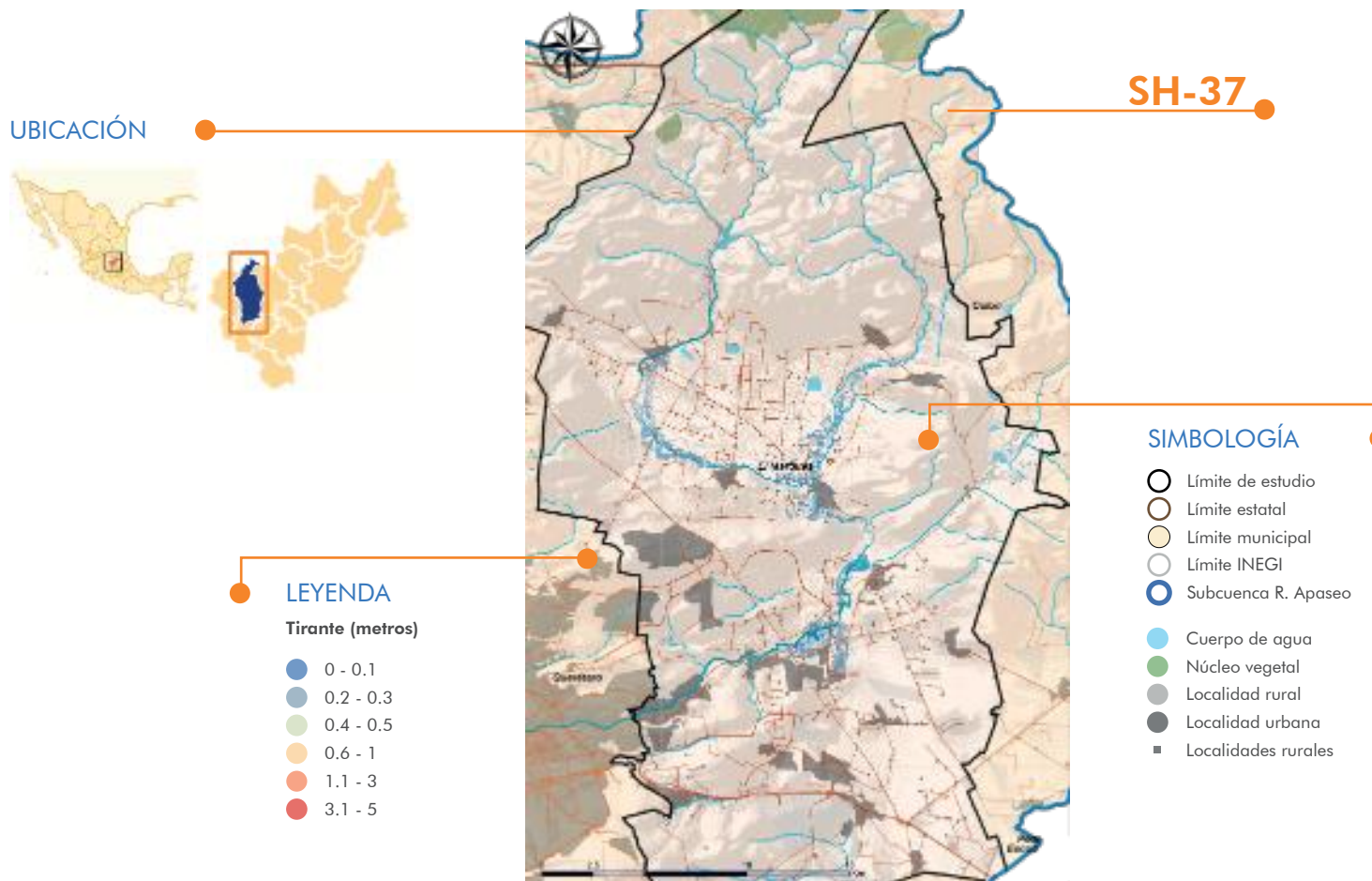
MAPA 36

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 2 AÑOS



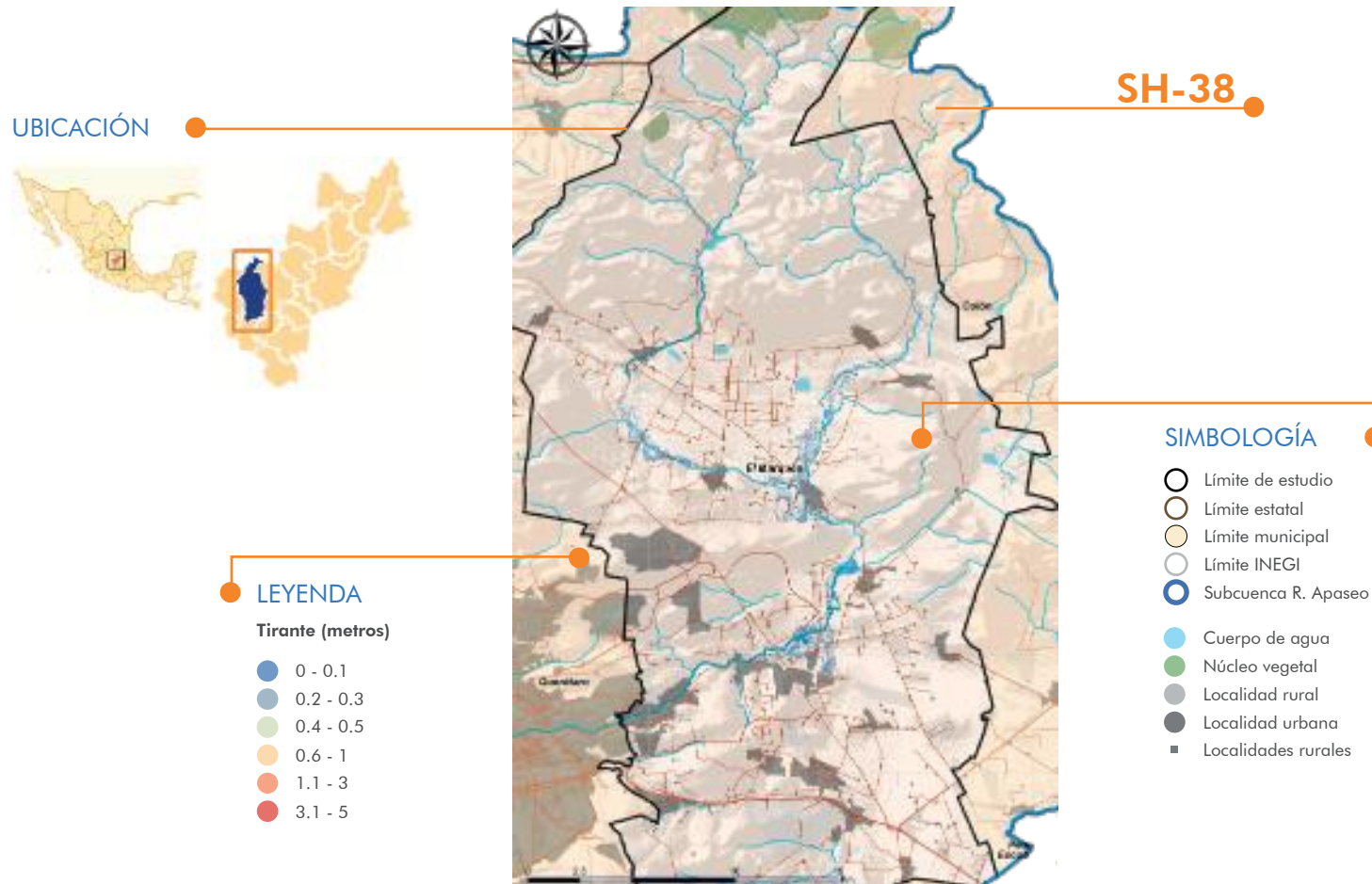
MAPA 37

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS



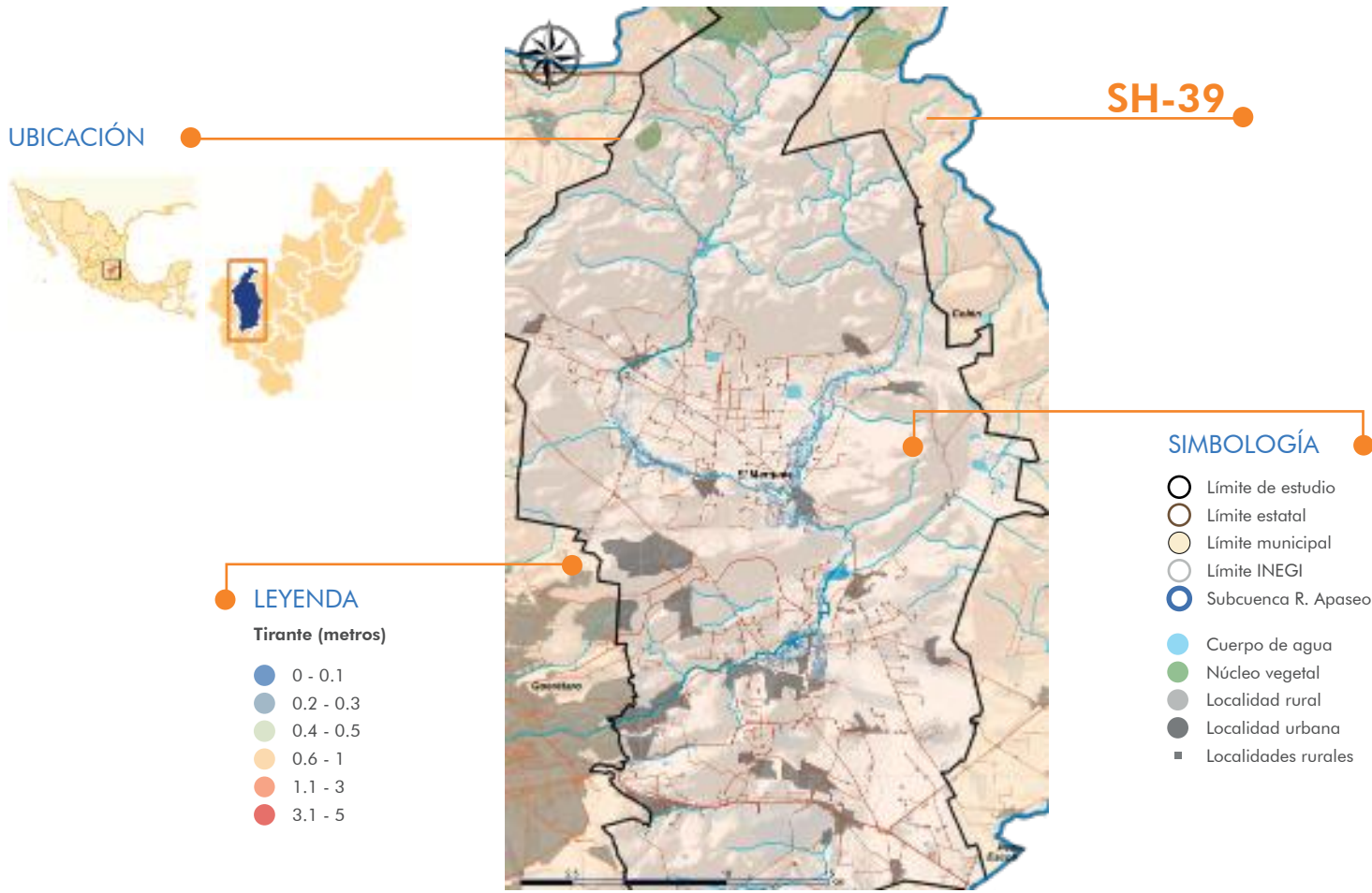
MAPA 38

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS



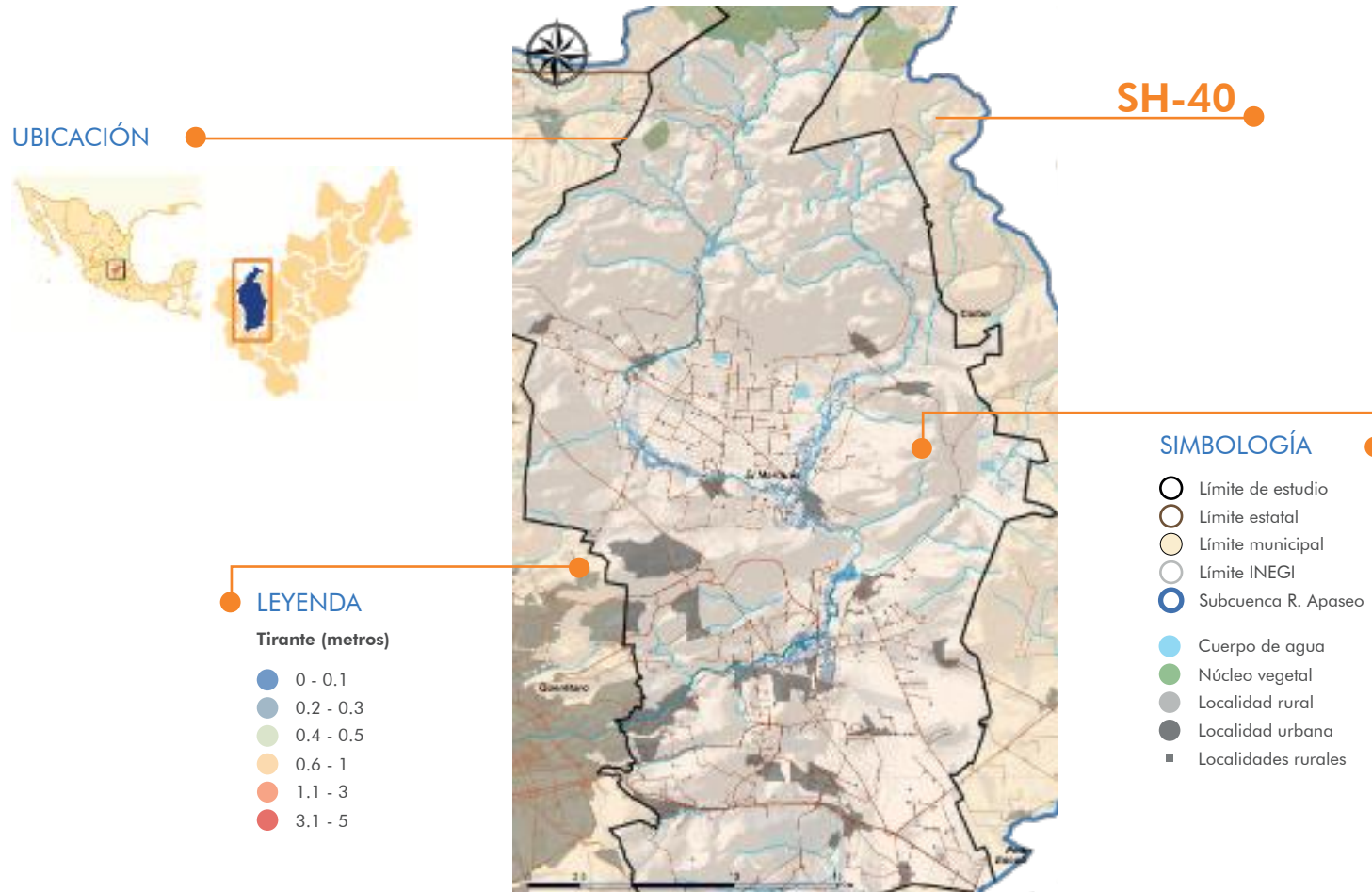
MAPA 39

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS



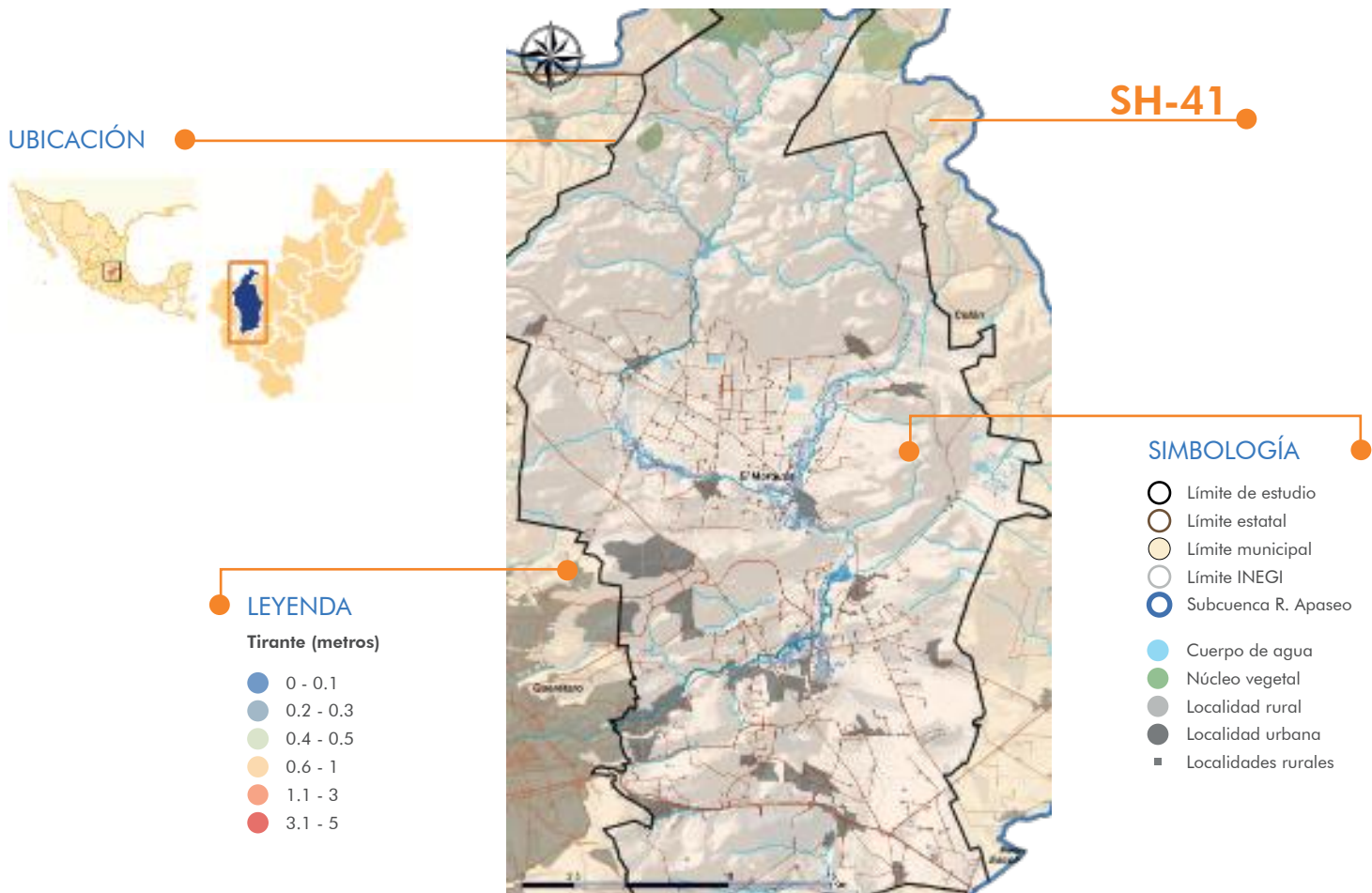
MAPA 40

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS



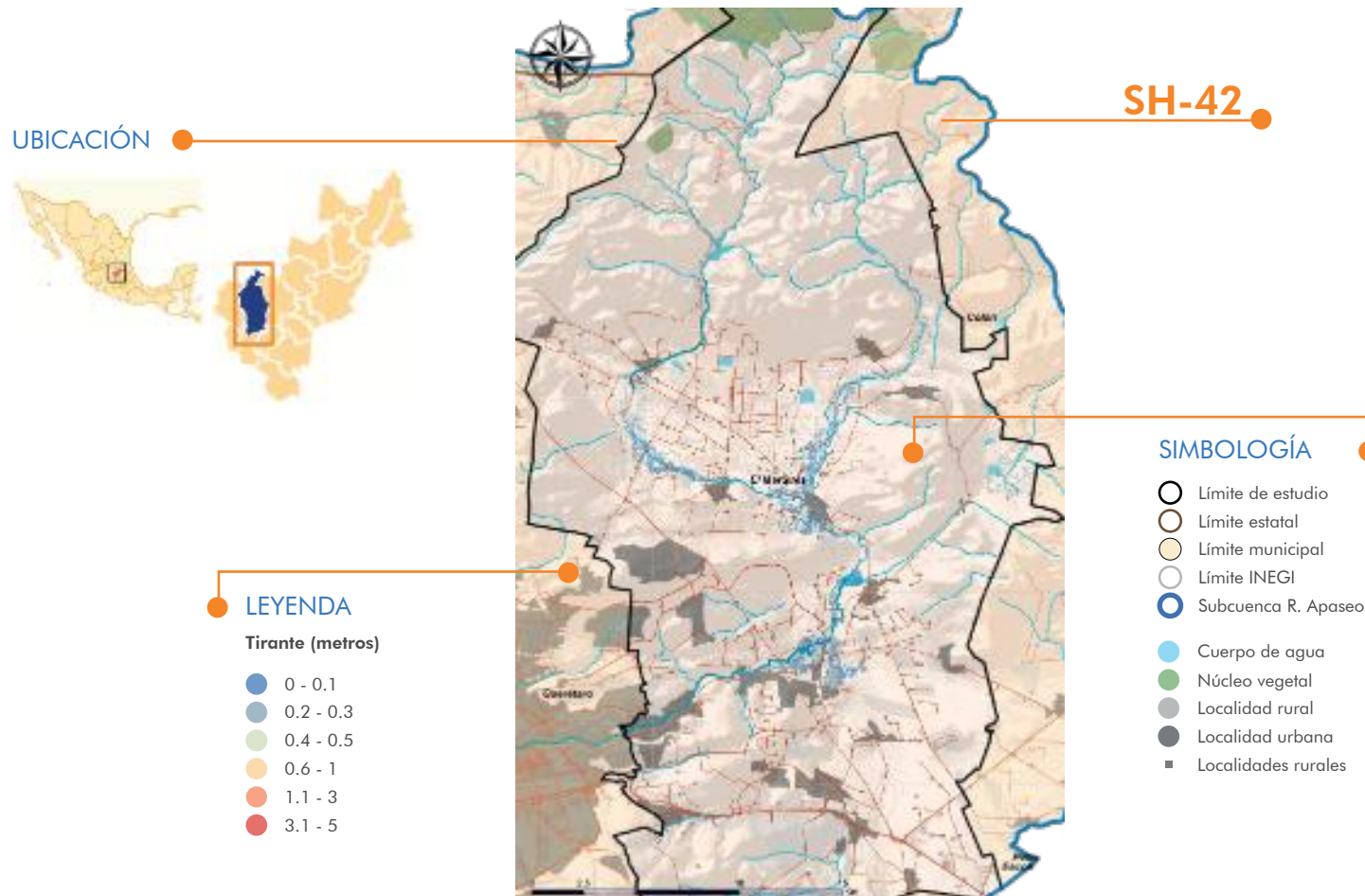
MAPA 41

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS



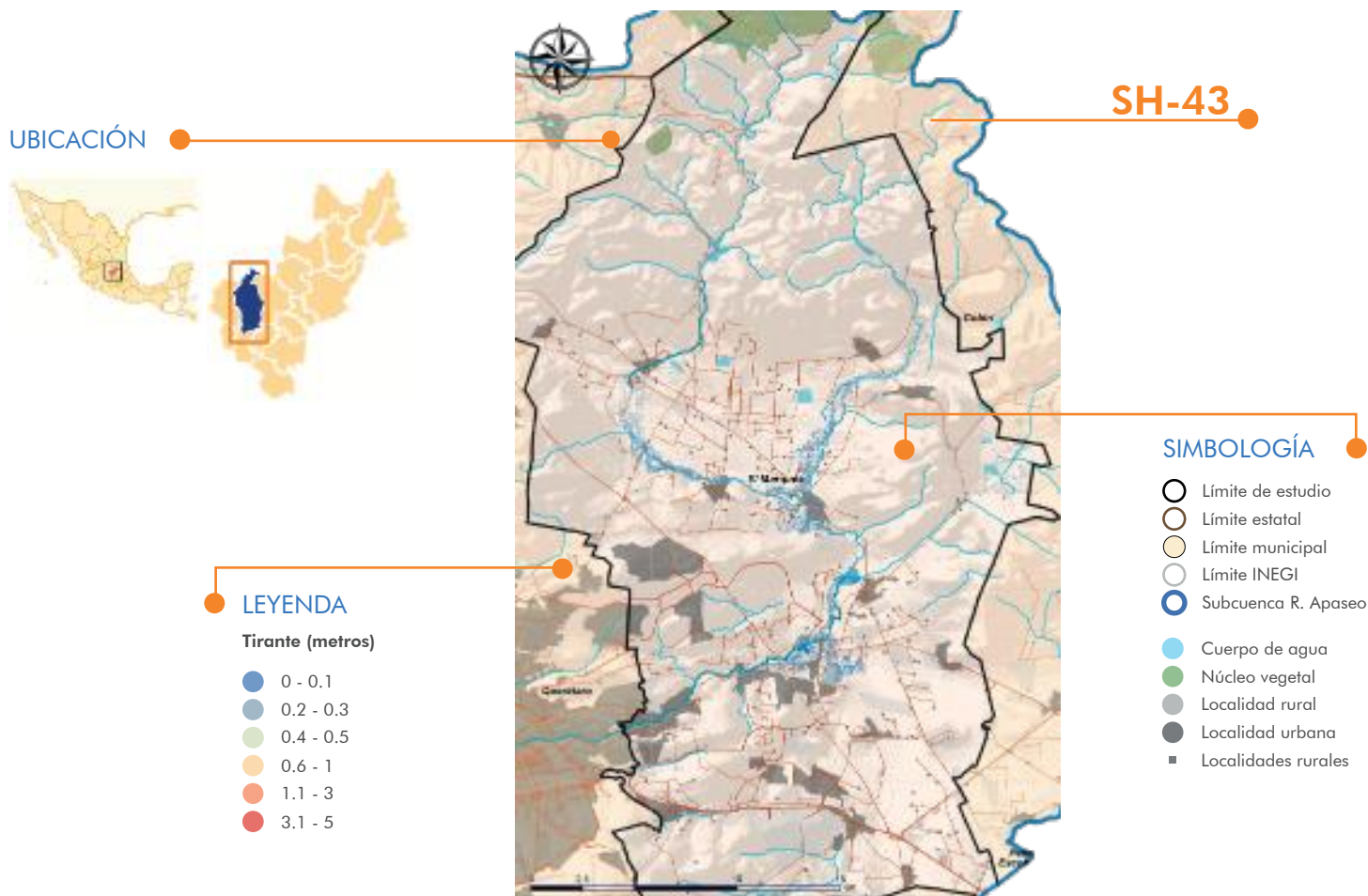
MAPA 42

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 250 AÑOS



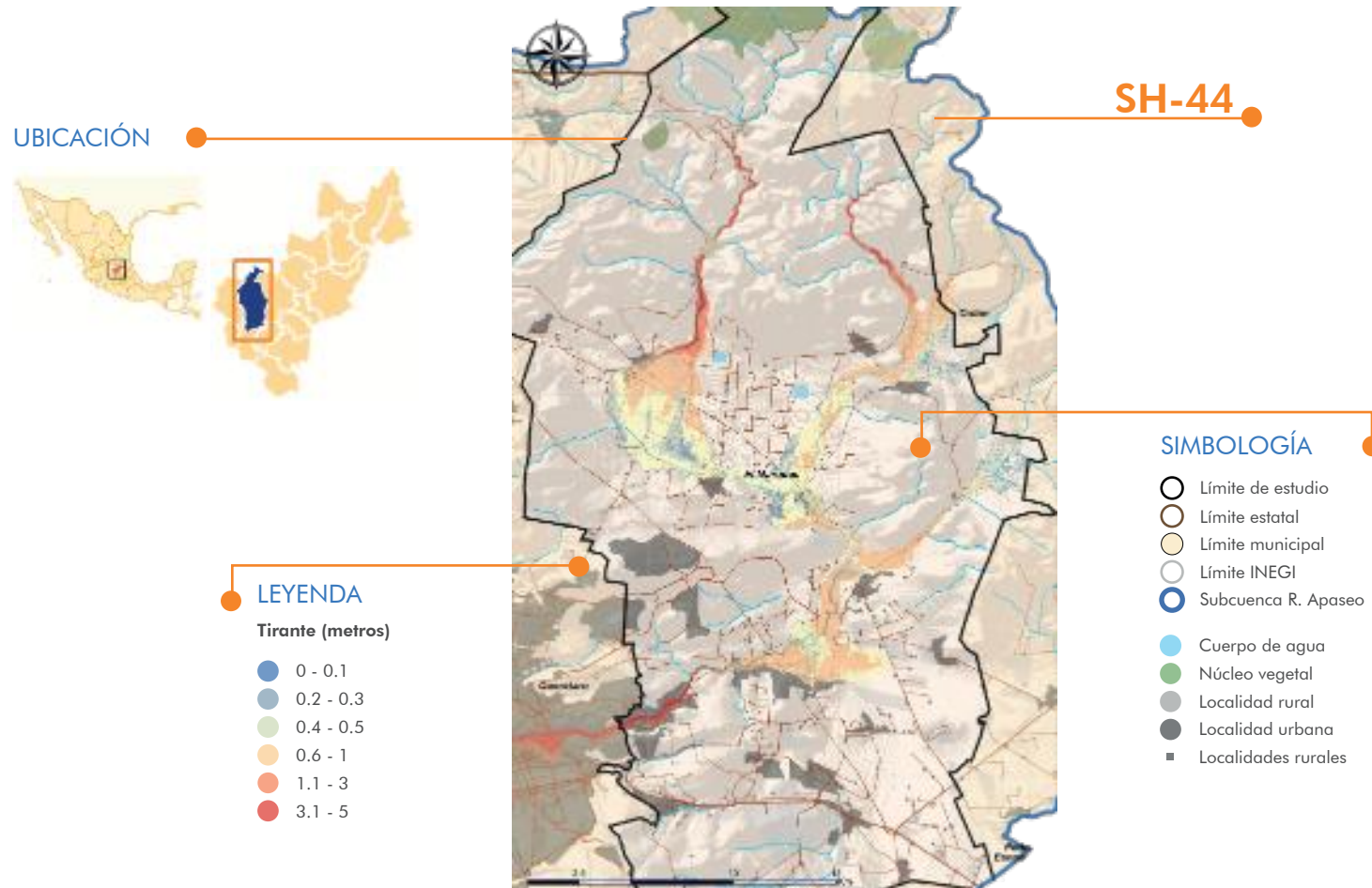
MAPA 43

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS



MAPA 44

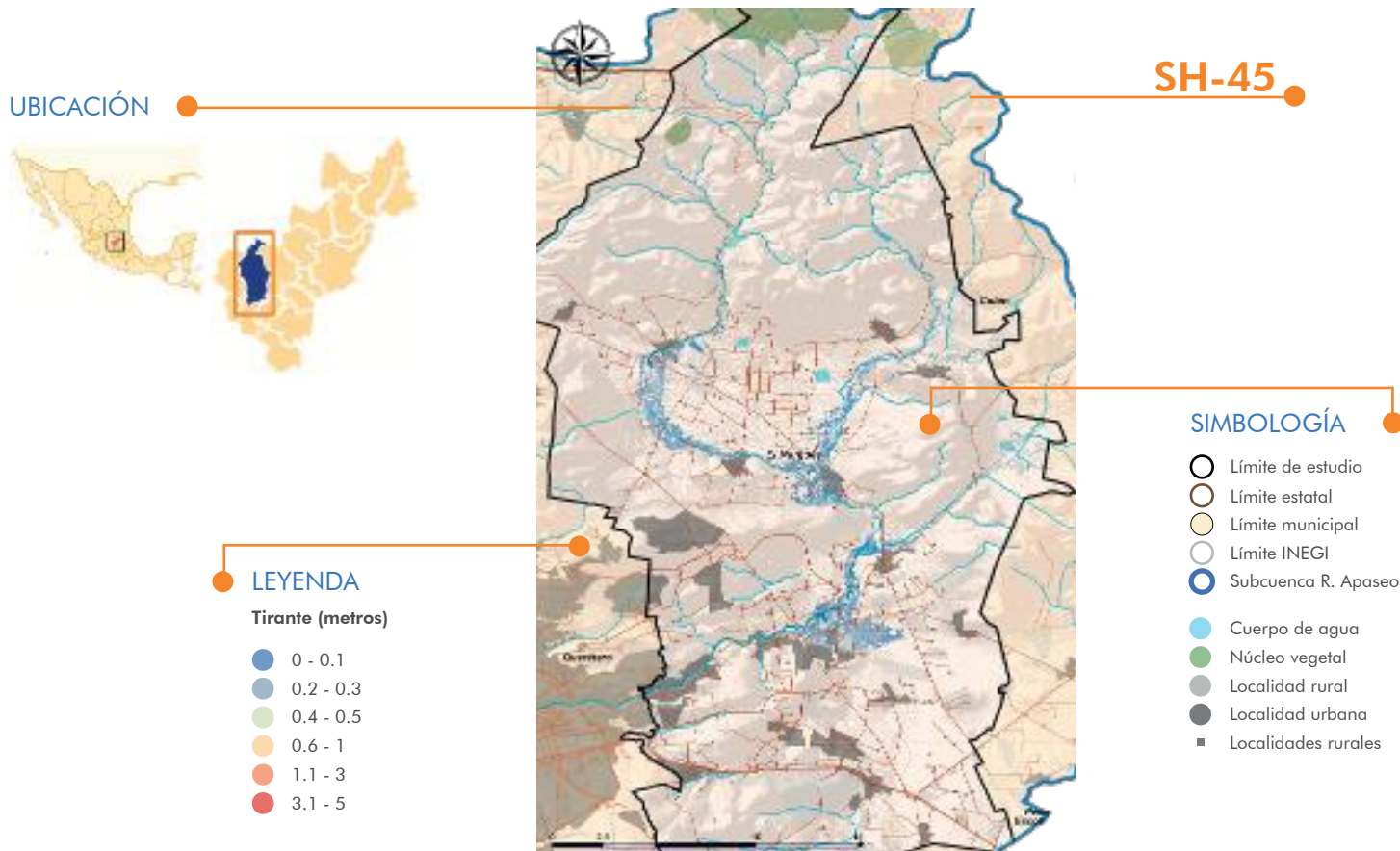
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA REGISTRADA



Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación *máxima*. Profundidad

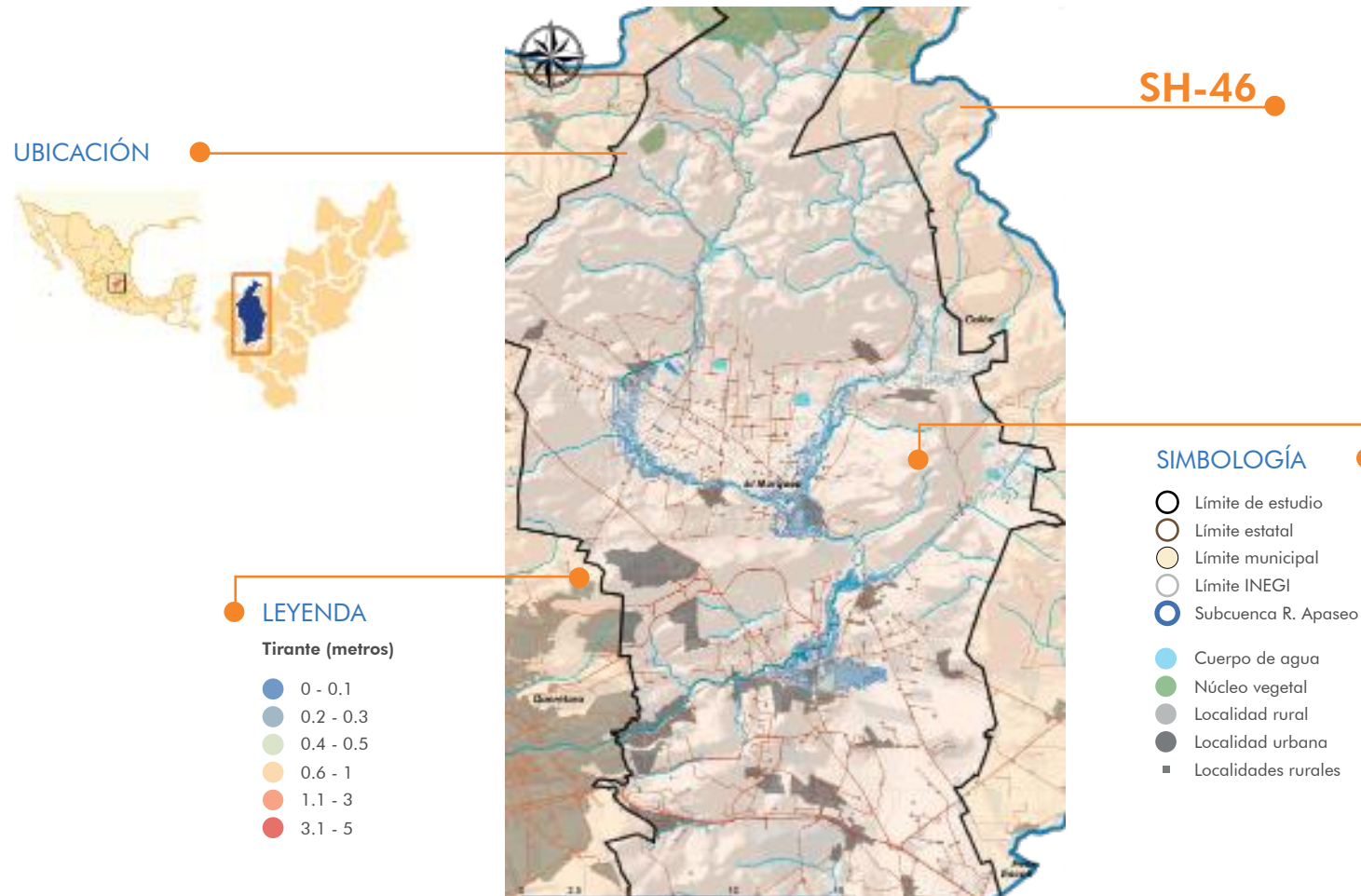
MAPA 45

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 2 AÑOS



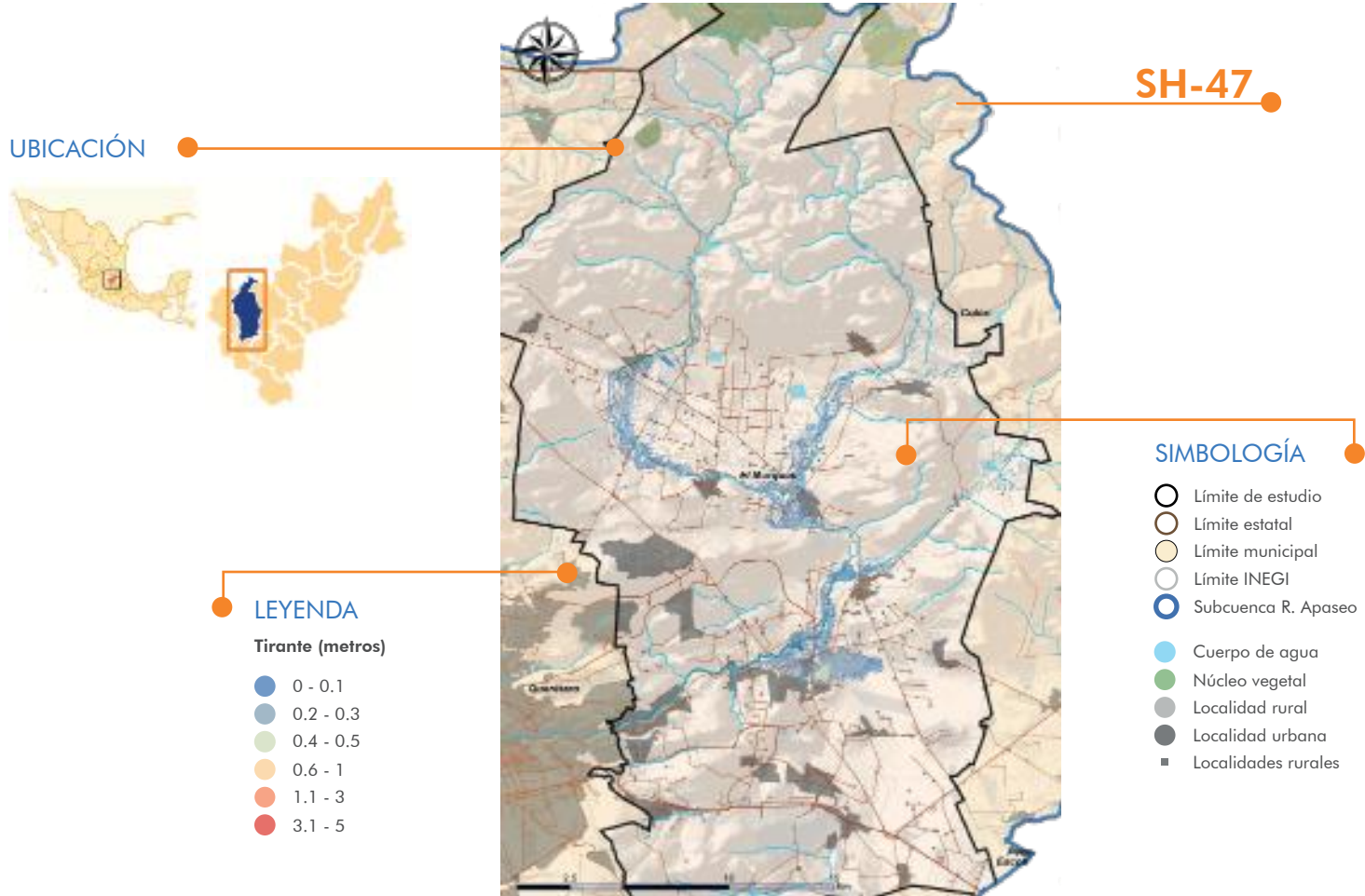
MAPA 46

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS



MAPA 47

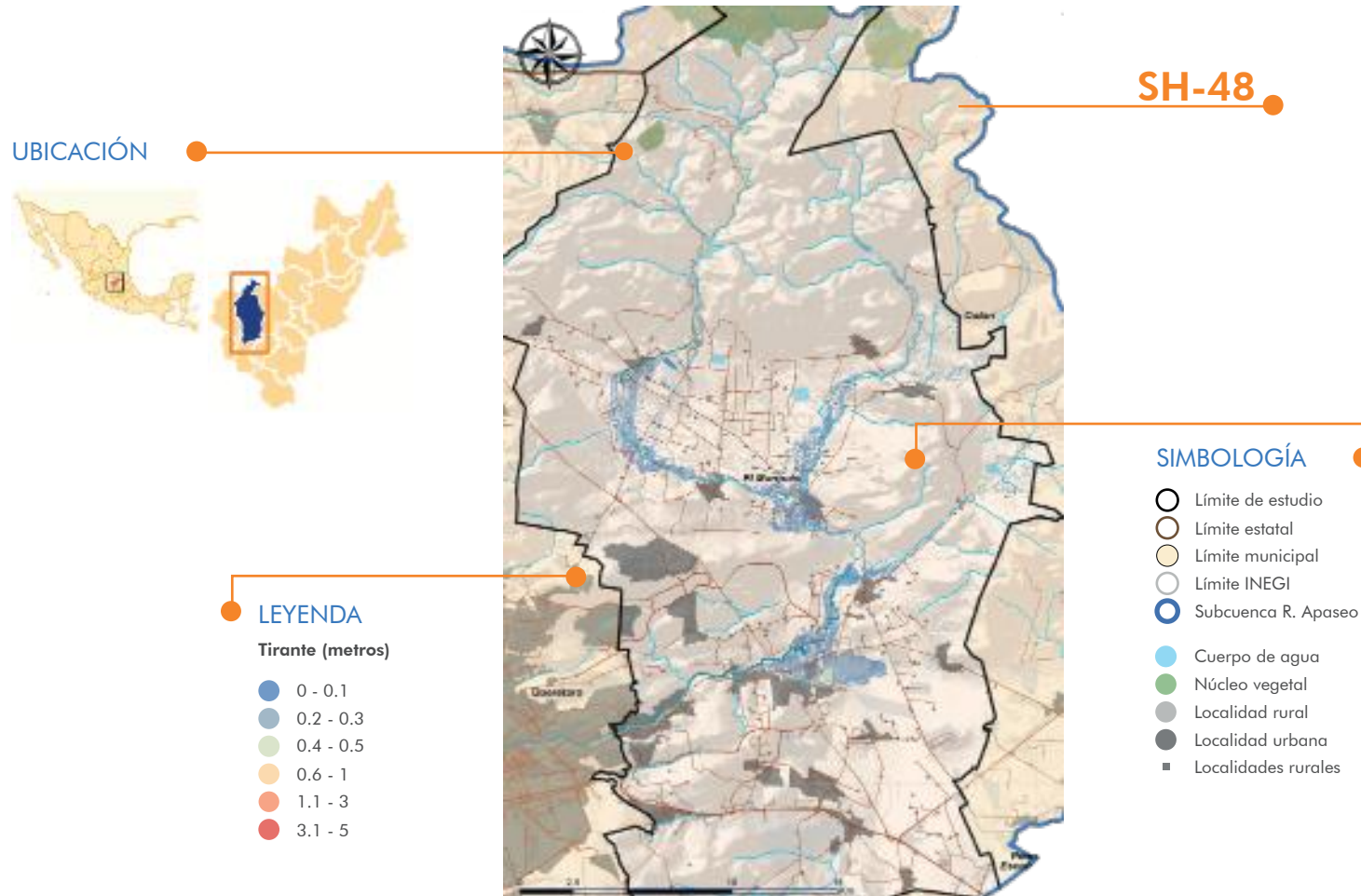
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con método geostatístico propuesto alineado a la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED, 2016

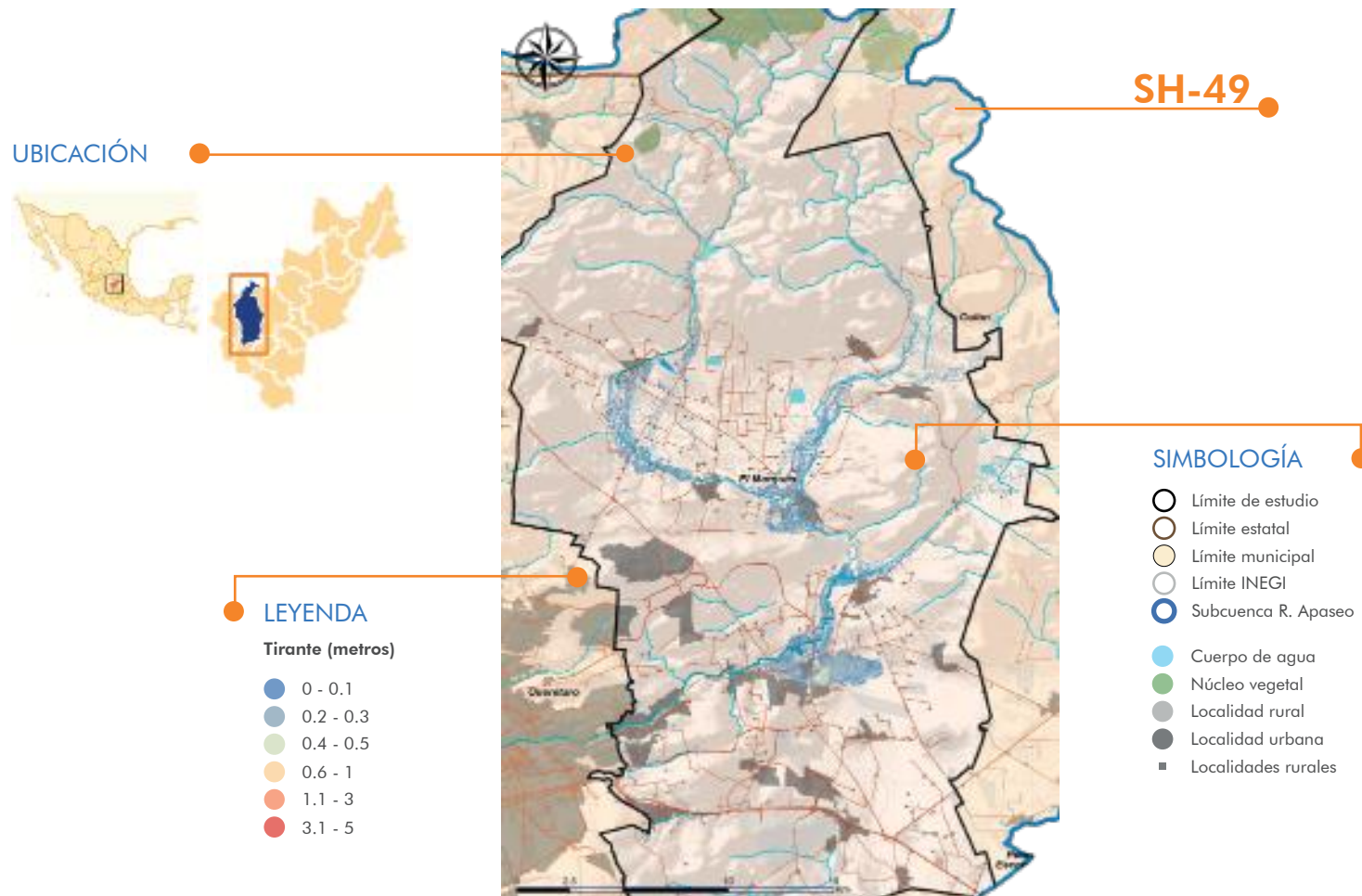
MAPA 48

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS



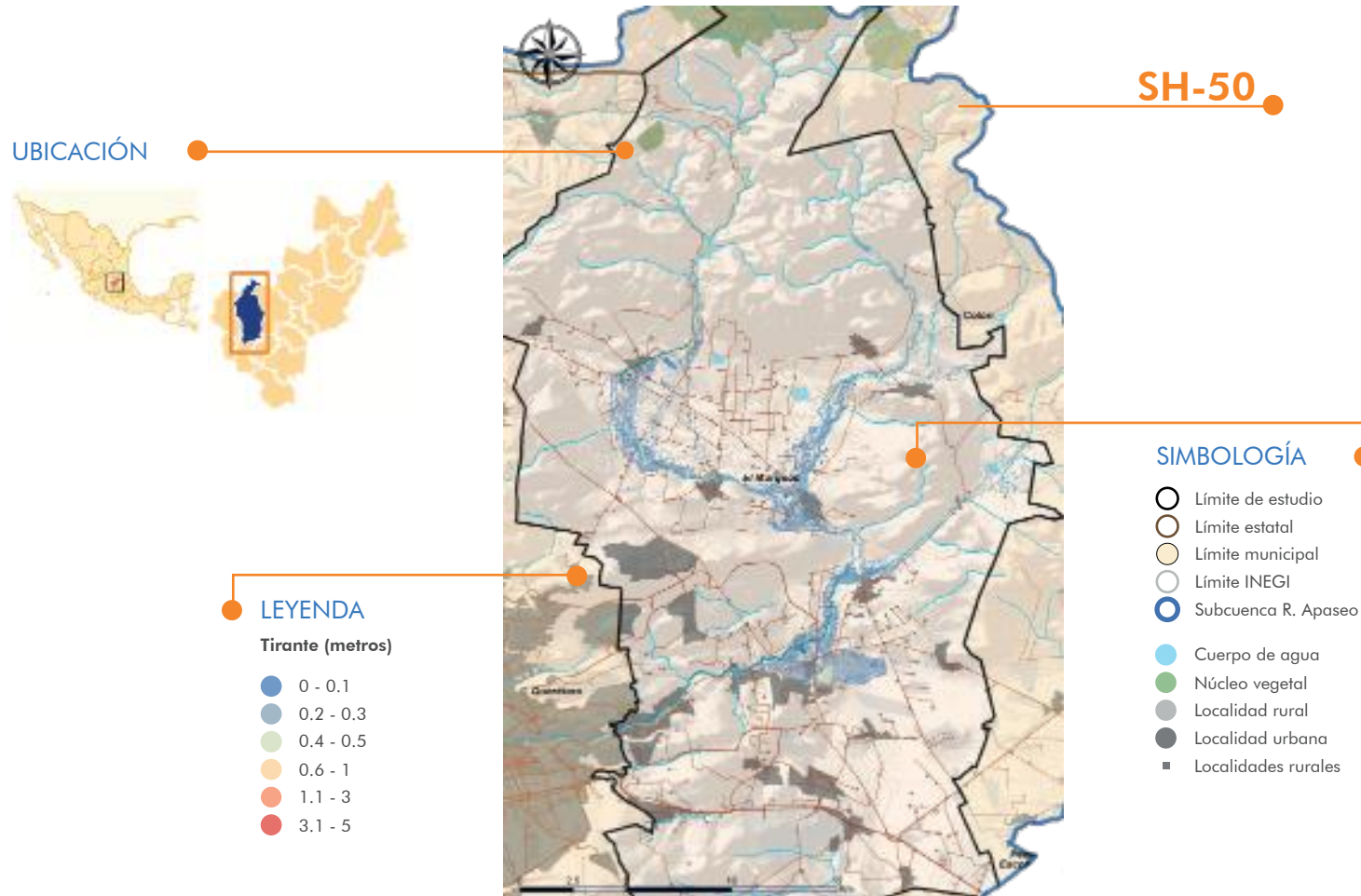
MAPA 49

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS



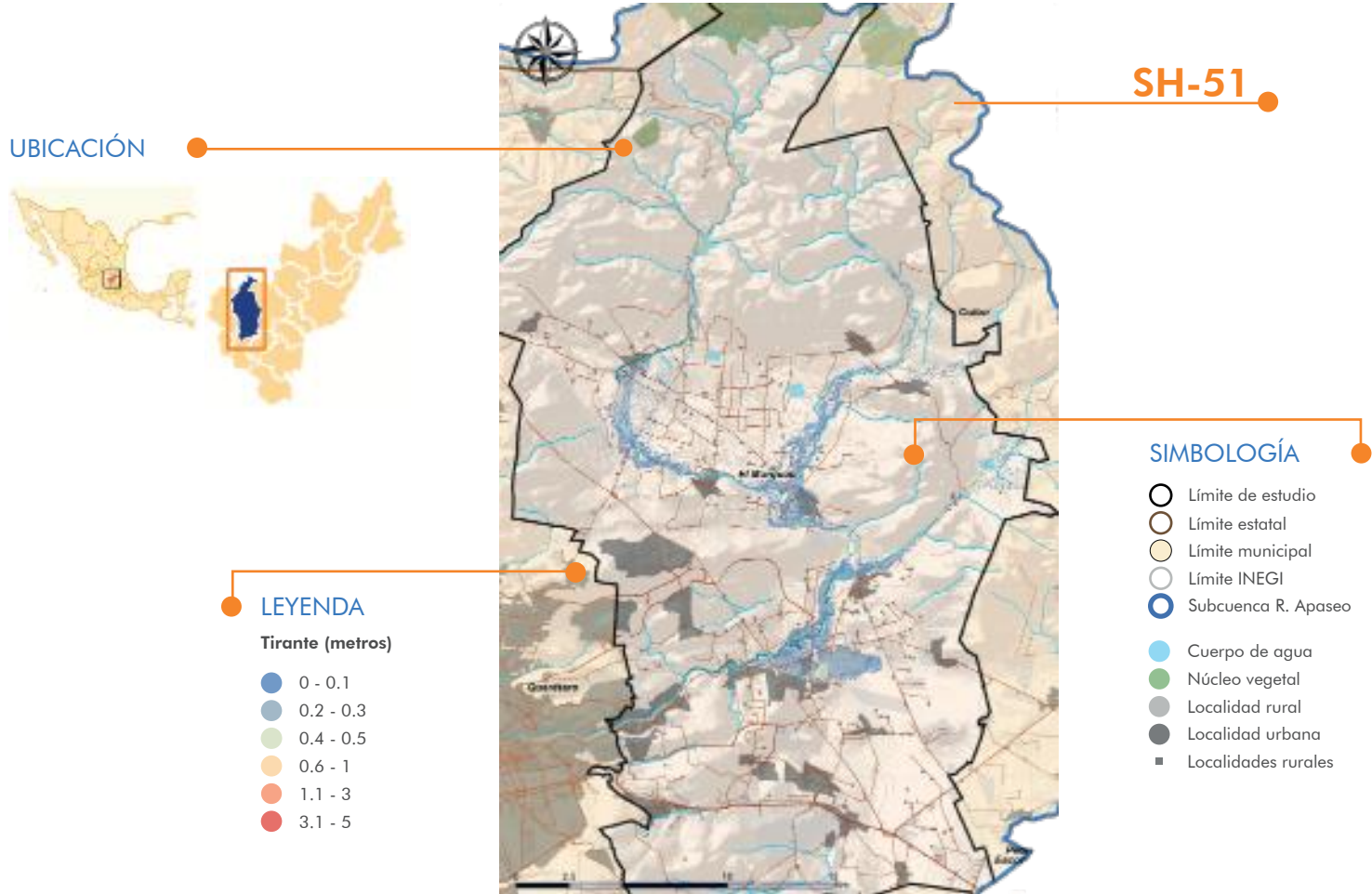
MAPA 50

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS



MAPA 51

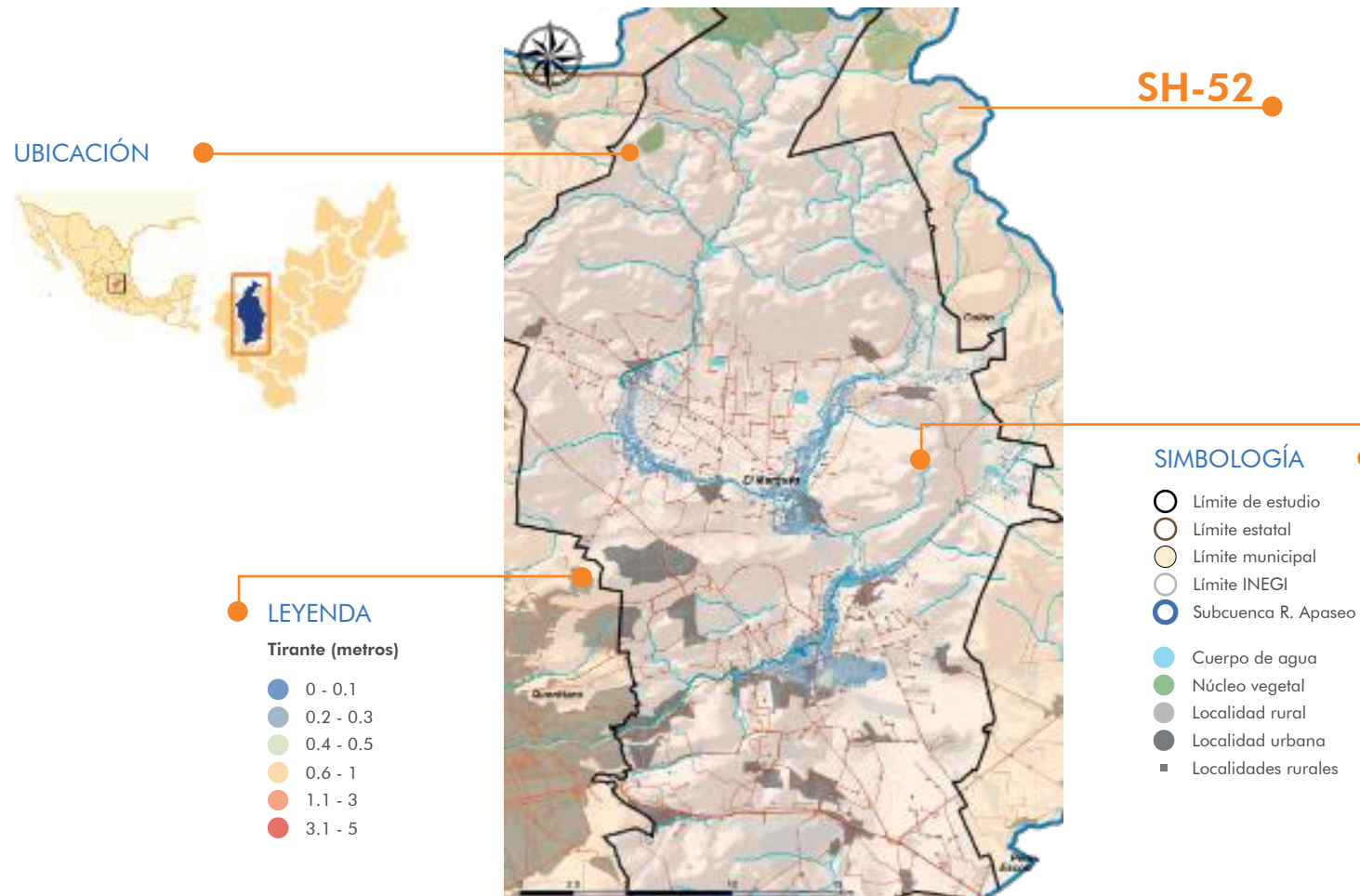
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 250 AÑOS



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con método geoestadístico propuesto alineado a la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED, 2016

MAPA 52

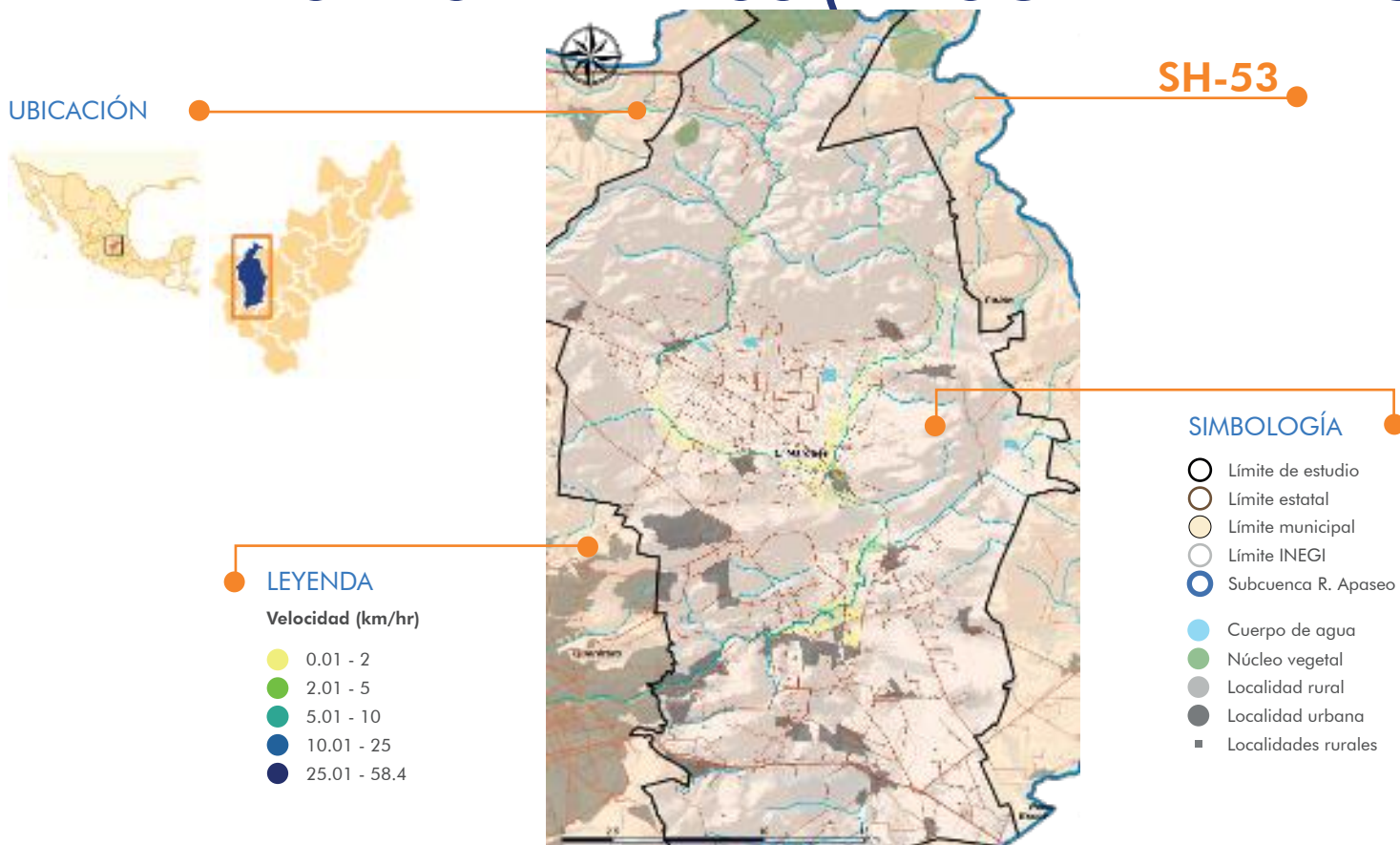
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS



Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación **media**.
Velocidad

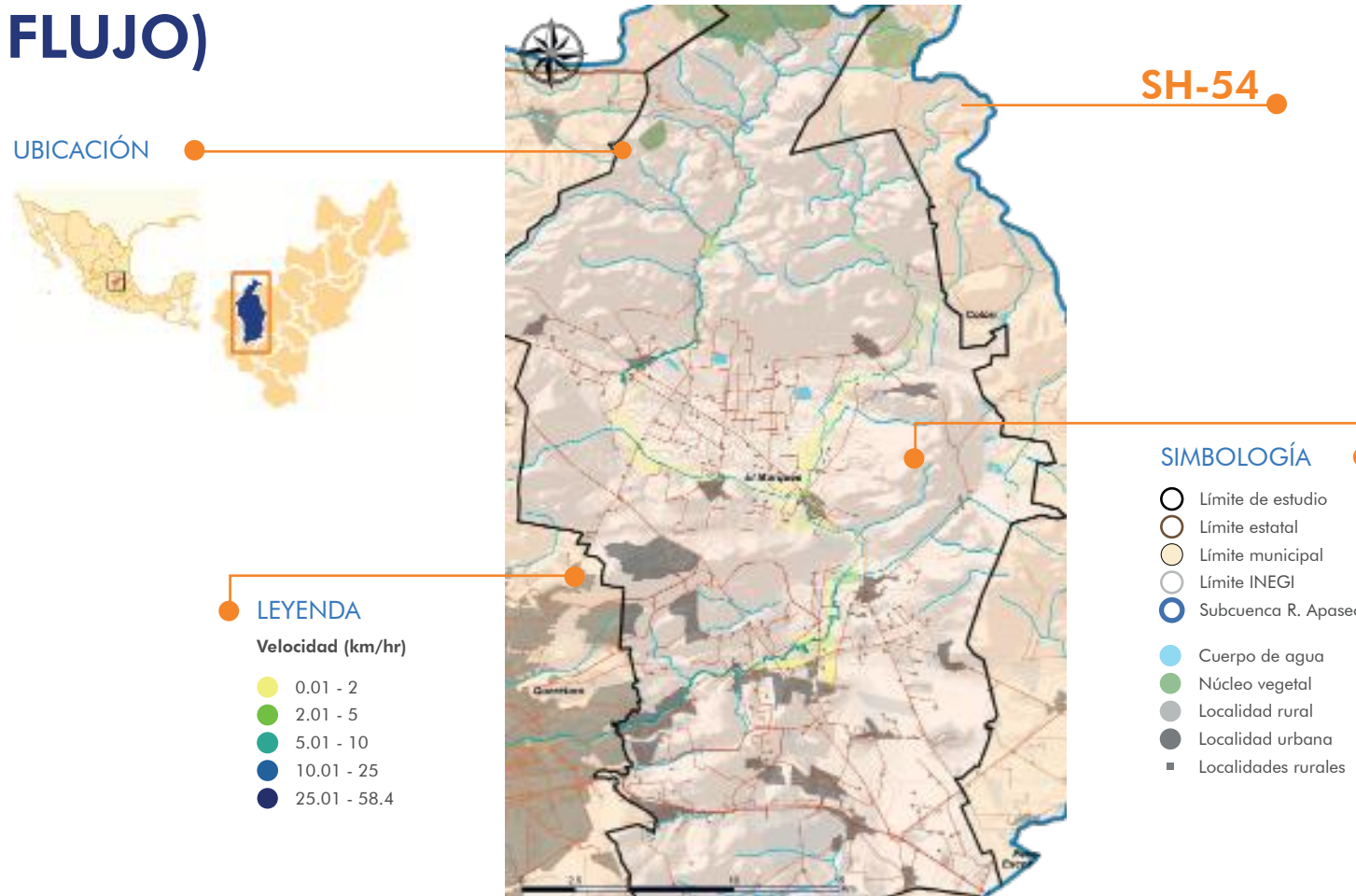
MAPA 53

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 2 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



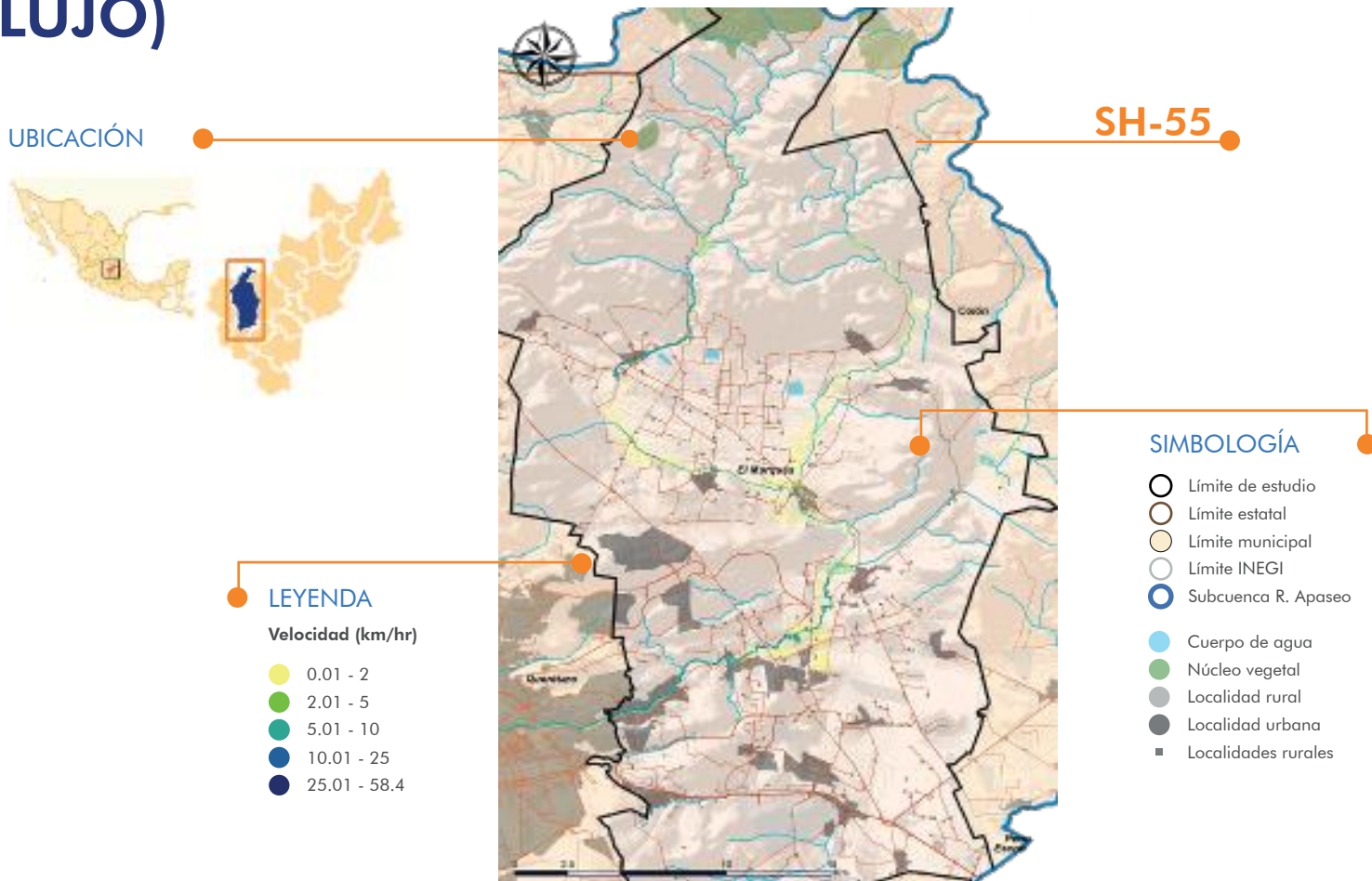
MAPA 54

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



MAPA 55

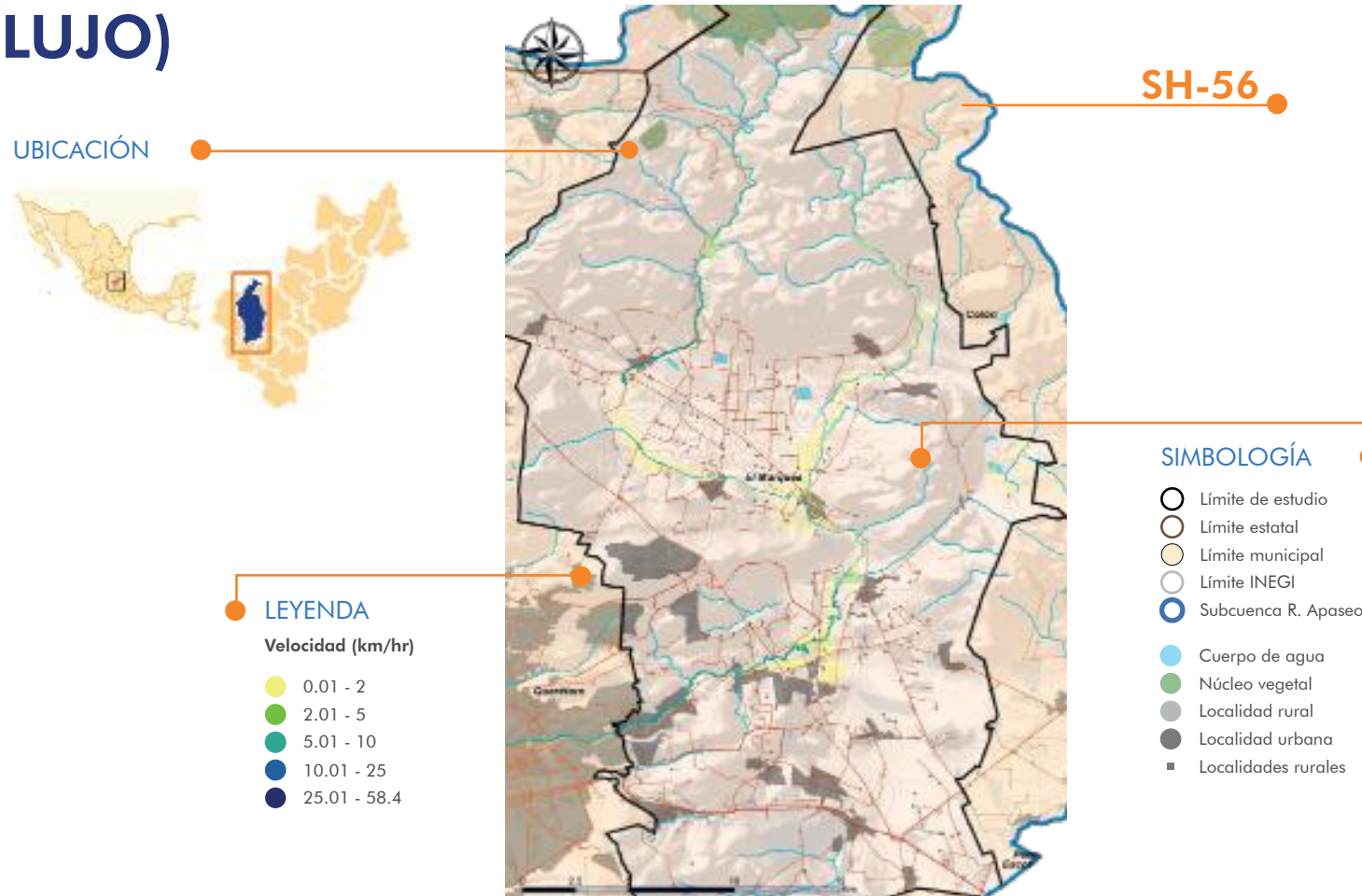
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



Fuente: Elaborado por Soluciones SIG con método geoestadístico propuesto alineado a la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED, 2016

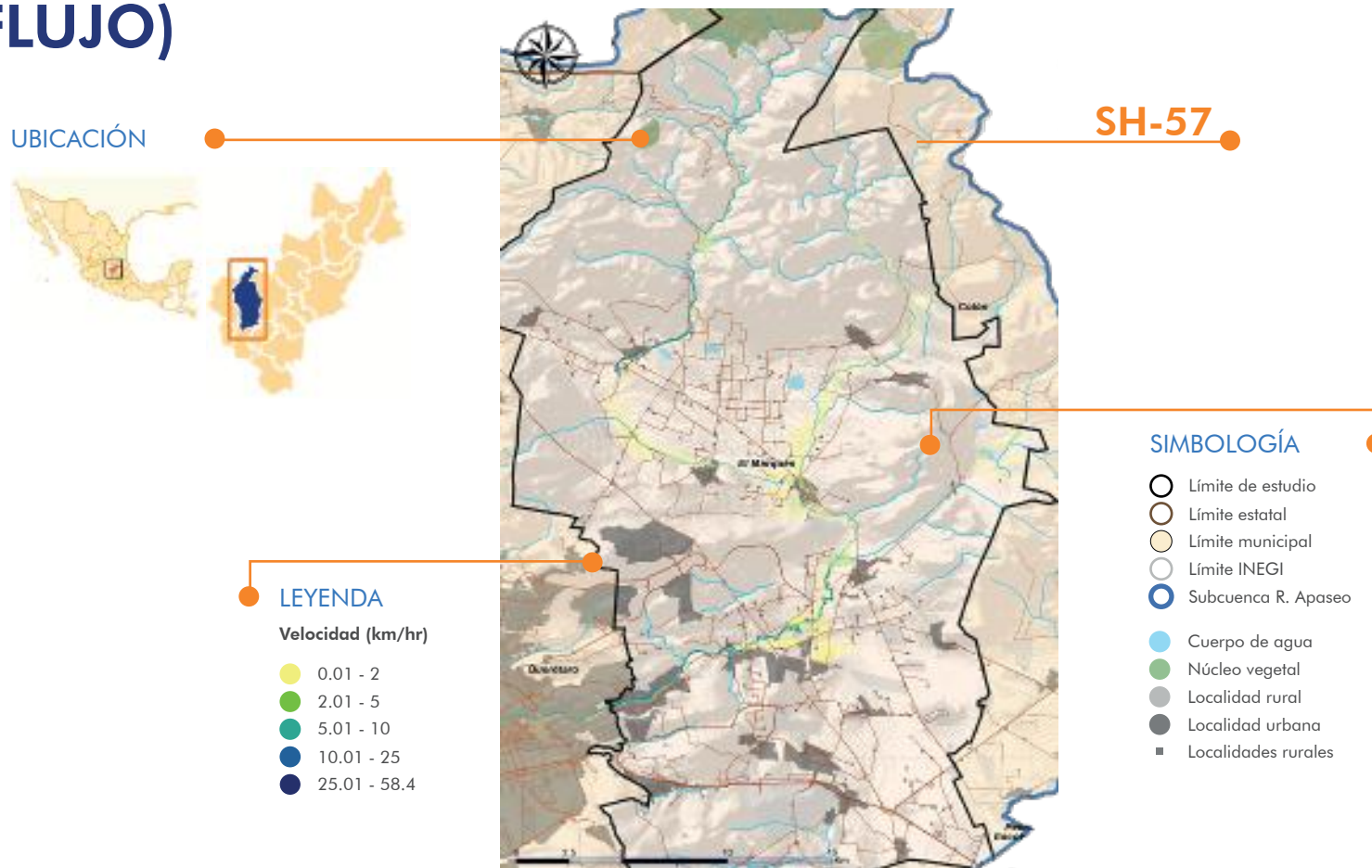
MAPA 56

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



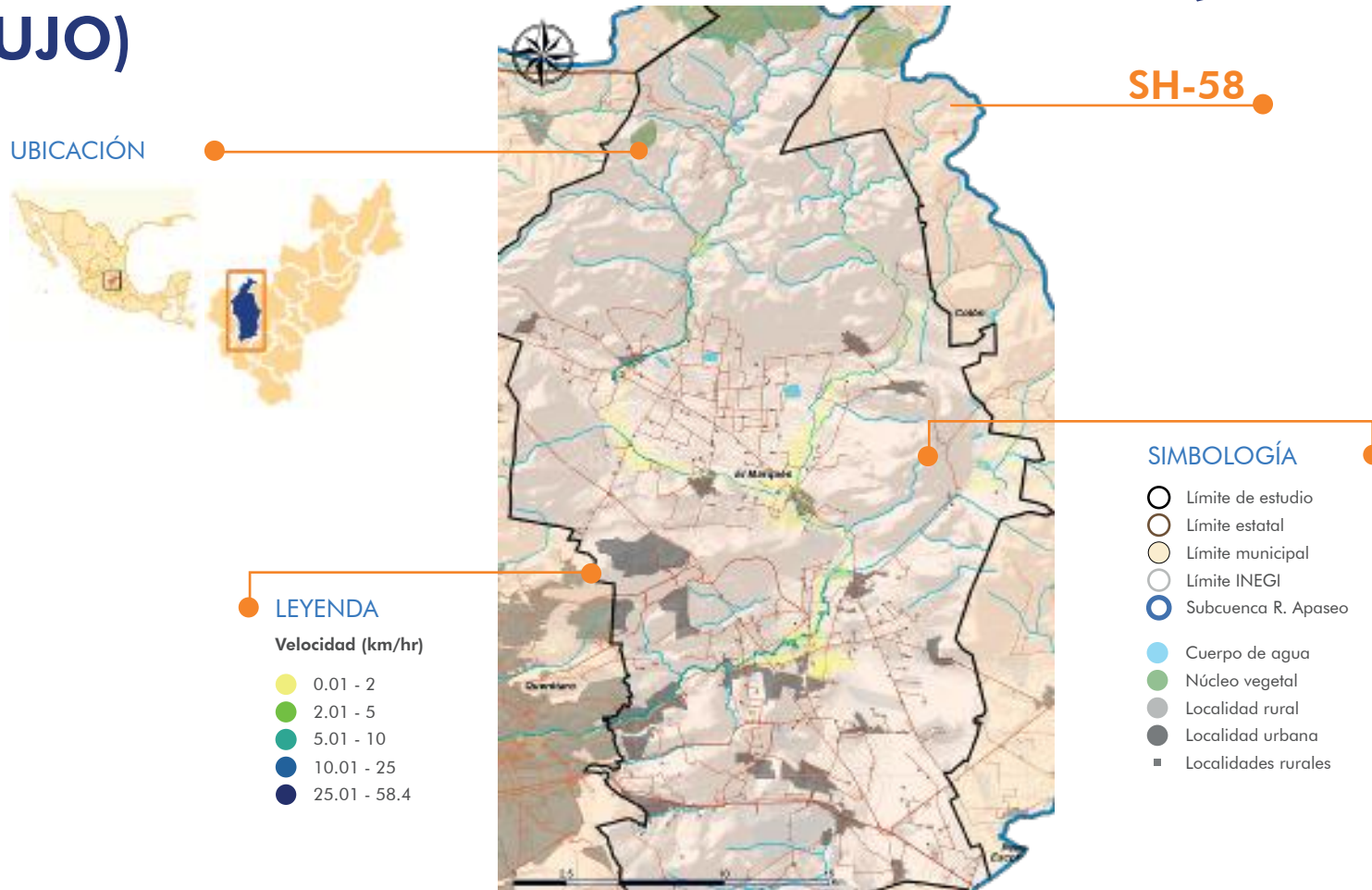
MAPA 57

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



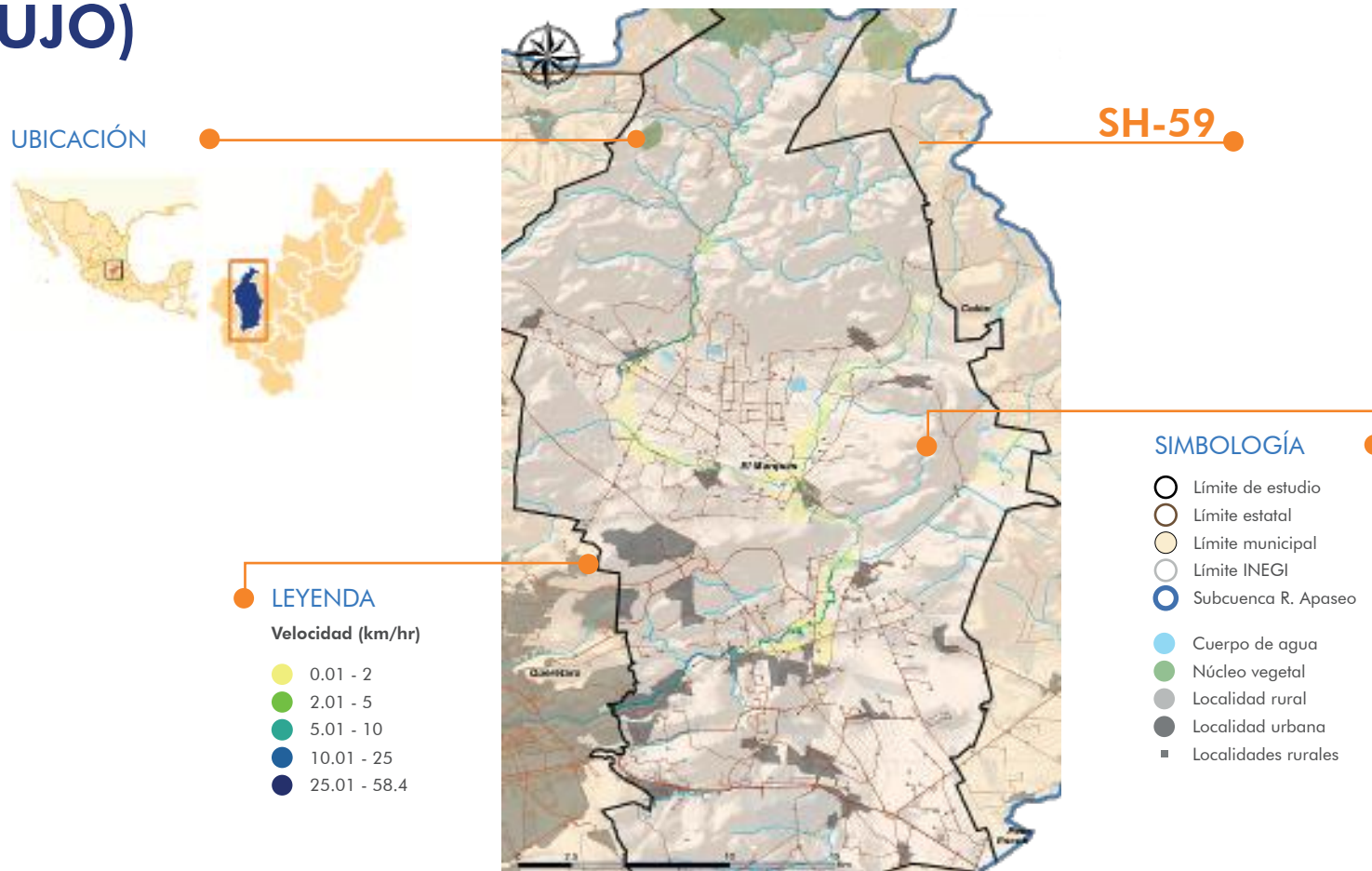
MAPA 58

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



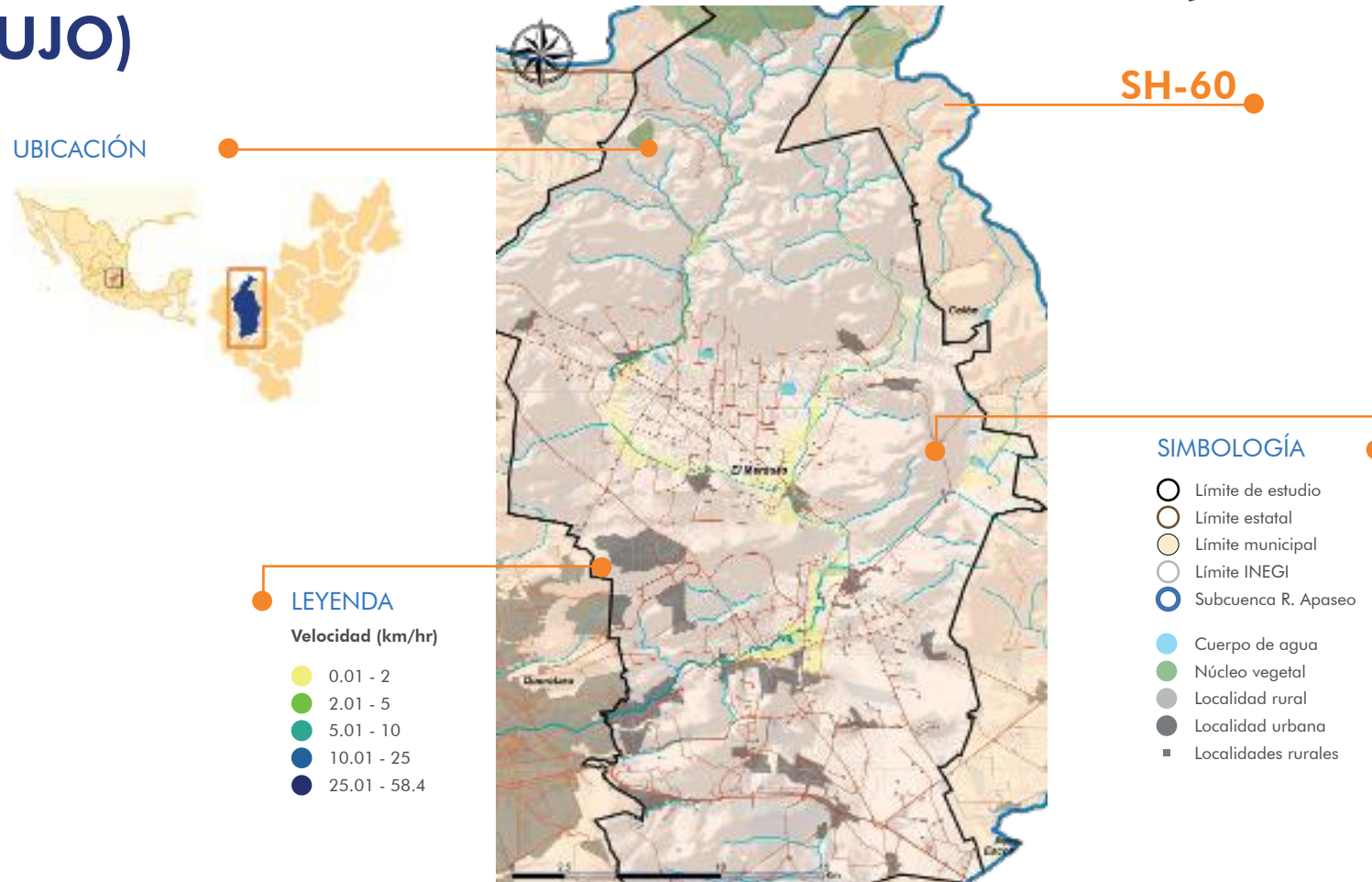
MAPA 59

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 250 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



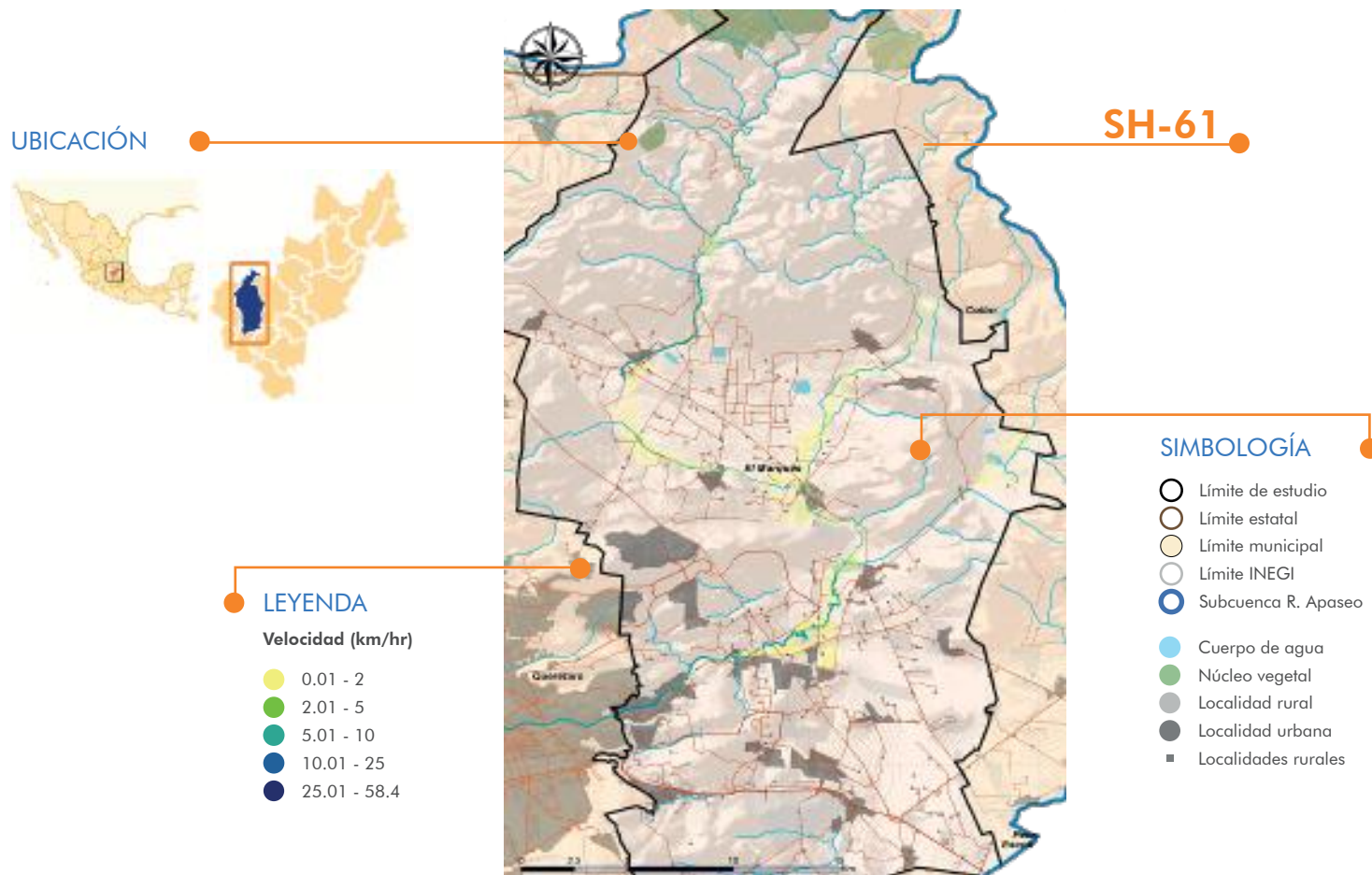
MAPA 60

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



MAPA 61

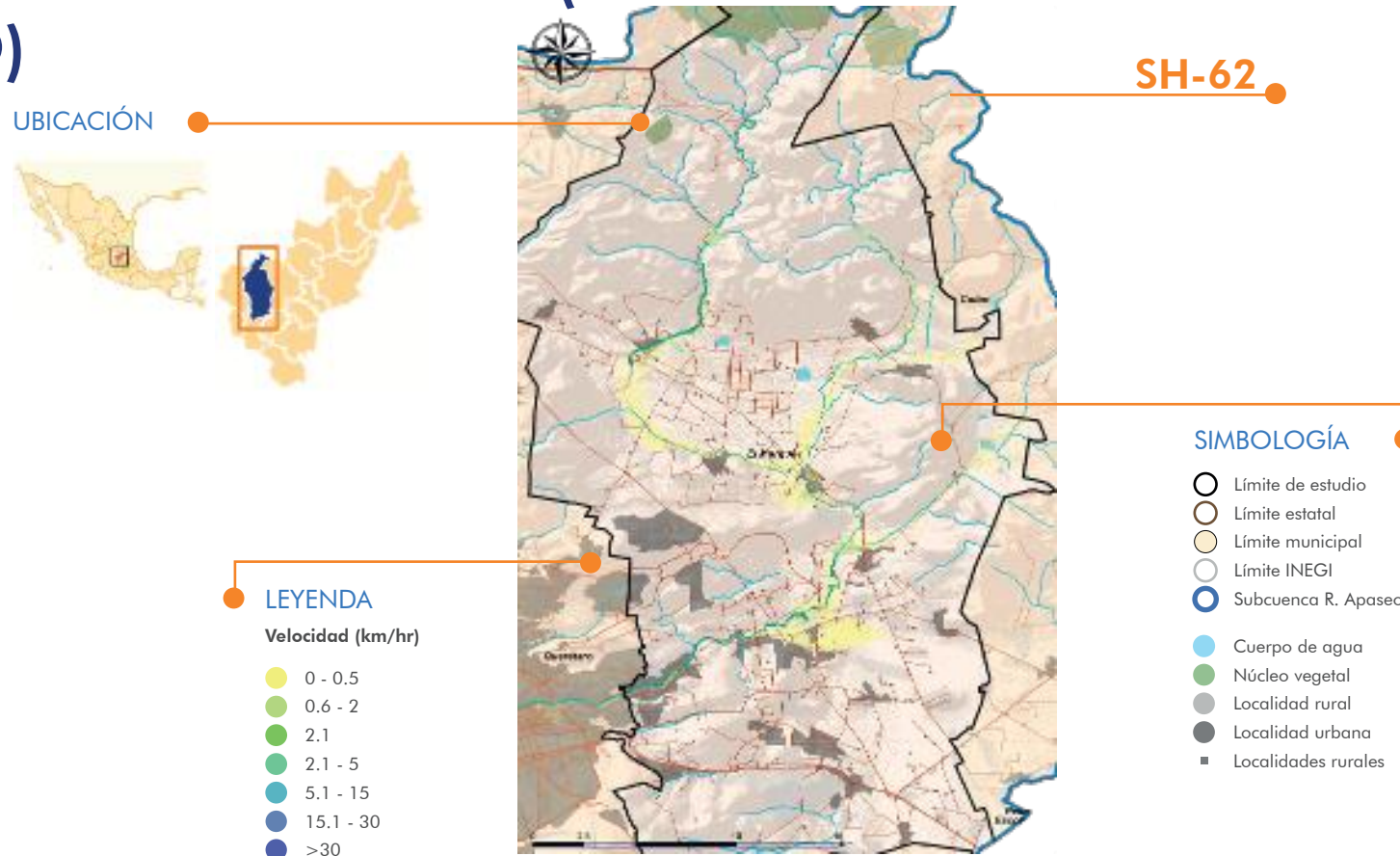
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA REGISTRADA (VELOCIDAD DE FLUJO)



MAPA 62

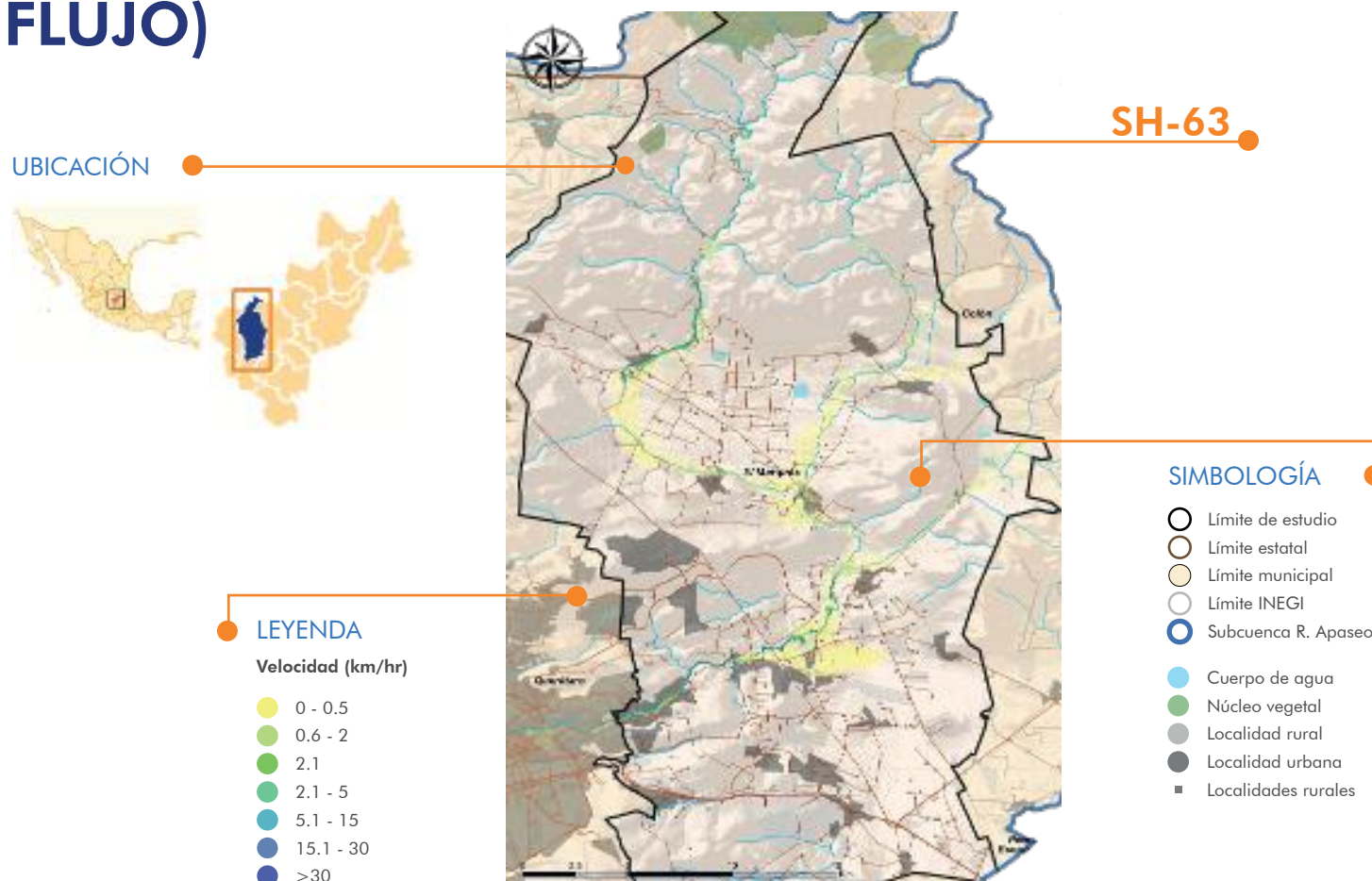
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 2 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)

**Peligro por inundación
calculado para las
proyecciones de
precipitación *máxima*.
Velocidad**



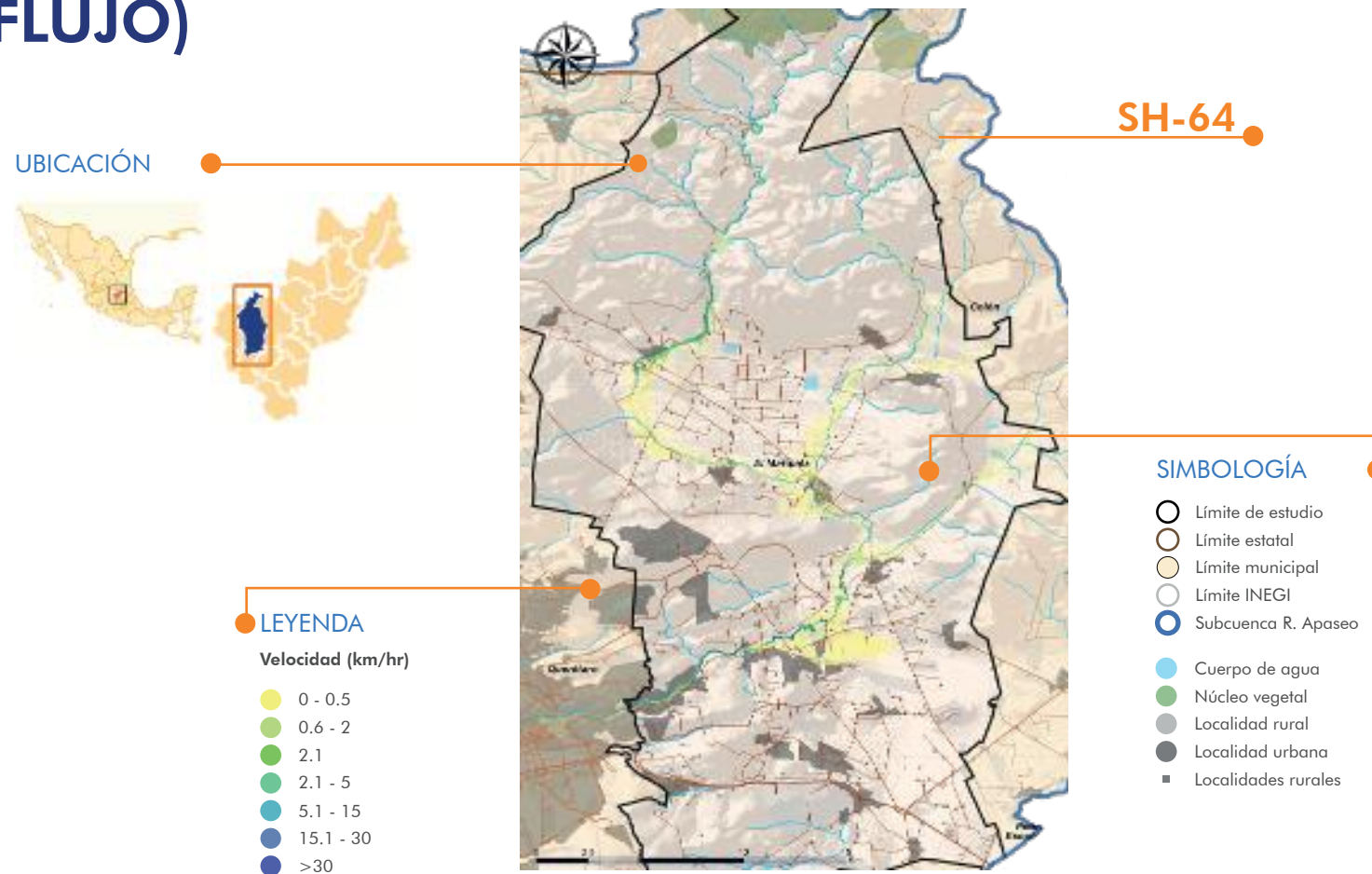
MAPA 63

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



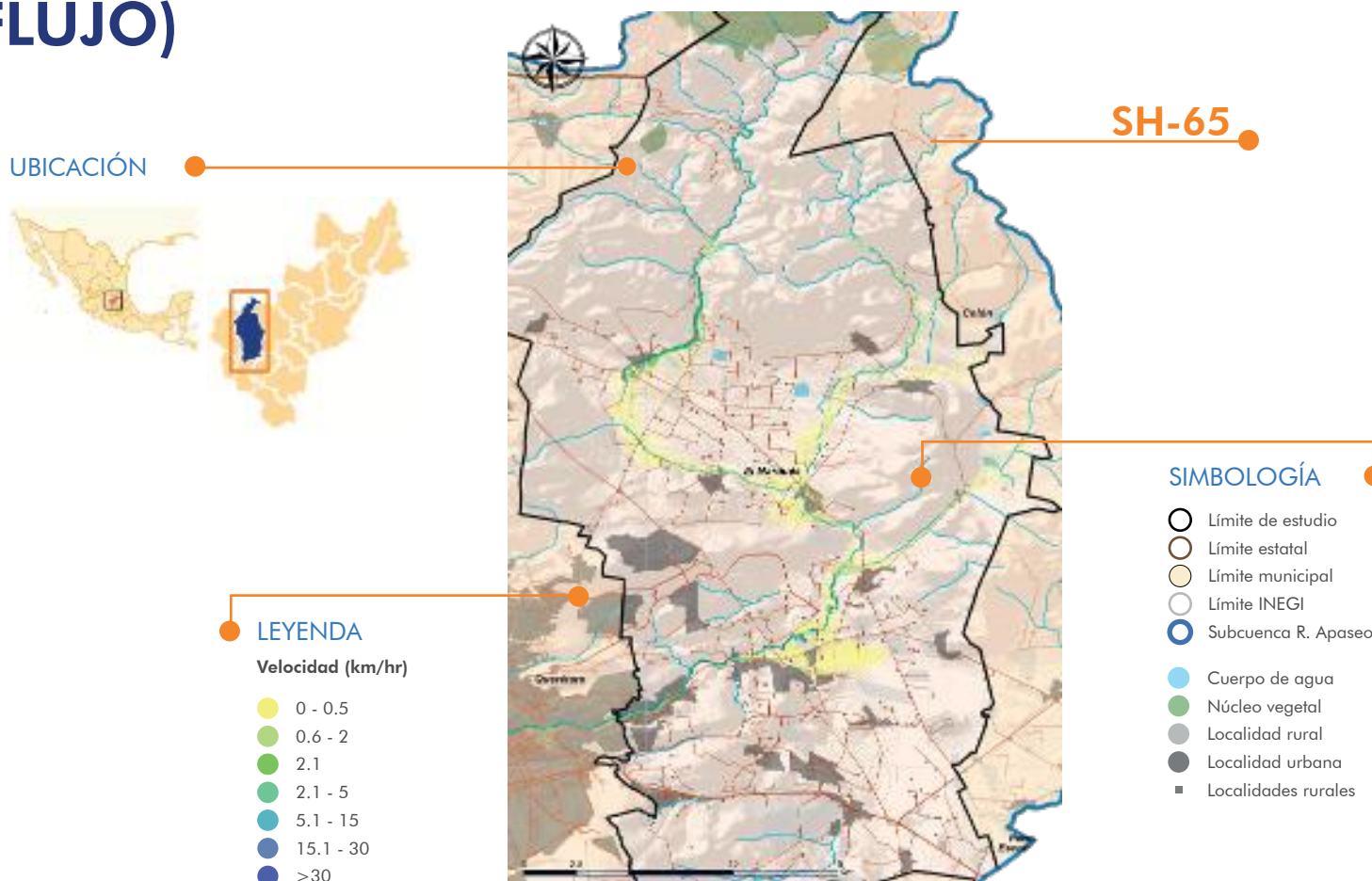
MAPA 64

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



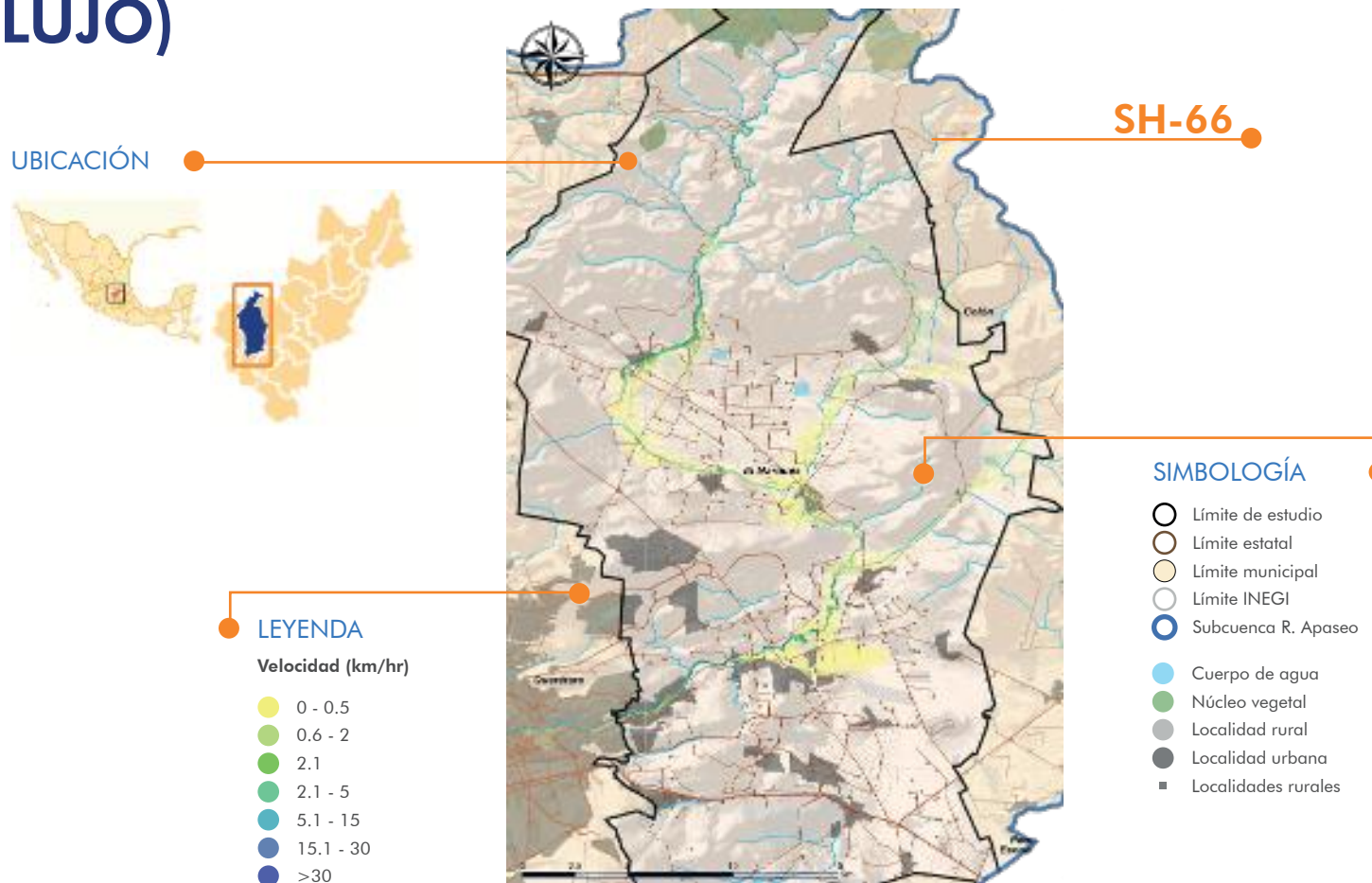
MAPA 65

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



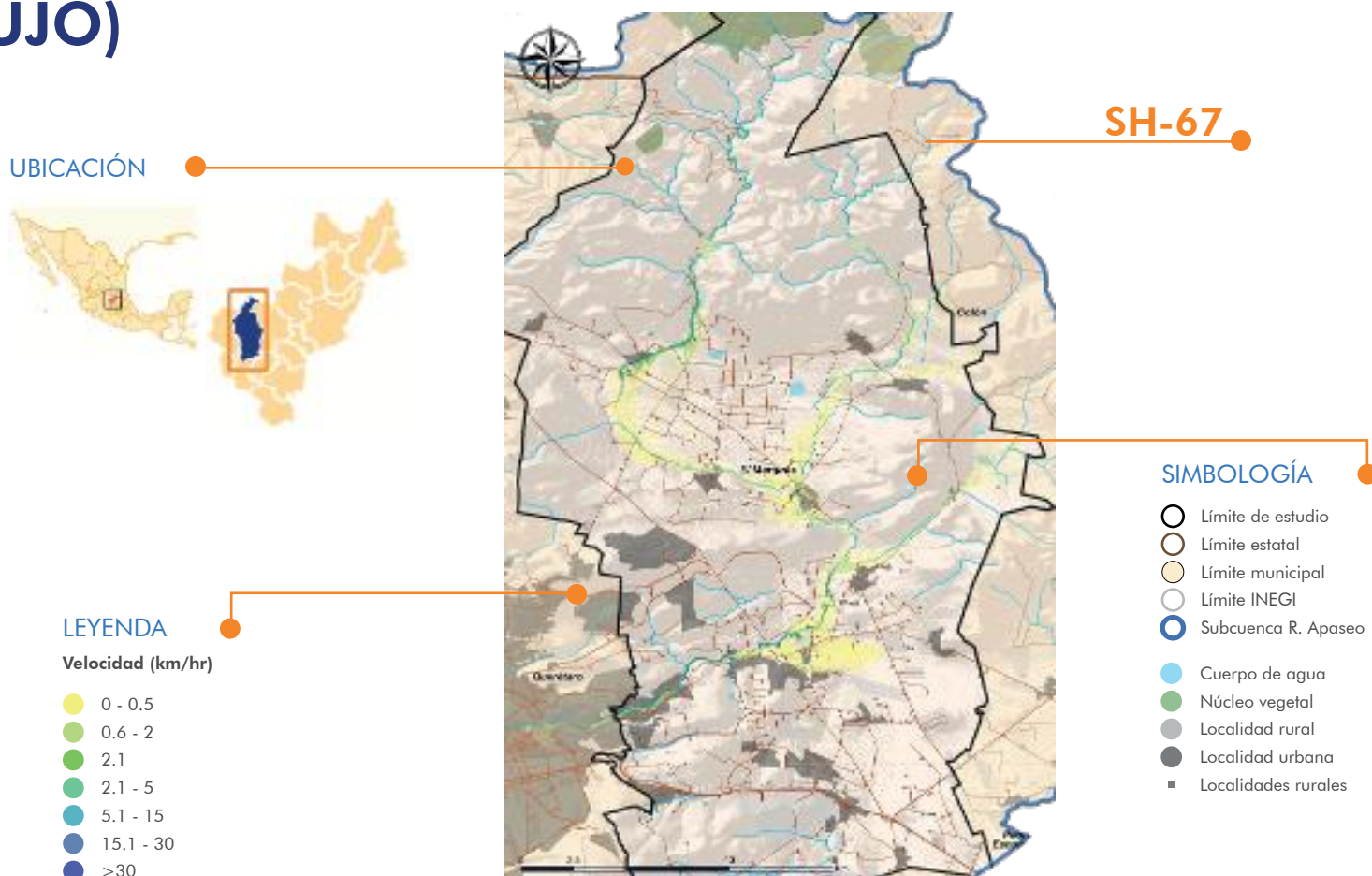
MAPA 66

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



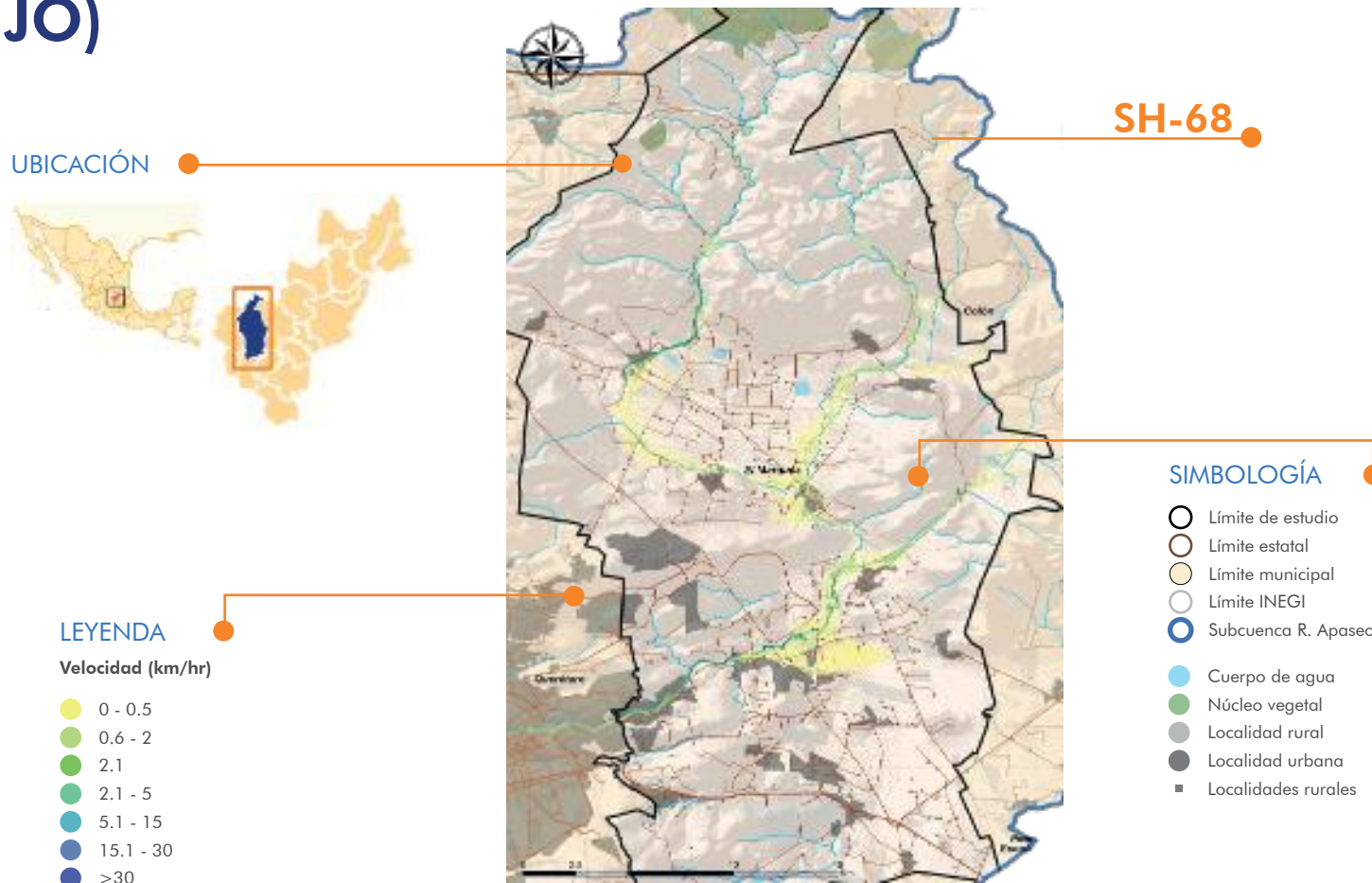
MAPA 67

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



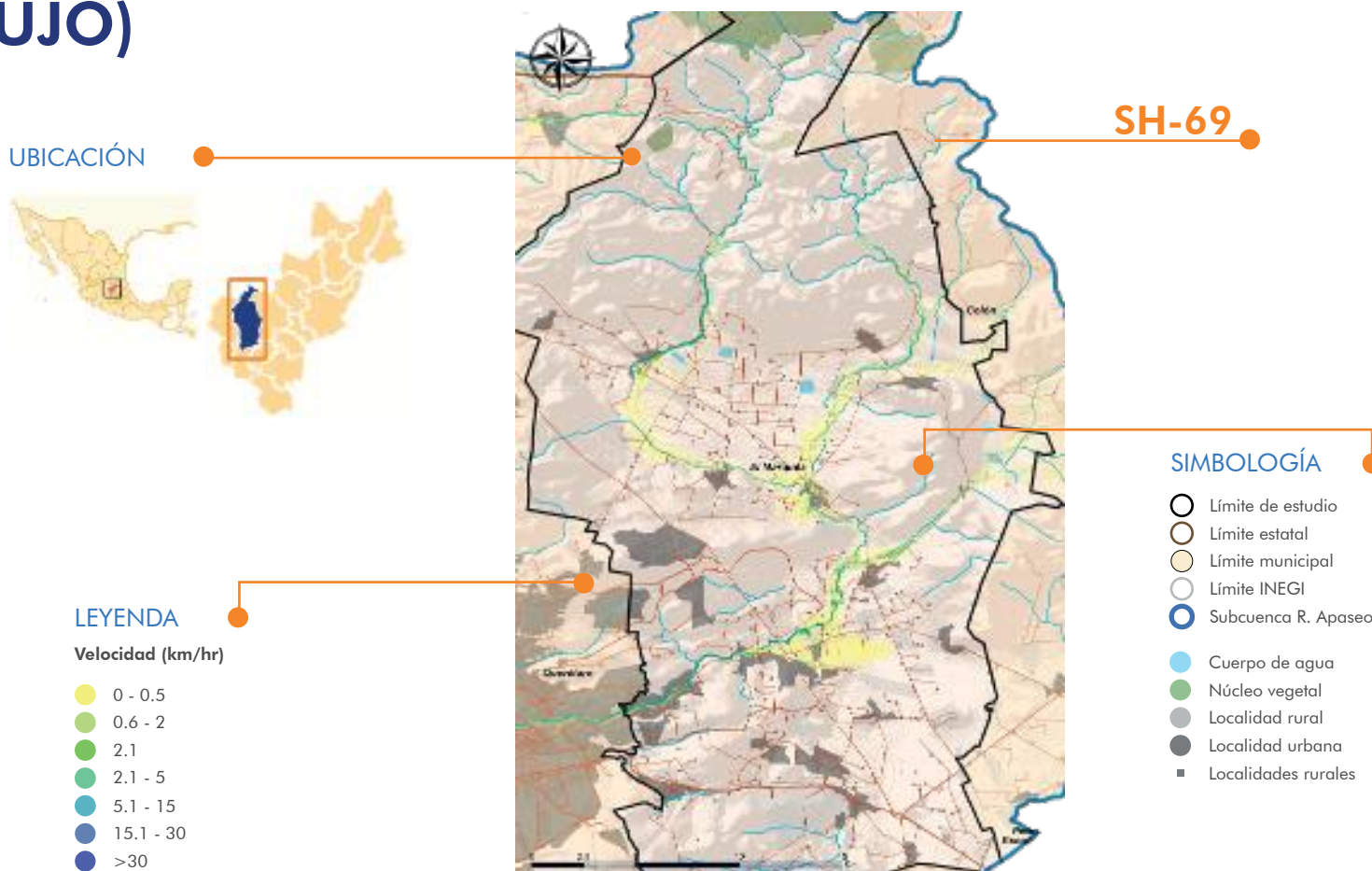
MAPA 68

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 250 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



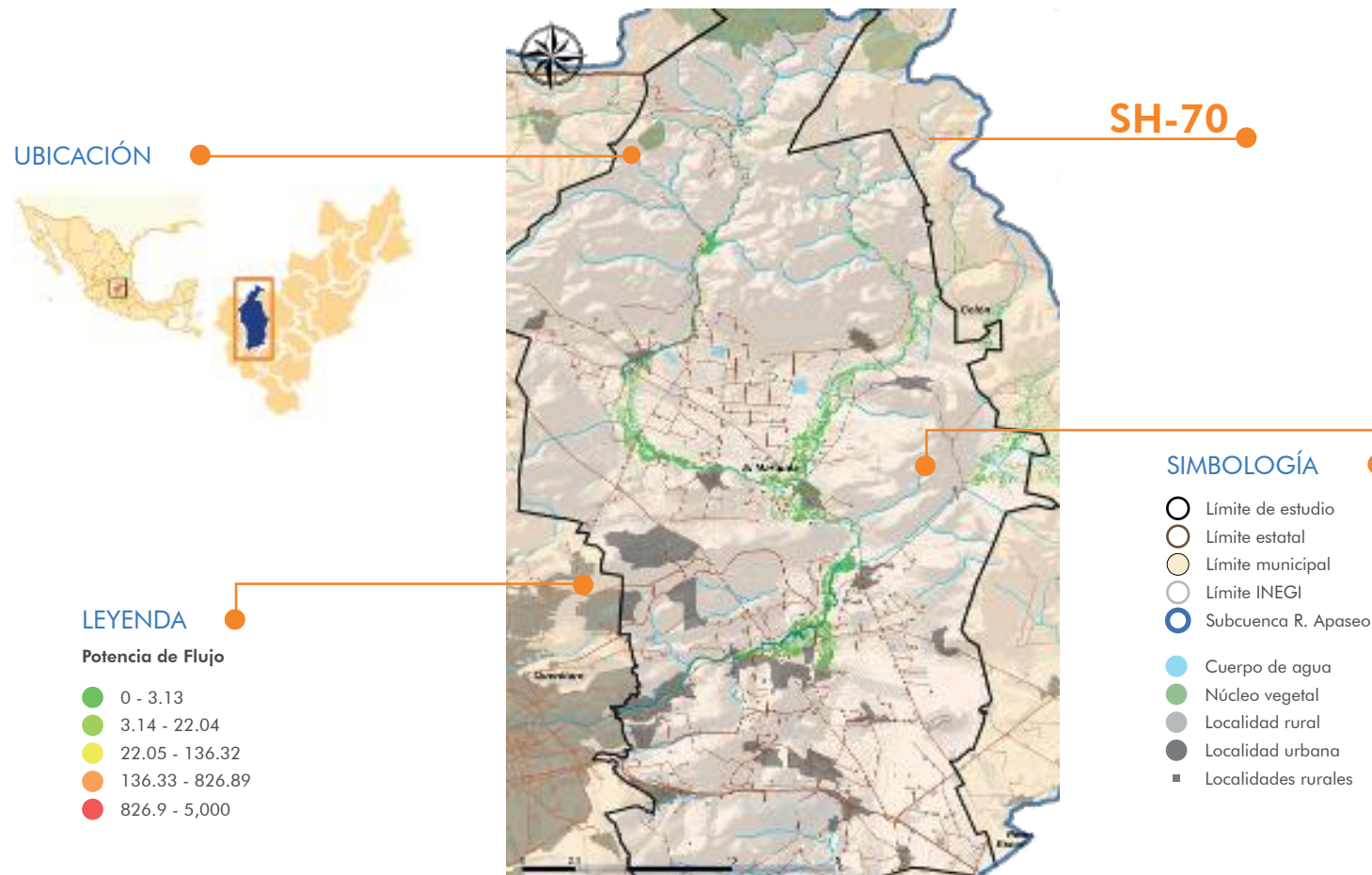
MAPA 69

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS (VELOCIDAD DE FLUJO)



MAPA 70

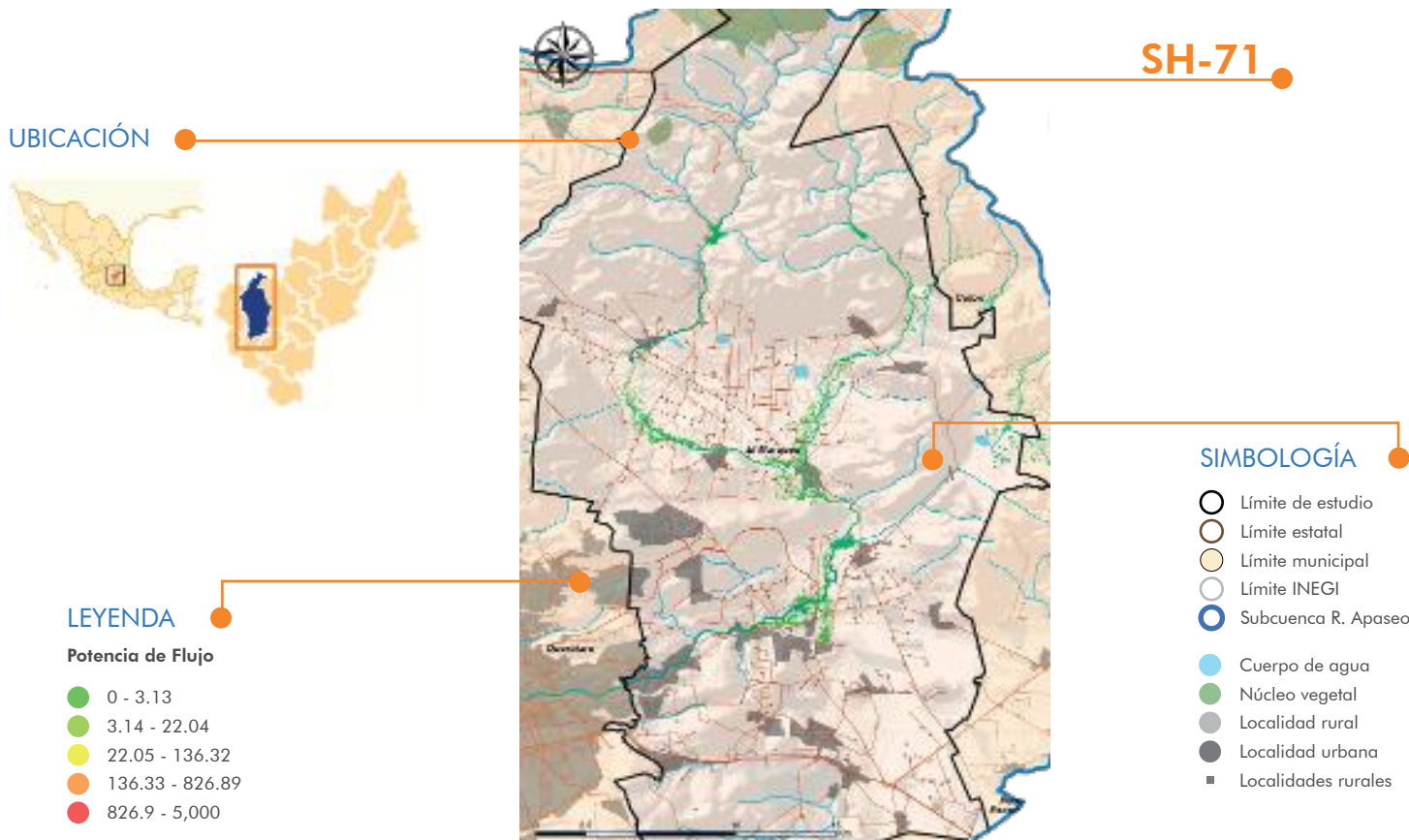
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA REGISTRADA (POTENCIA DE FLUJO)



Peligro por inundación calculado para las proyecciones de precipitación *media*. Potencia de flujo

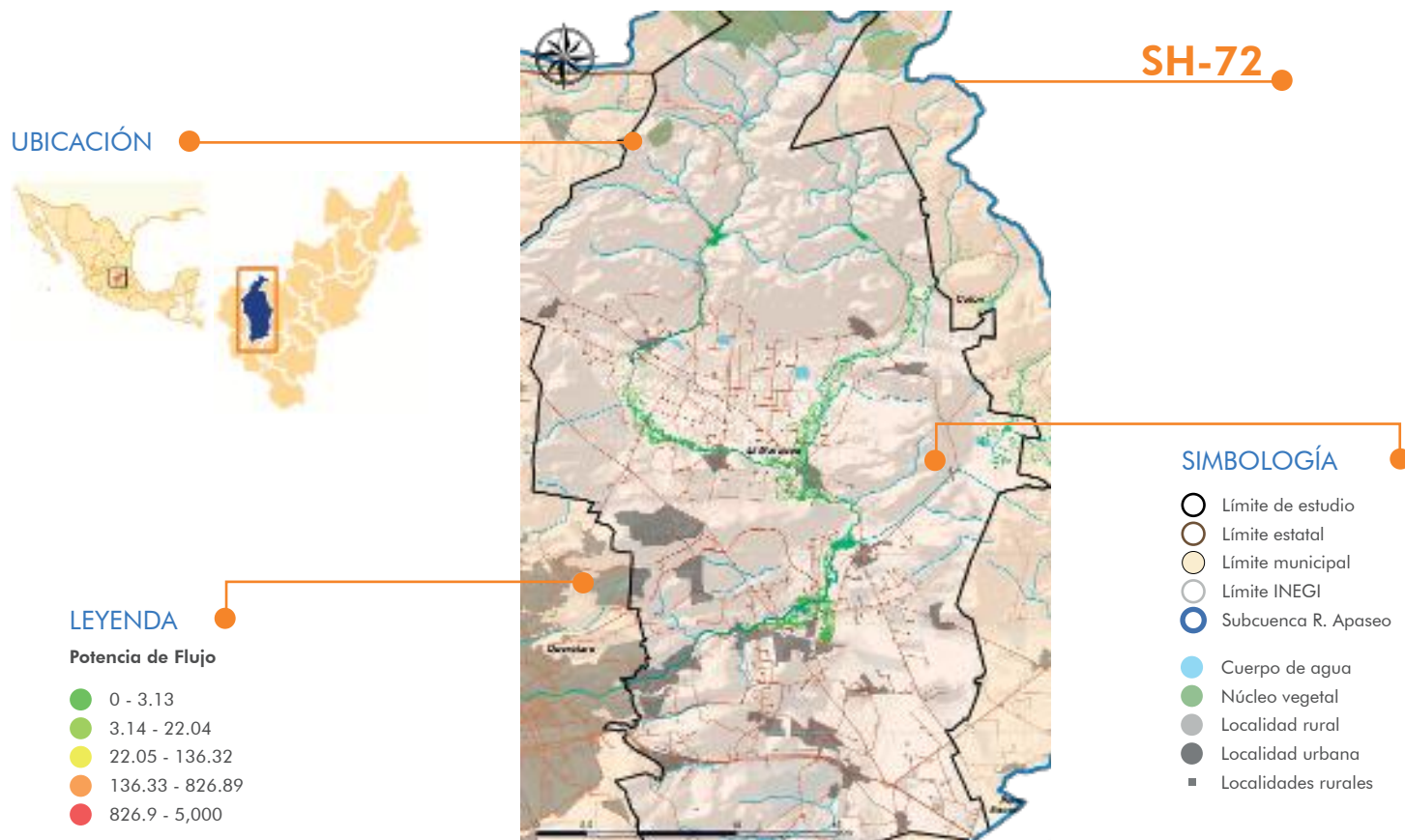
MAPA 71

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 2 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



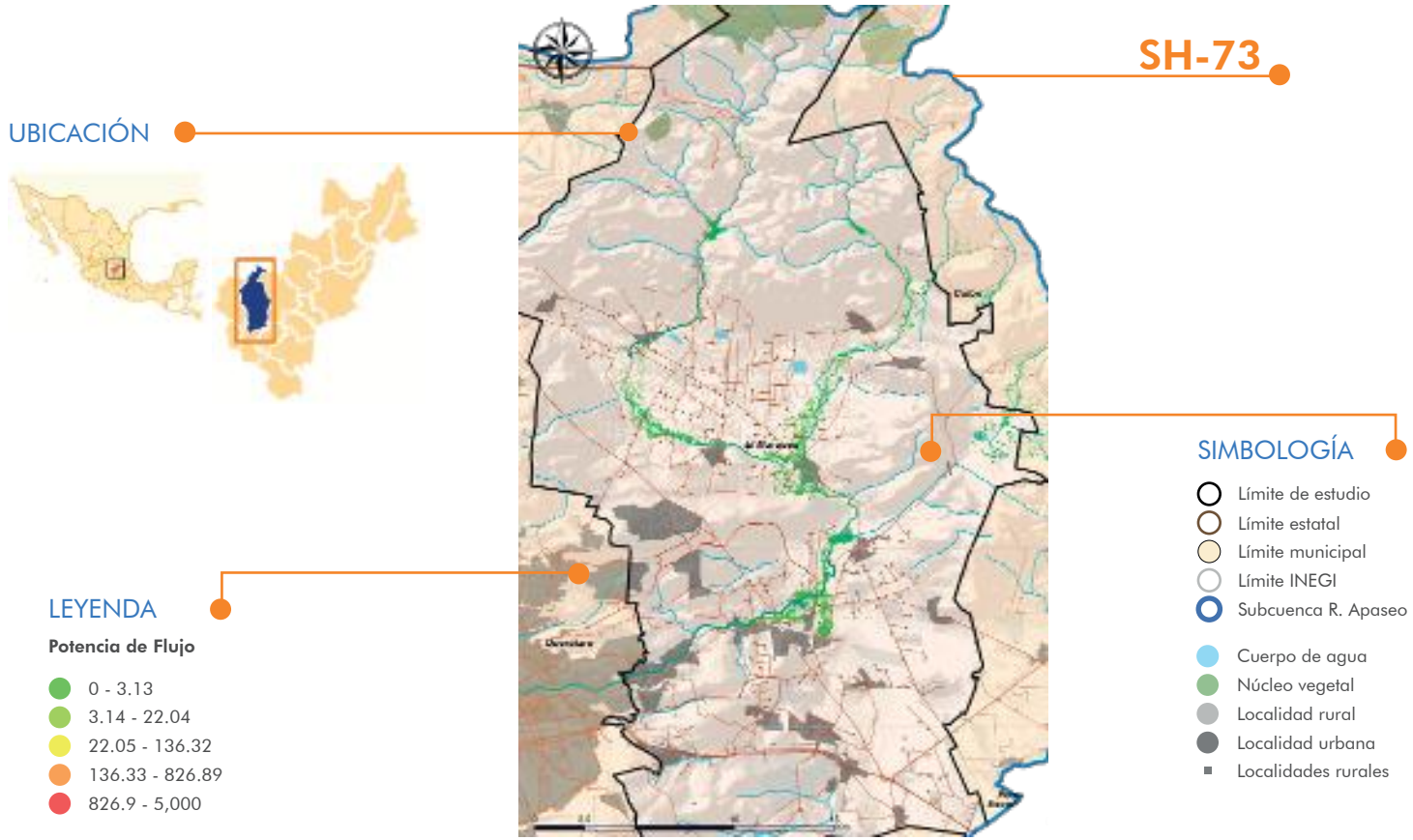
MAPA 72

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



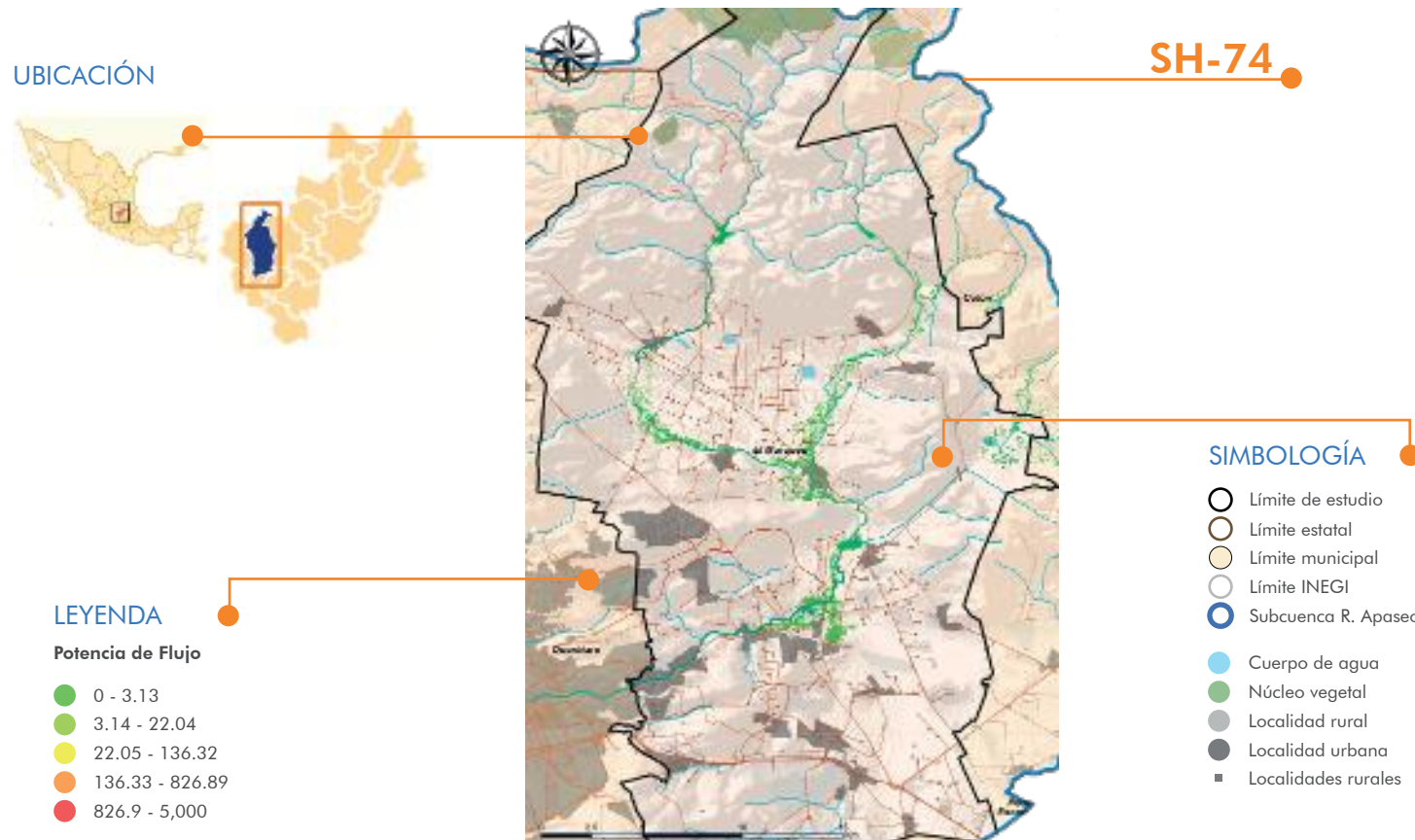
MAPA 73

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



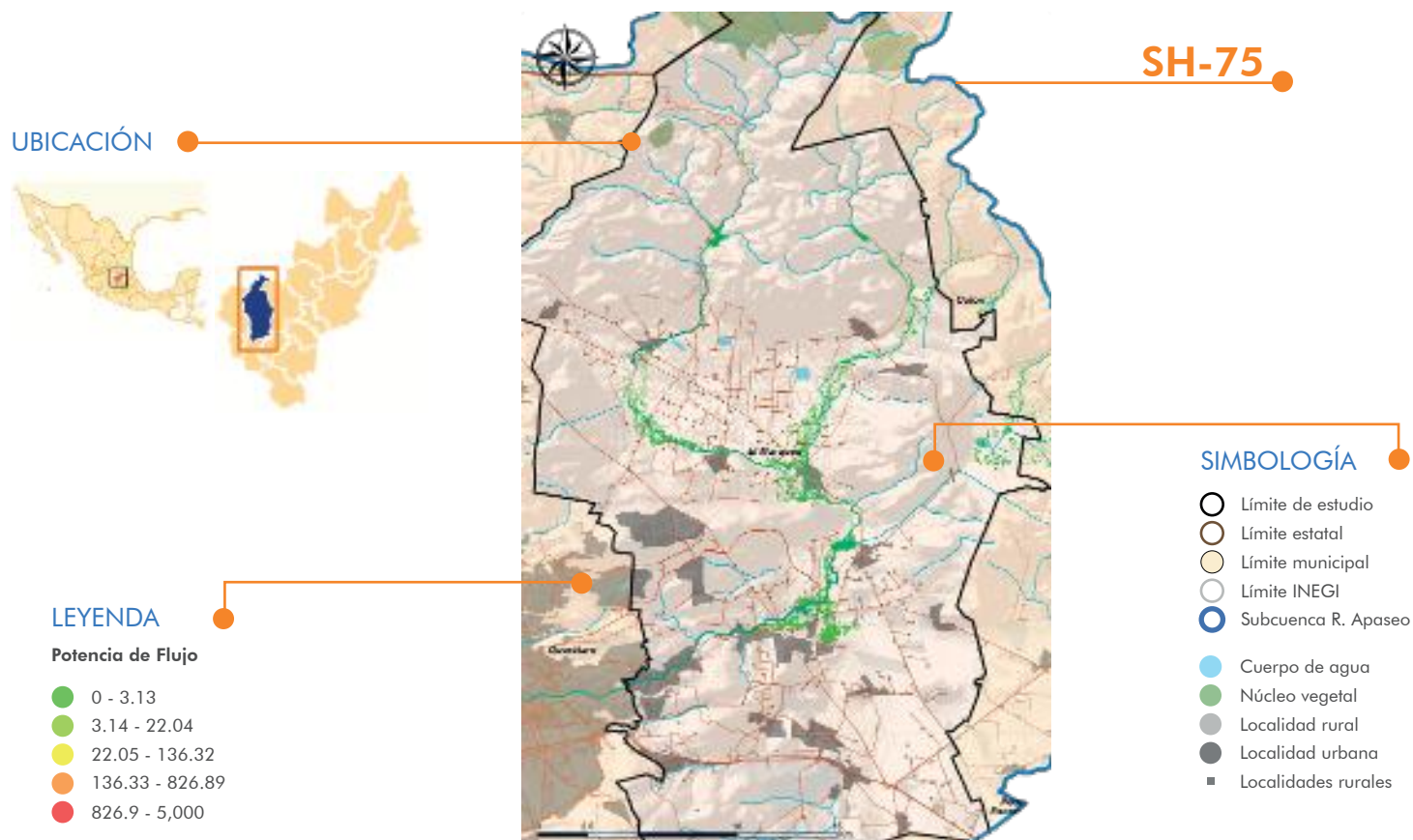
MAPA 74

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



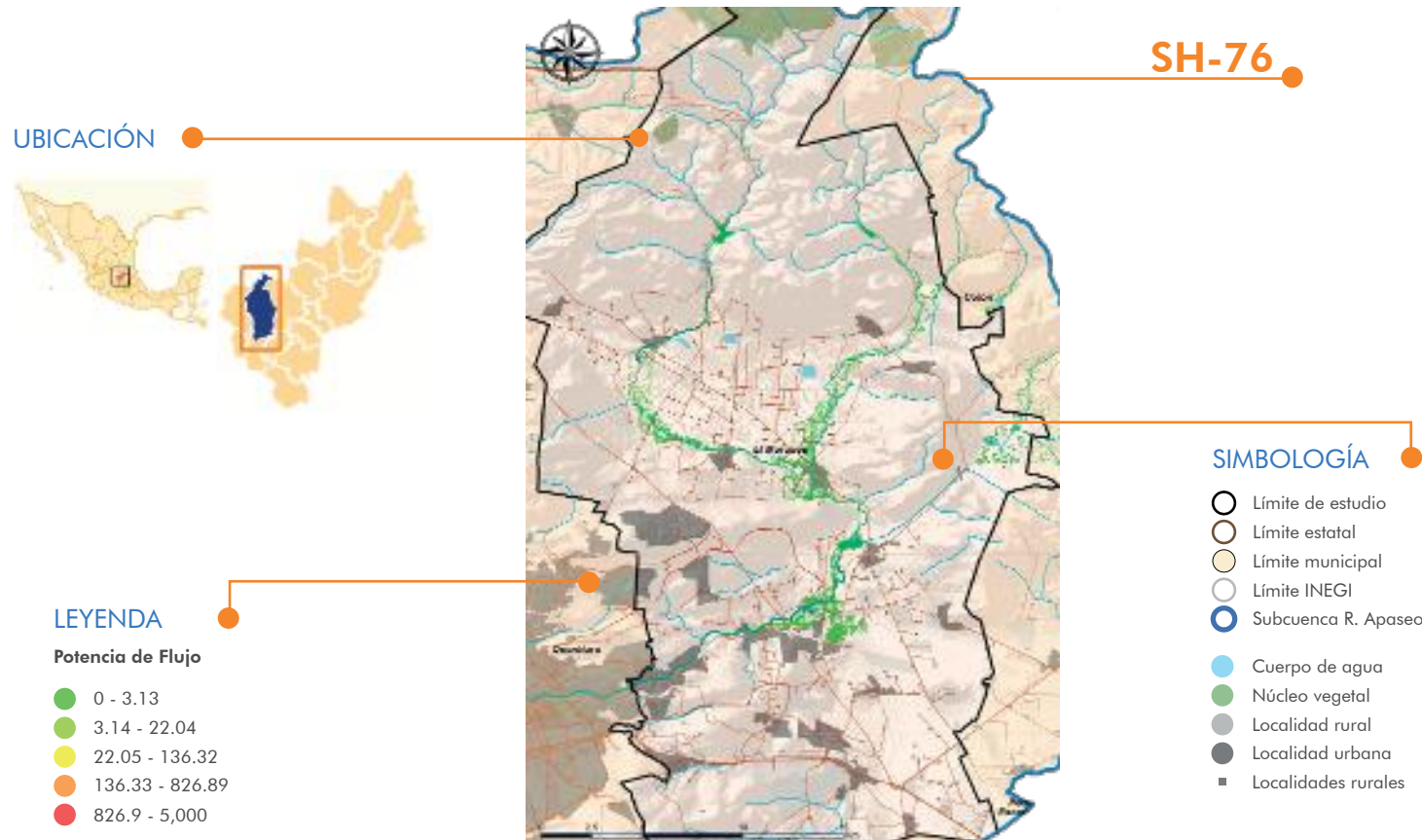
MAPA 75

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



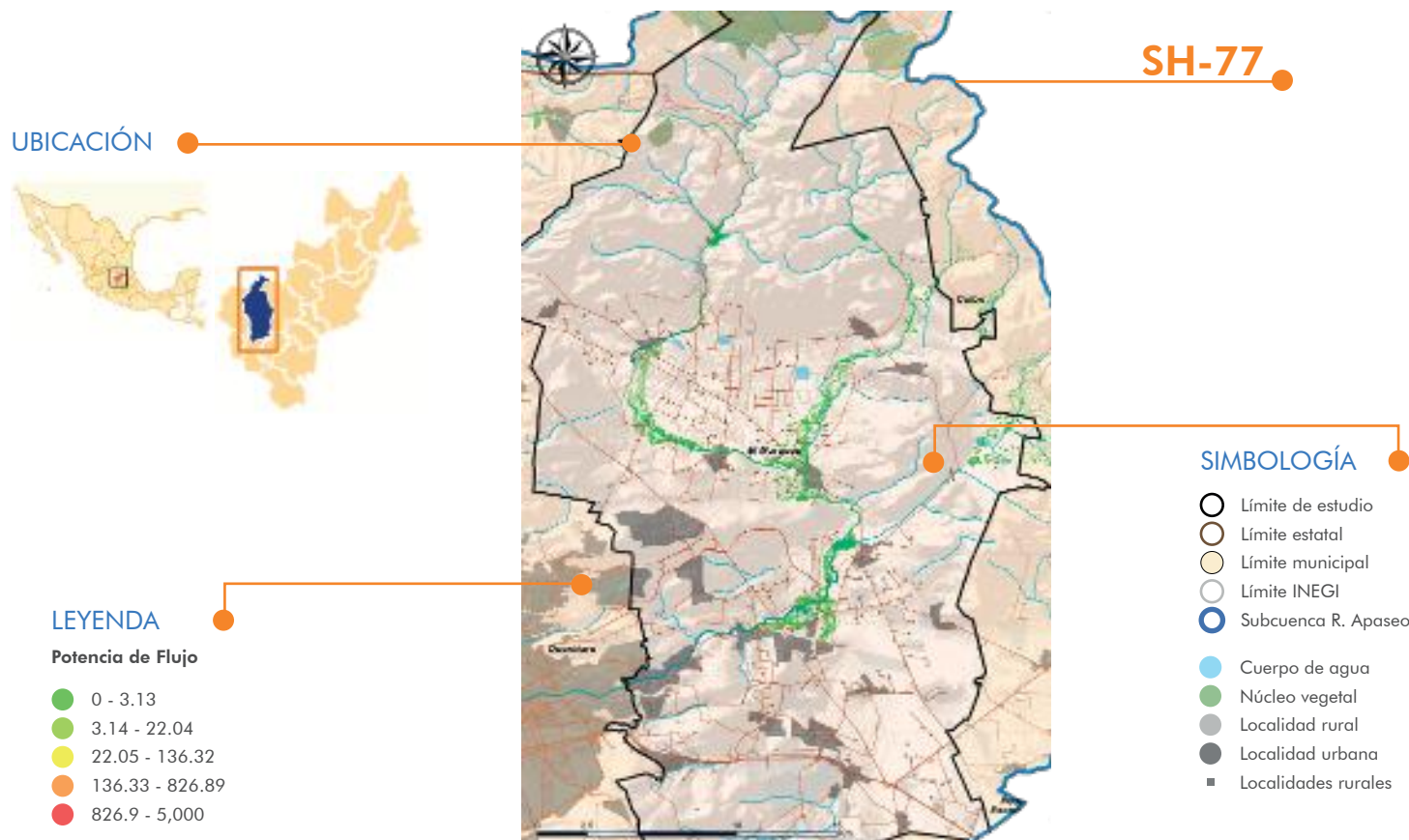
MAPA 76

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



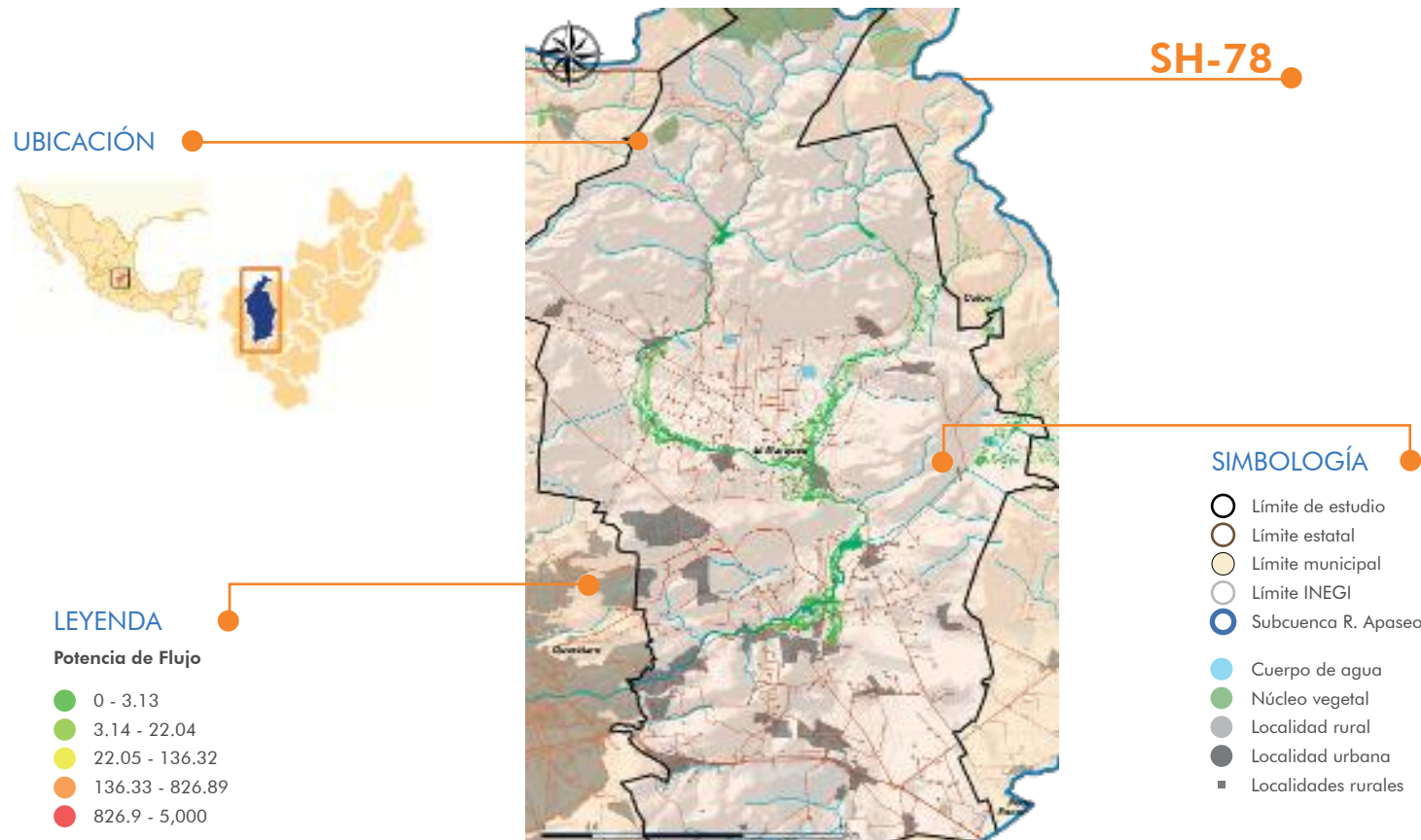
MAPA 77

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 250 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



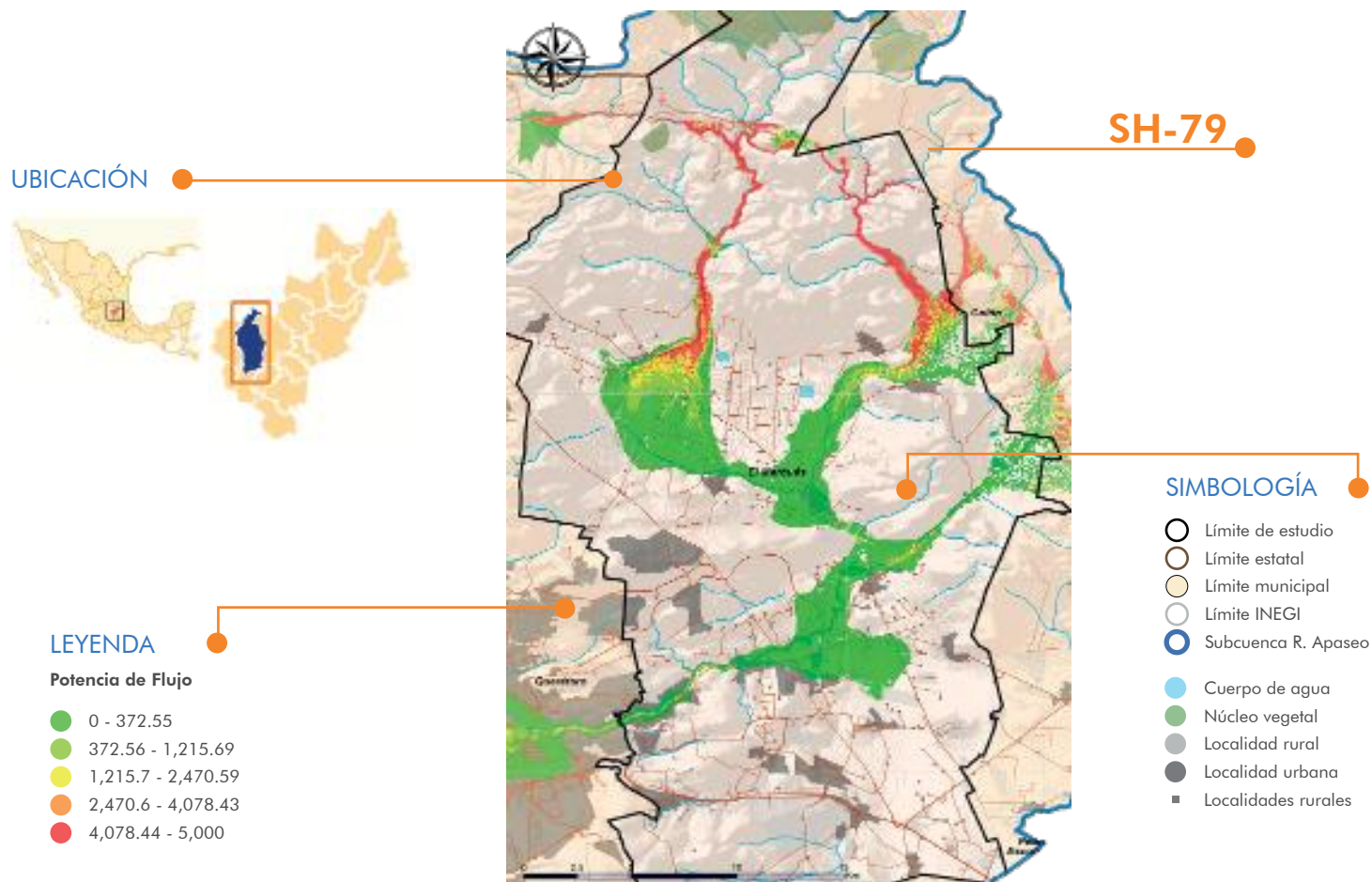
MAPA 78

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



MAPA 79

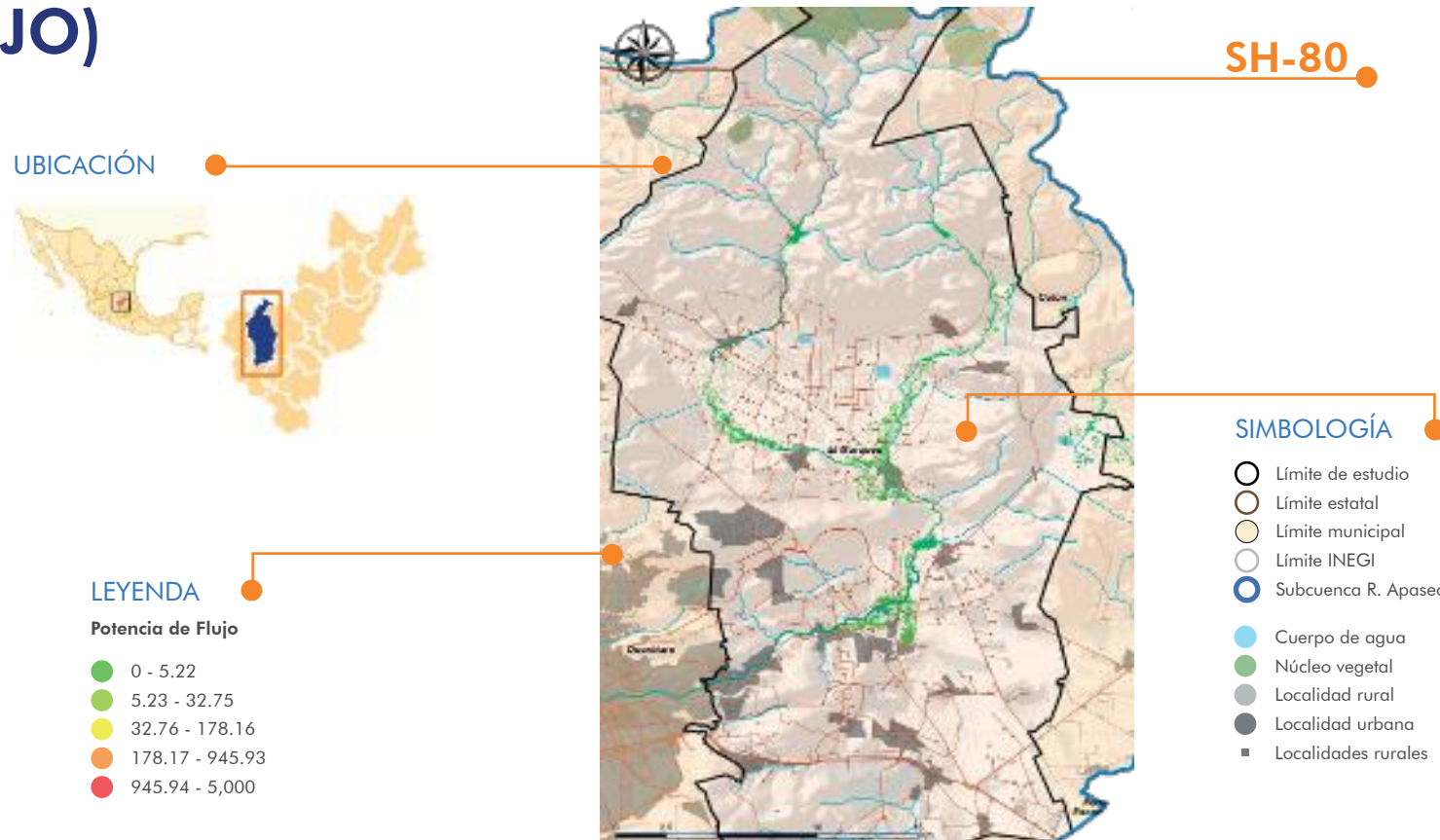
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA REGISTRADA (POTENCIA DE FLUJO)



MAPA 80

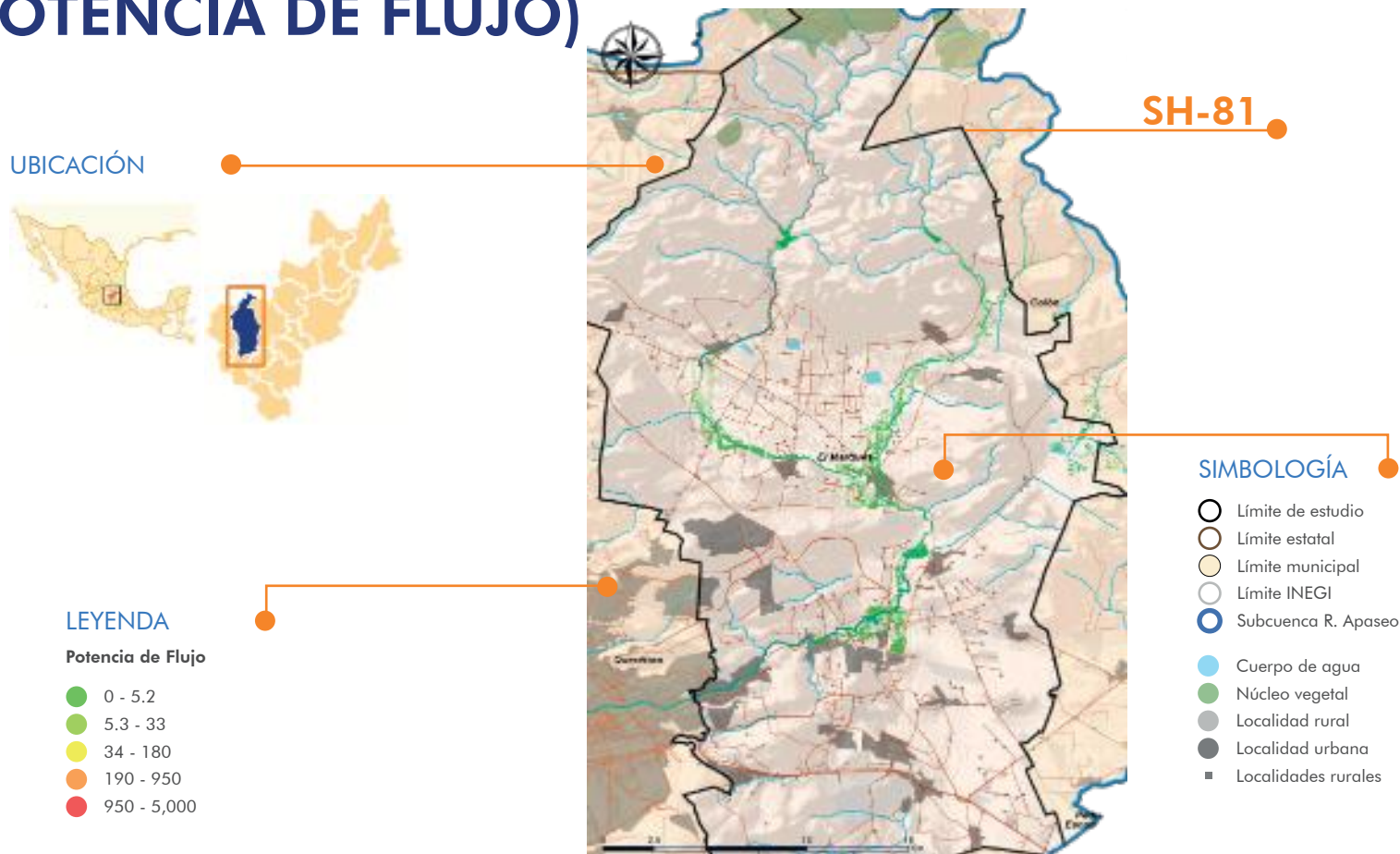
PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 2 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)

*Peligro por inundación
calculado para las
proyecciones de
precipitación **máxima**.
Potencia de flujo*



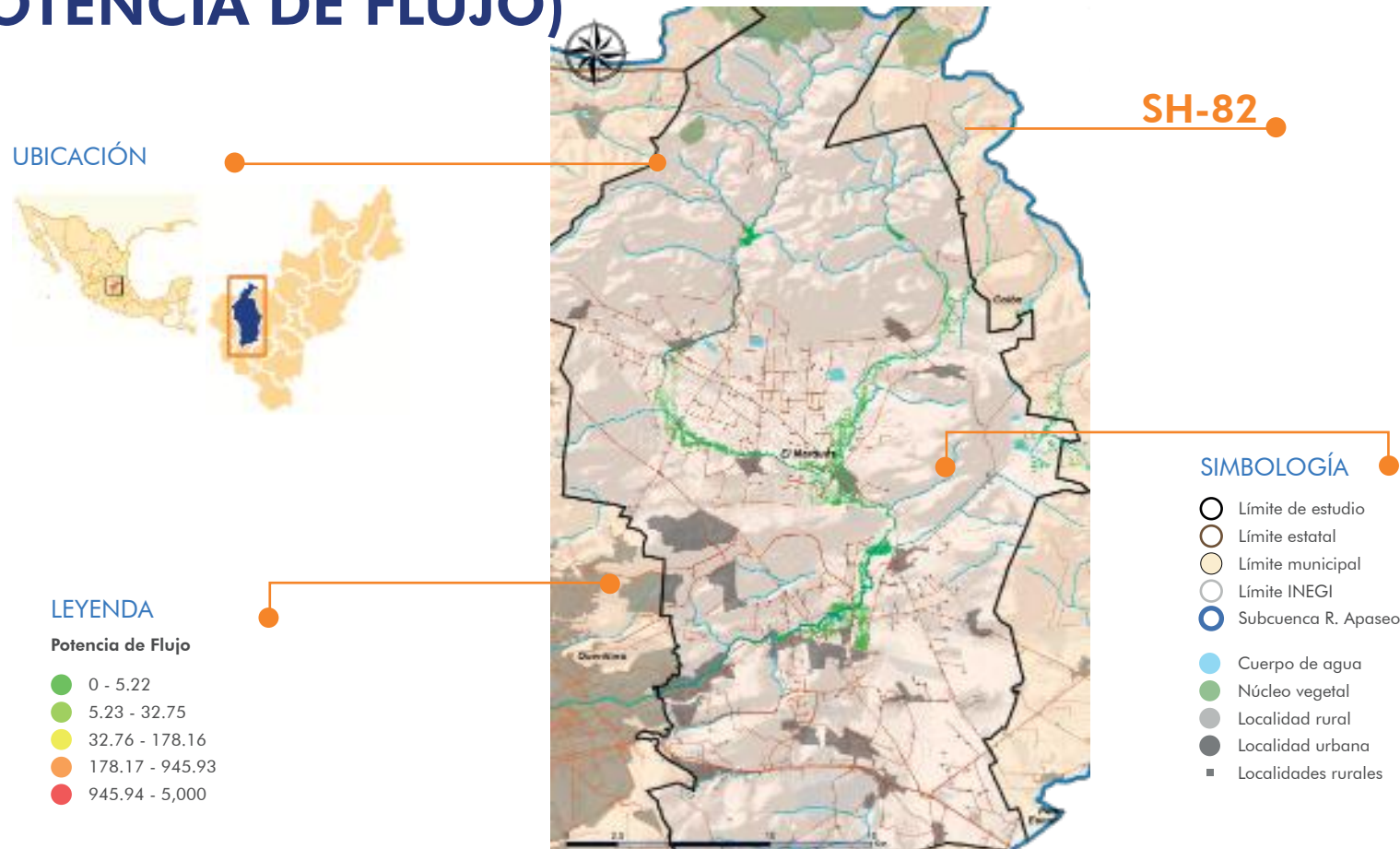
MAPA 81

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 5 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



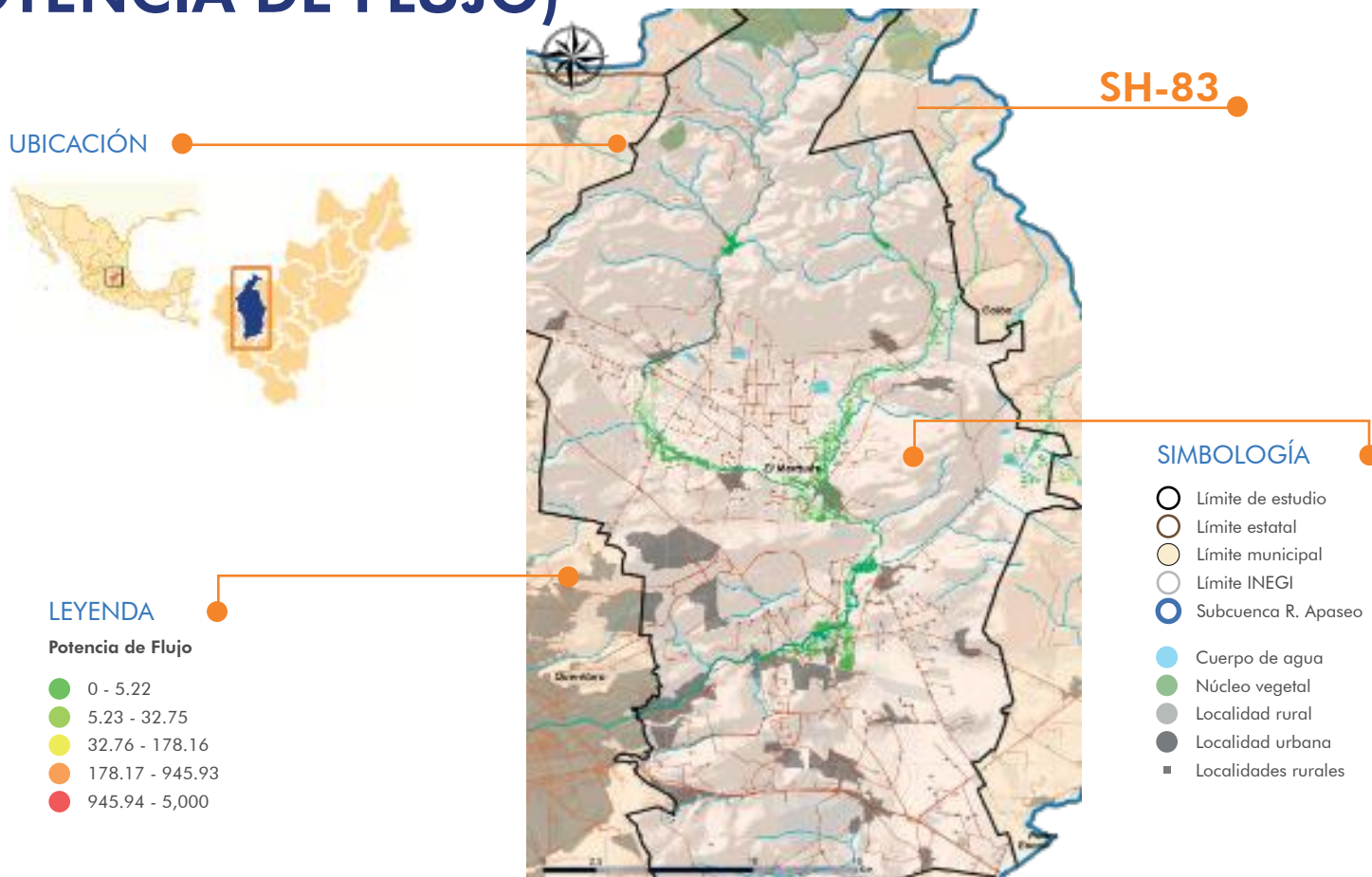
MAPA 82

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



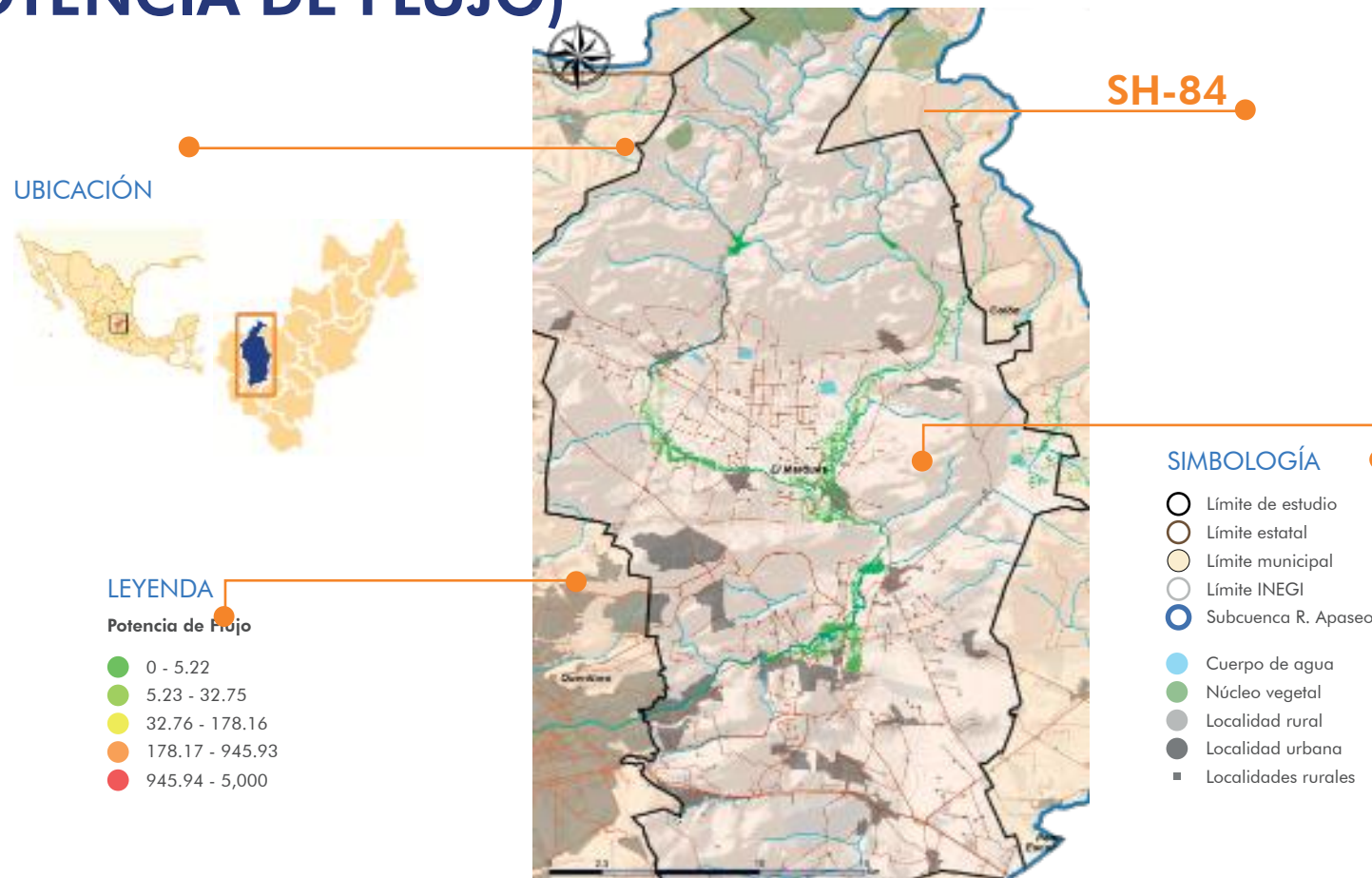
MAPA 83

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 20 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



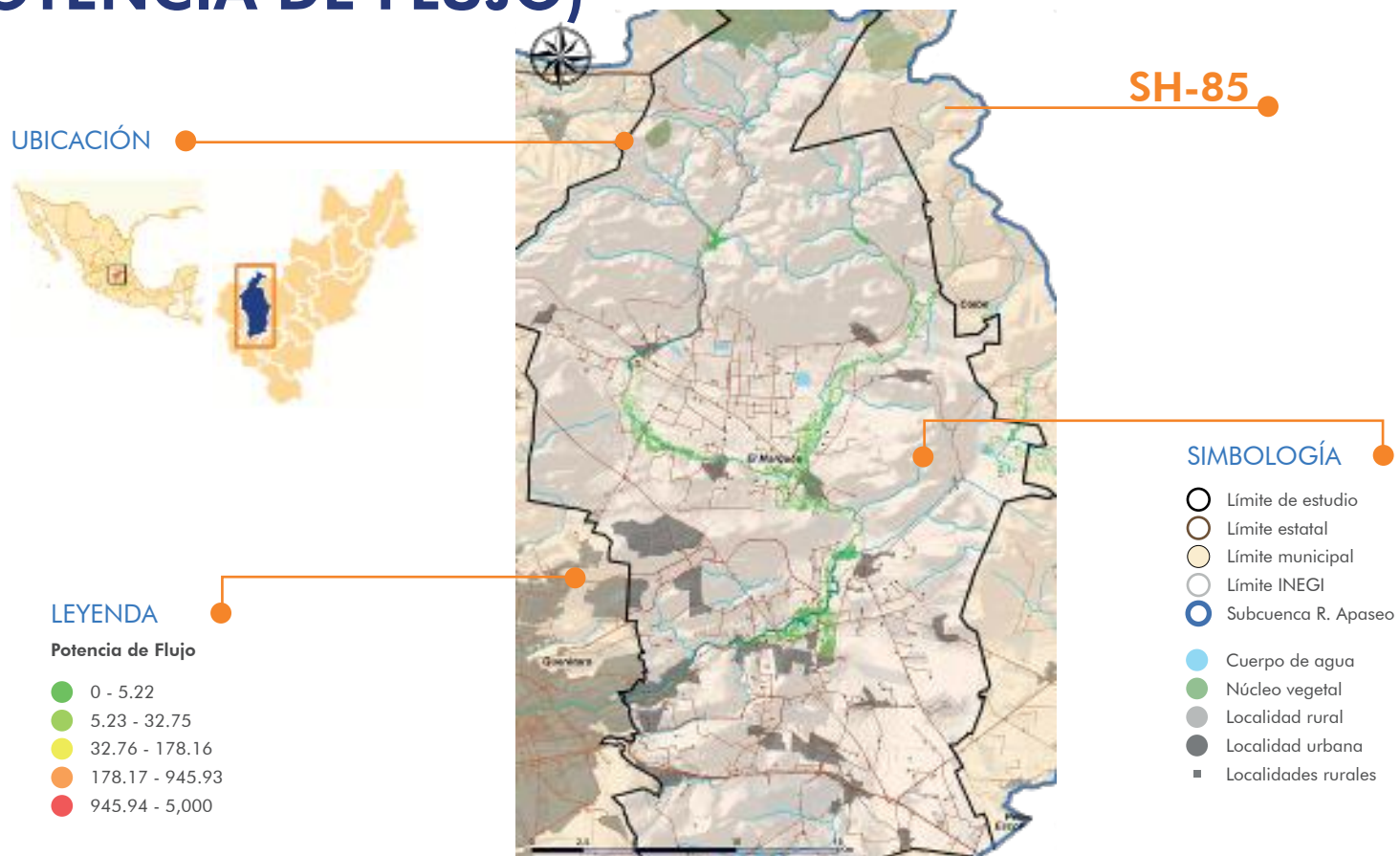
MAPA 84

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 50 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



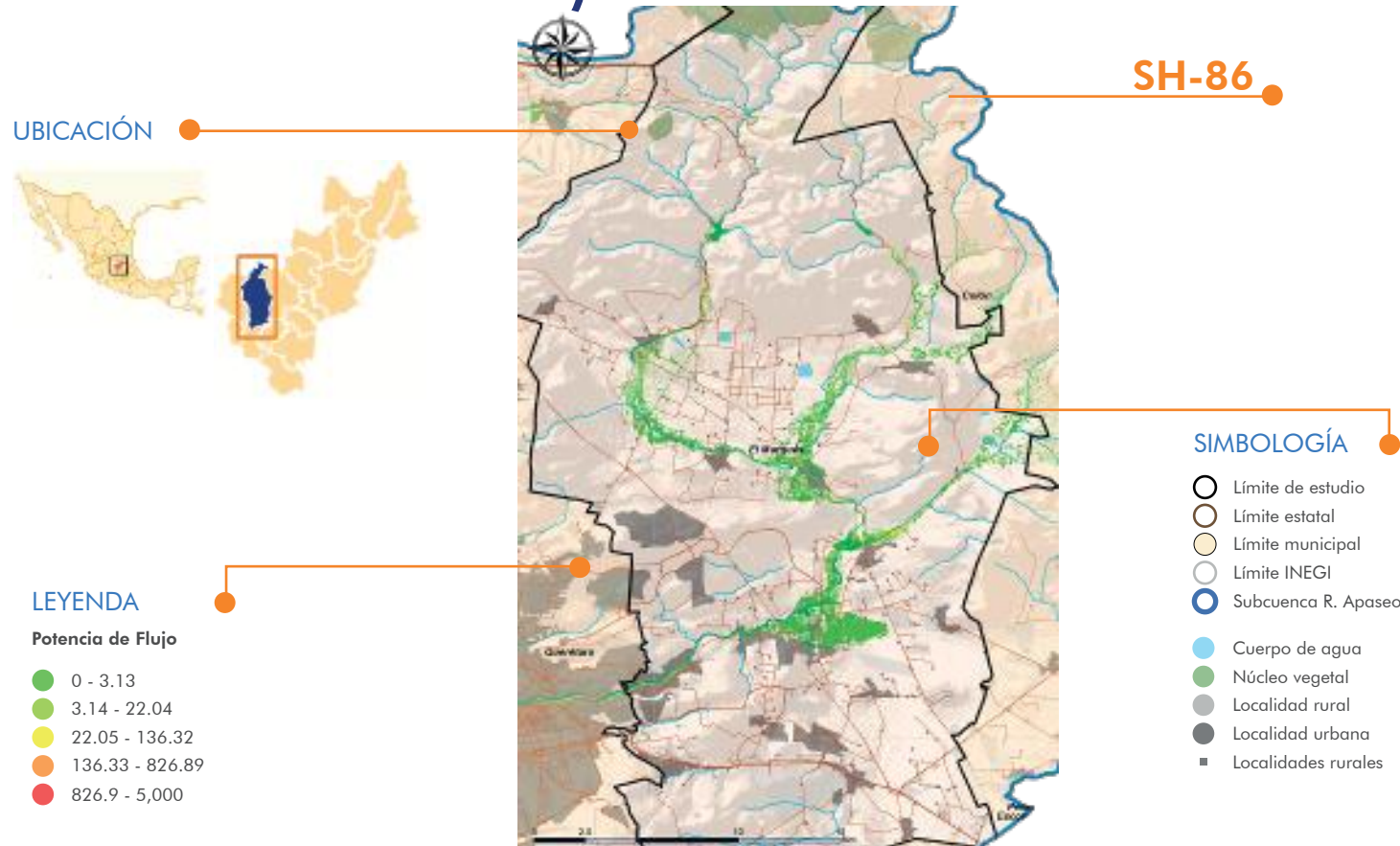
MAPA 85

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



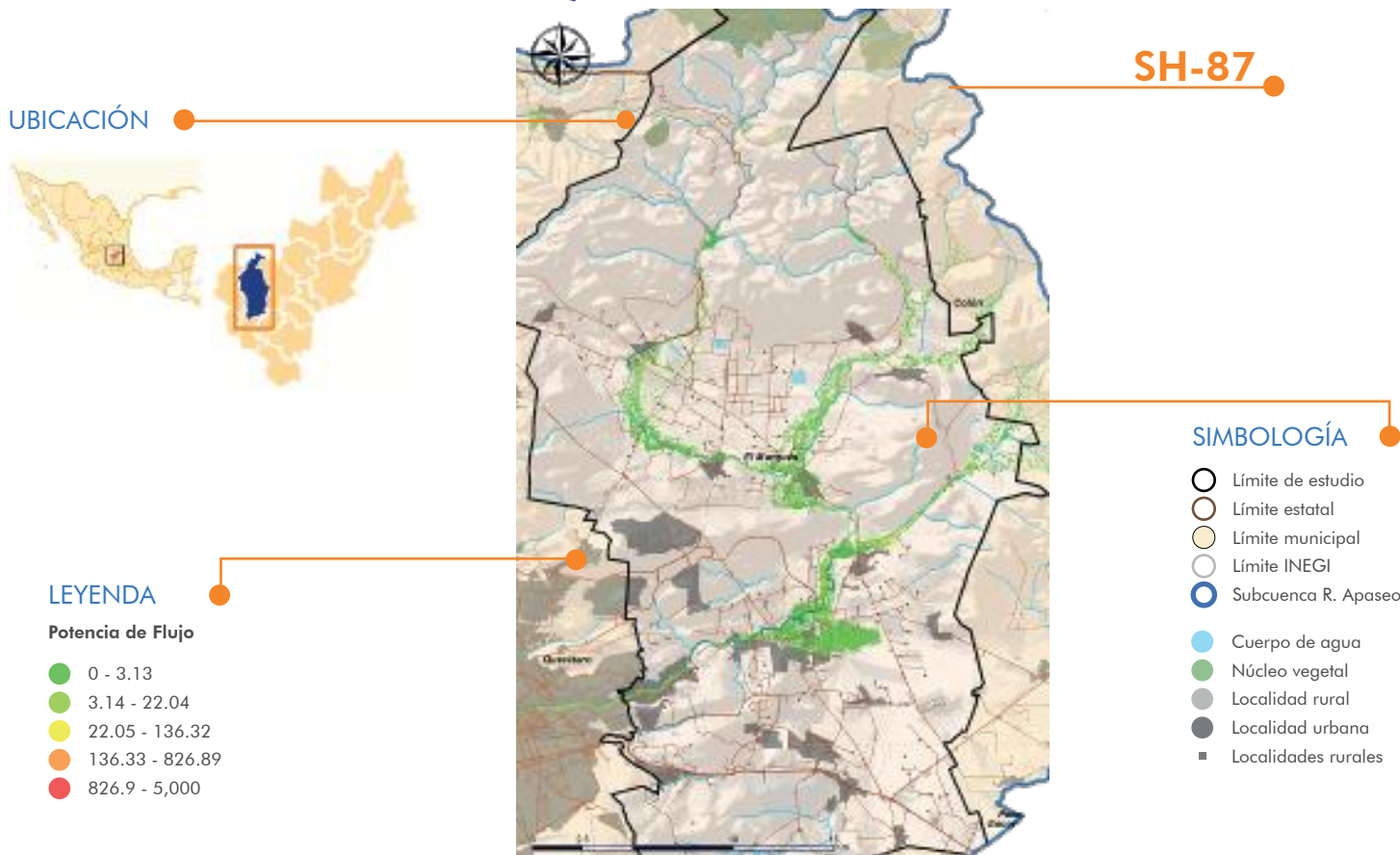
MAPA 86

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 250 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



MAPA 87

PELIGRO POR INUNDACIÓN. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA UN PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS (POTENCIA DE FLUJO)



FASE II

| EL MARQUÉS, QRO.

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIONES

El Plan de Gestión ante inundaciones tiene por objetivo general reducir el riesgo de inundación actualmente existente en el municipio, a través de los distintos programas de medidas, que deberán tener en cuenta todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención y protección, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana, y teniendo en cuenta las características de la cuenca o subcuenca

hidrográfica consideradas, lo cual adquiere más importancia al contemplar los posibles efectos del cambio climático.

El Cambio Climático se refiere a la normalización de la incidencia de eventos atmosféricos extremos o intensos, es un proceso donde se alteran los ciclos y patrones climáticos favoreciendo la incidencia de eventos anormales, afectando a los sistemas

expuestos naturales y antrópicos. Como elementos que componen el clima, la lluvia y las temperaturas son patrones naturales que es importante analizar para poder determinar su grado de afectación al territorio.



Las olas de calor, inundaciones, sequías y lluvias torrenciales están aumentando tanto en número, como en frecuencia, muchos de ellos, de acuerdo con estudios recientes, están provocados por el actual y progresivo calentamiento de la Tierra, porque está modificando las “corrientes de chorro” que definen los patrones estacionales climáticos a nivel global.

Dichas modificaciones se expresan en dos vías; a través de efectos globales que se traducen en amenazas climáticas locales y que se pueden identificar a través de los escenarios de forzamiento radiativo que buscan identificar el comportamiento del clima a futuro.

Las características geofísicas le imprimen al territorio la susceptibilidad que, ante la incidencia de las amenazas climáticas locales como factores detonantes nos permiten la identificación de los escenarios de riesgo a los cuales se encuentra expuesto cada territorio, y aportan los elementos necesarios para la actuación oportuna y efectiva para la reducción de desastres.

FIGURA 17

El cambio climático en el contexto de la Gestión Integral de Riesgos



En ese sentido, en el marco de cambio climático, las medidas de adaptación basadas en naturaleza, son aquellas acciones que tienen por bien incidir en las características geofísicas para mitigar los efectos de las amenazas climáticas locales, a diferencia de las obras de mitigación que tienen por bien incidir en las entidades vulnerables para reducir daños y pérdidas.

Las acciones basadas en naturaleza tienen el objetivo de replicar y reproducir los servicios ambientales en entornos antropizados a través de una serie de infraestructuras y equipamientos que ayuden a mitigar los efectos propios de las amenazas climáticas locales; de manera típica pueden clasificarse en dos categorías: Infraestructura verde e Infraestructura azul considerando los servicios ecosistémicos que deseen reproducir.

“La infraestructura verde es una red planificada e interconectada de espacios verdes y azules; naturales y seminaturales presentes en los entornos rurales y urbanos; planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para ofrecer múltiples beneficios socioambientales que promueven la protección de la biodiversidad, la mejora de los servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático, prevención y mitigación de riesgos y mejora de la calidad de vida, bajo un enfoque de resiliencia”

Así pues, éste apartado tiene por objetivo definir acciones de alto impacto, basado en la identificación del fenómeno de inundaciones y que al mediano y largo plazo promueva esquemas de manejo hídrico responsable e inteligente que beneficie a la ciudadanía del municipio de El Marqués.

FIGURA 18

Flujo general de trabajo



Una vez identificado el peligro por inundaciones, se procedió a identificar las zonas críticas para el desarrollo de la siguiente propuesta de infraestructura verde, y a la delimitación de propuestas esquemáticas de obras enfocadas a la reducción de los efectos de las inundaciones desde una perspectiva de la planeación sustentable, donde las obras propuestas, no solo mitiguen los impactos de los fenómenos de inundaciones, sino que mejoren el entorno urbano al proveer de servicios ambientales que favorecen la calidad de vida de la población municipal.



Identificación de zonas de mayor siniestralidad reportada a través de verificación en gabinete y campo de los puntos críticos frecuentes de inundación

Un siniestro se define como una situación crítica y dañina generada por la incidencia de uno o más fenómenos perturbadores en un inmueble o instalación afectando a su población y equipo, con posible afectación a instalaciones circundantes (CENAPRED 2016). Por tanto, las zonas de mayor siniestralidad son aquellas con alta recurrencia de determinado fenómeno.

Para la identificación de los puntos críticos frecuentes de inundación se retomó la información desarrollada por el Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués 2021, el área de Gestión de Riesgos de Protección Civil de El Marqués, visitas en campo y se procedió a evaluar la susceptibilidad ante inundaciones en el área de captación de infraestructura hidráulica, se consideró la cuenca del análisis hidrológico desarrollado en la fase anterior de este estudio, las presas y bordos de almacenamiento en actual funcionamiento existentes en el municipio, los cuales fueron proporcionados por personal del área de Gestión de Riesgos de Protección Civil de El Marqués, para considerar los elementos de posible aporte de escurrimientos en el territorio municipal los cuales se pueden apreciar en el mapa **IV-01**.

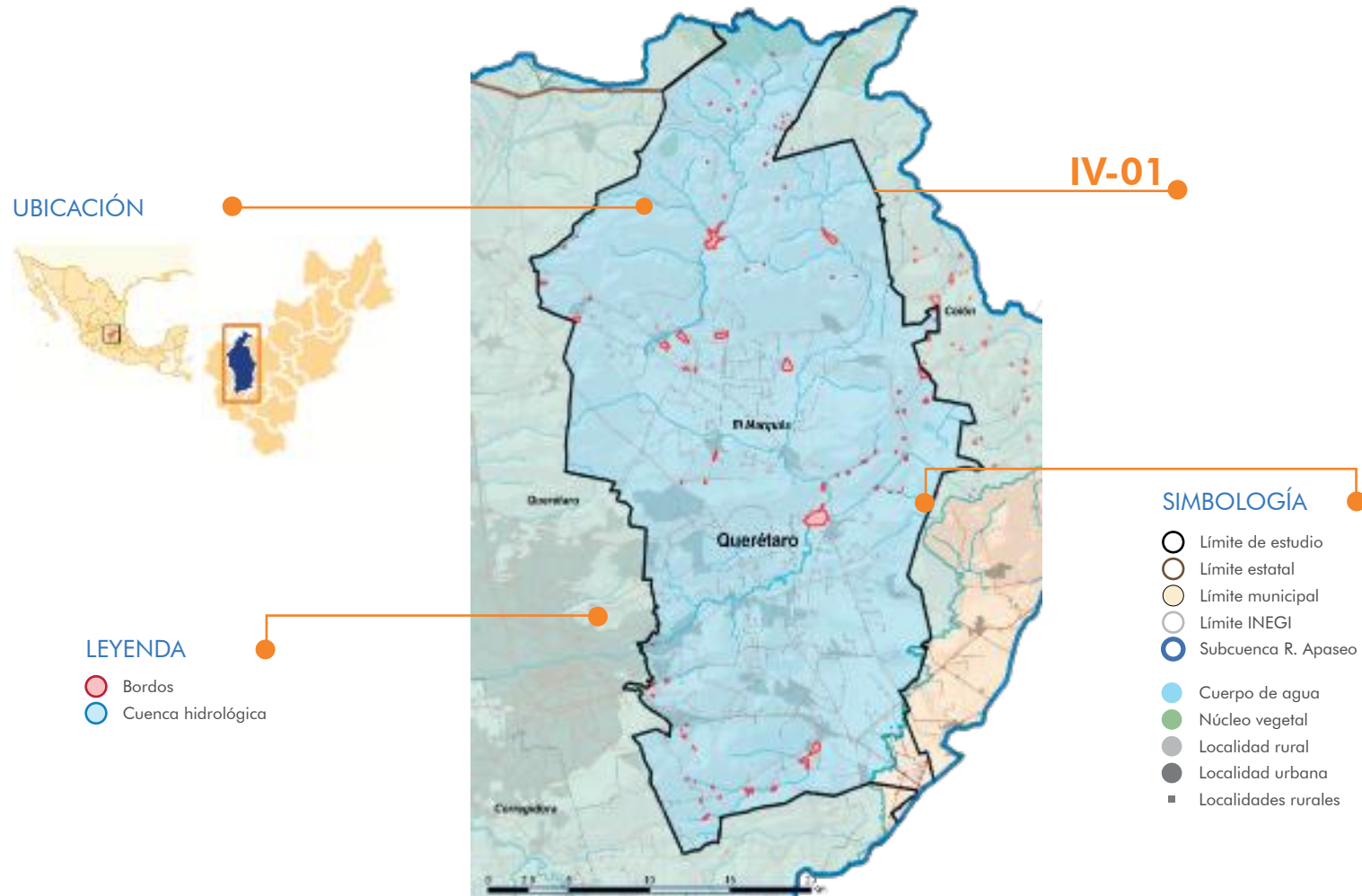
Los resultados del análisis hidráulico desarrollado en la Fase I arrojaron la información necesaria para el reconocimiento de las zonas con mayor susceptibilidad observada, gracias a los datos de lluvia de las estaciones de El Marqués, así se definieron las zonas donde la implementación de obras de infraestructura verde fuera más efectiva. En El Marqués los cuerpos de agua de captación se emplean en su mayoría para uso agrícola y de abrevadero, los más importantes son las presas de El Carmen, Los Pirules y Jesús María. Los primeros cuentan con obras de control y los demás en su mayoría presentan deficiencias en este sector.

La Presa El Carmen cuenta con obra de toma, pero ésta se encuentra en mal estado por lo que el desfogue de agua se realiza por la obra de toma para uso de riego, la presa Los Pirules, cuenta con las obras de control funcionando correctamente. Es importante considerar que la capacidad de almacenamiento de las presas es mucho mayor que la de los bordos y que estos cuerpos de captación influyen directamente sobre los escurrimientos aguas abajo de la zona en que se sitúan, uniéndose en un solo caudal metros antes de la comunidad de

Amazcala la cual ha sido embestida en los últimos años por tirantes agua que sobrepasan la capacidad del caudal, por ello la Coordinación de Protección Civil de El Marqués monitorea constantemente dichas zonas y marca la relevancia del cumplimiento de las reglas de preparación y operación de dichas presas dentro de su Programa estratégico de temporada de lluvias, 2021. (Protección Civil El Marqués, 2021)

MAPA 88

ÁREA DE CAPTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA



Como resultado de la FASE I se integraron los modelos de inundaciones fluviales para las tres variables analizadas; profundidad, velocidad y potencia, sin embargo, para la definición de las zonas susceptibles a inundaciones pluviales se retomó la información de potencial de escurrimientos que integra la información de SENTINEL 2, el mapa del hidrograma unitario para el reconocimiento de las zonas con mayor drenaje y acumulación y finalmente el mapa de flujos superficiales por orden strahler.

Con el resultado del mapa de susceptibilidad a inundaciones se identificaron aquellas áreas con mayor propensión a la acumulación de agua y su consecuente probabilidad a experimentar afectaciones, en estas zonas de alta susceptibilidad a inundaciones se identificaron los principales puntos de conexión de flujos aguas arriba de escurrimientos importantes (nodos) en el territorio municipal, para de manera estratégica definir puntos críticos de inundación los cuales son los de prioridad para establecer acciones preventivas y obras de mitigación que contribuyan en la reducción de este tipo de riesgos. A estos sitios se integran aquellos puntos con problemáticas relativas a las inundaciones identificadas por el área de Gestión de Riesgos de Protección Civil de El Marqués y por el Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués 2021, sitios con problemas que aún no cuentan con una solución de obra o acción ejecutada y que causan un impacto frecuente para las viviendas, vialidades o infraestructura dentro del municipio. Con ello se consideran las afectaciones frecuentes que han ocurrido en el territorio.

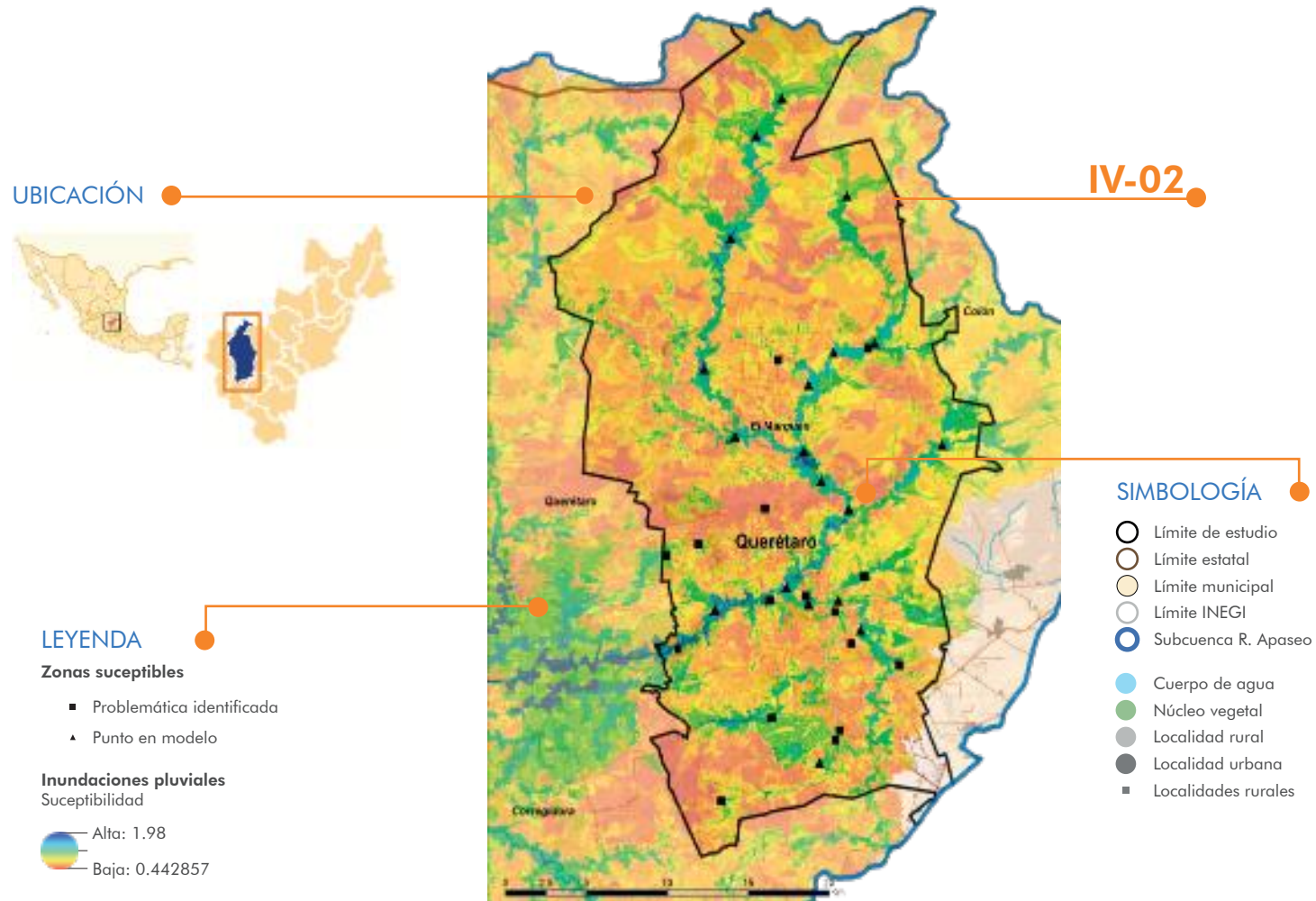
Los problemas que se encuentran identificados son de distintos tipos como la generación de anegamiento de agua por obstrucción de alcantarillas, afectaciones a vialidades y/o viviendas aledañas, aumentos considerables del tirante de agua (elevaciones de más de un metro de altura), falta de limpieza y mantenimiento de la infraestructura, azolve de drenaje, falta de infraestructura de desalojo, entre las principales.

El mapa **IV-02** muestra dichos puntos críticos de inundación, en el podemos observar que las problemáticas identificadas desde el año 2021 se distribuyen en su mayoría en los centros urbanos del municipio, por las localidades de Saldarriaga, La Cañada, La Pradera, Paseos de El Marqués, Hacienda la Cruz (fraccionamiento), General Lázaro Cárdenas (El Colorado), en las localidades rurales Cerrito Colorado (la Curva), Coyotillos, El Rosario y La Piedad, y algunas vialidades importantes, como entradas de comunidades o pasos a desnivel. Por su parte los puntos reconocidos por el modelo de inundaciones se asocian a aquellos sitios de alta susceptibilidad, que presentan posibles escurrimientos aguas arriba de problemáticas identificadas o zonas de alta acumulación de agua como las presas y bordos de almacenamiento.

Estos puntos críticos de inundación se clasificaron conforme la posible afectación que podrían aportar y su posible acción de mitigación (ver mapa **IV-03**), conforme a los sistemas expuestos aledaños a su localización, aquellos que se asocian a problemáticas urbanas como afectaciones de viviendas o vialidades, se distinguen aquellos puntos con necesidades de mayor mantenimiento y limpieza de la infraestructura existente, así como los cercanos a zonas habitacionales que se recomiendan no urbanizar si no ser enfocados a sitios de recarga hídrica y mitigación de inundaciones, obras con perspectiva y planeación sustentable los cuales son objeto de enfoque de este plan de gestión de riesgo ante inundaciones.

MAPA 89

PUNTOS CRÍTICOS DE INUNDACIÓN



MAPA 90

ACCIONES SEGÚN POSIBLE AFECTACIÓN

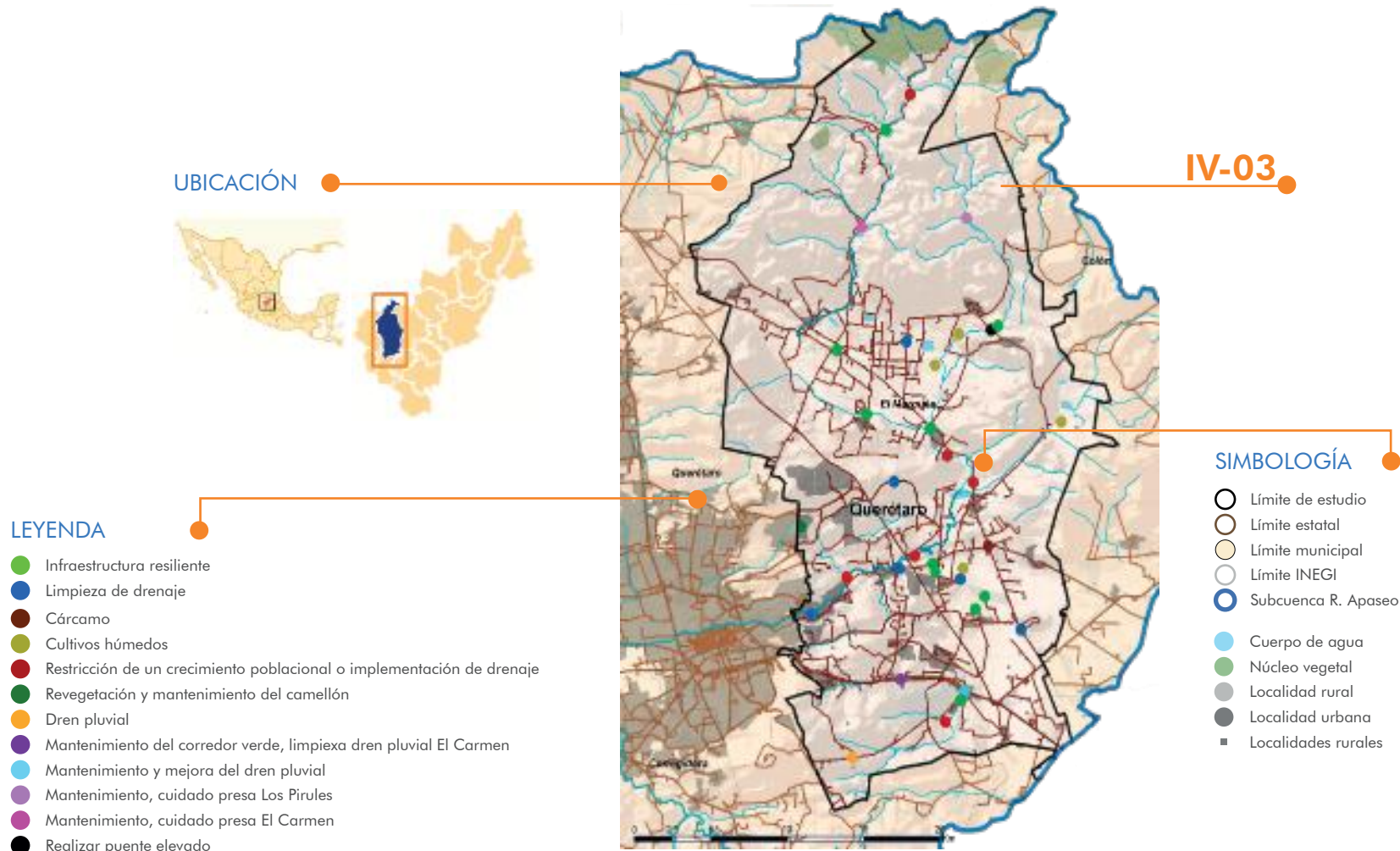


FIGURA 19

Zona inundable ubicada en zonas agrícolas

También se identifican áreas inundables que no se encuentran cercanas a centros poblacionales, sitios en zonas agrícolas con la recomendación de fomentar cultivos húmedos, y otros que se recomienda la restricción de un crecimiento poblacional a menos que exista la implementación de infraestructura de desalojo o de mitigación de inundaciones para evitar la construcción de riesgos ante este tipo de fenómenos en el municipio.

Para lo anterior se observaron los sitios en dos mecanismos de análisis, mediante insumos de percepción remota a través de la visualización de los lugares en Google Earth, en vista de piso y en recorridos en campo con acompañamiento del personal de Protección Civil municipal. En los recorridos en campo se tomaron imágenes y vuelos con vehículos aéreos no tripulados, para la generación de ortofotos con el fin de identificar elementos presentes en el territorio actual.

A continuación, se aprecian fichas de algunos de los sitios identificados con alta susceptibilidad a inundaciones y donde es importante aplicar acciones y proyectos enfocadas a la reducción del posible riesgo de inundación, con la aplicación de infraestructura resiliente.

Coordenadas

Latitud: 20.740899°

Longitud: -100.262485°



Descripción: Zona inundable identificada por el modelo, ubicada en zonas agrícolas, por lo que se recomienda la aplicación de cultivos húmedos.

FIGURA 20

Zona inundable cercanos a centros poblacionales con oportunidad de aprovechamiento sustentable

Coordenadas

Latitud: 20.740899°

Longitud: -100.262485°



Descripción: Zona inundable identificada por el modelo, cercana a centros poblacionales de gran ocupación, se recomienda la aplicación de medidas y acciones que mitiguen la problemática existente, para que se aproveche de manera sustentable el territorio. Fomentar sitio de recarga hídrica, aplicación de infraestructura resiliente que impulse el cuidado de este espacio y la reducción del riesgo ante inundaciones. Como se aprecia en la imagen tomada en campo la acumulación de agua es una realidad que puede generar afectaciones a las viviendas contiguas y a sus habitantes.

FIGURA 21

Zona inundable alejada de centros poblacionales de alta densidad

Coordenadas

Latitud: 20.691925°

Longitud: -100.255459°



Descripción: Zona inundable identificada por el modelo, alejada de centros poblacionales de gran ocupación, se recomienda restricción de un crecimiento poblacional o en su defecto ocupación con su respectiva implementación de infraestructura de desalojo de agua o de mitigación de inundaciones.

FIGURA 22

Zona de recurrente afectación identificada por Protección Civil municipal, puente inferior carretera federal 57 comunidad El Colorado

Coordenadas

Latitud: 20.564953°

Longitud: -100.245150°



Descripción: Problemática identificada por el área de Gestión de Riesgos de Protección Civil de El Marqués, donde se genera anegamiento de agua en paso vehicular en puente inferior, causando afectación a la circulación. Se recomienda realizar obra de ampliación y mejoramiento al dren pluvial que dirige el desalojo de agua del puente inferior hacia aguas abajo, evitando anegamiento de agua en la zona.

FIGURA 23

Zona de recurrente afectación identificada por Protección Civil municipal, Emiliano Zapata a la altura de Quinta las Carmelitas la Cañada

Coordenadas

Latitud: 20.606614°

Longitud: -100.334742°



Descripción: Problemática identificada por el área de Gestión de Riesgos de Protección Civil de El Marqués, donde se genera anegamiento de agua sobre la vialidad causando afectación a viviendas cercanas, actualmente se encuentra torrencera con azolve y obstrucción de rejillas. Se recomienda realizar trabajos de desazolve y limpieza de rejillas de torrencera pluvial.

Levantamiento en campo para la definición de acciones de infraestructura verde

En los puntos identificados se llevó a cabo un levantamiento de ortofoto como insumo básico para la definición conceptual de las obras de infraestructura verde; en este apartado se definirá la principal problemática en los puntos críticos en relación a lo observado en campo.

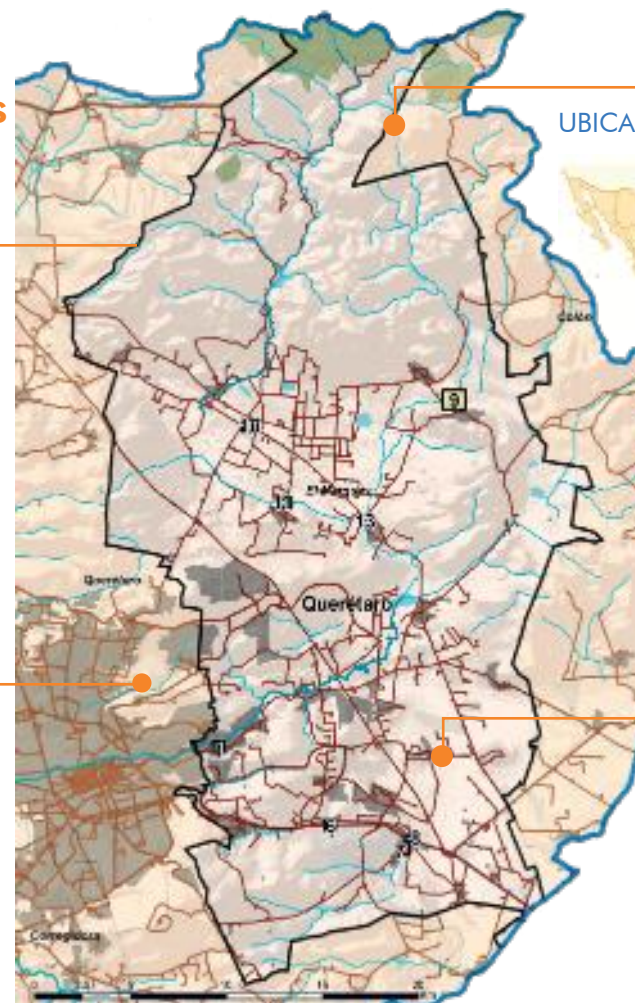
MAPA 91 ACCIONES SEGÚN POSIBLE AFECTACIÓN

Ortomosaicos para IV-04

UBICACIÓN

SIMBOLOGÍA

- Límite de estudio
- Límite estatal
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Subcuenca R. Apaseo
- Cuerpo de agua
- Núcleo vegetal
- Localidad rural
- Localidad urbana
- Localidades rurales



LEYENDA

- 1
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 13

PUNTO 1

DESBORDAMIENTO DEL CAUSE

Inundaciones Pluviales

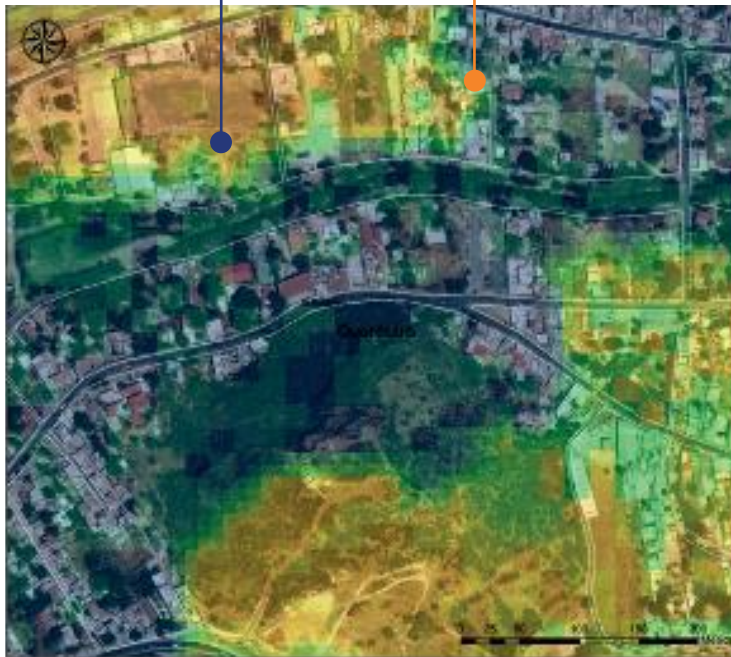
SIMBOLOGÍA

- Subcuenca R. Apaseo
- Límite estatal
- Límite estudio
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Localidad rural
- Localidad urbana
- Manzanas

Inundaciones Fluviales

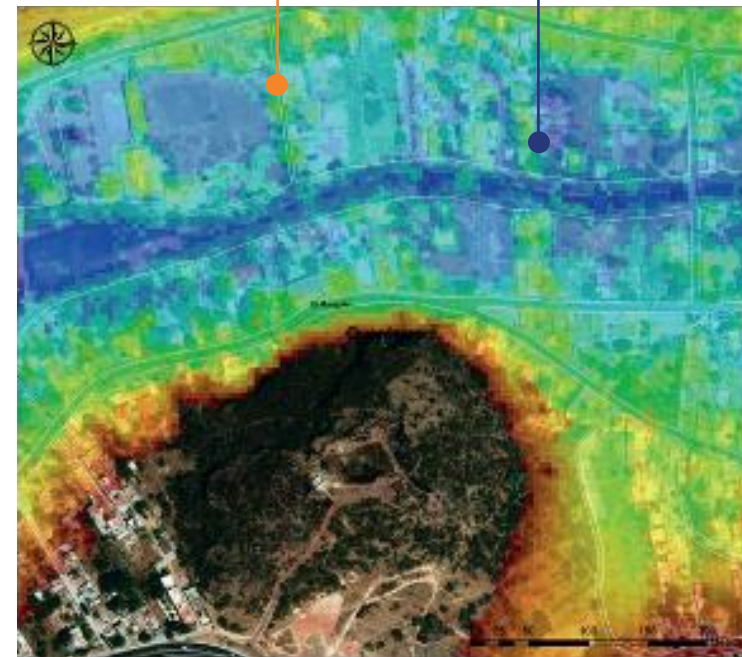
LEYENDA

Suceptibilidad
Grado



LEYENDA

Tirante
Metros



El punto 1 evidencia el desbordamiento del río Querétaro en la Cañada, ambos insumos evidencian una susceptibilidad alta, con un tirante de hasta 7 m en el cauce y de hasta 50 cm para los alrededores de la estela inundable, conforme a la modelación de lluvias máximas observadas, en ambos casos se ve la necesidad de un elemento de regulación entre el cauce y su zona de afluencia hacia el sur con el fin de retener las aguas excedentes y evitar así daños o pérdidas en el patrimonio, nótese que los tirantes en éste punto, río “abajo” son mucho más intensos que en la cuenca alta y media, de ahí la necesidad de establecer una red de estructuras que vayan reduciendo la intensidad de los flujos superficiales cuenca arriba.

PUNTO 9

CONFLUENCIA DE ESCURRIMIENTOS

Inundaciones Pluviales

Inundaciones Fluviales

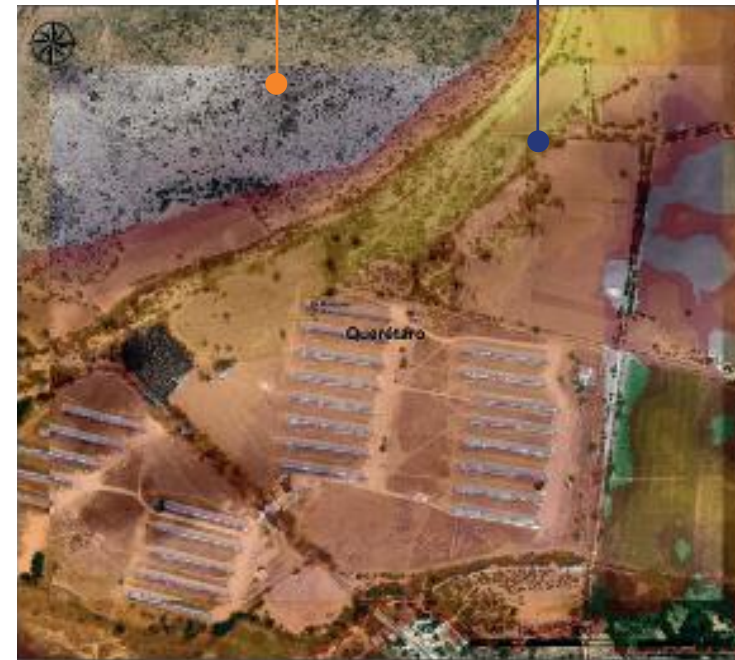
SIMBOLOGÍA

- Subcuenca R. Apaseo
- Límite estatal
- Límite estudio
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Localidad rural
- Localidad urbana
- Manzanas

LEYENDA

Suceptibilidad Grado

- Muy alto
- Muy bajo



LEYENDA

- Tirante Metros
- 0 - 0.5
 - 0.6 - 1
 - 1.1 - 1.5
 - 1.6 - 2
 - 2.1 - 2.5
 - 2.6 - 3
 - 3.1 - 3.5
 - 3.6 - 4

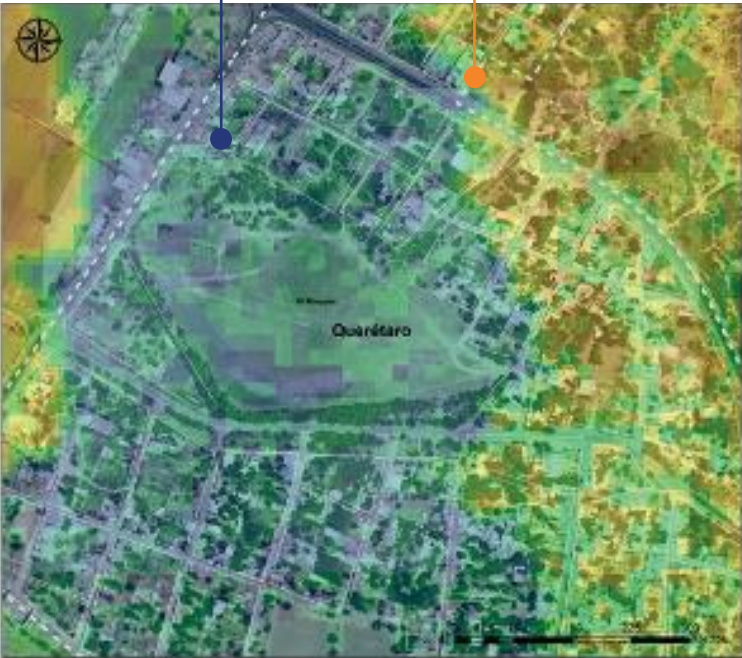
El punto 9 identifica una confluencia de escurrimientos superficiales sin un cauce claramente definido, siendo más un escurrimiento en reptación con tendencia a trasladarse en la planicie subhorizontal de la porción de transición en El Marqués y que se ubica hacia el oriente del municipio, caso similar ocurre en las proximidades de Amazcala. El punto es relevante puesto que se evidencia una zona en la cuenca media donde existe un depósito húmedo activo previo a encausarse el volumen de excedente pluvial.

PUNTO 10

PLANICIE INUNDABLE

Inundaciones Pluviales

LEYENDA
Suceptibilidad Grado

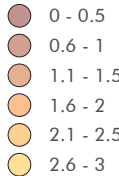


SIMBOLOGÍA

- Subcuenca R. Apaseo
- Límite estatal
- Límite estudio
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Localidad rural
- Localidad urbana Manzanas

Inundaciones Fluviales

LEYENDA
Tirante Metros



El punto 10 muestra una planicie inundable con escurrimientos que “bajan” en dirección Norte-Sur por la localidad, de orden menor y con poco tirante, que si bien, en éste punto pareciera no relevante, es indispensable ir estableciendo acciones no cuenca abajo en donde la inundación solo es tratable mediante la regulación del drenaje, la ampliación de su capacidad o la contención de las aguas, sino río “arriba” donde comienzan a perfilarse los excedentes pluviales los cuales pueden y deben ser abordados de manera precautoria con acciones basadas en naturaleza de bajo impacto territorial pero con gran beneficio social.

PUNTO 11

DESARROLLO POR VÍA

Inundaciones Pluviales

LEYENDA
Suceptibilidad
Grado

 — Muy alto
 — Muy bajo



SIMBOLOGÍA

-  Subcuenca R. Apaseo
-  Límite estatal
-  Límite estudio
-  Límite municipal
-  Límite INEGI
-  Localidad rural
-  Localidad urbana
-  Manzanas

Inundaciones Fluviales

LEYENDA
Tirante
Metros

 0 - 0.5
 0.6 - 1
 1.1 - 1.5



El punto 11 se aprecia de igual manera una condición de desbordamiento del cauce principal pero en éste caso condicionada por la red y estructura vial del territorio, pues es observable como la presencia de las vialidades condiciona y guía los escurrimientos superficiales al sur del cauce previo a su dren en un puente que funge como colector pluvial, vale la pena mencionar que dichas infraestructuras deben ser tratadas y mantenidas a fin de que cumplan con su labor de forma oportuna ante la incidencia de lluvias extremas, para el caso particular del punto 11 vale la pena mencionar que de igual manera se observan tirantes pequeños a diferencia de los observados en el punto 1, reforzando la necesidad de obras que en conjunto resten intensidad a los flujos río "abajo".

PUNTO 13

PLANICIE EN DESBORDE

Inundaciones Pluviales

Inundaciones Fluviales

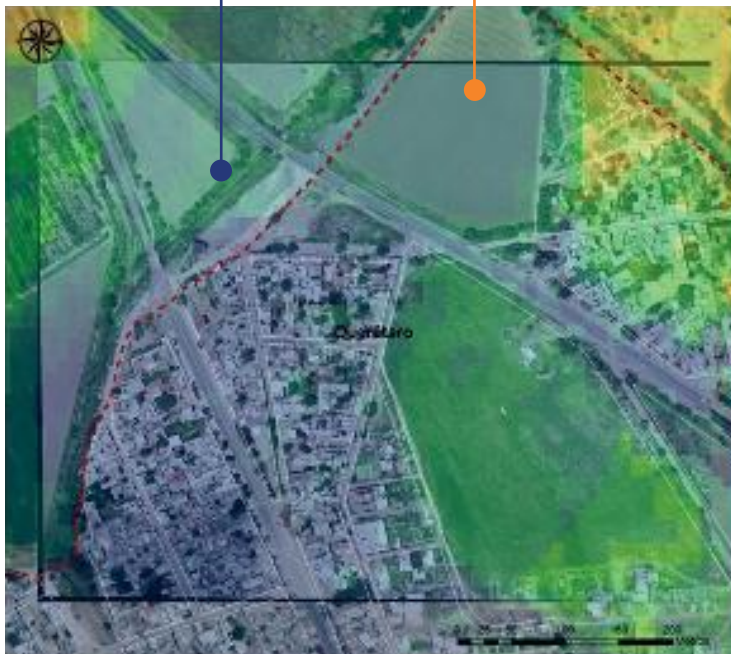
SIMBOLOGÍA

- Subcuenca R. Apaseo
- Límite estatal
- Límite estudio
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Localidad rural
- Localidad urbana Manzanas

LEYENDA

Suceptibilidad Grado

- Muy alto
- Muy bajo



LEYENDA

- Tirante Metros
- 0 - 0.5
 - 0.6 - 1
 - 1.1 - 1.5
 - 1.6 - 2

El punto 13 identificamos la confluencia de los flujos superficiales provenientes de las presas en la porción norte del municipio, un nodo importantísimo para reducir la acumulación de excedente pluvial río abajo, sobre todo considerando el desdibuje del cauce por la topografía y el emplazamiento humano, y que se observa al carecer el tirante las profundidades propias de un cauce, sin embargo llegando hasta el 1.5 m de tirante máximo durante un evento de inundación por lluvia máxima; vale la pena identificar en éste punto áreas de oportunidad para regular la excedencia de las aguas pluviales procedentes de la cuenca alta y muy importantemente de las presas, si bien, ante una posible evacuación de aguas es casi imposible que se retenga el agua drenada, es posible ir reduciendo la velocidad de los flujos mediante acciones regulatorias y la identificación de parques inundables.

PUNTO 6 y 7

ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Inundaciones Pluviales

Inundaciones Pluviales

SIMBOLOGÍA

- Subcuenca R. Apaseo
- Límite estatal
- Límite estudio
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Localidad rural
- Localidad urbana
- Manzanas

LEYENDA

Suceptibilidad Grado

- Muy alto
- Muy bajo



LEYENDA

Suceptibilidad Grado

- Muy alto
- Muy bajo

Sumado a la información en nodos clave, se levantaron puntos con antecedentes de inundaciones para la identificación de acciones basadas en naturaleza para reducir la incidencia de inundaciones en las planicies antropizadas del sur del municipio.

PUNTO 8

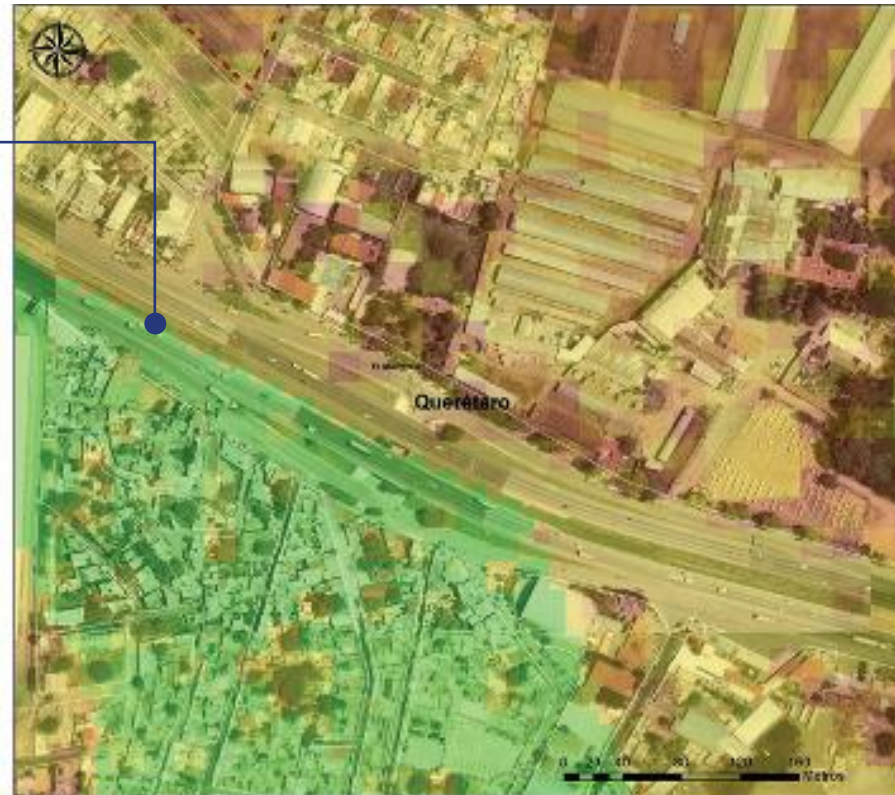
PARQUE LINEAL

Inundaciones Pluviales

LEYENDA
Suceptibilidad
Grado



Muy alto
Muy bajo



SIMBOLOGÍA

- Subcuenca R. Apaseo
- Límite estatal
- Límite estudio
- Límite municipal
- Límite INEGI
- Localidad rural
- Localidad urbana
- Manzanas

Definición de acciones de infraestructura resiliente

El primer paso para una mejor gestión del riesgo de inundaciones es la definición de acciones de infraestructura resiliente, las cuales contribuyen a mitigar el posible impacto del fenómeno, y otorgan elementos al territorio que mejoran la imagen urbana y que le aportan una utilidad para que los habitantes apoyen al cuidado y manejo de estos espacios. Lo que fortalece la inversión de recursos humanos y materiales, que fomenten un espacio resiliente al traer beneficios como servicios ambientales y urbanos en el municipio.

Estas acciones deben enfocarse al corto, mediano y largo plazo a la participación de las entidades del gobierno, Protección Civil, instancias privadas, organismos sociales y la sociedad civil, con ello se cumple lo instaurado por el Sistema Nacional de Protección Civil donde la prevención se construye por todos.

INFRAESTRUCTURA VERDE

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, y The Nature Conservancy (2014) definen infraestructura verde como los sistemas naturales o seminaturales que proveen servicios útiles para la gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a los de la infraestructura hídrica gris, que es la convencional o construida.

En el marco de la planeación urbana la infraestructura verde actualmente se convierte en un hito, en donde cobra mayor importancia el ámbito natural, al considerar la perspectiva social y económica del territorio. La infraestructura verde favorece la conservación de la biodiversidad, adaptación al cambio climático, disminución de inundaciones, control de escorrentías y manejo de drenajes, aumento y mejoramiento de espacios verdes y la creación de empleo y el aumento del valor económico de bienes inmuebles. SEDEMA, 2022

Por lo cual, es necesario posicionar a la infraestructura verde como una acción para contribuir a la mitigación de riesgos y de esta manera contribuir a la construcción de resiliencia hídrica del territorio, sumando a otros actores que inciden en el tema desde distintos frentes.

La infraestructura verde puede definirse como “El conjunto de soluciones, prácticas y técnicas basadas en el funcionamiento de la naturaleza, que conforman redes planificadas de interconexión de paisajes naturales, seminaturales y construidos, que buscan potenciar los servicios ambientales, superar problemas asociados al desarrollo de las ciudades y aumentar la resiliencia, entre otros, a desastres naturales y riesgos de salud pública”. SEDEMA, 2022

La intervención de espacios conforme a los principios de conectividad, accesibilidad, funcionalidad y resiliencia permitirá la generación de múltiples beneficios socioambientales, como disminuir los contaminantes atmosféricos, incrementar la recarga de acuíferos, reducir los riesgos por inundaciones y deslaves, y proveer hábitat para la vida silvestre.

Así pues, las tecnologías de infraestructura verde buscan imitar los procesos hidrológicos naturales en condiciones de preurbanización, aumentando las tasas de infiltración y recarga de acuíferos y con ello, reducir el volumen y la velocidad de la escorrentía con el objetivo principal de contribuir a la seguridad hídrica de la región.

Obras de captación, conducción, infiltración y suministro de aguas

Sistema de alcantarillado y red de drenaje

Los principios básicos de estas obras son conservar espacios naturales, minimizar el impacto de la urbanización, mantener el coeficiente de escurrimiento, implementar programas de prevención de contaminación y mantenimiento adecuado del recurso.

La recarga de acuíferos, la conservación de suelos, la depuración de agua, la mitigación de avenidas y la adaptación al cambio climático son algunos de sus beneficios, además de otros aspectos menos relacionados con la gestión hídrica, pero de alto valor, como la regulación del microclima, la preservación de la biodiversidad, la captura de carbono, la belleza paisajística y un aire más limpio.

La finalidad de las redes de alcantarillado es recoger y transportar tanto las aguas pluviales como las residuales desde el sitio en el que se originan hasta la estación depuradora encargada de tratarlas. Sin embargo, la mayoría de la infraestructura correspondiente al manejo de aguas residuales en muchas de las ciudades de más rápido crecimiento es deficiente, obsoleta y no está diseñada para cumplir con las condiciones locales.

Es por ello que, la falta de infraestructura sanitaria y pluvial constituye un riesgo considerable de contaminación del agua superficial y subterránea, tanto en los cuerpos de agua locales como en los compartidos. Lo que, a su vez, incrementa el riesgo de transmisión de enfermedades debido al posible contacto de los habitantes con aguas y suelo contaminados.

Dicho lo cual, se recomienda ampliar, rehabilitar y dar mantenimiento tanto al sistema de distribución de agua potable como al de alcantarillado y red de drenaje. Con tal finalidad, deben ser realizados diversos estudios enfocados al funcionamiento actual de las instalaciones dentro del municipio, con el fin de detectar zonas cuyas dimensiones sean insuficientes para los caudales registrados y que los materiales empleados sean los adecuados para el correcto funcionamiento de la red.

Posteriormente, derivado de los resultados obtenidos se puede proponer la realización de obras de drenaje en los sitios afectados, así como la rectificación del trazo y mantenimiento a la red, para reducir la cantidad de agua que fluye en la superficie y darle una salida rápida al agua evitando que se acumule, provocando desbordamientos y afectaciones a la población.

Por otro lado, como se mencionó con anterioridad las grandes urbes con una descuidada infraestructura de saneamiento suelen verse desbordadas a casusa de los diversos desechos humanos y posibles contaminantes y no sólo es necesaria la ampliación del sistema, sino que es de igual importancia o incluso de mayor relevancia el implementar acciones de limpieza, mantenimiento, desazolve, dragado, entre otros.

En este sentido, las labores de limpieza de alcantarillado de manera periódica son trascendentales para evitar inundaciones, al prevenir la acumulación de agua con posible contenido de materiales tóxicos y organismos dañinos, además de que el correcto desalojo de aguas reduce la erosión del suelo.

Obras de captación, conducción, infiltración y suministro de aguas

Es importante mencionar que la captación de agua de lluvia tiene múltiples beneficios, tales como la reducción del flujo de agua que desemboca en los drenajes, lo que implica menos riesgo de inundaciones; facilita el acceso al recurso hídrico al disminuir la cantidad de energía requerida para bombear y transportar agua a las diferentes zonas donde es requerida y finalmente contribuye a la disminución de la sobreexplotación del acuífero y a su recuperación al reducir la demanda del recurso.

Dicho lo anterior, es imperativo fomentar la construcción de diversos tipos de obras hidráulicas enfocadas a la captación, contención, infiltración y conducción de aguas, por mencionar algunas se encuentran las siguientes:

DIQUES DE CONTENCIÓN

Son esencialmente sistemas de corrección torrencial y de control de procesos erosivos en causas, los cuales pueden ser representados por diversos tamaños y materiales, los más comunes son los de concreto, de mampostería, de gavión o de madera. La elección de la constitución y la dimensión de estos deberá estar ligada a una serie de factores determinantes como lo son el tipo de suelo, la cobertura vegetal, el flujo, la velocidad y potencia de agua, entre otros. De igual manera es importante tener en consideración que este tipo de obras suelen estar acompañadas por otro tipo de obras de protección complementarias diseñadas para dar garantía de estabilidad frente a fenómenos de socavación.

ZANJAS COLECTORAS

Por lo general suelen ser constituidas de concreto y ser colocadas en zonas altas con la finalidad de coleccionar los caudales de escorrentía y agua de lluvia a lo largo de una terraza y/o talud cuando la misma forma parte de un sistema de abancalamiento, lo que prevé que se formen corrientes erosionadoras del talud que formen cárcavas o surcos.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Diseñadas para la captación de agua de lluvia. La función de los pozos, zanjas o trincheras con una profundidad considerable de entre 1 a 3 metros rellenos de material granular es captar la escorrentía y recoger y almacenan el agua mientras ésta se infiltra en el terreno natural. Lo que reduce la erosión y con ello preserva el suelo y sus capas fértiles.

ACEQUIAS

Son canales de reducidas dimensiones semicirculares que aprovechan la orografía del terreno para la distribución y conducción del agua, formando una red de ramales a partir de la acequia principal. Son construcciones de fácil elaboración y bajo costo que se utilizan para captar y conducir aguas de escorrentía hacia causas naturales estables o estructuras de mayor capacidad.

CANALES DE
DESVIACIÓN

Su objetivo es el de disminuir el escurrimiento superficial del área con cárcavas activas y disipar el agua retenida a través de la infiltración. Los canales son estructuras que pueden ser naturales o de materiales constructivos, son generalmente construidas en laderas y tienen por objetivo, capturar y evacuar las aguas de escorrentía hacia una zona en la cual estas puedan ser vertidas, minimizando el daño ambiental. (Pizarro et al 2004).

CANAL CON
PANTALLAS
DEFLECTORAS

En esta obra, el canal es de sección rectangular con fondo liso y posee pantallas alternas deflectoras colocadas a 45 grados con respecto al eje del canal. Tiene pestañas longitudinales sobre los bordes de sus muros que funcionan como rompeolas y evitan que el agua salte del canal. Se emplean mayormente en pendientes pronunciadas de hasta 50%, puesto que disipan la energía del flujo del agua evitando velocidades exageradas sin importar la diferencia de niveles en los extremos del canal o su extensión.

CAPTADORES
PLUVIALES

Tipo de instalación hidráulica cuya finalidad es la recuperación, filtración, almacenamiento y recirculación de aguas pluviales. Consiste en utilizar las cubiertas de los inmuebles como superficies de captación. De este modo, el agua se recoge mediante canalones o sumideros en un tejado o una terraza y se conduce a través de bajadas de agua, para ser filtrada y almacenarse finalmente en un depósito el cual posteriormente le dará un nuevo propósito al agua.

Obras de aumento y mejoramiento de espacios verdes

— Revegetación y densificación de áreas verdes

Las áreas verdes urbanas proveen beneficios a los ecosistemas urbanos que influyen en la calidad de vida de las personas, además son de gran importancia para la estética, la cultura y el esparcimiento, así pues, la diversidad y cantidad de estas áreas verdes contribuye a la salud física y mental de los habitantes puesto que mejoran la interacción social y la identidad urbana. En este sentido es evidente conocer la calidad, utilización, ocupación y accesibilidad de las áreas verdes.

La revegetación responde a la necesidad de incrementar sustancialmente la superficie de vegetación en el territorio urbano, mejorar las condiciones de las áreas verdes y equilibrar el acceso a espacios públicos con naturaleza en las distintas zonas de la ciudad, con esta finalidad, se deben recuperar especies nativas de la región, aumentar la presencia de jardines para polinizadores, mejorar los suelos y combatir las plagas y enfermedades que afectan a la vegetación.

Naturalmente, se sabe que la planeación, desarrollo, mantenimiento y conservación de las áreas verdes dentro del territorio, potenciará los servicios ecosistémicos que estos espacios ofrecen a la ciudad, del mismo modo que mejorará la calidad de vida de la población y la conservación de la biodiversidad, permitiendo la adaptación a los efectos del cambio climático.

En este sentido, la creación de jardines y corredores con especies hospederas de polinización mediante la colocación de plantas, preferentemente nativas de la región, que proveerán alimento, refugio, agua y espacio para las especies polinizadoras es una excelente propuesta de implementación.

De manera que, es importante mencionar que la creación y/o rehabilitación de las áreas verdes debe integrar actividades de mejoramiento y mantenimiento para potencializar sus beneficios ambientales y fomentar la conservación de espacios públicos adecuados.

Con la finalidad de mejorar también el paisaje urbano, disminuir la erosión del suelo, aumentar la captura de partículas contaminantes, diversificar áreas de refugio para la fauna urbana y aumentar la actividad de los principales grupos de polinizadores.

FIGURA 24

Actividades de revegetación en el marco del Programa Reto Verde, con la participación de jóvenes del Instituto de la Juventud de la Ciudad de México.



FIGURA 25

Ejemplo. Jardín para polinizadores, área de Yecahuizotl, ANP Sierra de Santa Catarina.



Propuesta de especies vegetales

| EL MARQUÉS, QRO.

El estado de **Querétaro** cuenta con cubierta vegetal muy variable, de acuerdo con el estudio "Plantas Nativas en el Estado de Santiago De Querétaro" realizado en 2009, en donde se visitaron diversas zonas, entre las que se encuentran Los Cajones, El Batán, La Carbonera, La Cañada, Los Jazmines, La Barreta y El Tángano; se identificaron una serie de especies endémicas, de las cuales se retomaron las siguientes con la finalidad de enriquecer la propuesta de revegetación y densificación de áreas verdes en el municipio.

FIGURA 26

Especies endémicas en el estado de Querétaro



Cardiospermum halicacabum Fam. Spindaceae "Farolitos y/o Munditos"

Bejuco o enredadera herbácea, anual, hojas alternas, compuestas, márgenes serrados, inflorescencias racimos axilares con 2 zarcillos en la base, flores blancas, frutos globosos, inflados con 3 semillas negras.

Ecología: Se encuentra en partes húmedas o menos secas de bosque tropical caducifolio, matorral crasicaule y bosque encino.



Anisacanthus Quadrifidus Fam Acanthaceae

Arbusto de 1 a 2 m de alto, muy ramificado, a veces las ramas jóvenes son moradas, hojas opuestas, lanceoladas, inflorescencia en espiga, flores rojas, tubulares 5 lóbulos, fruto en capsula con semillas café.

Ecología: Se encuentra en bosque tropical caducifolio.

Uso: Potencialmente ornamental.



Physalis cinerascens Fam. Solanaceae "Tomatillo de Monte"

Hierba perenne de 10 a 40 cm, cubierta con pubescencia ramificada, hojas ovadas, folios solitarias rotadas, amarillas con 5 manchas moradas, fruto una baya cubierta por caliz acrescente.

Distribución: Sur EUA a Yucatán.

Uso: Rizoma medicinal contra diarrea.

Especies endémicas en el estado de Querétaro



Plumbago pulchella Fam. Plumbaginaceae
"Hierba del negro y/o Pañati"

Hierba, generalmente sobre rocas u otras plantas, 40-80cm de alto, hojas alternas, ovadas o rómbicas, inflorescencias en racimos, glándulas negras y pegajosas, flores tubulares, frutos alargados, envueltos en un cáliz.

Ecología: Bosque tropical caducifolio, matorral crasicuale. Tiene flores todo el año.



Tetramerium nervosum Fam. Acanthaceae
"Olotillo"

Hierba de 20 cm, muy ramificada, hojas opuestas, simples, lanceoladas, pubescentes, inflorescencias en espigas terminales y axilares ciliadas, flores amarillas con manchas moradas o rojas, fruto cápsula.

Ecología: Bosque tropical caducifolio, matorral crasicuale. Florece en mayo.



Karwinkia humboltiana Fam. Rhamnaceae
"Tullidota"

Arbusto 3 m alto corteza fisurada color gris, hojas simples, flores pequeñas amarillo-verdosa, fruto una drupa verde, café o negro.

Distribución: California, Tamaulipas, Querétaro, Veracruz, Yucatán, Oaxaca oeste de Texas.

Usos: La pulpa del fruto es comestible pero las semillas son extremadamente tóxicas. Las hojas también son tóxicas para el ganado.

Especies endémicas en el estado de Querétaro



Iresine Schaffneri Fam. **Amaranthaceae** “Pie de
Paloma”

Arbusto de 1.80 m, hojas opuestas, ovadolanceoladas, con apice acuminado, haz y envés pubescentes, inflorescencia en espiga, fruto ovoide y semillas café.



Cissus sicyoides Fam. **Vitaceae**
“Tripa de vaca”

Liana herbácea o leñosa, flexible, rastrera o trepadora, de varios metros de largo, hojas alternas, pecíolo grueso, simples ovadas, a veces asimétricas, borde aserrado, inflorescencia en racimo, flores verdes o amarillentas, fruto una baya, globosa y una semilla.

Ecología: Bosque tropical caducifolio y bosque de encino. Florece de mayo a junio.



Bursera cuneata Fam. **Burseraceae**
“Copal”

Árbol pequeño, con follaje deciduo y exudado pegajoso, aromático; hojas alternas, compuestas, folíolos aserrados. Fruto tipo drupa. Florece en primavera; fructifica en verano y otoño.

Especies endémicas en el estado de Querétaro



Tillandsia recurvata Fam. Bromeliaceae
"Heno pequeño"

Planta de hábito epífita. Hojas angostas, cubiertas con pequeños pelos. Color gris, inflorescencia erecta, flores sésiles con pétalos azules.

Ecología: Bosque caducifolio.

Distribución: Desde Texas hasta Sudamérica.

Uso: Ornamental con motivos navideños.



Anredera ramosa Fam. Basellaceae
"Sacasil"

Hierba voluble que crece hasta 8 m sobre los árboles de los que cuelga, glabra, suculenta y mucilaginoso, hojas alternas, ovadas, inflorescencia en racimos, flores de corola blanca a beige, fruto seco negro.

Ecología: Bosque tropical caducifolio y matorral xerófito.



Heimia salicifolia Fam. Lythraceae
"Sinucuiche"

Árbol pequeño, con follaje deciduo y hierba o arbusto con hojas verticiladas u opuestas, sin estipulas, flores de simetría bilateral o radial insertos en el tubo del cáliz, nuecero variable de estambres, ovario supero con 2 carpelos, fruto en forma de cápsula.

Ecología: Bosque tropical y vegetación rará.

Usos: Medicinal para aliviar bronquitis, se le atribuyen propiedades alucinógenas.

Especies endémicas en el estado de Querétaro



Bursera fagaroides Fam. Burseraceae
"Palo xixote"

Árbol de 4 m de alto, muy ramificado, corteza de tipo lisa exfoliante, hojas compuestas margen creando, flores individuales o en grupos, corola amarillo-verdosa, fruto drupa trivalvaza, ovoide subesférica, rojiza. Florece de mayo a junio.

Ecología: Bosque tropical caducifolio u matorral crasicale.

Usos: Para leña, como medicinal, para cercas vivas.



Aloysia gratissima Fam. Verbenaceae
"Cedrón del monte"

Arbusto hasta 3 m, con ramas agudo espinosas. Hojas simples, opuestas, dentadas o lanceoladas, blandas o subcoriáceas, verdes en el haz y blanquecinas en el envés.

Flores: De color blanco, muy perfumadas, dispuestas en racimos axilares Florece en primavera y verano. Fruto cápsula.

Ecología: Matorral Xerófito.

Usos: Medicinal y melífera.



Talinum paniculatum Fam. Portulacaceae
"Rama de sapo"

Hierba perenne, con tallos de vida corta, hojas carnosas, con grandes panículas terminales, flores generalmente rojizas. Fruto seco y una capsula globosa con numerosas semillas negras.

Ecología: Matorral xerófito.

Usos: Medicinal y ornamental.

Especies endémicas en el estado de Querétaro



Tradescantia crassifolia
Fam Commelinaceae

Planta erecta, a veces sin tallo, carnosa, hojas lineares u oblongo lanceoladas, margen engrosado con pelos, Flores con pétalos de color morado, púrpura, rosado o azulosos, fruto es una cápsula pilosa.

Ecología: Matorrales, pastizales, bosques de encino.

Jardines infiltrantes

Mientras mayor sea el crecimiento de la ciudad, incrementará también el grado de escorrentía y con ello el fenómeno de las inundaciones, puesto que las superficies impermeables son añadidas con mayor frecuencia a nuestras comunidades, por lo cual es de suma importancia el fomento de medidas que favorezcan la infiltración del agua de lluvia, lo que de igual forma protege la calidad del agua al contener los posibles contaminantes que la escorrentía podría llevar hacia los riachuelos y lagos locales.

Los jardines infiltrantes se definen como áreas depresionales conformadas por vegetación nativa estratégicamente localizados para capturar la escorrentía de superficies impermeables como techos y caminos. En este sentido, los jardines de se encargan de infiltrar el agua procedente de fuertes tormentas en el suelo en lugar de correr hacia un drenaje de aguas pluviales. (USDA,2011)

Los jardines de lluvia o jardines infiltrantes suelen poseer dimensiones limitadas por lo que suelen estar colocados en zonas residenciales. Están compuestos por vegetación, capas de suelo de diferente granulometría y áreas de encharcamiento que permiten la infiltración del agua de lluvia, mejorando su calidad y su aprovechamiento para las plantas, además de que favorecen la evapotranspiración.

Otras de las ventajas de este tipo de acción, son la mejora a la estética de las ciudades, el incremento de áreas verdes y la regulación del microclima.

FIGURA 27

Plantación de Lantana en la Calzada de Tlalpan para la creación de jardines polinizadores



Cabe mencionarse que, los jardines de lluvia contribuyen a mitigar las inundaciones en zonas urbanas a un menor costo que una estructura convencional, siempre y cuando se implementen de manera correcta, siguiendo los criterios de diseño y construcción adecuados. Ya que, este tipo de tecnologías no es adaptable en zonas con pendientes muy pronunciadas, y requieren mantenimiento constante. (Llaguno Guilberto, Ortiz Burciaga, 2021)

Techos verdes

No todas las soluciones están en el suelo. Otra forma de reducir el drenaje pluvial en zonas urbanas de alta densidad es fomentando el crecimiento de vegetación en techos y azoteas. Los techos verdes no sólo permiten la captación del agua de lluvia, sino que también mejoran el aislamiento térmico del edificio, con los consiguientes ahorros energéticos. Y naturalmente, tienen el beneficio añadido de la creación de más espacios verdes en nuestros entornos urbanos.

En este sentido, las azoteas o techos verdes se definen como un sistema conformado por diferentes capas de material y espesor diversos que permiten la propagación de la vegetación en una superficie expuesta a la intemperie. (López Zúñiga, 2021)

Los techos verdes brindan confort independientemente del ambiente interior que cubran: en las zonas de climas fríos, lo calientan y en los climas cálidos, lo enfrían; tienen una larga vida útil; producen oxígeno, y absorben dióxido de carbono, con lo cual mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la contaminación industrial, especialmente.

Este tipo de tecnología se puede aplicar tanto a edificios nuevos como a los ya existentes, y con ello reponer parcialmente la naturaleza robada a sus alrededores con la construcción del propio edificio. De esta manera se reintegra al paisaje y propicia el incremento de la biodiversidad animal y vegetal en las ciudades.

FIGURA 28

Azotea verde edificio sede del Instituto Nacional del Fondo de la Vivienda para los Trabajadores, CDMX



Parques urbanos

A través de la recuperación, ampliación y mejoramiento de parques y espacios públicos, no sólo se mantienen, protegen y conservan las áreas verdes existentes, sino que se habilitan y crean espacios verdes para la recreación y disfrute de los habitantes.

Entre las acciones que implican la concepción, construcción y realización de un parque urbano se encuentra la revegetación, reforestación, mejoramiento, mantenimiento de las áreas verdes existentes y plantación de nuevas especies arbóreas. La integración y conexión de espacios y circuitos a través de ciclopistas, trotapistas, pasos seguros y de accesibilidad universal, la colocación de mobiliario urbano y señalética, el mejoramiento de la red de alumbrado, habilitación de zonas de descanso y recreación como plazas, juegos infantiles, zonas deportivas, canchas, andadores, espacios adaptados para mascotas, entre otros. De igual manera puede implementarse el uso de enotecnias según sea el caso.

En este punto, es importante resaltar el papel de los pavimentos permeables dentro de la proyección de un parque urbano, puesto que esta alternativa optar por hacer las superficies más permeables sin necesidad de redirigir el agua; algunos de los materiales que conforman estos pavimentos son el concreto poroso y el asfalto permeable o adoquinado.

FIGURA 29

Ejemplo parque urbano Parque De Las Garzas en San Juan del Río



Así mismo, la rehabilitación de espacios existentes como acción de mitigación es ampliamente recomendada para contrarrestar el deterioro ambiental y promover la apropiación y concientización de zonas estratégicas para la preservación y el fortalecimiento de los servicios ambientales que de igual manera funcionan como lugares de acceso público con infraestructura encaminada a la recreación, esparcimiento, educación, deporte o cultura.

FIGURA 30

Rehabilitación Parque Ecológico de Xochimilco. Periférico Oriente, Xochimilco, CDMX

Finalmente, la Secretaría del Medio Ambiente exhorta a la evaluación de toda propuesta y proyecto de paisaje al revisar la selección de vegetación a utilizar en cada parque considerando su potencial y aporte de servicios ambientales como la conservación y mejoramiento del suelo, la regulación de humedad, mitigación de islas de calor, infiltración de agua de lluvia, captura de carbono, atrayente de polinizadores, biodiversidad, entre otros aspectos, la cual considera también parámetros de confort y la aplicación de nuevas tecnologías para mejora del medio ambiente. (SEDEMA,2022)



Parque lineal

Como se ha mencionado con anterioridad, la Infraestructura verde responde a la necesidad de tomar acciones frente a los cambios climáticos y los desafíos que estos representan, con el fin de cambiar las relaciones y dinámicas entre el ser humano y el medio ambiente y así mejorar la calidad de vida de los habitantes, preservar la biodiversidad y optimizar los recursos naturales.

Los parques lineales se refieren a un espacio verde de carácter lineal, generalmente habilitado a lo largo de vías de ferrocarril en desuso, márgenes de ríos, arroyos, canales o vacíos urbanos. Estos parques se catalogan como áreas verdes bajas en donde por lo general los árboles de grandes dimensiones no predominan tanto como en un parque normal.

Los parques lineales cubren esencialmente el principio de conectividad, al cual la infraestructura verde responde. Puesto que, vinculan y aumentan el grado de conexión entre los espacios tanto urbanos como rurales, al permitir el desplazamiento de personas, fauna, viento y agua, por ejemplo, mediante la creación de corredores peatonales, pistas o ciclovías al mismo tiempo que incluyen áreas verdes, no sólo como un factor del paisaje sino como proveedoras de servicios ambientales.

Entre los beneficios que conlleva la implementación de parques se encuentra la mejora en la calidad del aire, la regulación de temperaturas, la capacidad de producir bioenergías y con ello sustituir otras fuentes de energía no renovables, el control de inundaciones al comportarse como vasos reguladores y ampliar la superficie permeable disponible para la captación de agua, la reducción de contaminación auditiva, el control de erosión, el mejoramiento del hábitat de la fauna silvestre, la generación de oportunidades laborales, la disminución de enfermedades respiratorias, la creación de espacios de recreación, la mejora de la imagen urbana, el crecimiento del valor estético y el aumento de plusvalía al sector inmobiliario. (Sorensen, 1998)

FIGURA 31

Parque lineal Gran Canal Av. Gran Canal del Desagüe, Venustiano Carranza, Ciudad de México



Parque inundable

El agua tiene un papel fundamental para cualquier forma de vida por lo que consecuentemente su control y manejo se vuelve esencial para la dinámica urbana, así pues, su integración con la forma en la cual disfrutamos de los espacios públicos debe convertirse en prioridad dentro de los proyectos de diseño urbano que se desarrollan en la mayoría de nuestras ciudades.

En la actualidad las constantes lluvias y fuertes tormentas revelan la importancia de considerar el agua en el diseño urbano de forma más elemental puesto que la mayoría de las veces, la infraestructura actual se ve sobrepasada por los niveles de precipitación a los que son sometidas.

La capacidad de las ciudades de adaptar su infraestructura frente este nuevo contexto parece ir a una velocidad distinta a los cambios asociados al clima, no obstante, algunas iniciativas como los parques y plazas inundables abren una oportunidad para empezar a gestionar de manera sostenible uno de los recursos más importantes para la vida. En este contexto surge el Diseño Urbano Sensible al Agua como modelo de planificación y diseño en el que se considera el ciclo natural del agua como parte de la dinámica del espacio urbano, mismo que incluye una amplia gama de estrategias para la captura de aguas de lluvia, entre las que se encuentran los parques y espacios públicos inundables.

Los parques y plazas inundables se diferencian de otros espacios públicos en que éstos son particularmente diseñados para ser inundados y aprovechar de forma eficiente la cantidad de agua que albergan, de esta manera, se transforma el problema en una oportunidad.

Entre los beneficios que aporta la implementación y construcción de parques inundables se encuentra en primer lugar la mitigación del riesgo existente asociado a fenómenos de origen hidrometeorológico, en segundo lugar a reducir la escasez del recurso y en tercer lugar a disminuir la contaminación de los cuerpos de agua; en este sentido es claro que los parques son una alternativa eficiente y sustentable para la ciudad, ya que integran los procesos naturales y ayudan a mantener el equilibrio que usualmente se ve afectado por el desarrollo urbano.

En conclusión, la mitigación del riesgo es una función fundamental de los parques inundables ya que estos pueden ser una pieza clave en el diseño de sistemas de alerta temprana, planes de evacuación y monitoreo ante posibles inundaciones o ante el aumento del caudal de los ríos.

Es importante mencionar que las dimensiones, ubicación y composición de este tipo de infraestructura estarán en función del contexto, la cantidad y tipo de agua que reciben. Para almacenar el agua, estos espacios públicos requieren de

grandes depósitos subterráneos que deben ser considerados y cuidadosamente calculados durante el proceso de diseño y construcción.



FIGURA 32

Ejemplo parque inundable La Marjal, Alicante.
Una infraestructura verde pionera en España creada
para cumplir una serie de funciones hídricas, sociales y
ecosistémicas.



Cabe mencionarse que los parques inundables parten de un entendimiento tridimensional del espacio público, donde estos no son únicamente un plano horizontal en el espacio urbano, sino que cuentan con una serie de capas y niveles que pueden ser aprovechados para diferentes actividades.

Otras medidas a considerar

Aunado a todo lo anterior se recomiendan las siguientes medidas preventivas ante fenómenos naturales, específicamente a inundaciones:

1



Campana de cultura y programas de sensibilidad

Para mantener los espacios libres de desechos y residuos sólidos se debe exhortar a los habitantes de cuidar su entorno en beneficio de todos. Es imperante promover una cultura de respeto hacia las áreas verdes en espacios compartidos y en vía pública, donde se enfatice su importancia como zonas de infiltración del agua al subsuelo.

2



Reubicación de la población

Una vez identificadas las zonas de riesgo, es recomendable realizar la reubicación de la población cuyos asentamientos se encuentren en zonas vulnerables, proclives a inundaciones y desbordamiento de ríos.

3



Prevenir crecimiento urbano en áreas de riesgo

En la mayoría de los casos la reubicación de población se vuelve una acción improbable, por lo que es muy importante restringir la construcción de nuevas edificaciones en zonas inundables, barrancas laderas inestables, entre otros sitios de alto riesgo. Para ello es necesario implementar instrumentos de planeación funcionales y adecuados que eviten el crecimiento urbano desmedido.

4



Implementar sistemas de alertamiento

En ríos y barrancas. Por medio de la automatización y de alarmas que midan el nivel de los ríos a nivel satelital.

5



Implementar talleres comunitarios de prevención de riesgos

Para fortalecer la resiliencia de los pobladores y mejorar la concepción del entorno en los mismos

6



Implementar el uso de los sistemas de información geográfica (SIG)

Con la finalidad de que un mayor número de individuos concernientes del área y afectados tengan la posibilidad de consultar y tomar decisiones encaminadas al mejor desarrollo.

7



Impulsar la difusión de acciones preventivas

Ante desastre natural y cultura del simulacro. Elaborar con ello programas educativos a nivel escolarizado en el territorio y programas de difusión por medios de comunicación sobre cómo actuar ante una situación de riesgo.

8



Creación de políticas públicas

Que incentiven la inversión del sector privado y patrones de producción y consumo que reflejen los beneficios sociales de la sostenibilidad ambiental y los costos de la protección ambiental.

9



La adopción de tecnologías medioambientales

Que puedan permitir a las sociedades reducir sus impactos ambientales, disminuyendo también los riesgos y los costos de la degradación de los ecosistemas y de esta manera adaptarse y lograr un estado de resiliencia.



Estrategias y acciones relativas a la reducción de riesgos de inundaciones de instrumentos de planeación vigentes

A partir de la revisión y análisis de los principales instrumentos de planeación vigentes en el municipio se identifican los siguientes estrategias y acciones que favorecen al fortalecimiento e implementación de una mejor gestión de riesgos ante inundaciones, se toma especial interés en aquellas que fortifican la posible inserción de acciones de reducción de riesgos de inundaciones e implementación de obras e infraestructura verde. Cabe señalar la relevancia de que las acciones propuestas en este instrumento se encuentren alineadas a los instrumentos de planeación vigentes en el territorio.

En el *Plan Municipal de Desarrollo de El Marqués 2021-2024* se describe como segunda prioridad del gobierno municipal "mejorar las capacidades institucionales en materia de seguridad y Protección Civil".



En el programa

“2.5. Promoción de la cultura de la **prevención** de Protección Civil en el municipio”

Se detallan las siguientes líneas de acción:



2.5.1.

Capacitar a la población en temas de primeros auxilios, búsqueda y rescate, combate de incendios y evaluación, así como en comités de Protección Civil.



2.5.2.

Realizar inspecciones a establecimientos situados en el municipio de El Marqués sobre medidas de Protección Civil y en zonas de riesgo en materia de Protección Civil.



2.5.3.

Monitorear los riesgos previsible en el municipio.



2.5.4.

Llevar a cabo operativos de prevención en Protección Civil.

En el programa

“2.6. Fortalecimiento de las capacidades municipales de Protección Civil”

Se enmarcan las siguientes líneas de acción:



2.6.1.

Actualización del Atlas de Riesgos.



2.6.2.

Establecer y ejecutar el programa de reducción de riesgos de desastres y, en su caso, su atención.



2.6.3.

Fortalecimiento de la capacitación al personal de Protección Civil.



2.6.4.

Fortalecimiento de la infraestructura propia de las operaciones de Protección Civil, así como, del parque vehicular y equipamiento especializado en materia de Protección Civil.

Lo cual resulta de gran relevancia ya que estos puntos detallan los compromisos que el gobierno estipula para una mejor gestión en lo relativo a la prevención de los riesgos de inundaciones.

En su tercera prioridad enuncia “Impulsar el desarrollo urbano del municipio de forma ordenada y sustentable; mejorar la calidad en la prestación de los servicios públicos y ampliar su cobertura; asimismo, atender la problemática de la movilidad urbana”.

En el programa

“3.1: Impulso al desarrollo urbano sustentable en el municipio”

En este aspecto los siguientes programas de gobierno articulan y fortalecen la necesidad de implementar acciones de reducción de riesgos e infraestructura verde frente al fenómeno de inundación en el municipio:

Las líneas de acción a destacar son:



3.1.1.

Detonar la implementación de ecotecnias en la construcción mediante estímulos en el pago de derechos.



3.1.6.

Mejorar la imagen urbana municipal, asimismo llevar a cabo las acciones de mantenimiento, rehabilitación y construcción en el tema de urbanizaciones.

En el programa

“3.2: Certeza jurídica del patrimonio familiar”

Líneas de acción:



3.2.3.

Prevenir la propagación de predios irregulares.

En el programa

“3.3: Preservación y protección del medio ambiente”

Las líneas de acción a destacar son:



3.3.1

Impulsar la reforestación en comunidades, fraccionamientos, ejidos y áreas verdes del municipio.



3.3.4.

Proteger y preservar las zonas con alto valor ecológico del municipio.



3.3.8.

Impulsar el mejoramiento del paisaje urbano y promoción del crecimiento de las áreas verdes.

En el programa

“3.5: Mayor cobertura y mejor calidad en la prestación de los servicios públicos municipales”

Líneas de acción:



3.5.3.

Dar mantenimiento a la infraestructura pluvial.



3.5.7.

Ampliar, dar mantenimiento y mejorar las áreas verdes y espacios públicos del municipio.



3.5.9.

Atender la problemática existente en servicios de los peatones, como levantamiento y sistematización de fosas, certificación de propiedad, servicio de agua, drenaje y recolección de desechos.

En el Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDUEM)

El Marqués, 2019 dentro de sus políticas urbanas esboza la necesidad de que ellas cumplan con tres ejes “habitabilidad, competitividad, gobernanza”, en ellos se plantea la adecuación entre la población y su entorno, la inversión por medio de mejoras en la infraestructura, la calidad de los servicios que brinda a la población, aprovechando las ventajas competitivas del territorio, la planeación del mismo y los mecanismos y procesos entre los actores que facilitan el funcionamiento del espacio urbano, características que son fundamentales en las acciones de este plan de gestión.

En materia de “competitividad” se propone la acción de “Implementar proyectos ecoturísticos en la zona norte del municipio, para lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el apoyo económico para los pobladores de las localidades rurales”, en algunas de estas zonas se podrían realizar espacios con infraestructura verde, según las cualidades del territorio.

Dentro de las acciones en materia de seguridad urbana que se proponen en el PMDUEM las siguientes refuerzan una mejor gestión ante inundaciones:

Actualizar el Atlas de Riesgos Municipal, Programa de Ciudad Segura, armonización de reglamentos en materia de desarrollo urbano y medio ambiente, generar un programa de mejoramiento de vivienda de zonas marginadas y ubicadas en zonas de riesgo, diseñar una cartera de proyectos para la dotación de equipamiento de educación, salud y recreativo para los nuevos desarrollos urbanos, que propicien una vida sana y segura, conforme a las proyecciones de la población. Generar protocolos de seguridad enfocados en los ejes de prevención, emergencias y resiliencia y elaborar Manuales de operación de emergencias.

En su estrategia de espacios públicos alude a la importancia de generar o modificar los espacios para la convivencia de todas las personas, la infraestructura verde es una acción que fortalece este aspecto al generar espacios de convivencia familiar como parques inundables o jardines infiltrantes los cuales apoyan esta dinámica social y al mismo tiempo auxilian en la retención y captación del agua de lluvia lo que asiste a la mitigación del fenómeno de inundaciones.

En este instrumento también se denota la necesidad de incrementar las áreas verdes dentro del municipio, ya que “ellas mejoran las condiciones ambientales mediante el aumento de la calidad del aire, reducción del efecto invernadero, la captura de carbono y el embellecimiento del paisaje urbano”. Se describe la generación del programa de recuperación de espacios urbanos residuales, para darle utilidad a aquellas zonas que no están ocupadas, sitios donde de aplicarse pueden aplicarse obras de reducción de inundaciones.

En el aspecto de “gobernanza” se propone la acción de “fomentar la integración de sistemas alternativos amigables con el medio ambiente en los nuevos desarrollos inmobiliarios”, donde se podrían dotar de espacios de captación de lluvia.

En el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de El Marqués, Qro. 2018 (POELMEM), se regulan las áreas de valor ambiental mediante la definición de políticas y estrategias en Unidades de Gestión Ambiental (UGAs).

Dentro de las principales problemáticas identificadas en su Agenda ambiental seis tienen que ver con el manejo ineficiente de recursos en materia natural e infraestructura urbana que impactan en la generación de riesgos de inundaciones en el territorio, lo que evidencia la necesidad de dotar de mecanismos que les den solución ya que impactan en ambos aspectos. Dichas problemáticas ambientales según su prioridad son: primera prioridad uso de suelo, segunda prioridad manejo de residuos, tercera pérdida de biodiversidad, cuarta desarrollo urbano, sexta aguas residuales, séptima agua.

Es importante manifestar que varios eventos de inundaciones dentro del municipio son propiciados por las condiciones de azolve del drenaje, causado por la contaminación, falta de cultura de limpieza en la población, así como las alteraciones del sistema hidrológico y ambiental en el territorio. Por tanto, los siguientes lineamientos descritos en el POELMEM, también aplican para la reducción de inundaciones:

Consolidar una conciencia ambiental y responsable del uso sustentable del territorio en la población, fomentando la educación ambiental a través de diferentes medios de comunicación.

Conservar los escurrimientos y cauces superficiales del territorio, mediante la restauración y protección de estos, así como de los cuerpos de agua a los que pudieran estar asociados.

Mantener la superficie de cuerpo de agua y brindar el adecuado mantenimiento de la estructura en el 100% de su volumen para posibilitar el equilibrio hidrológico y favorecer la diversidad de hábitats.








Consolidar y regularizar el aprovechamiento sustentable extractivo que asegure el desarrollo productivo y económico de la actividad, así como la conservación y restauración del capital natural del recurso y su paisaje.

Promover el adecuado desarrollo de los usos compatibles minimizando los conflictos ambientales mediante una adecuada distribución de la infraestructura, equipamiento y servicios, minimizando los impactos ambientales generados por las actividades antrópicas y teniendo en cuenta aspectos culturales y sociales ligados al uso actual del suelo.

Proteger, conservar y reforestar las zonas verdes urbanas, que permitan fortalecer los servicios ambientales de la UGA.

Promover el crecimiento natural de la vivienda rural existente en la UGA, desalentando el desarrollo de nuevos centros de población, fomentando el uso de ecotecias para reducir el impacto ambiental y contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Por su parte las estrategias descritas por UGA en el POELMEM que fortalecen la reducción de riesgos de inundaciones en el municipio, son las siguientes:

-  Ejecutar acciones de desazolve y rehabilitación de infraestructura hidráulica para restablecer la capacidad de almacenamiento y regulación hidrológica de los cuerpos de agua.
-  Promover que la reforestación y la creación de áreas verdes se realicen con especies nativas de la región.
-  Regular y desincentivar la expansión de áreas urbanas cercanas a zonas de alta productividad agrícola, ganadera o forestal, así como zonas de amortiguamiento, recarga de acuíferos, zonas de protección, conservación y de riesgo.
-  Diseñar y aplicar un Programa de Educación Ambiental Municipal, enfocado a la problemática ambiental identificada en la Agenda Ambiental del POEL.
-  Promover un Programa de Vigilancia Comunitaria, que permitan la participación sectorial y ciudadana para establecer un sistema efectivo de denuncia de delitos ambientales (la tala clandestina, la caza furtiva y la extracción ilegal de vida silvestre), así también informar a la población sobre el manejo sustentable de los recursos naturales.
-  Promover una cultura de denuncia de los delitos ambientales entre las autoridades competentes.
-  Promover y apoyar el desarrollo de proyectos comunitarios para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la prevención de la contaminación.

En el *Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués, Qro 2021*, se definen zonas de susceptibilidad, peligro y riesgo ante inundaciones, así como estrategias y acciones para prevenir, gestionar y mitigar este fenómeno, entre las que se enumeran destacan los siguientes aspectos:

La implementación del Sistema Digital para la Gestión de Emergencias, el cual contribuye al fortalecimiento de la estructura y las capacidades operativas para incidir en el territorio por medio de la generación de herramientas de análisis territorial a disposición de la Coordinación de Protección Civil de El Marqués. Este se integra del Micrositio de levantamiento de emergencias e incidentes, del Micrositio de supervisión y análisis de reportes e incidentes, de la versión privada y pública del Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués.

1er micrositio

El personal de la Coordinación de Protección Civil de El Marqués puede alimentar la información en materia de detección, comunicación del incidente, así como la activación de la respuesta y la evaluación del escenario y tipo de estructura a implementar. Para restaurar de manera eficaz y eficiente la normalidad de las actividades afectadas, minimizando el impacto sobre las personas, el ambiente y los activos.

2do micrositio

Se muestran todos los reportes de incidencias que el personal de Protección Civil Municipal levante en tiempo real a través de dispositivos móviles en un tablero de control o dashboard para poder monitorear activos, eventos o actividades de un solo vistazo. Es una herramienta de gestión de la información que monitoriza, analiza y muestra de manera visual los indicadores clave de desempeño, métricas y datos fundamentales para hacer un seguimiento del estado de un proceso específico, en el se pueden monitorear los eventos de inundaciones.

El micrositio "Atlas de Riesgos privado"

Es un sistema Integral, el cual administra y procesa la información geoespacial para realizar análisis de riesgos ante desastres, presentando los resultados en forma de cartografía digital e información estadística al momento de ser requerida por el usuario. En el Protección Civil puede consultar la información de los sistemas expuestos a inundaciones y otros fenómenos, generar análisis, reportes, alertamientos, actualización y modificación de información entre otros aspectos.

En el micrositio de la "versión pública"

Del Atlas de Peligros y Riesgos cualquier ciudadano puede consultar información y reconocer aquellos fenómenos a los que se encuentra expuesto y participar de la reducción de riesgos.

FIGURA 33

Colocación de torrenteras pluviales, así como la construcción de dren pluvial que dirigirá escurrimientos aguas debajo de manera más eficiente

La propuesta de realización de limpieza y desazolve en diferentes drenes pluviales, rejillas de torrenteras pluviales y red sanitaria del parque industrial en el municipio. Obras de mitigación como cárcamos, drenaje pluvial, ampliación de alcantarillas pluviales, torrenteras pluviales para dirigir escurrimientos, re-nivelación de la cinta asfáltica en zonas específicas de acumulación, el detalle de aquellas obras que necesitan ampliación y mejoramiento. Monitorear en temporada de lluvia de la eficiencia del funcionamiento de las obras de mitigación realizadas.

Es importante enfatizar que muchas de las obras propuestas en el Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués se han ejecutado en el territorio y aquellas que aún no se han podido consolidar se retoman en el análisis de este instrumento. Las siguientes imágenes muestran evidencia de la implementación de obras de mitigación y prevención frente a inundaciones efectuadas en el municipio.

ANTES



DESPUÉS



FIGURA 34

Obras de mitigación y prevención de inundaciones de El Marqués, 2021



47 Estaciones meteorológicas

Ubicadas estratégicamente en el territorio municipal de las cuales es posible obtener información sobre:



Temperaturas
Máximas
Mínimas



Velocidad y dirección del viento



Humedad



Radiación solar y rayos ultravioletas



Intensidad y acumulados de precipitación.

Tiene

EL MARQUÉS

La información recopilada por ellas se implementó en el análisis de este instrumento y pretende consolidar acciones que promuevan la reducción efectiva del riesgo de inundaciones presente en el municipio.

Sistema de Alerta Temprana

Cuenta con un

+ 1,500



Usuarios registrados

La información climática que se genera sirve para crear alertas específicas o correlacionar fenómenos meteorológicos con situaciones de:

• **Riesgo**

• **Accidentes**

• **Destrucción de infraestructuras**

entre otros aspectos

Propuestas conceptuales de infraestructura verde

Con el objetivo de identificar las acciones y las condicionantes existentes en el municipio en materia de desarrollo de proyectos relacionados a infraestructura verde, el día 28 de septiembre del 2022 se realizó una reunión de trabajo en conjunto con autoridades de la Coordinación Municipal de Protección Civil, la Secretaría de Obras Públicas y la Secretaría de Desarrollo Sustentable donde se expusieron los alcances y resultados del presente trabajo; al respecto se concluyeron 3 aspectos relevantes para la implementación de infraestructura verde:

1.

La necesidad de realizar cambios normativos para poder utilizar espacios identificados o designados en riesgo por inundación, a fin de facultar un uso múltiple y fomentar la ocupación inteligente y estratégica de dichos espacios. Cada área debe evaluar su normatividad con el fin de ir estructurando un marco que facilite la implementación de proyectos de esta naturaleza.

2.

Identificar la factibilidad de ocupación del suelo con base en los instrumentos existentes y principalmente considerando la existencia de suelo bajo algún esquema de propiedad social.

3.

Desarrollar lineamientos de desarrollo que puedan aplicarse a otras propuestas de infraestructura verde dentro del municipio, y que puedan replicarse en caso de buscar ejecutarse en otros puntos diferentes a los que se sustentan en el análisis de peligro derivados de éste estudio.

Así pues, se procedió a identificar zonas con interés para el desarrollo de infraestructura verde complementarias a las expuestas que derivan del análisis de Peligros identificadas en el primer apartado de la presente Fase y sobre las cuáles se analizó la ocupación del suelo expuesta en apartados subsecuentes.

Polígonos propuestos para implementación de infraestructura verde

De acuerdo con el análisis realizado en el presente documento y con retroalimentación de autoridades municipales, se proponen puntualmente algunos polígonos de acción e implementación de obras de mejoramiento urbano con la utilización de infraestructura verde. De cada punto se elaboró una ficha con los principales datos relativos a la ocupación y políticas de uso de suelo identificadas en los instrumentos vigentes para entender la factibilidad de ejecución en cada caso.

TABLA 7

Datos obtenidos para cada polígono

Consejo Nacional de Población	Nombre de localidad
	Población total
	Ámbito de localidad
	Grado de marginación
Registro Agrario Nacional	Nombre del ejido
	Tipo de propiedad social
Programa de Ordenamiento Ecológico Local	Unidad de Gestión Ambiental
	Política de Ordenamiento Ecológico
Programa de Desarrollo urbano	Zonificación secundaria
	Plan parcial al que pertenece
Consejo Nacional de Población	Clave catastral

Polígonos propuestos para infraestructura verde

1



Localidad	El Colorado
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	7,080.98
Propiedad social	EJIDO EL COLORADO
Tipo de propiedad social	Terreno ejidal
Unidad de gestión ambiental	50 Zona urbana Sur-Poniente
Política POEL	Desarrollo Urbano
Zonificación secundaria	Industria
Plan parcial	Cañada
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **2**



Localidad
Santa María Begoña
Ámbito
Rural
Población
2426
Grado de marginación
Bajo
Superficie
91,787.44
Propiedad social
EJIDO SANTA MARÍA BEGOÑA
Tipo de propiedad social
Terreno ejidal
Unidad de gestión ambiental
16 Bordo El Garambullo
Política POEL
PROTECCIÓN
Zonificación secundaria
Conservación agropecuaria
Plan parcial
Chichimequillas
Clave catastral
No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **3**



Localidad	Chichimequillas
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	27,701.93
Propiedad social	NO DEFINIDO
Tipo de propiedad social	Parcelas
Unidad de gestión ambiental	8 Zona Agrícola Norte
Política POEL	APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE
Zonificación secundaria	Conservación agropecuaria
Plan parcial	Norte
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **4**



Localidad	Chichimequillas
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	291,132.95
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	13 Bordo San Joaquín
Política POEL	PROTECCIÓN
Zonificación secundaria	Protección a Causas y Cuerpos de Agua
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **5**



Localidad	Chichimequillas
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	126,581.94
Propiedad social	EJIDO CHICHIMEQUILLAS
Tipo de propiedad social	PARCELAS
Unidad de gestión ambiental	14 Bordo La Cuadrilla
Política POEL	PROTECCIÓN
Zonificación secundaria	Protección a Causas y Cuerpos de Agua
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **6**



Localidad	Chichimequillas
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	125,127.04
Propiedad social	EJIDO CHICHIMEQUILLAS
Tipo de propiedad social	PARCELAS
Unidad de gestión ambiental	9 Zona Agrícola Chichimequillas
Política POEL	APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE
Zonificación secundaria	Conservación agropecuaria
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **7**



Localidad	Chichimequillas
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	26,282.93
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	9 Zona Agrícola Chichimequillas
Política POEL	APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE
Zonificación secundaria	Conservación agropecuaria
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **8**



Localidad	Santa Cruz
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	70,177.08
Propiedad social	EJIDO SANTA CRUZ
Tipo de propiedad social	Tierra de uso común
Unidad de gestión ambiental	9 Zona Agrícola Chichimequillas
Política POEL	APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE
Zonificación secundaria	Protección de Causas y Cuerpos de Agua
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde

9



Localidad	Amazcala
Ámbito	Urbana
Población	6793
Grado de marginación	Muy bajo
Superficie	52,148.16
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	46 Zona Urbana Norte
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Habitacional mixto
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	110210801113178

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **10**



Localidad	Amazcala
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	26,748.77
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	47 Zona Urbana Chichimequillas
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Comercio y servicios
Plan parcial	Chichimequillas
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde 11



Localidad	Presa Jesús María
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	903,481.93
Propiedad social	EJIDO JESÚS MARÍA
Tipo de propiedad social	Parcelas
Unidad de gestión ambiental	Presa Jesús María
Política POEL	PROTECCIÓN
Zonificación secundaria	Protección de Causas y Cuerpos de Agua
Plan parcial	Oriente
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **12**



Localidad	El Lobo
Ámbito	Rural
Población	2161
Grado de marginación	Bajo
Superficie	11,906.79
Propiedad social	EJIDO EL LOBO
Tipo de propiedad social	Asentamiento humano
Unidad de gestión ambiental	46 Zona Urbana Norte
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Habitacional mixto
Plan parcial	Norte
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde

13



Localidad	La Cañada
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	58,335.29
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	49 Zona Urbana C. Universidades
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Conservación agropecuaria
Plan parcial	Cañada
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **14**



Localidad	El Colorado
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	131,308.23
Propiedad social	EJIDO EL COLORADO
Tipo de propiedad social	Terreno ejidal
Unidad de gestión ambiental	35 Bordo El Carmen
Política POEL	PROTECCIÓN
Zonificación secundaria	Protección de Causas y Cuerpos de Agua
Plan parcial	Cañada
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **15**



Localidad	Bernardo Quintana (Parque Industrial)
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	24,370.75
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	50 Zona Urbana Sur-Poniente
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Industria
Plan parcial	Cañada
Clave catastral	110210801107265

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **16**



Localidad	Paseos de El Marqués
Ámbito	Urbana
Población	11252
Grado de marginación	Muy Bajo
Superficie	22,620.64
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	48 Zona Urbana Oriente
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Habitacional
Plan parcial	Oriente
Clave catastral	110210801140983

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde

17



Localidad	Hacienda La Cruz (Fraccionamiento)
Ámbito	Urbana
Población	5987
Grado de marginación	Muy Bajo
Superficie	831.23
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	48 Zona Urbana Oriente
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Habitacional mixto
Plan parcial	Oriente
Clave catastral	No aplica

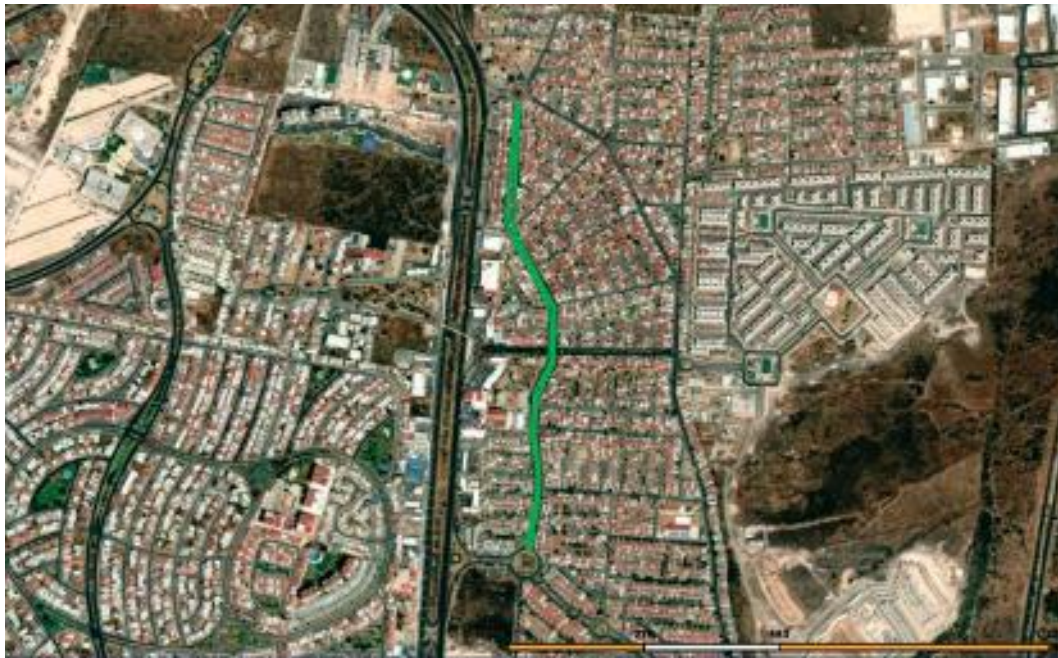
Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde **18**



Localidad	La Pradera
Ámbito	Urbana
Población	19018
Grado de marginación	Muy Bajo
Superficie	7,127
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	47 Zona Urbana Chichimequillas
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Habitacional mixto
Plan parcial	Circuito
Clave catastral	No aplica

Vista de calle



Ubicación



Polígonos propuestos para infraestructura verde

19



Localidad	O'Donnell Aeropuerto (Parque Industrial)
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	1,739,063.84
Propiedad social	No aplica
Tipo de propiedad social	No aplica
Unidad de gestión ambiental	48 Zona Urbana Oriente
Política POEL	DESARROLLO URBANO
Zonificación secundaria	Industria
Plan parcial	Oriente
Clave catastral	110210801111909

Vista de calle



Ubicación



La propuesta del Parque O'Donnell se enmarca dentro del desarrollo de techos verdes, que si bien no tienen relación directa con los bordos o cauces en El Marqués, responde a la necesidad de desarrollar alternativas que coadyuven a la captación de agua pluvial, reduciendo el excedente pluvial en suelos antropizados, y que reduzcan la generación de inundaciones. Vale la pena mencionar que dichas alternativas dependen directamente de la concertación entre propietarios y las autoridades locales a fin de definir acciones en conjunto encaminadas a la reducción de riesgos y la promoción de servicios ambientales.

Polígonos propuestos para infraestructura verde **20**



Localidad	La Laborcilla
Ámbito	Rural
Población	0
Grado de marginación	No aplica
Superficie	11,751.16
Propiedad social	EJIDO CILERIO ESPARZA-LA LABORCILLA
Tipo de propiedad social	Terreno ejidal
Unidad de gestión ambiental	4 La Laborcilla
Política POEL	RESTAURACIÓN
Zonificación secundaria	Protección ecológica
Plan parcial	Norte
Clave catastral	No aplica

Vista de calle

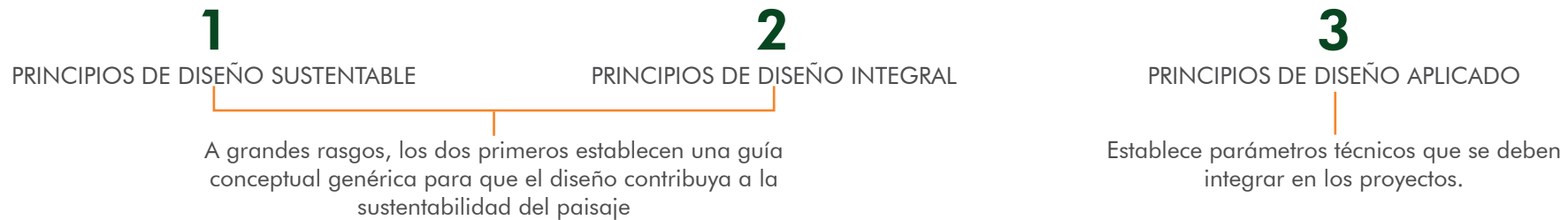


Ubicación



Lineamientos generales de diseño

De acuerdo con el Manual de Lineamientos para el Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos (IMPLAN Hermosillo, 2017), existen tres grupos de principios de diseño:



Los principios de diseño sustentable derivan del análisis de la mimetización de procesos naturales para el manejo de recursos hídricos, el incremento y fortalecimiento de los servicios ambientales en el ámbito urbano y finalmente la transición del uso de infraestructura rígida (gris) hacia el uso de infraestructura con propiedades ecológicas (verde).

Los principios de diseño integral pretenden que los diversos elementos que conforman el diseño de la infraestructura verde establezcan interrelaciones funcionales para que se asistan entre ellos intencionalmente y que al mismo tiempo cada elemento sea capaz de desempeñar múltiples funciones (como pueden ser: barrera de viento, aporte de sombra, remate visual, fijación de suelo, refugio de fauna, alimento para polinizadores, entre otros).

Los principios del diseño aplicado se concentran en: manejar el agua de lluvia al coleccionar, esparcir, reducir la velocidad e infiltrar la misma al implementar sistemas con múltiples técnicas de infraestructura verde interconectadas.

Es importante mencionar que existen diversos criterios de diseño, sin embargo, los más relevantes implican un forzoso conocimiento del sitio, la vegetación, derechos de vía, pavimentos permeables, trazo de vialidades y aprovechamiento de recursos naturales, por mencionar algunos.

Por consiguiente, es común inferir que los sitios con mayor potencial para fomentar el uso de infraestructura verde son aquellos que poseen mayor escorrentía así como las zonas susceptibles a inundación ya que, este tipo de soluciones implican un método constructivo que responde a una serie de estructuras paisajísticas que utilizan elementos y procesos naturales para dar solución a problemáticas tales como la infiltración de aguas pluviales, inundaciones, control de la erosión, captura de carbono, regulación microclimática, conexión de corredores biológicos y pérdida de la biodiversidad urbana.

Se recomienda que la vegetación seleccionada sea nativa de la región o adaptada a ella, resistente a la sequía, que utilice un mínimo consumo de agua de tal forma que no se necesite riego más que el provisto por el agua pluvial y que únicamente en casos extremos requiera ser regada.

En cuanto a áreas verdes significa, los diseños y dimensiones pueden variar, pero siempre debe tenerse en cuenta el aprovechar al máximo el agua de lluvia, evitar el estancamiento y permitir que fluya hacia otras áreas verdes, para esto la infraestructura verde deberá estar deprimida por debajo del nivel donde corre el agua, mínimo 20 cm libres de altura, adecuadas para almacenar agua, controlar sedimentos y la erosión, infiltrar el agua y evitar la reproducción de plagas como mosquitos.

En relación a lo anterior, todas las instalaciones de infraestructura verde deberán permitir el paso libre del agua pluvial y escorrentía, por lo que, deben realizarse cortes en las guarniciones de banquetas, camellones o glorietas de 45 a 60 cm de ancho, con cortes a 45 grados y pendiente hacia la zona de captación. Tendrán un acolchado para proteger de la erosión de aire y agua, de material vegetal o de gravilla para dirigir el agua, controlar sedimentos y proteger de erosión. De manera que la escorrentía sea siempre dirigida en las calles y banquetas hacia la infraestructura verde antes de dirigirla al sistema de drenaje.

Se recomienda que las áreas verdes propuestas tengan la capacidad de retener al menos la primera pulgada de agua pluvial del total del área

a desarrollar, así como de las calles y derechos de vía próximos, sin contar el agua de los predios circundantes.

De igual manera, la utilización de pavimentos permeables como hidrocreto, adoquines, adopasto o zampeado de piedra es fundamental para la construcción de la infraestructura verde pues permiten que el agua se infiltre por el terreno o sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior reutilización o evacuación. Si el firme se compone de varias capas, todas ellas han de tener permeabilidades crecientes desde la superficie hacia el subsuelo. Existen diversas tipologías de superficies permeables, entre ellas están: pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa (asfalto, resinas, etc.), césped, césped reforzado, gravas, bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno, o pavimento de bloques porosos.

Por otro lado, se recomienda que, en las banquetas públicas y camellones, los árboles sean podados dejando una altura libre de 2.10 m de la calle al nivel inferior de la copa, para permitir la visibilidad, no estorbar en los derechos de vía y de esta manera fomentar que los árboles tengan un crecimiento vertical y no horizontal.

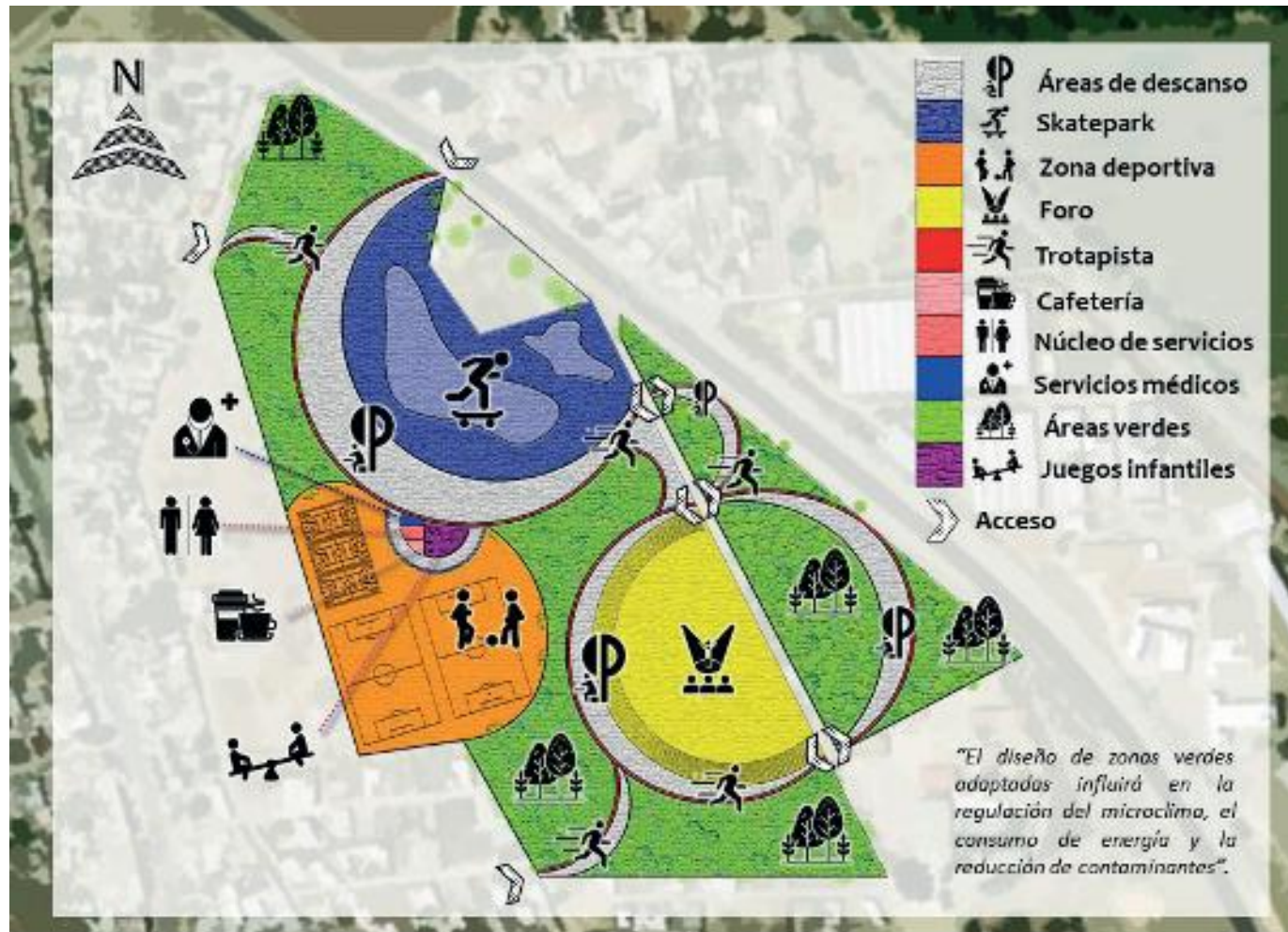
Del mismo modo, se recomienda que en las banquetas contiguas a calles públicas se establezcan áreas ajardinadas, separadas por la guarnición,

la cual cuente con un corte de máximo 60 cm de longitud con ángulos a 45 grados.

Finalmente, el diseño y planificación de la infraestructura verde tiene por objeto el desarrollo de una red de espacios abiertos urbanos que garanticen la conectividad ecológica y ofrezcan servicios ecosistémicos a diferente escala, en conclusión al presente estudio, se observan cinco casos, en los que la implementación de este tipo de infraestructura es sugerida. Recordemos que por su carácter integrador y multifuncional, la infraestructura verde es capaz de abordar retos urbanos actuales tales como conservar la biodiversidad, adaptarse al cambio climático, mejorar la cohesión social y soportar la economía circular.

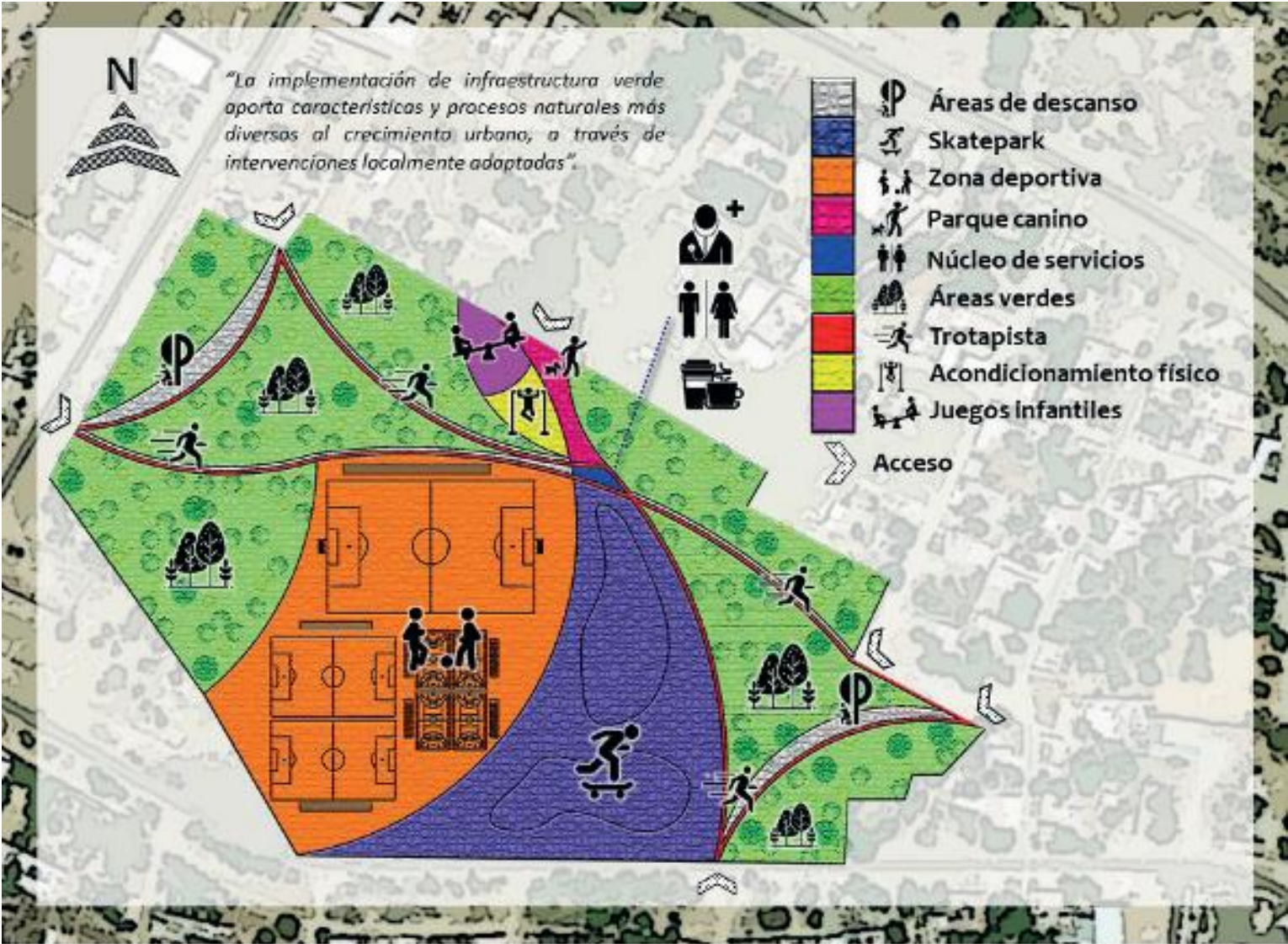
Sin embargo cabe mencionarse que, es de suma importancia que estas propuestas cuenten con el apoyo de los sectores tanto de gobierno como privados, para que en conjunto exista una coherencia en el desarrollo urbano de la ciudad, encaminado a la sostenibilidad de la misma, con el objetivo de acrecentar la calidad de vida actual sin degradar el entorno físico natural que coexiste con ella, convirtiéndola en pionera a escala regional, estatal y federal en México sin olvidar que, la participación ciudadana es igualmente fundamental para un desarrollo urbano-ambiental propicio.

Propuestas conceptuales de diseño de Infraestructura verde



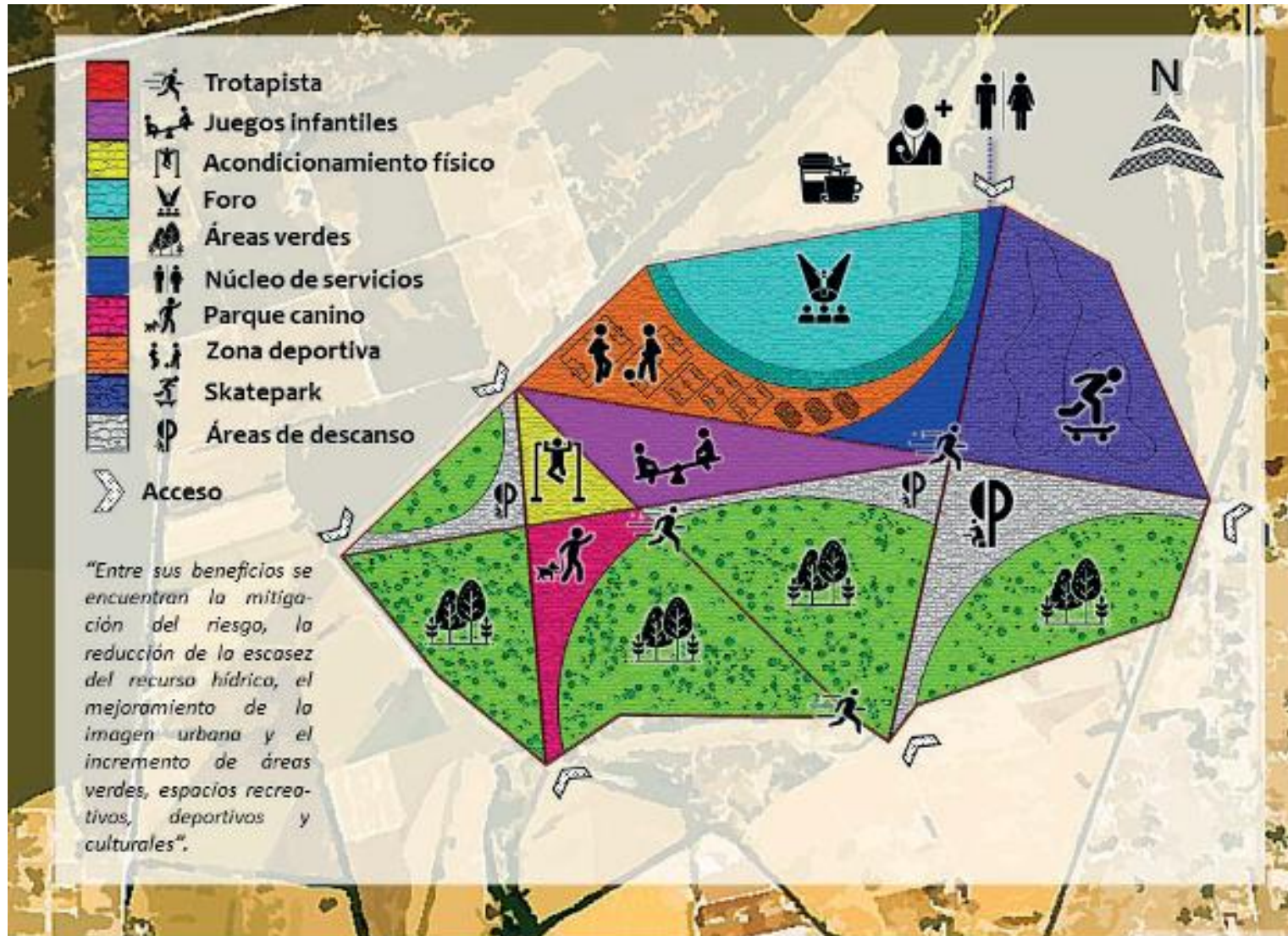
Propuesta de parque urbano en Amazcala
Carretera Chichimequillas-Calle Pino, El Marqués Qro.





Propuesta de parque urbano en Santa María Begoña
Ruta de San Vicente Ferrer y Av. Santa María Begoña, Qro.

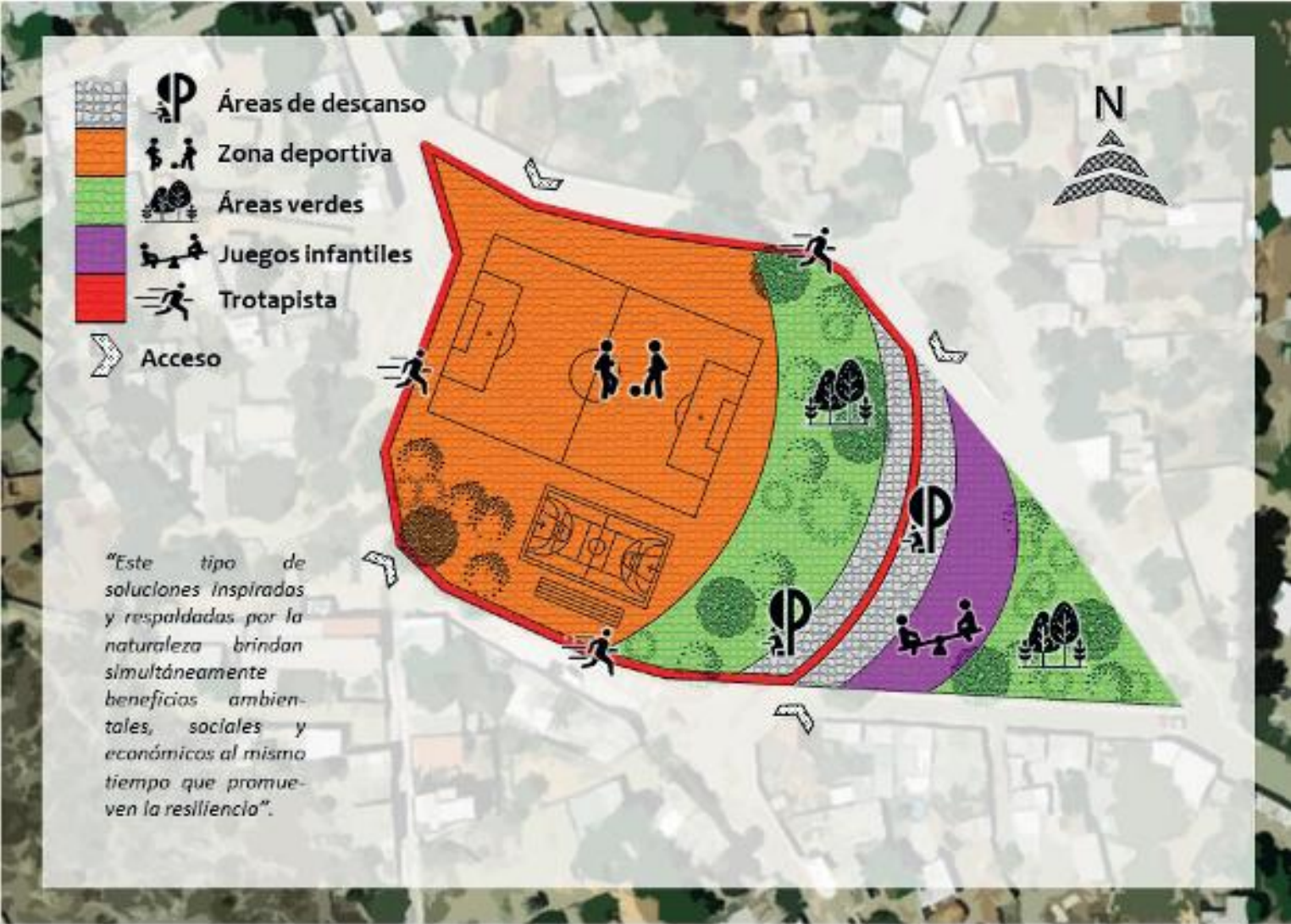




Propuesta de parque urbano en Presa Jesús María

Carretera estatal 500km, ejido San Francisco, Qro.





Propuesta de parque urbano en El Lobo
Calle Oso, Calle El Venado Qro.





Propuesta de parque lineal en Paseos del Marqués

Carretera Chichimequillas-Calle Pino, El Marqués Qro.



BIBLIOGRAFÍA

| EL MARQUÉS, QRO.



Adonay Perrozzì, Nikolai Elneser Montiel. (2020). Parques inundables: el rol del espacio público en la gestión del agua. Transecto Urbanismo. [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de agosto de 2022]. Disponible en <<https://transecto.com/2020/05/parques-inundables/>>

ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model). (2014). Modelo Digital de alta resolución.

CENAPRED, (2004). Centro Nacional de Prevención de Desastres, SEGOB, Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Serie: Atlas Nacional de Riesgos. México 2004.

CENAPRED (2016) Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. [En línea] México [Fecha de consulta: 26 de agosto de 2022] Disponible en <https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5466288&fecha=21/12/2016>

Comisión Nacional del Agua (2019) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Drenaje Pluvial Urbano, México, D.F. pág. 470

Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcGIS) (2018a). Predecir inundaciones con un hidrograma unitario. LearnArcGis. Lecciones guiadas basadas en problemas reales. EUA [fecha de consulta: 10 de agosto de 2022] Disponible en: <<https://learn.arcgis.com/es/projects/predict-floods-with-unit-hydrographs/>>.

Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcGIS) (2018b). Predecir inundaciones con un hidrograma unitario. LearnArcGis. Lecciones guiadas basadas en problemas reales. EUA [fecha de consulta: 10 de agosto de 2022] Disponible en: <<https://learn.arcgis.com/es/projects/predict-floods-with-unit-hydrographs/lessons/create-a-velocity-field.htm>>

Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016a). Cómo funciona Dirección de flujo. EUA [fecha de consulta: 10 de agosto de 2022] Disponible en: <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>>.

Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016b). Cómo funciona Acumulación de flujo. EUA [fecha de consulta: 10 de agosto de 2022] Disponible en: <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-accumulation-works.htm>>.

Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016c). Cómo funciona Clasificación de Arroyos. EUA [fecha de consulta: 10 de agosto de 2022] Disponible en: <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-stream-order-works.htm>>.

Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016d). Cómo funciona Cuenca Hidrológica. EUA [fecha de consulta: 10 de agosto de 2022] Disponible en: <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-watershed-works.htm>>

Gobierno de El Marqués. (2018). Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de El Marqués, Qro. (POELMEM)

Gobierno de El Marqués. (2019). Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDUEM) El Marqués.

Gobierno de El Marqués. (2021). Plan Municipal de Desarrollo de El Marqués 2021-2024.

Gobierno de El Marqués. (2021). Atlas de Peligros y Riesgos de El Marqués, Qro.

IMPLAN Hermosillo. (2017). Manual de Lineamientos para el Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos. Hermosillo Son. L.A.D. [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de agosto de 2022]. Disponible en <https://www.nadb.org/uploads/files/1_manual_de_lineamientos_de_diseo_de_infraestructura_verde_2017.pdf>

INEGI. (2022). Imágenes de Alta Resolución [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de julio de 2022]. Disponible en <<https://www.inegi.org.mx/default.html>>.

Instituto Flumen en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica ente de investigación mixto de titularidad compartida entre la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), con sede en la ciudad de Barcelona, España. (2021). Programa de Distribución de Lluvia por Bloques alternados.

Jenson, S. K. y J. O. Domingue. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593–1600.

Ley General de Protección Civil (LGPC). (2020). [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de agosto de 2022]. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/593503/LGPC_061120.pdf>.

Llaguno Guilberto O; Ortiz Burciaga V. (2021). Jardines de Lluvia. El Acueducto. *Gaceta del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 5 (6), 6 – 7. [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de agosto de 2022]. Disponible en <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/acueducto/2021/EI_acueducto_IMTA_no6.pdf>.

López Zúñiga A. (2021). Azoteas verdes. El Acueducto. *Gaceta del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 5 (6), 10. [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de agosto de 2022]. Disponible en <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/acueducto/2021/EI_acueducto_IMTA_no6.pdf>.

Protección Civil de El Marqués, Querétaro. (2022). Estaciones meteorológicas.

Secretarías del Medio Ambiente. (2022). Infraestructura verde. México. Disponible en: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/infraestructura-verde>
SEGOB/CENAPRED. (2014c). Fascículo “Inundaciones”. [en línea]. México [fecha de consulta: 24 julio 2022]. Disponible en: <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112861/3-FASCCULOINUNDACIONES-ilovepdf-compressed.pdf>>.

Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS). (1972). Permeabilidad de los suelos.

Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). (2017). NASA del Shuttle Radar Topography Mission Global SRTMG.

Sorensen, Mark, et al. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Documento de buenas prácticas. Washington DC Banco Interamericano de Desarrollo.

UNAM, Instituto de Ingeniería. (2018). Análisis regional para estimar precipitaciones de diseño en la República Mexicana.

United States Department of Agriculture. (2011). Los Jardines de Lluvia. Natural Resources Conservation Service. IDALS-DSC. [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de agosto de 2022]. Disponible en <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_011368.pdf>.



Modelación Hidráulica Integral y
**PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE
INUNDACIONES**
de El Marqués, Querétaro