



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

**MAPA DE PELIGRO POR INUNDACION PARA LA  
CIUDAD DE PERIBÁN DE RAMOS, MICHOACAN DE  
OCAMPO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A :

**ADRIÁN MICHEL MENDOZA HERNÁNDEZ**



DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. LUCÍA GUADALUPE MATÍAS RAMÍREZ

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **Dedicatorias**

A mis padres, Rosalía y José Luis. Por todo su infinito e incondicional apoyo en este largo camino. Estoy eternamente agradecido con ustedes.

A mis hermanos, Luis, Daniel y Gael. Gracias por todos estos momentos de apoyo y de diversión que hemos pasado juntos.

A mis sobrinos, Emilio y Emma, que llegaron en esta última etapa y que junto con Gael hacen más alegre la casa. Y Por supuesto mi cuñada Pamela quien desde hace años forma parte de nuestra familia.

## **Agradecimientos**

A la Dra. Guadalupe Matías, quien desde el servicio social y hasta la culminación de este proyecto me brindó todo su apoyo, paciencia y confianza. Muchas gracias por su valiosa asesoría.

Al M.I. Ángel Bautista Tadeo, por compartirme sus conocimientos y enseñanzas en todo momento, principalmente en las modelaciones hidráulicas.

A mi sínodo, Dra. Elda Luyando López, Dra. Leticia Gómez Mendoza, Dr. Jesús Abraham Navarro Moreno y Mtra. Karla Pereyra Castro. Quienes se tomaron el tiempo y dedicación de revisar esta tesis y que con sus observaciones permitieron mejorarla.

Al CENAPRED, por permitirme el uso de sus instalaciones y de sus equipos de cómputo, especialmente a la Subdirección de riesgo por inundación, por hacerme parte de su equipo de trabajo, quienes cuentan con profesionales muy capaces.

Al programa de Becas de Titulación – Egresados de Alto Rendimiento.

## Contenido

1	Introducción .....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.1.1	Descripción de la zona de interés.....	2
1.2	Justificación.....	7
1.3	Objetivos .....	8
1.3.1	General.....	8
1.3.2	Particulares.....	8
1.4	Hipótesis .....	8
1.5	Marco Teórico Conceptual .....	9
1.5.1	Riesgo y peligro.....	9
1.5.2	Peligro por Inundación.....	10
1.5.3	Inundaciones .....	11
1.5.4	Tipos de inundaciones.....	11
1.5.5	Por origen .....	11
1.5.6	Por tiempo de respuesta.....	11
2	Materiales y metodología.....	15
2.1	Estimaciones de características fisiográficas .....	15
2.1.1	Modelo Digital de Elevación .....	15
2.1.2	Delimitación de subcuencas .....	20
2.1.3	Pendiente media de la cuenca.....	22
2.1.4	Longitud del cauce principal .....	23
2.1.5	Pendiente media del cauce principal .....	24
2.1.6	Precipitación media de la cuenca (Smc).....	24
2.1.7	Tiempo de concentración (Tc) .....	26
2.1.8	Número de curva .....	26
2.1.9	Cálculo para los gastos máximos instantáneos (QMI).....	31
2.1.10	Hidrograma unitario .....	33
3	Mapa de peligro .....	39
3.1	Procesamiento del Modelo digital de Elevaciones .....	39
3.2	Modelación Hidráulica .....	39
3.3	Obtención del mapa de peligro .....	45

4	Resultados y discusión .....	48
4.1	Zonas afectadas.....	48
4.2	Sistema expuesto con Atlas Nacional de Riesgos. ....	49
4.3	Sistema expuesto con el DENUÉ.....	52
4.4	Viviendas expuestas .....	55
4.5	Vulnerabilidad .....	57
4.6	Resultados con respecto al evento de inundación .....	57
5	Conclusiones y recomendaciones .....	60
6	Referencias.....	62
7	ANEXO 1. Mapas de profundidades .....	65
8	ANEXO 2. Mapas de velocidad .....	74
9	ANEXO 3. Mapas de peligro por inundación .....	83

## Índice de figuras

Figura 1-1 Localización de la ciudad de Peribán de Ramos, Fuente: Elaboración propia.....	3
Figura 1-2 Regiones Hidrológico-administrativas. Fuente: CONAGUA (2014) .....	6
Figura 1-3 Cuenca que contiene a la ciudad de Peribán de Ramos, junto con sus áreas de influencia.....	6
Figura 2-1 Visualización de un Modelo Digital de Elevación. ....	16
Figura 2-2 Aplicación de la herramienta Fill Sinks.....	17
Figura 2-3 Codificación de la dirección del flujo. Fuente ESRI.....	18
Figura 2-4 Resultados de la herramienta Flow Direction.....	18
Figura 2-5 Resultados de la herramienta Flow Accumulation. ....	19
Figura 2-6 Resultados de las herramientas Stream Definition y Stream Segmentation.....	20
Figura 2-7 Resultados de la extensión Catchment Grid Delineation. ....	21
Figura 2-8 Resultados de la herramienta Catchment Polygon Processing .....	21
Figura 2-9 Delimitación de subcuencas para la ciudad de Peribán de Ramos. ....	22
Figura 2-10 Características de la pendiente del terreno para la cuenca de Peribán de Ramos. ....	23
Figura 2-11 Red de drenaje para la cuenca de Peribán de Ramos.....	24
Figura 2-12 Superficie de precipitación para cuenca Peribán de Ramos. ....	25
Figura 2-13 Precipitación media asociada a un $T_r=20$ años. ....	25
Figura 2-14 Uso y tipo de suelo para cuenca de Peribán de Ramos. ....	30
Figura 2-15 Número de curva para la cuenca Peribán de Ramos.....	30
Figura 2-16 Regiones Hidrológicas. Ubicación de la RH 18. Fuente: Domínguez et al., 2017. ....	31
Figura 2-17 Características de la cuenca regional y estación hidrométrica a la que pertenece la zona urbana de Peribán de Ramos. Fuente: Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED (2019).....	32
Figura 2-18 Error porcentual entre los gastos calculados y medidos con el modelo 9. Fuente: Domínguez et al., 2017.....	32
Figura 2-19 Error porcentual entre los gastos calculados y medidos con el modelo 11. Fuente: Domínguez et al., 2017.....	33
Figura 2-20 Hidrograma unitario adimensional (SCS). Fuente (Chow,1994) .....	34
Figura 2-21 Hidrograma unitario triangular. Fuente (Aparicio,1994). ....	34
Figura 2-22 Hidrograma para la subcuenca Barranca El Molino. ....	36
Figura 2-23 Hidrograma para la subcuenca Barranca Seca. ....	36
Figura 2-24 Hidrograma para la subcuenca Barranca Cutio. ....	37
Figura 2-25 Hidrograma para la subcuenca Río Cutio. ....	37
Figura 2-26 Hidrograma para la subcuenca Barranca Chondo. ....	38
Figura 3-1 Tamaños de la celda para la cuenca Peribán de Ramos.....	40
Figura 3-2 Malla triangular para la cuenca Peribán de Ramos .....	41
Figura 3-3 Clasificación de los coeficientes (n) para la cuenca Peribán de Ramos. ....	42

Figura 3-4 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 20 años.....	43
Figura 3-5 Velocidades máximas asociadas a un Tr = 20 años .....	44
Figura 3-6 Diagrama Dórrigo modificado por SEDATU (Flood hazard ~ velocity and depth. Bellinghen Shire Council. Dorrigo Flood Study) .....	45
Figura 3-7 Escala cromática a emplearse en la representación de amenaza, peligro, vulnerabilidad y riesgo. Fuente: SEDATU, 2014 .....	46
Figura 3-8 Peligro por inundación asociado a un Tr=20 años .....	47
Figura 4-1 Áreas afectadas. Fuente: elaboración propia.....	49
Figura 4-2 Visualización del portal Atlas Nacional de Riesgos y el polígono que contiene el área inundada para la zona urbana de Peribán de Ramos. Fuente: ANR, 2019 .....	50
Figura 4-3 Colonias expuestas de la ciudad Peribán de Ramos ante un Tr=20 años Fuente: elaboración propia .....	51
Figura 4-4 Mapa de exposición para un Tr=20 años .....	54
Figura 4-5 Viviendas mayormente expuestas ante un evento de inundación asociado a un Tr= 20 años .....	56
Figura 4-6 Total de viviendas expuestas ante un evento de inundación asociado a un Tr= 20 años.....	56
Figura 4-7 Obstrucciones existentes sobre el arroyo Chondo.....	58
Figura 4-8 Obstrucciones existentes sobre el río Cutio.....	58
Figura 7-1 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 2 años .....	65
Figura 7-2 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 5 años .....	66
Figura 7-3 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 10 años.....	67
Figura 7-4 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 20 años.....	68
Figura 7-5 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 50 años.....	69
Figura 7-6 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 100 años.....	70
Figura 7-7 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 200 años.....	70
Figura 7-8 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 500 años.....	72
Figura 7-9 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 1000 años.....	73
Figura 8-1 Velocidades asociadas a un Tr = 2 años .....	74
Figura 8-2 Velocidades asociadas a un Tr = 5 años .....	75
Figura 8-3 Velocidades asociadas a un Tr = 10 años .....	76
Figura 8-4 Velocidades asociadas a un Tr = 20 años .....	77
Figura 8-5 Velocidades asociadas a un Tr = 50 años .....	78
Figura 8-6 Velocidades asociadas a un Tr = 100 años .....	79
Figura 8-7 Velocidades asociadas a un Tr = 200 años .....	80
Figura 8-8 Velocidades asociadas a un Tr = 500 años .....	81
Figura 8-9 Velocidades asociadas a un Tr = 1000 años .....	82
Figura 9-1 Peligro por inundación asociado a un Tr = 2 años .....	83
Figura 9-2 Peligro por inundación asociado a un Tr = 5 años .....	84
Figura 9-3 Peligro por inundación asociado a un Tr = 10 años .....	84
Figura 9-4 Peligro por inundación asociado a un Tr = 20 años .....	84
Figura 9-5 Peligro por inundación asociado a un Tr = 50 años .....	84



Figura 9-6 Peligro por inundación asociado a un Tr = 100 años .....	84
Figura 9-7 Peligro por inundación asociado a un Tr = 200 años .....	84
Figura 9-8 Peligro por inundación asociado a un Tr = 500 años .....	84
Figura 9-9 Peligro por inundación asociado a un Tr = 1000 años .....	84

### **Índice de tablas**

Tabla 1-1 Antecedentes históricos de desastres por fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Michoacán de Ocampo. ....	3
Tabla 1-2 Clasificación de riesgos en México .....	9
Tabla 2-1 Número de curva en función a la cobertura del suelo .....	27
Tabla 2-2 Clasificación hidrológica de los tipos de suelo según su permeabilidad. .....	28
Tabla 2-3 Clasificación del tipo de suelo de acuerdo a su potencial de escurrimiento. ....	29
Tabla 2-4 Gastos máximos de las subcuencas de aportación para diferentes periodos de retorno.....	35
Tabla 2-5 Características fisiográficas de las subcuencas.....	38
Tabla 3-1 Datos de entrada para el transito hidráulico.....	41
Tabla 4-1 Unidades expuestas que se encuentran dentro del polígono de inundación. ....	52

## 1 Introducción

### 1.1 Planteamiento del problema

Las inundaciones constituyen históricamente una de las causas más importantes que generan pérdidas de vidas y de bienes materiales. Lejos de disminuir, las catástrofes asociadas con inundaciones aumentan cada día, al incrementarse la población y, consecuentemente, las presiones urbanas sobre los ríos, las planicies de inundación y otras áreas que actualmente son inundables y antes no lo eran, como algunas zonas de ciudades donde los drenajes naturales han disminuido o eliminado (Aparicio, 1998).

De acuerdo con datos de la Cruz Roja Internacional, durante el periodo de 1919 a 2014, se presentó la mayor actividad para ofrecer ayuda ante eventos de inundaciones, que para cualquier otro tipo de fenómeno. Ello se debe, en gran medida, a la exposición de las comunidades que se encuentran ubicados en sitios de costas, márgenes de ríos y al crecimiento acelerado de la población generando asentamientos irregulares (CONAGUA, 2013).

Por su situación geográfica, México se encuentra en una región intertropical, esto lo hace susceptible a embates de ciclones, tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico. Los efectos de estos fenómenos, tienen un mayor impacto en las zonas costeras del Pacífico, del Golfo y del Caribe; las lluvias intensas que estos fenómenos originan pueden causar inundaciones en prácticamente cualquier lugar del territorio nacional. Cada año entre principios de mayo y hasta finalizar octubre, se presentan más de diez tormentas tropicales, de las cuales cuatro o cinco se convierten en huracanes que llegan a impactar de manera directa y generan daños importantes al país (Domínguez *et al.*, 2017). Por las lluvias intensas y sus consecuentes inundaciones, así como deslaves importantes que, de manera independiente de la actividad ciclónica, también se generan por otro tipo de tormentas durante la temporada de lluvias.

En los principales ríos se producen crecientes que causan inundaciones de gran magnitud en las planicies y en las poblaciones situadas en las partes bajas. En las cuencas pequeñas, sobre todo en zonas urbanas, las crecientes son muy rápidas y

la velocidad que el agua puede alcanzar, provoca en algunas ocasiones la muerte de personas.

Por otra parte, (Domínguez *et al.*, 1994) mencionan que entre 1973 y 1990 el promedio anual de daños ocasionados por inundaciones fue de 173,000 millones de pesos, y causaron la muerte de aproximadamente 104 personas por año en México.

#### 1.1.1 Descripción de la zona de interés

El área de estudio corresponde a la ciudad de Peribán de Ramos, que es la cabecera municipal de Peribán, Michoacán de Ocampo. Las coordenadas que la limitan son: 19°24' y 19°35' de latitud norte y 102°20' y 102°35' de longitud oeste; tiene una altitud entre 900 y 3 400 m. Colinda al norte con los municipios de Los Reyes y Uruapan; al este con Uruapan y Tancítaro; al sur con Tancítaro y Buenavista; al oeste con Buenavista, y con en el estado de Jalisco. (Figura 1.1). Peribán de Ramos forma parte de la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal. Su historia geológica corresponde principalmente a roca ígnea extrusiva del Plioceno-Cuaternario, en sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados; en áreas que anteriormente se encontraban suelos del tipo andosol. Tiene un clima de tipo semiárido subhúmedo, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 10°C a los 26°C, y precipitaciones promedio de 800 mm a los 2,000 mm (INEGI, 2009).

Por otra parte, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, calificó al estado de Michoacán de Ocampo con un grado de peligro por inundación muy alto, particularmente para los municipios de Tuxpan, Angangueo, Tuzantla, Huetamo, Carácuaro, Nocupétaro, Cotija de la Paz y los Reyes. Las zonas urbanas invaden y obstruyen los ríos con puentes, basura y demás obstáculos que reducen la capacidad hidráulica de los mismos. Los daños que provocan se clasifican como poco severos, por lo que no se consideran fenómenos de alto riesgo (CONAGUA, 2013).

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

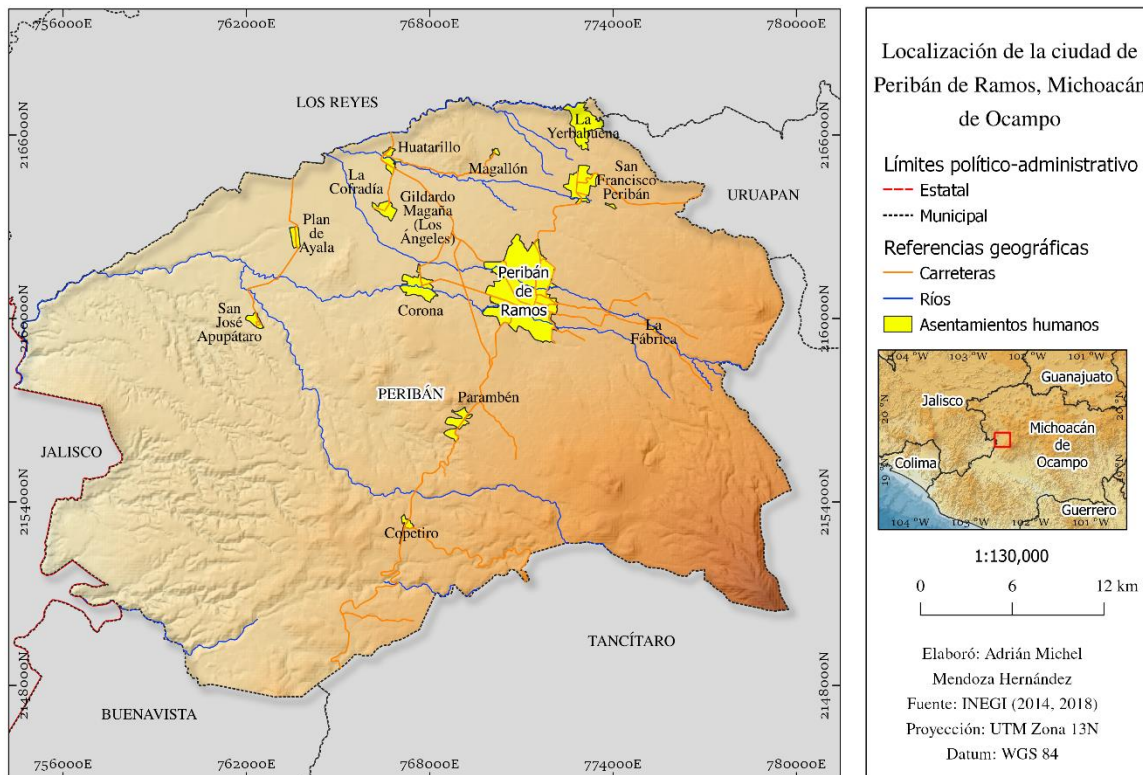


Figura 1-1 Localización de la ciudad de Peribán de Ramos, Fuente: Elaboración propia

Se podría decir que los desastres ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos en Peribán no son eventos recurrentes, de acuerdo con registros de la Dirección Estatal de Protección Civil del Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo (Tabla 1.1), ya que ninguno ha provocado afectaciones para el municipio.

Tabla 1-1 Antecedentes históricos de desastres por fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Michoacán de Ocampo.

Fecha	Evento	Municipio	Descripción
1992	Tormenta Tropical <i>Tina</i>	Lázaro Cárdenas	Inundaciones
1993	Ciclón <i>Kalvin</i>	Lázaro cárdenas	Afectaciones en la infraestructura
1996	Ciclones <i>Alma, Boris y Herman</i>	Aquila, Coahuayana y Lázaro Cárdenas	Deslaves y afectaciones en la infraestructura

1997	Ciclones <i>Guillermo</i> y <i>Pauline</i>	Aguila, Coahuayana y Lázaro Cárdenas	Fuertes inundaciones
1999	Ciclón <i>Greg</i>	Coahuayana y Chinicuila,	Deslaves e inundaciones
2000	Ciclón <i>Norman</i>	Aguila, Coahuayana, Chinicuila, Coacomán, Lázaro Cárdenas.	Afectaciones en la infraestructura
2003	Lluvias extraordinarias	Morelia y 17 municipios más	Inundaciones
2005	Lluvias extraordinarias	Morelia	Inundaciones por desbordamiento de ríos Grande y Chiquito
2010	Lluvias, nevadas, granizadas, inundaciones, deslizamientos, derrumbes y fuertes vientos	Angangueo, Hidalgo, Jungapeo, Ocampo, Tuxpan, Tuzantla, Tiquicheo de Nicolás Romero y Zitácuaro	

Fuente: Elaboración propia con base en la Dirección General de Protección Civil del estado de Michoacán de Ocampo (2013)

De la tabla 1-1, se observa que estos eventos no se registraban en Peribán, pero posiblemente no hay datos de lluvias intensas que provocaran inundaciones y daños severos en las localidades, como consecuencia respondería a la nula o escasa información que se tenga al respecto. Sin embargo, es importante contar con un conocimiento de las zonas que mayormente están expuestas a sufrir inundaciones en zonas urbanas, de preferencia aquéllas que se encuentran en cuencas con potencial de sufrir inundaciones súbitas.

Anteriormente se mencionó que para el municipio de Peribán no se tienen registros de daños generados por inundaciones, lo cual significaría que no existe necesidad alguna de contar con material cartográfico asociado a riesgos y/o peligros por dicho

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

fenómeno. Sin embargo, el pasado 23 septiembre de 2018 en la localidad Peribán de Ramos, lluvias intensas ocasionaron el desbordamiento del río Cutio provocando afectaciones importantes. De tal evento, las autoridades del gobierno de Michoacán reportaron daños severos en viviendas, así como la muerte de ocho personas (Castellanos, 2018)

En parte, estos daños se deben a la ocupación de espacios que anteriormente han sido dominados por procesos naturales.

De acuerdo con el comunicado de prensa de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018), las causas que originaron la inundación fueron varias, entre ellas destacan las siguientes:

- La lluvia registrada en ese municipio fue resultado de una zona de inestabilidad que produjo la formación de nubes de tormenta de corta duración, provocando una precipitación que alcanzó los 58 mm, o litros por metro cuadrado, en tan sólo dos horas.
- La causa principal del desbordamiento es la fuerte pendiente de la cuenca del río Cutio, la cual tiene un desnivel de 1040 metros en tan sólo 13 kilómetros, lo que originó que los escurrimientos alcanzaran velocidades de hasta siete metros por segundo, es decir, 25.2 km/h.

La ciudad de Peribán de Ramos es drenada por las corrientes: Barranca Chondo, Barranca El Molino, Barranca Seca y Barranca Cutio, pertenecientes a la cuenca del Río Tepalcatepec, que esta a su vez corresponde a la región hidrológico-administrativa IV Balsas de la CONAGUA (Figura 1.2). Para cubrir con los objetivos de este proyecto se optó por estudiar una cuenca que cubre la mayor parte de la ciudad de Peribán de Ramos, especialmente su zona más densamente poblada, junto con sus respectivas subcuencas de aportación, tal como se muestra en la Figura 1-3.



Figura 1-2 Regiones Hidrológico-administrativas. Fuente: CONAGUA (2014)

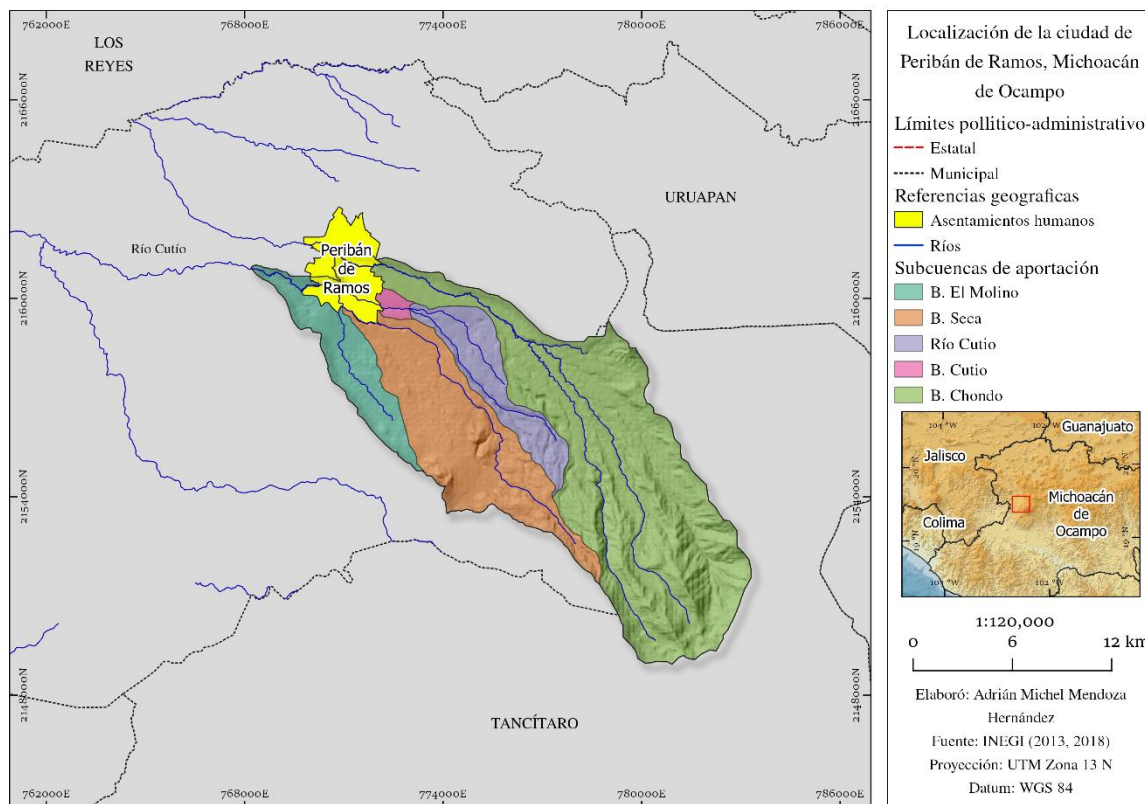


Figura 1-3 Cuenca que contiene a la ciudad de Peribán de Ramos, junto con sus áreas de influencia.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

### 1.2 Justificación

De acuerdo con las publicaciones, Impacto socioeconómico de los desastres en México, publicada año con año por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, en las evaluaciones de los principales desastres ocurridos en el país, realizadas por especialistas, mediante visitas de campo y consultas directas con las autoridades locales, dichos documentos describen los efectos de los fenómenos sobre la población, sus bienes y la infraestructura pública y privada de los estados impactados, así como las características físicas que dieron origen a los mismos. De lo anterior, se enfatiza que las lluvias e inundaciones son los fenómenos que se presentan con mayor frecuencia en la República Mexicana, por ende, son los eventos que provocan el mayor número de daños, pérdidas y fallecimiento de personas. En los últimos 15 años, nueve de cada 10 desastres en México fueron a causa de fenómenos hidrometeorológicos (CENAPRED,2016).

En su trabajo sobre la conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental (Vergara *et al.*, 2011) señalan que el problema de las inundaciones radica, en gran medida, en la planeación inadecuada y las circunstancias económicas que implican los asentamientos poblacionales en zonas susceptibles a inundación. Por lo anterior, distintos autores como (Rodríguez Estevez, 2007) sostienen que el desastre se construye mediante procesos sociales, y como consecuencia, han sido el detonante para modificar el medio ambiente.

Los fenómenos naturales en sí no generan desastres, sino que las sociedades convierten los eventos de origen natural en peligros y éstos resultan en un riesgo, para posteriormente presentar el desastre al ser combinados con la vulnerabilidad de las poblaciones (Vergara *et al.*, 2011).

Con respecto al sitio de interés, Peribán está ubicado sobre una cuenca en zonas de montaña con pendientes muy pronunciadas que favorecen la existencia de pequeños valles, barrancas, y abanicos aluviales, por lo anterior, presenta las condiciones idóneas para generar inundaciones súbitas.



En ese sentido, el resultado de estudios de peligros se traduce en mapas a distintas escalas. Los mapas de peligro por inundación son instrumentos útiles que muestran la distribución, trayectorias y velocidades del agua alcanzada en calles, ríos o arroyos, con escenarios de periodos de retorno distintos, deben ser ampliamente distribuidos para que la población identifique zonas con potencial importante de inundación, aprendan acerca de los procesos naturales que los rodean y finalmente de cómo protegerse y cómo utilizar los mapas.

Así pues, se espera que al realizar un proyecto de este tipo se permita la aportación de información que ayude a una mejor comprensión de los problemas relacionados con las inundaciones en el municipio de Peribán, así también, como un referente para las posibles investigaciones posteriores, toma de decisiones y la generación de políticas públicas enfocadas a la prevención y medidas de mitigación contra el fenómeno de inundación.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 General

- Generar mapas de peligro por inundación en la zona urbana del municipio de Peribán, para distintos periodos de retorno.

#### 1.3.2 Particulares

- Construir mapas de profundidad en la zona urbana del municipio de Peribán, para distintos periodos de retorno.
- Elaborar mapas de velocidad para la zona urbana del municipio de Peribán, para distintos periodos de retorno.
- Realizar mapa de severidad de inundación para la zona urbana del municipio de Peribán.

### 1.4 Hipótesis

Hipótesis nula: La respuesta hidrológica de la cuenca de Peribán de Ramos es independiente de sus características fisiográficas, por ende, no determina si se trata de una inundación lenta o súbita.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Hipótesis alterna: La respuesta hidrológica de la cuenca de Peribán de Ramos es dependiente de sus características fisiográficas y, sí determina el tipo de inundación.

### 1.5 Marco Teórico Conceptual

#### 1.5.1 Riesgo y peligro.

El CENAPRED (2006) define el riesgo como probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye un peligro, entendido como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.

Existen distintas clasificaciones para el riesgo, en el caso de México, a través del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) se utiliza la clasificación de acuerdo con el tipo de fenómeno que los produce. De este modo, los riesgos se clasifican según su origen, y éstos pueden ser de la siguiente manera (Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Clasificación de riesgos en México

<b>Origen del fenómeno</b>	<b>Tipo de Fenómeno</b>
Geológico	Sismos, erupciones volcánicas, tsunamis, deslizamientos y derrumbes.
Hidrometeorológico	Ciclones tropicales, lluvias e inundaciones, bajas temperaturas, altas temperaturas y sequías, heladas, marea de tormenta y fuertes vientos.
Químico	Derrames, explosiones, fugas e intoxicaciones, incendios forestales y urbanos.
Sanitario	Eventos relacionados con la contaminación de aire, agua y suelos; los que sean propios del área de salud, esencialmente las epidemias.
Socio-organizativo	Accidentes relacionados con el transporte aéreo, terrestre, marítimo o fluvial; la interrupción del suministro de servicios vitales; los accidentes industriales o

	tecnológicos; los derivados del comportamiento desordenado en grandes concentraciones de población y los que son producto de comportamiento antisocial, como los actos de sabotaje o terrorismo.
--	--

Fuente: Ley General de Protección Civil, 2019

Por otra parte, la evaluación de los peligros ha tomado distintos enfoques para su manejo. Soldano (2009) menciona que se han desarrollado cuatro tipos de evaluación, esto bajo el concepto de que *el pasado es la clave para entender el futuro*.

- *Análisis Histórico*. Fundamentado a través de la cartografía de eventos históricos, con la finalidad de determinar magnitudes y periodos de retorno.
- *Análisis Heurístico*. Este método se realiza en función de un especialista, con base en su experiencia establecerá los criterios y su ponderación, para determinar la susceptibilidad del territorio ante cierto tipo de peligro.
- *Análisis Estadístico*. Analiza las condiciones bajo las cuales ocurrieron los eventos generadores de peligros con base en las relaciones estadísticas de los datos disponibles.
- *Análisis Determinístico*. Utiliza la simulación de eventos a partir de modelos matemáticos que actúan en los fenómenos involucrados.

Así pues, debido al alcance, la metodología y en función de los objetivos que pretende esta investigación, la determinación del peligro estará sustentada bajo un enfoque determinístico, que a su vez contendrá distintos análisis heurísticos y estadísticos con el fin de enriquecer la investigación.

### 1.5.2 Peligro por Inundación

El peligro es entendido como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo en un determinado lugar. En ese sentido, el peligro de inundación se puede definir con base en ciertos criterios, que pueden ser profundidad (tirante) y velocidad del agua

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

alcanzada en las calles, ríos o arroyos, que se denomina severidad. (Alcocer *et al.*, 2016)

### 1.5.3 Inundaciones

Existen numerosas definiciones para las inundaciones, pero en términos generales, se refieren cuando el gasto de las avenidas generadas en una cuenca supera la capacidad del cauce, es decir, el exceso de agua escurre fuera de su cauce, sin control y con dirección hacia las partes bajas (Domínguez *et al.*, 1994).

### 1.5.4 Tipos de inundaciones

De acuerdo con (CENAPRED, 2004), las inundaciones se pueden clasificar por el tipo de origen, o bien, en función del tiempo de respuesta hidrológica que tiene una cuenca.

#### 1.5.5 Por origen

Pluviales. Son consecuencia de precipitaciones intensas, el excedente de agua de lluvia se acumula en depresiones y ésta permanece durante horas y días.

Fluviales. Se generan cuando se ha saturado la capacidad de almacenamiento de los ríos y el agua desborda por la superficie del terreno.

Costeras. Se presentan como resultado de tsunamis o mareas de tormenta provocadas por ciclones tropicales, por consecuente el agua impacta en zonas costeras inundando grandes extensiones de terreno.

Por falla de infraestructura hidráulica. Se presenta cuando el nivel de agua supera la capacidad de almacenamiento de cualquier obra hidráulica, debido al diseño incorrecto y/o el manejo inadecuado de estas construcciones.

#### 1.5.6 Por tiempo de respuesta

Inundaciones lentas. Se presenta comúnmente en zonas donde la pendiente del cauce es pequeña. Por ende, la capacidad de los ríos disminuye considerablemente provocando desbordamientos que generan inundaciones en las partes aledañas.

Inundaciones súbitas. Son el resultado de lluvias extraordinarias e intensas que ocurren principalmente en cuencas de zonas montañosas de fuerte pendiente, se

caracterizan por la gran intensidad de agua, energía y arrastre que generan en muy poco tiempo.

Avenida Súbita. Es el incremento en el nivel del agua en el río, debido a que por él fluye un caudal mayor a lo normal, con un corto tiempo entre el momento en que se generan y el momento en que se detecta. A estos fenómenos se debe el mayor número de pérdida de vidas humanas y daños materiales (CENAPRED, 2004).

Precipitación. Agua aportada a una superficie determinada en forma de lluvia, nieve, granizo u otro hidrometeoro, normalmente expresada en milímetros o, lo que es equivalente, litros por metro cuadrado. (CONAGUA, 2008).

Inundación. Evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica que provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, genera invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay (CENAPRED, 2004).

Cauce. Se refiere a la zona más baja del terreno por donde normalmente escurre el agua que se precipita en las zonas aledañas (CENAPRED, 2004).

Desbordamiento. Volumen de agua que sale por los lados de un río, cuando la capacidad de conducción de éste ha sido superada (CENAPRED, 2004).

Gasto. Es la cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio determinado en un cierto tiempo, también se conoce como caudal. Este concepto se usa para determinar el volumen de agua que escurre en un río (CENAPRED, 2004).

Hidrograma. Es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo. En cada instante se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición (CENAPRED, 2004).

Hidrograma: Unitario. El hidrograma unitario se define como el hidrograma de escurrimiento directo, producido por un milímetro de lluvia en exceso, que cae con una intensidad uniforme sobre toda la cuenca durante un tiempo.

Periodo de retorno. Es el tiempo que, en promedio, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

que se usa son años y la magnitud del evento puede ser el escurrimiento, expresado como un cierto gasto. Se subraya que el evento analizado no ocurre exactamente en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que éste puede ocurrir el próximo o dentro del periodo especificado (CENAPRED, 2004).

Tirante. Se refiere a una lámina de precipitación o una profundidad de inundación (CENAPRED, 2004).

Tiempo de Concentración. Se refiere como el tiempo que tarda el agua de lluvia en fluir, por la superficie, desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida de la misma (Domínguez *et al*, 2017).

Vulnerabilidad. Se define como una medida del grado en que una comunidad, infraestructura, servicio o área geográfica es posible que sea dañada, por su naturaleza o ubicación, por el impacto de un peligro de desastre particular (CONAGUA, 2008).

Por otra parte, se han realizado diversos estudios que permiten la generación de cartografía confiable y de alta calidad para problemas relacionados con las inundaciones. En México, estudios como los de CENAPRED, 2011; Alcocer, *et al.*, 2016; y Hernández *et al.*, 2016, presentan una metodología que permite la elaboración de mapas a nivel de riesgo por inundaciones para zonas urbanas.

Otros autores como Larios *et al.*, 2015, realizaron un estudio que tuvo por objetivo aplicar un modelo de simulación hidráulica para delimitar las zonas con riesgo a inundación en la subcuenca del río la Antigua en Veracruz. Para ello, utilizaron el modelo de HEC-RAS que utiliza ecuaciones diferenciales determinísticas, las cuales simulan el comportamiento y la dinámica de los niveles de agua en secciones transversales del cauce; su aplicación permitió definir las áreas de inundación alcanzadas durante una avenida extraordinaria.

También investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM, llevaron a cabo un estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones en todas las cuencas del país, por medio de ecuaciones regionales, que, mediante el gasto medio en una región

homogénea de escurrimientos y las características fisiográficas de las cuencas, se pueden obtener gastos para diversos periodos de retorno. Dicho estudio permite la simplificación del trabajo, principalmente en ahorro de tiempo para la búsqueda de información hidrométrica y el respectivo procesamiento de los datos. De igual manera es importante mencionar que gran parte de esta propuesta de investigación se sustenta en los productos finales del estudio de (Domínguez *et al.*, 2017).

En el ámbito institucional, México a través de la Comisión Nacional del Agua, ha elaborado el Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas (2013), el cual contempla la ejecución de acciones medio ambientales de planeación urbana, prevención, alertamiento temprano y protocolos de emergencia, además del establecimiento de elementos y estrategias necesarias ante la presencia de fenómenos del tipo hidrometeorológicos por región hidrológica, las cuales están orientadas a reducir el riesgo existente ante inundaciones con fin de disminuir daños en zonas urbanas y productivas. En este documento se señala, para cada una las trece regiones hidrológico administrativas, la caracterización y diagnóstico de las zonas inundables, monitoreo y vigilancia de las variables hidrometeorológicas, medidas para atender las inundaciones, elaboración de contenidos ante la evaluación de riesgos y programas de acción para corto, mediano y largo plazo.

En este sentido, para el estado de Michoacán, dicho documento contiene estudios para las zonas urbanas en 2016 para los municipios de Hidalgo y de la Piedad; 2015 para Los Reyes, Uruapan y Zitácuaro, así como Morelia en 2014. Se detalla la caracterización de las zonas urbanas, considerando los aspectos económicos, sociales y ambientales, el diagnóstico de la problemática existente, un análisis de riesgo en el que se encuentra la población y zonas productivas. Finalmente, se presenta una propuesta de acciones que ayuden a prevenir y mitigar los daños causados por inundaciones.

De igual manera, se cuenta con el Manual para el Control de Inundaciones (2011), el cual funciona como instrumento donde el personal técnico conozca y aplique, técnicas de análisis adecuadas, los equipos de medición, así también para el personal responsable de los programas de apoyo a la población (Brigadas de

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Protección Civil, Direcciones Estatales y Municipales de Protección Civil, Ejército, Policía Federal, entre otros) conozca los elementos disponibles para la toma de decisiones oportuna para los eventos de inundación.

### **2 Materiales y metodología**

Cuando una cuenca o zona de estudio cuenta con estaciones climatológicas e hidrométricas, el trabajo posterior consiste en revisar, seleccionar y ejecutar los procesamientos de información correspondientes. En contraparte, cuando se carece de datos necesarios, ya sea por la cantidad de estaciones, ubicación, periodo de registro e incluso por la calidad de los mismos, el trabajo es oneroso. Es por ello, que existen estudios que agrupan cuencas o zonas en función de las características estadísticas de sus registros de precipitación o escurrimiento en regiones homogéneas, lo cual permite obtener información de éstas a pesar de la falta de medición de alturas de precipitación o de gastos producto de escurrimientos.

La metodología aplicada para el presente trabajo está sustentada en los resultados de Domínguez *et al.*, 2017, la cual consiste en un análisis a través de ecuaciones regionales, que mediante el gasto medio en una región homogénea de escurrimientos y las características fisiográficas de las subcuencas, se pueden obtener gastos para diversos periodos de retorno, lo cual facilita significativamente el trabajo, primero por la búsqueda de información climatológica e hidrométrica (que en ocasiones esta puede ser escasa o de poca confiabilidad) y su necesario procesamiento, o de la transformación de alturas de precipitación asociadas a probabilidades de excedencia y su transformación en escurrimiento directo. Así, los insumos anteriores sirven como base para la modelación del tránsito hidráulico de los ríos en la zona urbana de Peribán de Ramos y su posterior análisis, con la finalidad de detectar las potenciales zonas que se encuentren con peligro de inundación.

#### 2.1 Estimaciones de características fisiográficas

##### 2.1.1 Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es la representación de un ráster de una superficie continua, que en general hace referencia a la superficie de la tierra. Un



ráster es una matriz de celdas, también llamados píxeles, organizadas en filas y columnas y que cubren alguna región específica. Cada celda de una matriz representa una unidad de área cuadrada y contiene un valor numérico que es una medida o una estimación correspondiente a esa ubicación (figura 2-1).

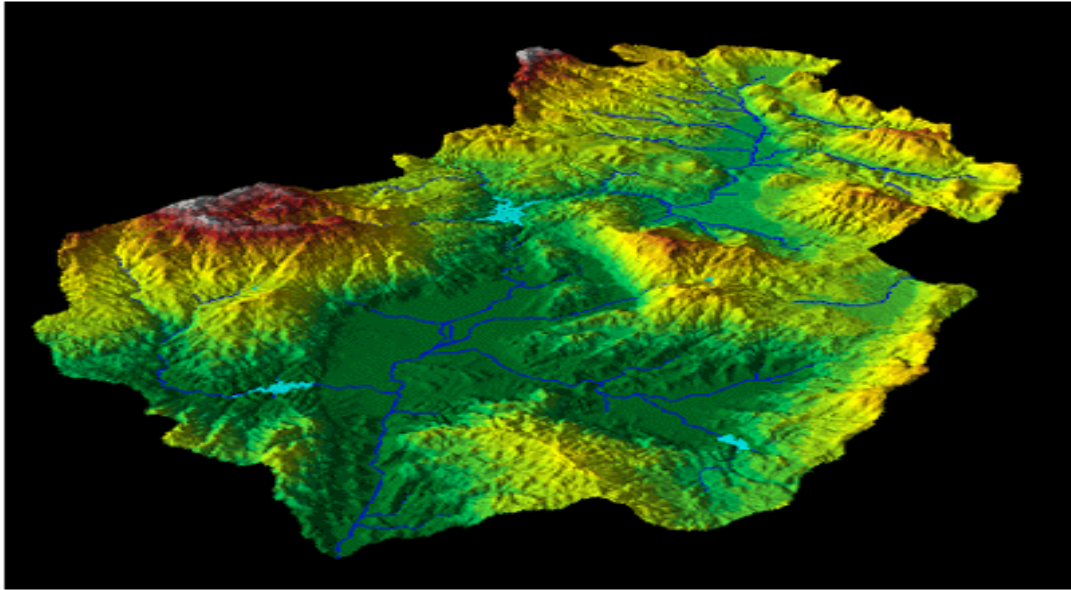


Figura 2-1 Visualización de un Modelo Digital de Elevación.

Un archivo de estas características debe pasar por una etapa de pre procesamiento para su respectivo análisis, esto para corregir errores, los cuales se identifican como sumideros o picos. Un sumidero es un área comprendida por valores de mayor elevación, es decir, es un área de drenaje interno. De igual manera, es importante señalar que algunos de estos sumideros, en ocasiones pueden corresponder a las expresiones del relieve, en particular las áreas de glaciares o ambientes del tipo karst.

Los errores, en especial los sumideros, se deben eliminar antes (pre procesamiento) de intentar derivar cualquier información de superficie. Los sumideros, al ser áreas de drenaje interno, evitan que el agua fluya desde pendientes más pronunciadas.

El modelo de elevación que se utilizó para la zona de estudio fue obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que se trata de un MDE con una resolución espacial de 15 x 15 metros.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

### 2.1.1.1 Fill Sinks

Con frecuencia, los sumideros representan errores debido a la resolución de los datos o por el redondeo de elevaciones al valor entero más cercano. Los sumideros se deben rellenar para garantizar la representación correcta de cuencas y arroyos. Si los sumideros no se rellenan, una red de drenaje derivada puede ser discontinua. (ESRI, 2016) es por ello que se utilizó la herramienta *Fill Sinks* de la extensión Hec-GeoHms (figura 2-2).

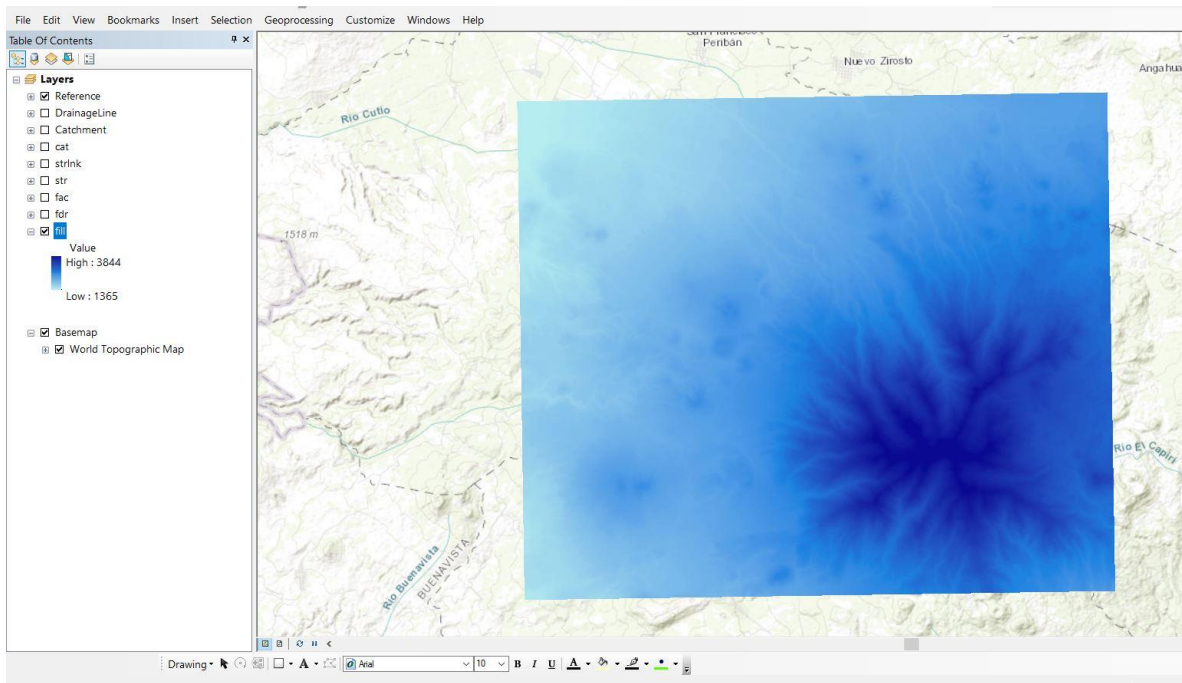


Figura 2-2 Aplicación de la herramienta Fill Sinks.

### 2.1.1.2 Acumulación y dirección del flujo

Mediante las herramientas *Flow direction* (figura 2-4). y *flow accumulation* (figura 2-5) se obtienen las direcciones y acumulaciones de agua que presenta el modelo de elevación.

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 (Jenson, 1988) (figura 2-3).

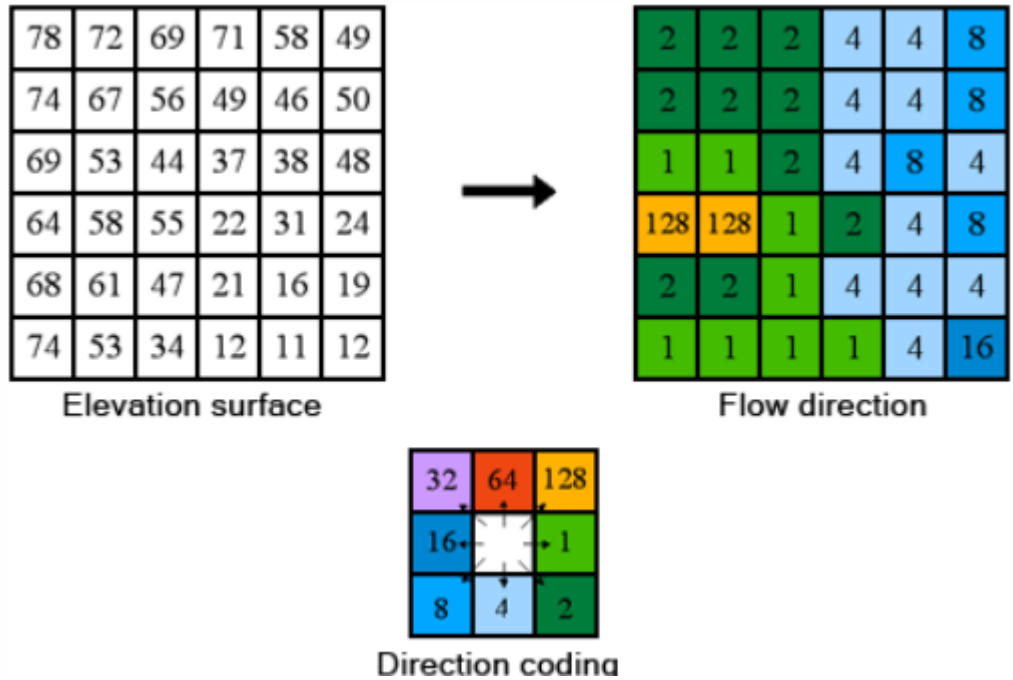


Figura 2-3 Codificación de la dirección del flujo. Fuente ESRI.

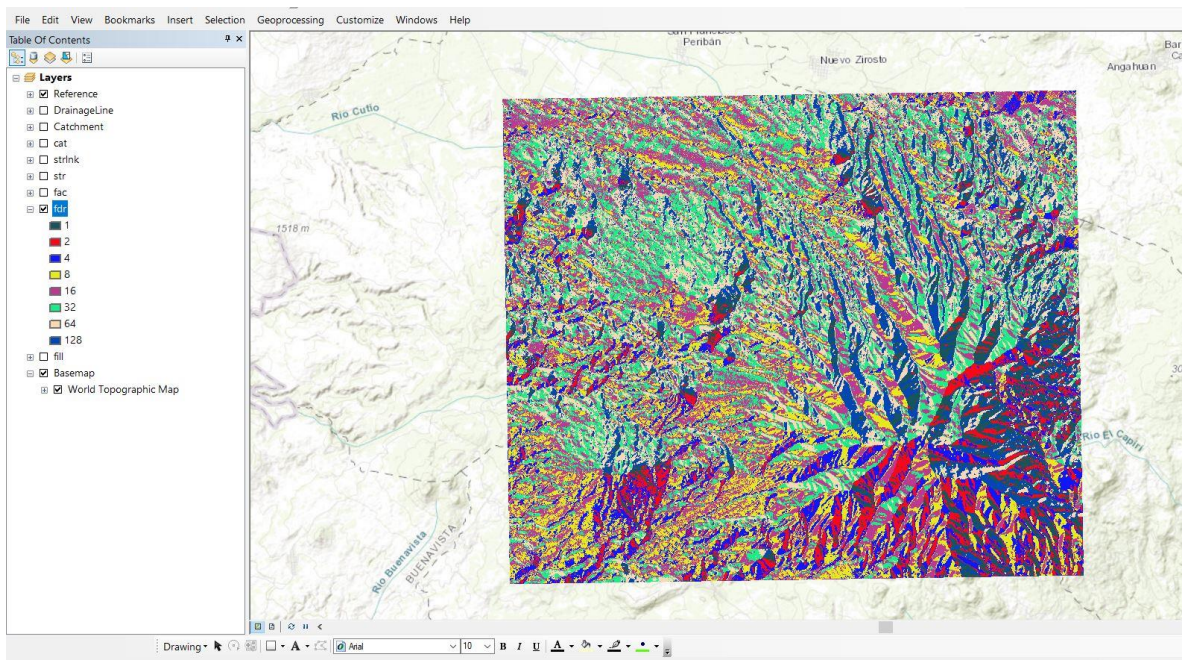


Figura 2-4 Resultados de la herramienta Flow Direction.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

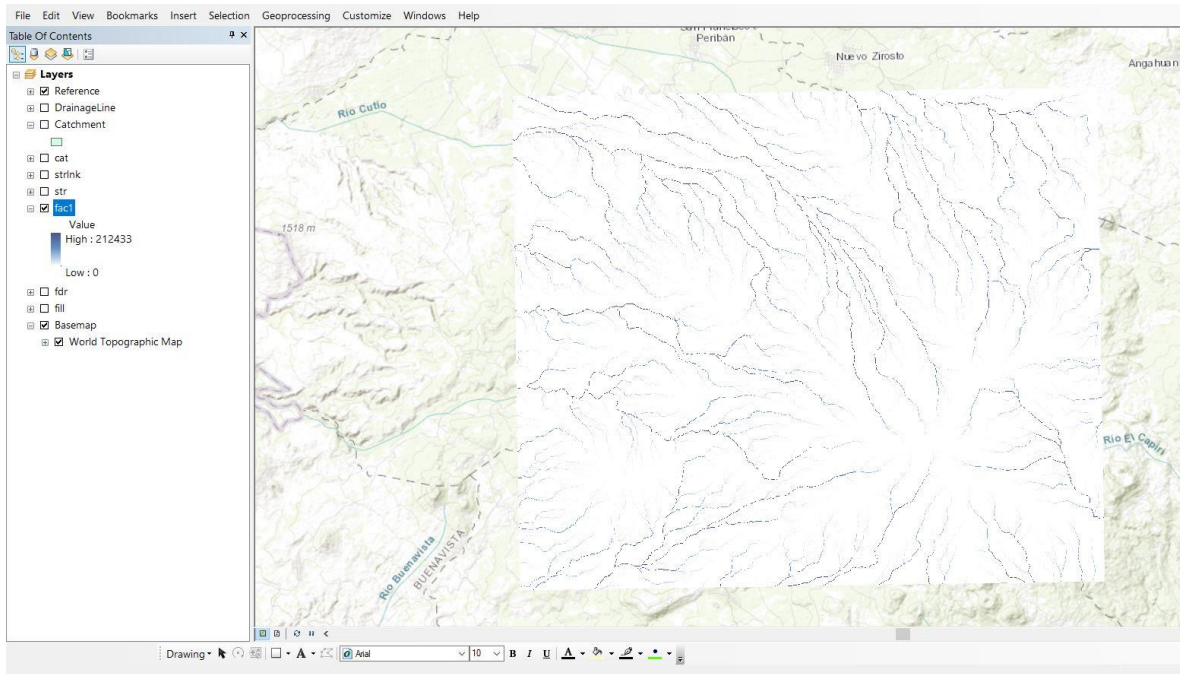


Figura 2-5 Resultados de la herramienta Flow Accumulation.

### 2.1.1.3 Red de drenaje

La red de drenaje de la zona de estudio se obtiene con base en un umbral definido por el usuario, que le indica al programa cuántas celdas se requiere acumular para aceptar que se forme una corriente, para este caso, que solo se desea identificar el cauce principal, no es necesario contar con un drenaje muy detallado, por lo cual el umbral será el valor por defecto que arroja el programa multiplicado por el tamaño de celda del ráster 15 x 15 m, es decir:

$$2124 * 15 * 15 = 477,900m^2 = 0.4779km^2$$

Lo que se traduce en que todas las corrientes definidas en la figura 2-11, tienen un área de aportación de al menos 0.479 km<sup>2</sup>. Este procedimiento es realizado con las herramientas *Stream Definition* y *Stream Segmentation*.

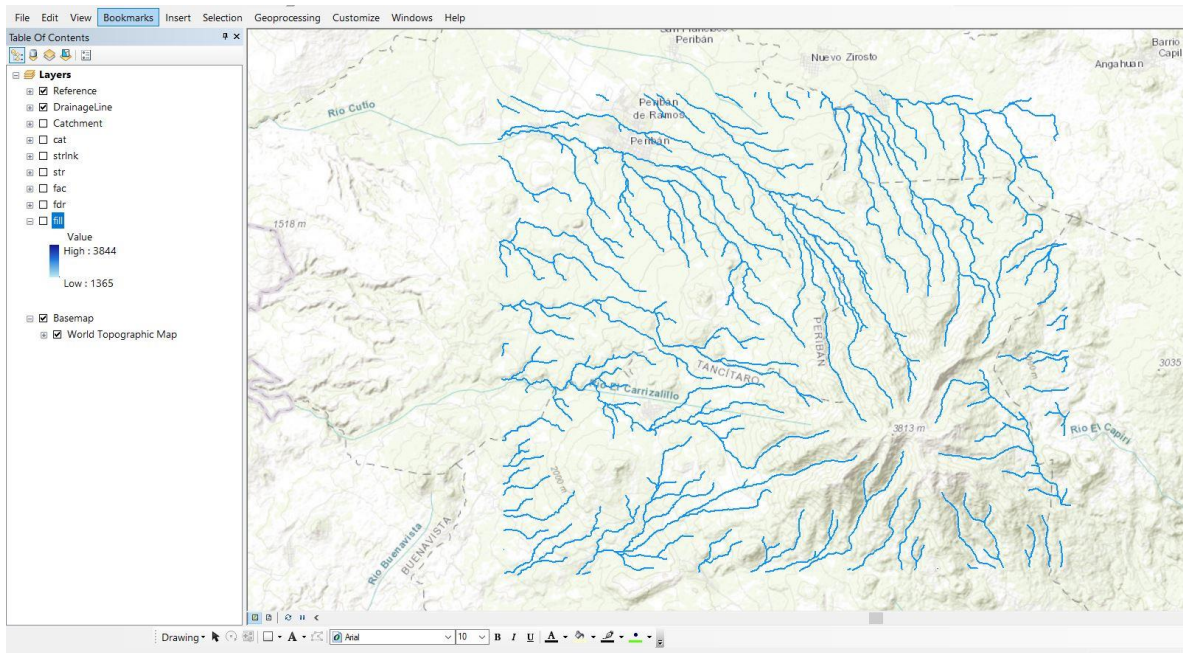


Figura 2-6 Resultados de las herramientas Stream Definition y Stream Segmentation.

### 2.1.2 Delimitación de subcuencas

Una vez obtenidos los insumos anteriores, el próximo paso corresponde a la delimitación de subcuencas. Para contar un mejor análisis hidrológico se delimitó la cuenca a la zona de estudio y a su vez se subdividió en cuatro subcuencas, con la finalidad de conocer las aportaciones de los ríos que corren por la ciudad de Peribán de Ramos. Para ello se ejecutaron las herramientas *Catchment Grid Delineation* y *Catchment Polygon Processing*.

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

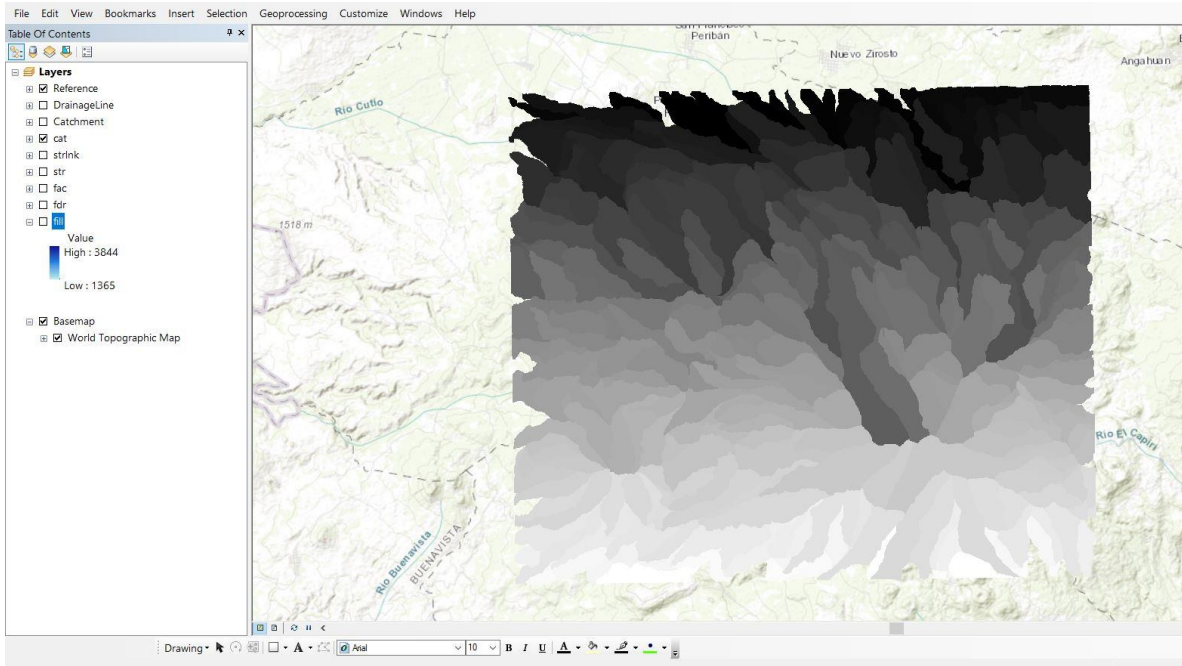


Figura 2-7 Resultados de la extensión Catchment Grid Delineation.

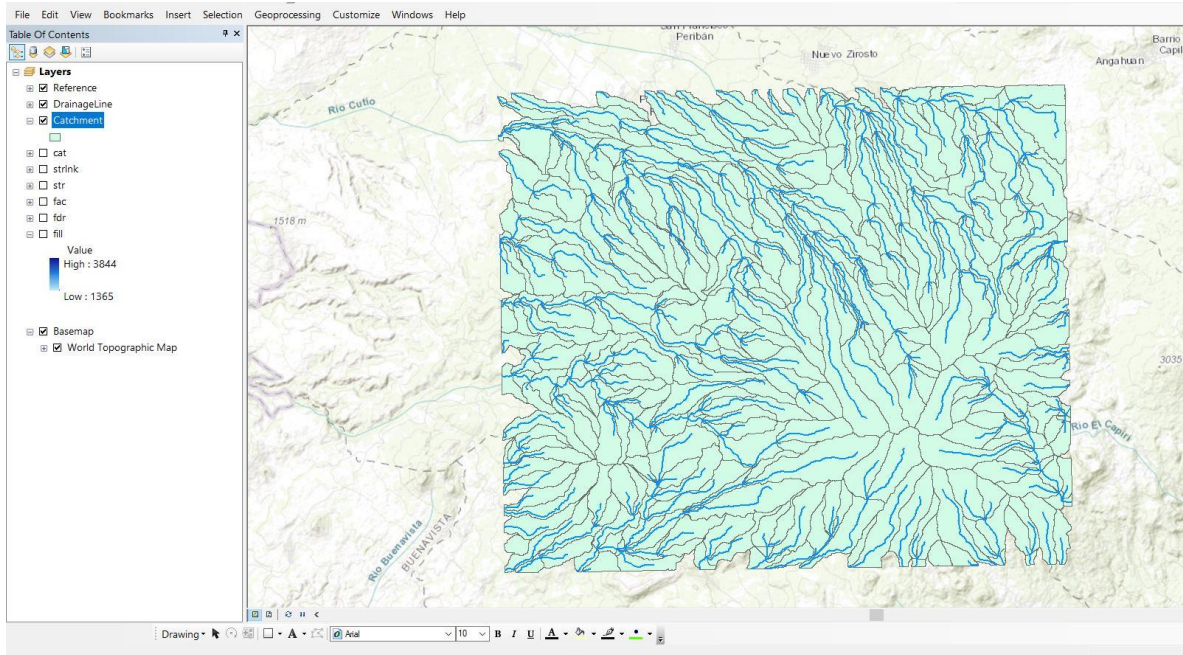


Figura 2-8 Resultados de la herramienta Catchment Polygon Processing

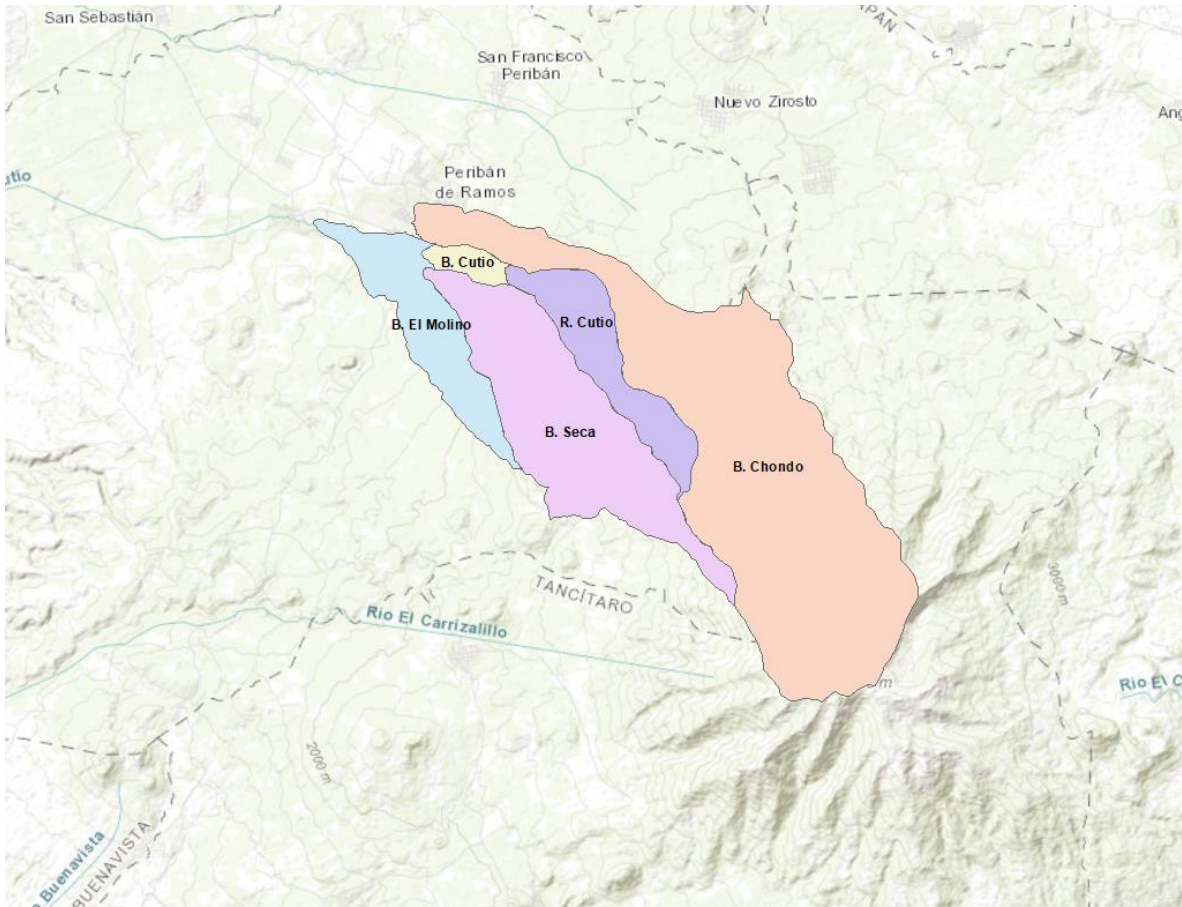


Figura 2-9 Delimitación de subcuencas para la ciudad de Peribán de Ramos.

### 2.1.3 Pendiente media de la cuenca

A partir del modelo de elevación se generó el mapa de pendientes para la cuenca de Peribán (figura 2-10); en seguida, con la herramienta *zonal statistics as table de ArcToolbox*, se calculó la media aritmética para cada zona del polígono que contiene la cuenca de Peribán, con base en los valores del mapa de pendientes, el resultado del cruce de esta información se traduce en el valor de la pendiente media de la cuenca.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

### 2.1.4 Longitud del cauce principal

La corriente principal de la zona de estudio corresponde a la barranca Chondo con una extensión de 19.44 km. Su obtención deriva del MDE y con la extensión *HecGeoHms* se obtuvo la red de drenaje para la cuenca y su cauce principal. El cauce principal es la corriente con mayor longitud, expresada en kilómetros.

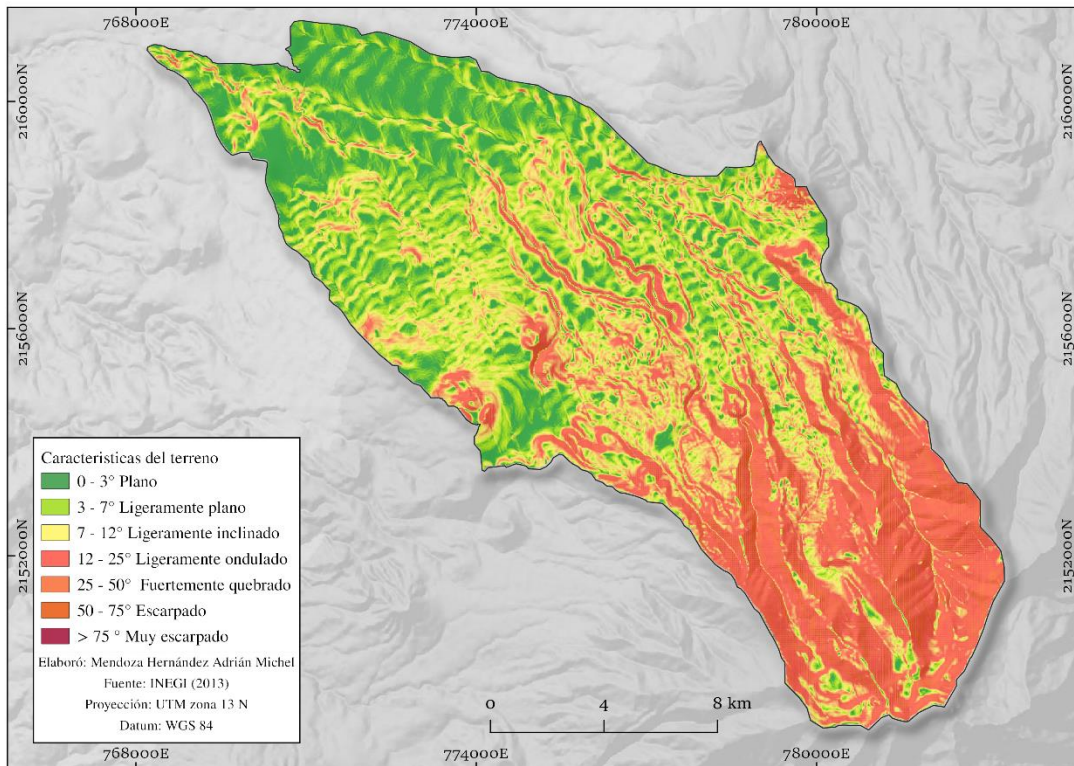


Figura 2-10 Características de la pendiente del terreno para la cuenca de Peribán de Ramos.



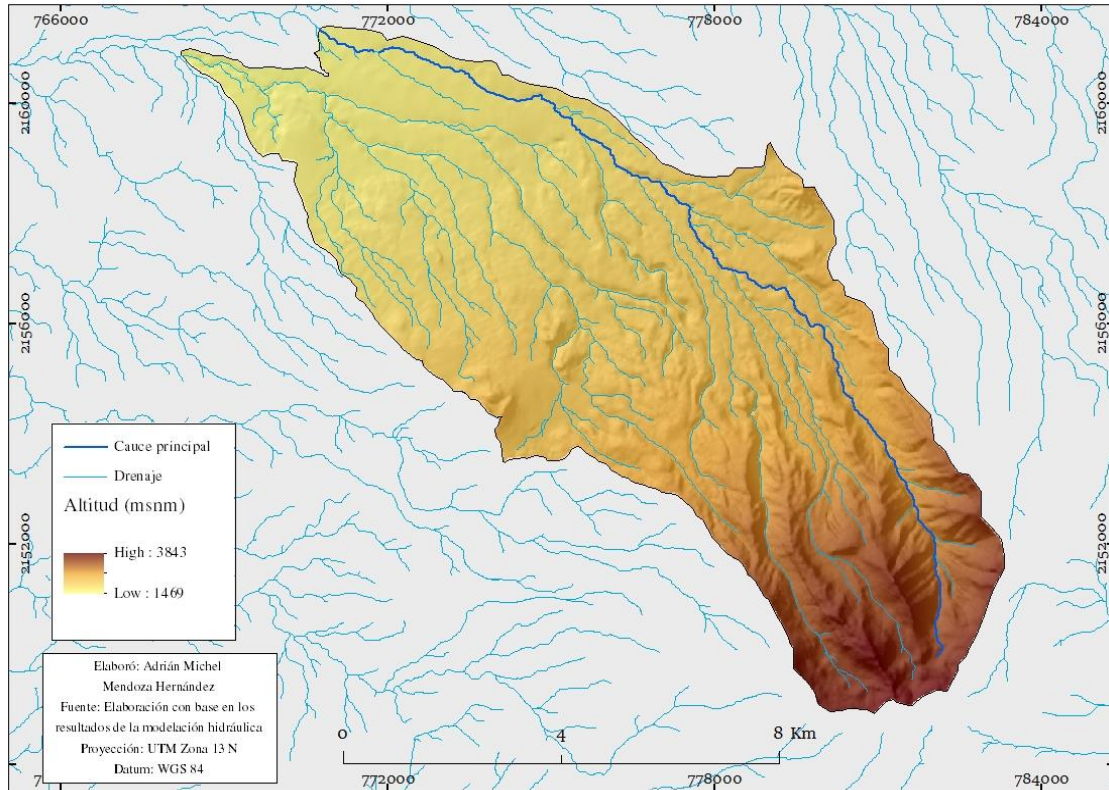


Figura 2-11 Red de drenaje para la cuenca de Peribán de Ramos.

### 2.1.5 Pendiente media del cauce principal

De igual manera que para la estimación de la pendiente media de la cuenca, el procedimiento es el mismo. En este caso, el dataset de zonas que contiene la cuenca, es sustituido por el dataset que incluye el cauce principal y se emplea el mismo mapa de pendientes que integra los valores Z. (Para la estimación de los demás cálculos que incluyan la media, se continuó utilizando la herramienta *zonal statistics as table*)

### 2.1.6 Precipitación media de la cuenca (Smc)

La precipitación media de la cuenca se obtuvo con base en el mapa de isoyetas disponible en el Atlas Nacional de Riesgos publicado por el CENAPRED que es derivado de (Domínguez *et al.*, 2017). Así pues, partiendo del mapa de isoyetas (figura 2-13) se realizó un corte de la información que intersecta la cuenca,

Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

seguidamente se procesó nuevamente con *zonal statistics as table* para estimar la precipitación media para cada una de las subcuencas.

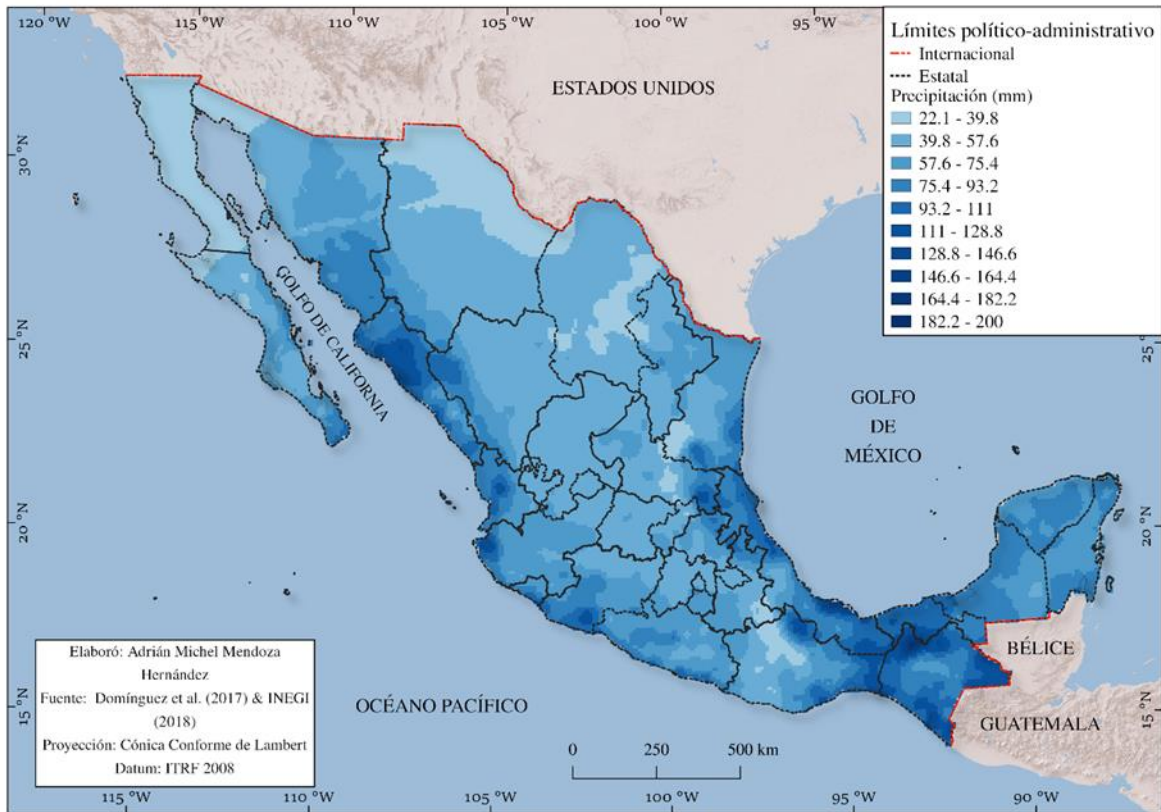


Figura 2-12 Superficie de precipitación para cuenca Peribán de Ramos.

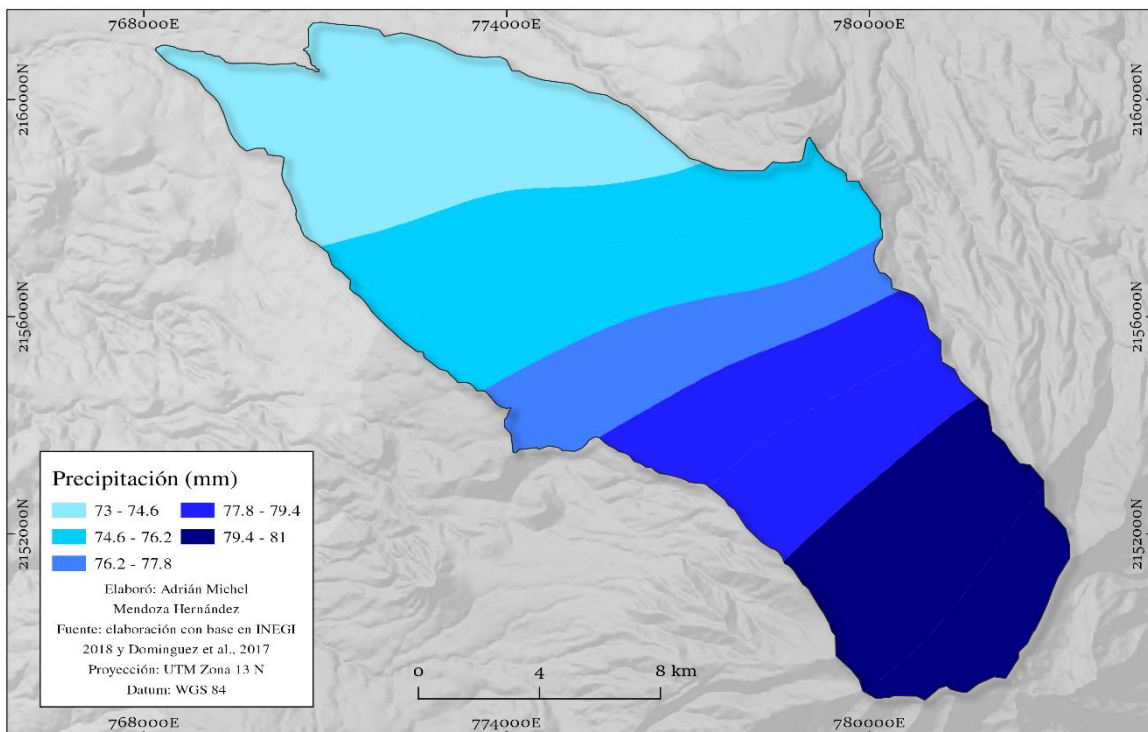


Figura 2-13 Precipitación media asociada a un  $Tr=20$  años.

### 2.1.7 Tiempo de concentración ( $T_c$ )

Según Campos (2015) define el tiempo de concentración como el lapso que tarda una gota de agua en escurrir sobre la superficie, desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto de salida de la misma.

Se calcula aplicando la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{SCP^{0.385}}$$

Donde:

$T_c$ = tiempo de concentración en segundos;

$L$ = longitud del cauce principal, en km

$SCP$ = pendiente de cauce principal, en decimales.

### 2.1.8 Número de curva

El número de curva es un parámetro hidrológico desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) que permite estimar el potencial de escorrentía de una cuenca hidrológica, se evalúa a partir de características del estado hidrológico del suelo, condiciones de uso y por su cobertura (Díaz y Mercado, 2017).

Para la obtención de los mapas de uso y tipo de suelo, se utilizó el conjunto de datos vectoriales edafológico, serie II y el conjunto de datos vectoriales de la carta de uso de suelo y vegetación serie VI. en la figura 2-14, los datos de la tabla 2-1 y con la tabla 2-2, se realizó un cruce de información entre los tres insumos para calcular el número de curva para la cuenca y subcuencas, respectivamente.

Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Tabla 2-1 Número de curva en función a la cobertura del suelo

Uso de suelo y vegetación	Grupo hidrológico			
	A	B	C	D
<b>Agricultura</b> (de humedad, de riego, temporal)				
Condición hidrológica mala	72	81	88	91
Condición hidrológica regular	67	76	83	86
Condición hidrológica buena	62	71	78	81
Área sin vegetación aparente	77	86	91	94
<b>Asentamiento humano</b>				
Áreas abiertas, césped, parque campos de golf, cementerios, etc.	82	88	91	93
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
Residencial 50% o más área impermeable	77	85	90	92
Residencial 50% o menos área impermeable	61	75	83	87
Distritos industriales (72% impermeable)	89	92	94	95
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras (pavimentados con cunetas y alcantarillas)	98	98	98	98
Calles y carreteras de grava	76	85	89	91
Calles y carreteras de tierra	72	82	87	89
<b>Bosque</b> (cultivado, de encino, encino-pino, Oyamel, pino táscate, mesófilo de montaña)				
Condición hidrológica mala	45	66	77	83
Condición hidrológica regular	36	60	73	79
Condición hidrológica buena	25	55	70	77
<b>Cardonal</b>	54	71	80	89
<b>Chaparral (arbustos)</b>	20	48	65	73
<b>Cuerpo de agua</b>	100	100	100	100
<b>Erosión</b>	68	79	86	89
<b>Manglar</b>	100	100	100	100
<b>Matorral</b> (con izotes, con rosetófilos, acaules, crasicale, desértico micrófilo, subtropical)				
Condición hidrológica mala	48	67	77	83
Condición hidrológica regular	34	58	71	78
Condición hidrológica buena	20	48	65	73
<b>Mezquital</b>	68	79	86	92
<b>Nopalera</b>	39	61	74	84
<b>Palmar</b>	39	61	74	84
<b>Pastizal</b> (cultivado, halófilo, inducido, natural, natural-Huizachal)				
Condición hidrológica mala	68	79	86	89

Condición hidrológica regular	49	69	79	84
<b>Uso de suelo y vegetación</b>	<b>Grupo hidrológico</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
<b>Plantación forestal</b>				
Condición hidrológica mala	55	73	82	86
Condición hidrológica regular	44	65	76	82
Condición hidrológica buena	32	58	72	79
<b>Pradera de alta montaña</b>	30	58	71	78
<b>Sabana</b>	45	66	77	83
<b>Selva</b> (baja caducifolia, baja caducifolia y subcaducifolia, baja espinosa, mediana subcaducifolia)	45	66	77	83
<b>Tular</b>	68	79	86	92
<b>Vegetación halófila</b>	68	79	100	100
<b>Vegetación secundaria</b>	68	79	86	89

Fuente: Soil Conservation Service, EEUU

Tabla 2-2 Clasificación hidrológica de los tipos de suelo según su permeabilidad.

<b>Suelos</b>	<b>Tipo Hidrológico</b>	<b>Permeabilidad</b>	<b>Suelos</b>	<b>Tipo hidrológico</b>	<b>Permeabilidad</b>
Andosol	A	Muy alta	Feozem	C	Media
Arenosol	A	Muy alta	Castañozem	C	Media
Fluvisol	A	Muy alta	Nitosol	C	Media
Histosol	A	Muy alta	Chernozem	C	Media
Ranker	A	Muy alta	Alisol	D	Baja
Calcisol	B	Buena	Acrisol	D	Baja
Xerosol	B	Buena	Cambisol	D	Baja
Yermosol	B	Buena	Gleysol	D	Baja
Leptosol	B	Buena	Luvisol	D	Baja
Litosol	B	Buena	Vertisol	D	Baja
Rendzina	B	Buena	Planosol	D	Baja
Solonchak	B	Buena	Solonetz	D	Baja
Podzol	B	Buena	Podzoluvisol	D	Baja
Ferralsol	B	Buena	Plintosol	D	Baja
Regosol	B	Buena	Luvisol	D	Baja

Fuente: Soil Conservation Service, EEUU

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Tabla 2-3 Clasificación del tipo de suelo de acuerdo a su potencial de escurrimiento.

<b>A</b>	<b>Bajo potencial de escorrentía.</b> Suelos que tienen alta tasa de infiltración aun cuando estén muy húmedos. Consisten de arenas o gravas profundas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
<b>B</b>	<b>Moderadamente bajo potencial de escorrentía.</b> Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
<b>C</b>	<b>Moderadamente alto potencial de escorrentía.</b> Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcali, o suelos con niveles freáticos moderados. Estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50 – 100cm).
<b>D</b>	<b>Alto potencial de escorrentía.</b> Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial expansión; suelos con nivel freático alto permanentemente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcali y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión de agua muy lenta.

Fuente: Soil Conservation Service, EEUU

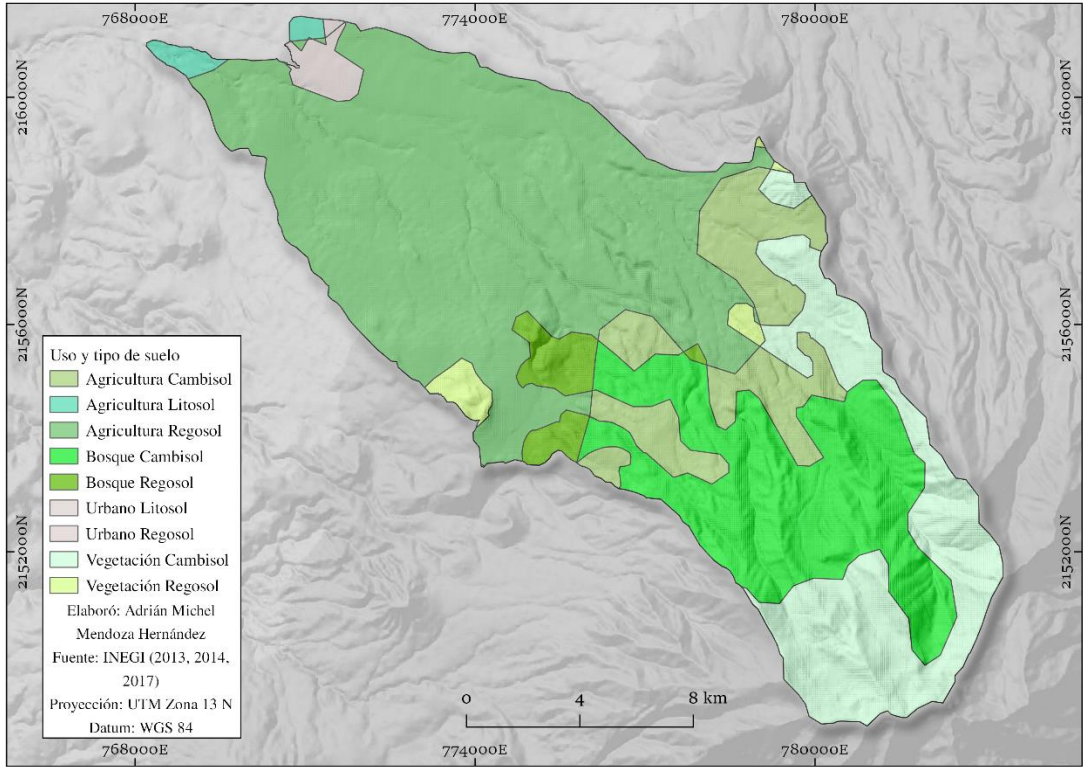


Figura 2-14 Uso y tipo de suelo para cuenca de Peribán de Ramos.

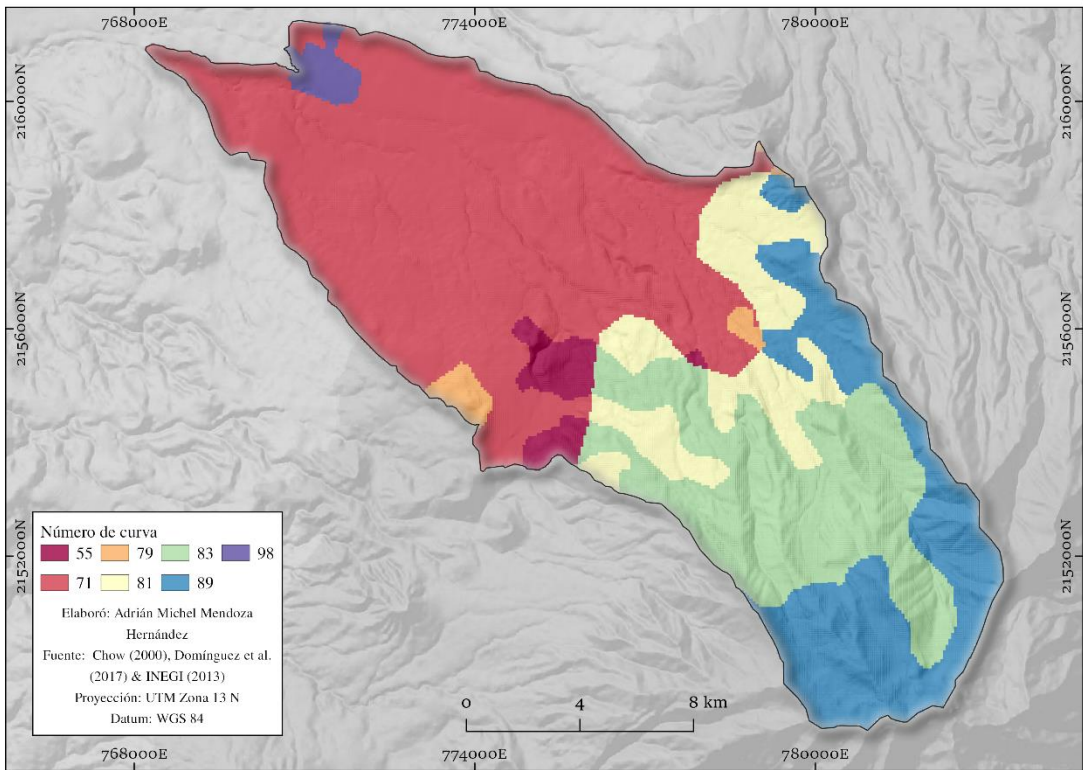


Figura 2-15 Número de curva para la cuenca Peribán de Ramos.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

### 2.1.9 Cálculo para los gastos máximos instantáneos (QMI)

De acuerdo con las regiones hidrológico-administrativo de la CONAGUA, la zona de estudio se encuentra en la RH IV Balsas, la estación hidrométrica que la delimita es la estación los Panches, se localiza sobre el río Tepalcatepec dentro del municipio de La Huacana, Mich. Se estimaron los QMI por medio de las ecuaciones regionales de la media del gasto máximo instantáneo en función de las características fisiográficas de la cuenca, y se aplicaron las ecuaciones recomendadas para la región hidrológica 18 como se menciona en Domínguez, *et al.*, 2017. Las ecuaciones potenciales que se analizaron y adecuaron para las subcuencas son las del modelo 9 y 11 (figuras 2-18 y 2--19), debido a que fueron las que mejor correlación presentan.

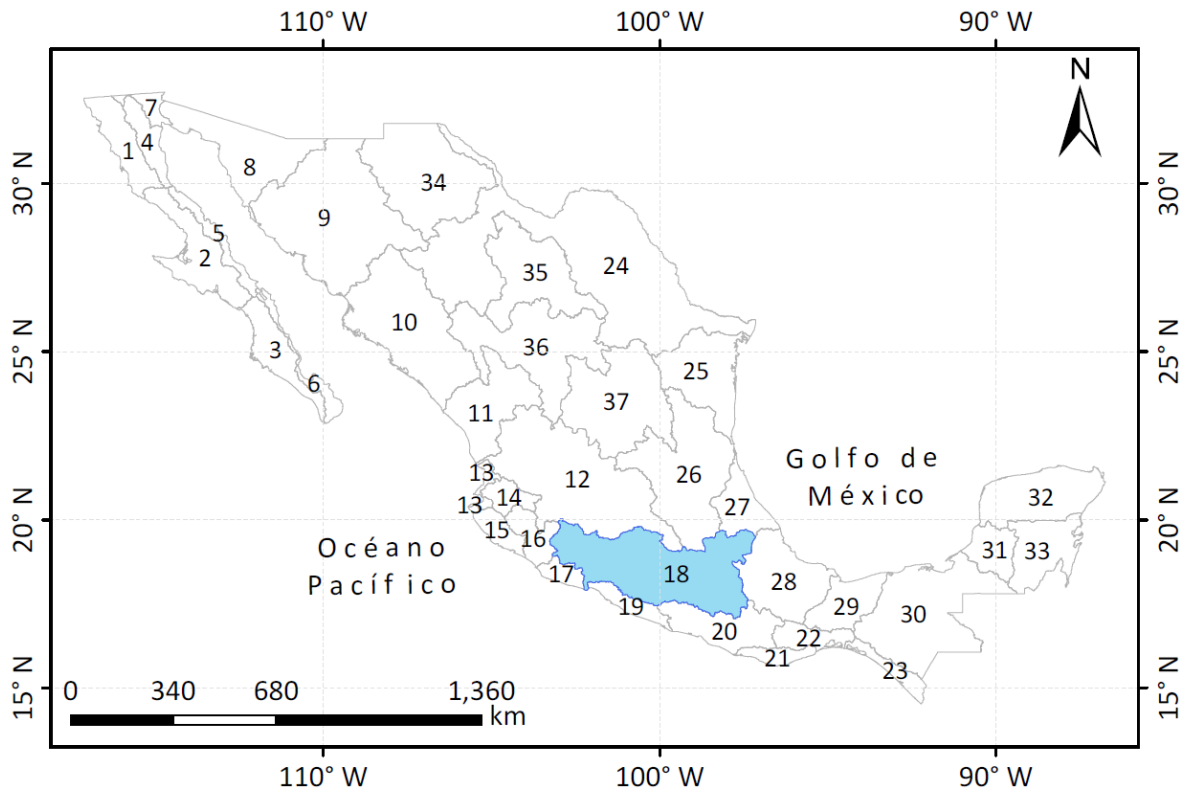


Figura 2-16 Regiones Hidrológicas. Ubicación de la RH 18. Fuente: Domínguez et al., 2017.



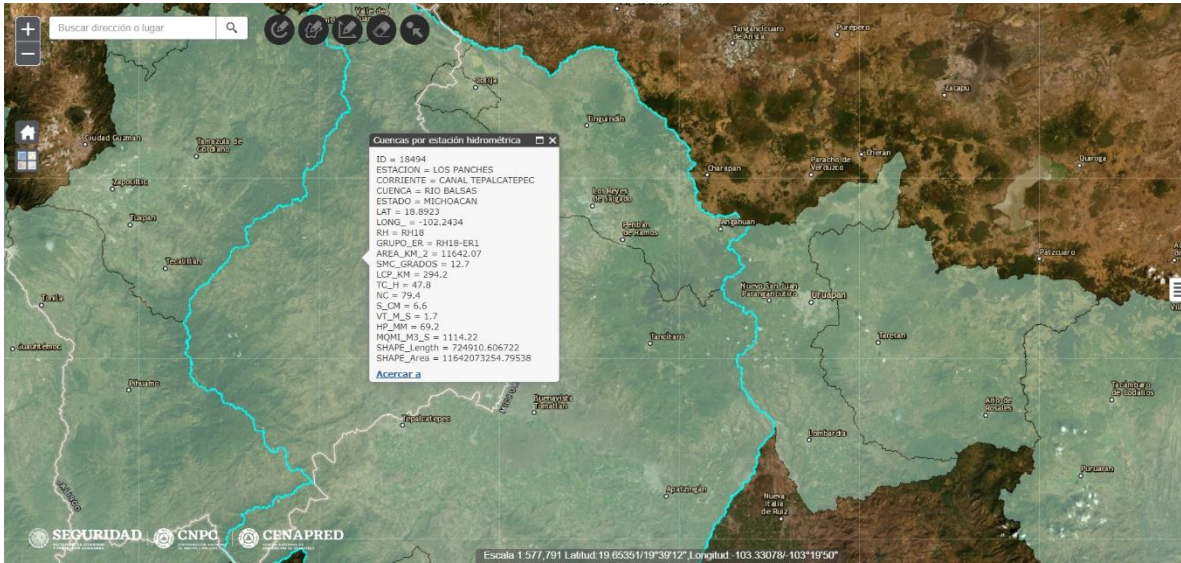


Figura 2-17 Características de la cuenca regional y estación hidrométrica a la que pertenece la zona urbana de Peribán de Ramos. Fuente: Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED (2019).

Para el cálculo de los caudales se decidió por la ecuación de gasto máximo instantáneo, ya que los resultados que arrojó fueron más adecuados con respecto a los de la ecuación del modelo 19, una vez obtenidos estos se multiplicaron por los factores regionales para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años. Finalmente, se construyeron los hidrogramas asociados a los correspondientes periodos de retorno.

Ecuación del modelo 9 para dos variables:

$$Mqmi = 67.20594 * V^{0.57055} Tc^{-0.24867}$$

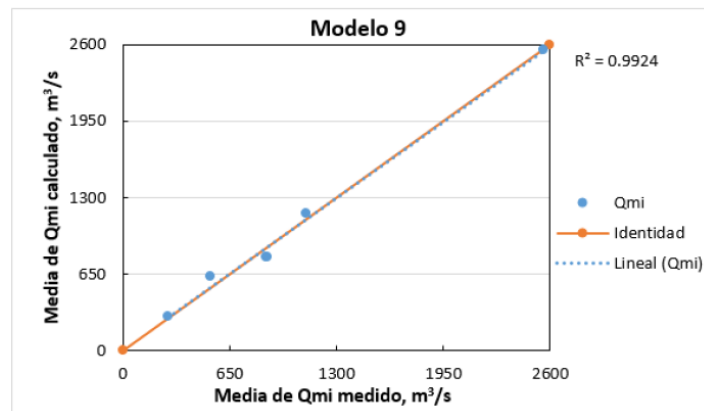


Figura 2-18 Error porcentual entre los gastos calculados y medidos con el modelo 9. Fuente: Domínguez et al., 2017.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Ecuación del modelo 11 para dos variables:

$$Mqmi = 52.28457 * V^{0.43002} Vt^{0.39119}$$

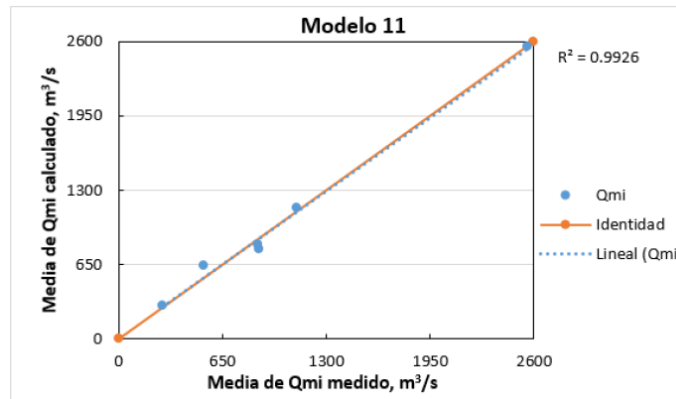


Figura 2-19 Error porcentual entre los gastos calculados y medidos con el modelo 11. Fuente: Domínguez et al., 2017.

Donde:

$Mqmi$  = Gasto máximo instantáneo en m<sup>3</sup>/s.

$V$  = Volumen de la cuenca

$Vt$  = Velocidad de tránsito en m<sup>3</sup>/s

$Tc$  = Tiempo de concentración

### 2.1.10 Hidrograma unitario

Posteriormente de estimar el gasto máximo para diferentes periodos de retorno, es necesario definir la forma del hidrograma de escurrimiento directo, para ello existen diferentes modelos que pueden ser usados, entre ellos:

Hidrograma unitario adimensional (SCS).

El hidrograma adimensional SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal  $q$  con respecto al gasto pico  $q_p$  y el tiempo por la relación del tiempo  $t$  con respecto al tiempo pico  $T_p$  (Chow, 1994).

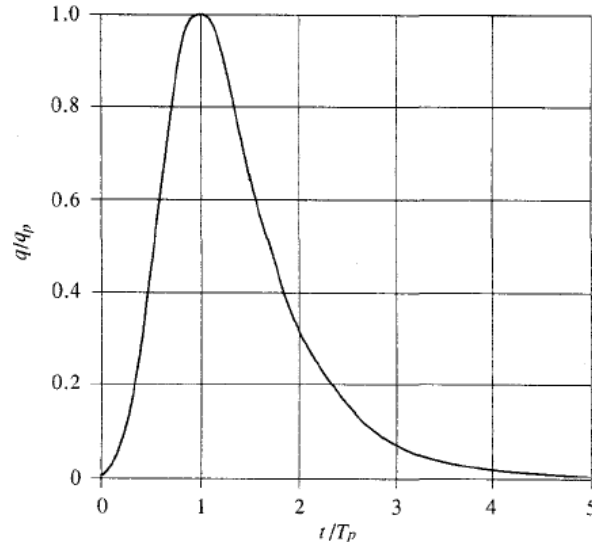


Figura 2-20 Hidrograma unitario adimensional (SCS). Fuente (Chow,1994)

Hidrograma unitario triangular.

Mockus desarrollo un hidrograma unitario sintético de forma triangular (Aparicio, 1994), la geometría de este hidrograma se traduce de:

$$q_p = \frac{0.555A}{t_b}$$

Donde:  $A$  = área de la cuenca en Km<sup>2</sup>,  $t_b$  = tiempo pico en h y  $q_p$  = gasto pico en m<sup>3</sup>/s / mm.

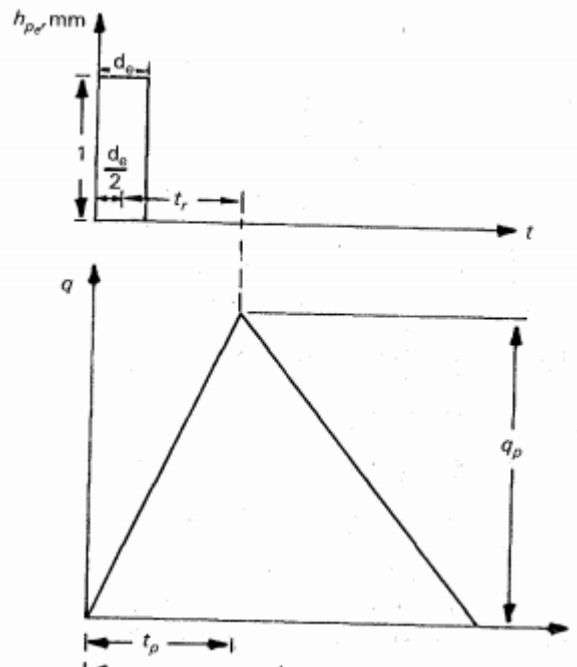


Figura 2-21 Hidrograma unitario triangular. Fuente (Aparicio,1994).

Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Método de Chow.

Método para el cálculo del gasto pico de hidrogramas de diseño de alcantarillas y otras estructuras de drenaje pequeñas. Esta técnica solo proporciona el gasto pico y es aplicable a cuencas no urbanas con un área menor de 25 Km.<sup>2</sup> (Aparicio, 1994)

La metodología por la que se optó fue por la del hidrograma unitario del SCS por ser de las metodologías más utilizadas y aprobadas.

Tabla 2-4 Gastos máximos de las subcuencas de aportación para diferentes periodos de retorno

Tr años	Gastos máximos instantáneos m <sup>3</sup> /s				
	B. El Molino	B. Seca	R. Cutio	B. Cutio	B. Chondo
2	44.57	72.08	47.23	20.38	106.03
5	74.29	120.14	78.72	33.97	176.72
10	97.34	157.43	103.15	44.52	231.56
20	127.57	206.31	135.18	58.34	303.47
50	181.37	293.31	192.19	82.95	431.44
100	222.87	360.43	236.16	101.93	530.16
200	262.32	424.23	277.97	119.97	624.00
500	312.53	505.45	331.17	142.94	743.44
1000	349.94	565.92	370.80	160.05	1138.78

Fuente: elaboración propia.

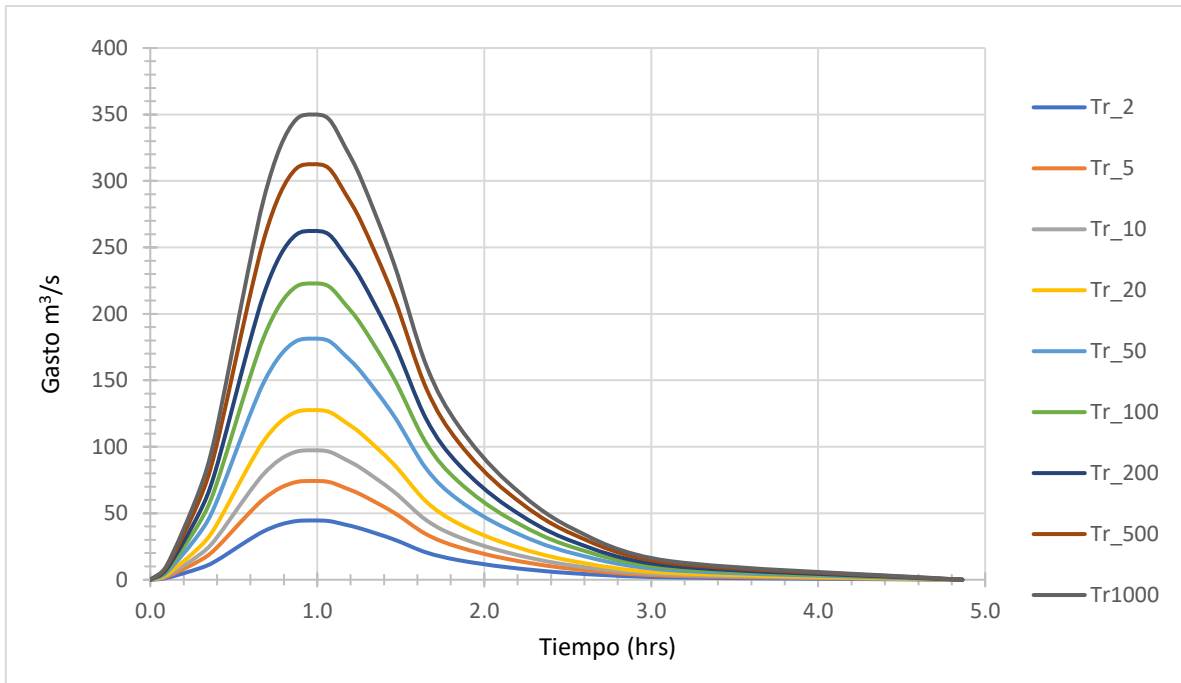


Figura 2-22 Hidrograma para la subcuenca Barranca El Molino.

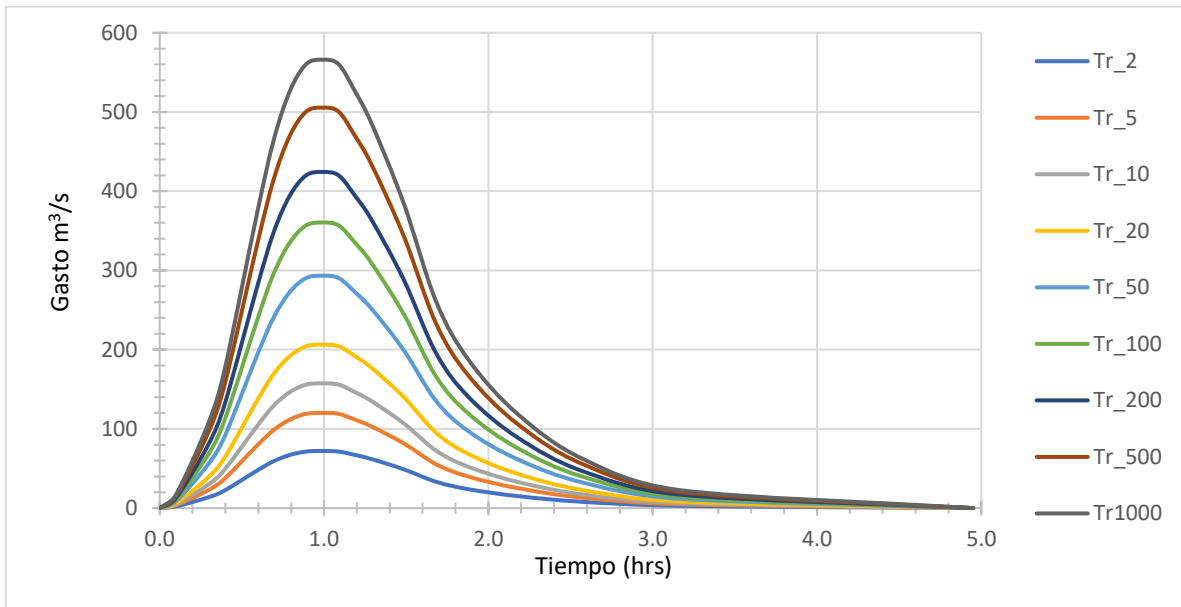


Figura 2-23 Hidrograma para la subcuenca Barranca Seca.

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

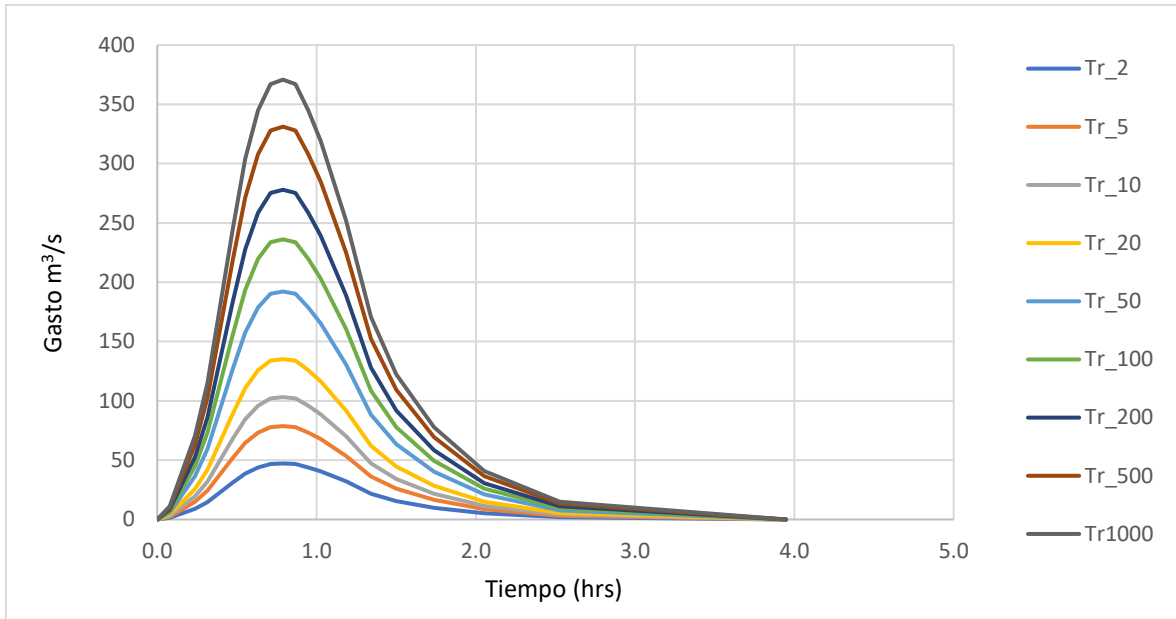


Figura 2-24 Hidrograma para la subcuenca Barranca Cutio.

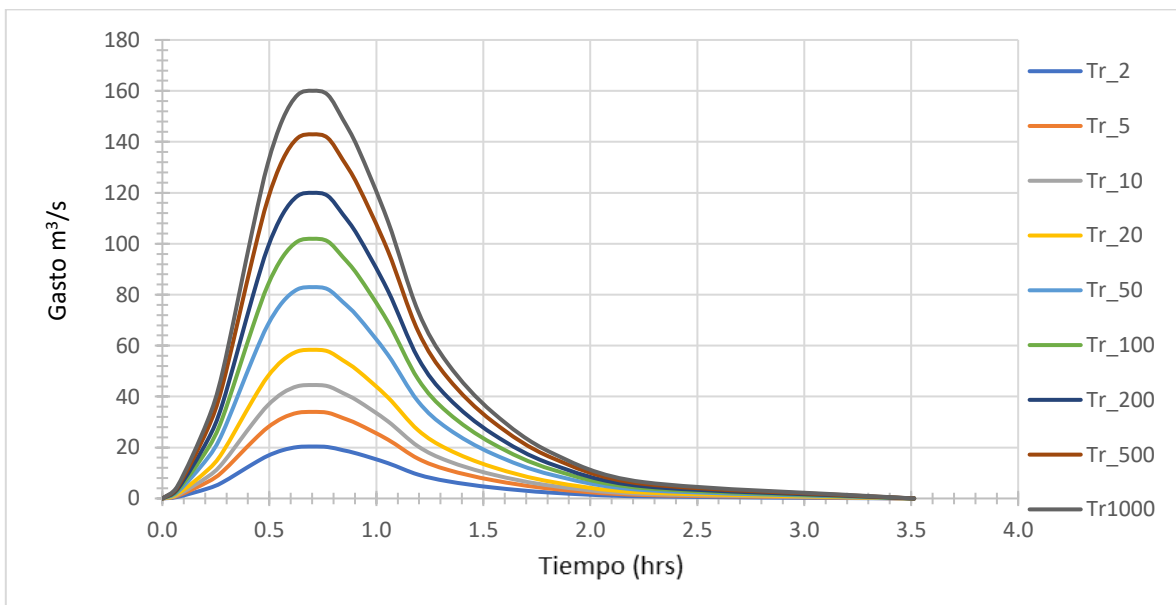


Figura 2-25 Hidrograma para la subcuenca Río Cutio.

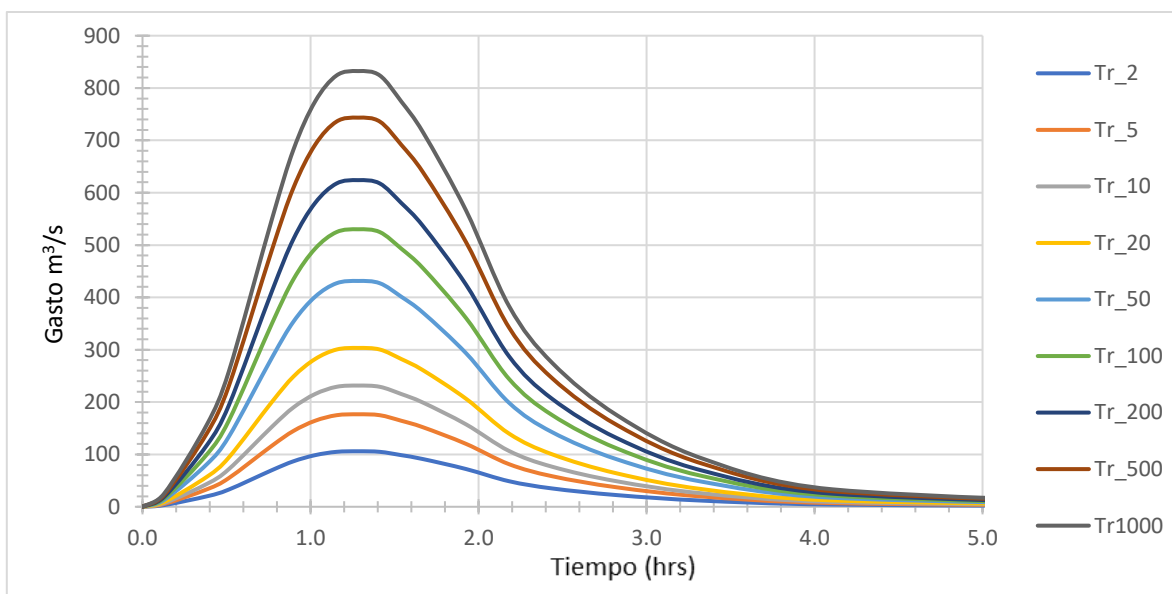


Figura 2-26 Hidrograma para la subcuenca Barranca Chondo.

Tabla 2-5 Características fisiográficas de las subcuencas

ID	Área	Hp	Vol.	Smc	NC	Tc	L	VT	Media QMI
	Km <sup>2</sup>	mm	Millones m <sup>3</sup>	grados	adim	h	km	m/s	m <sup>3</sup> /s
B. El Molino	8.23	69	0.5601	7.29	71	0.2145	8.730	11.30	70.8058
B. Seca	18.87	70	1.3212	11.92	72	0.234	12.30	14.61	113.0540
R. Cutio	7.25	69	0.5008	11.62	74	0.1365	6.766	13.77	74.3225
B. Cutio	1.36	72	0.0983	5.12	78	0.117	2.42	5.75	30.5074
B. Chondo	44.29	72	3.1892	19.46	82	0.3705	19.45	14.58	166.7325
Peribán	80.00	71	5.6806	15.486	77	0.3705	19.59	14.69	231.7706

Fuente: elaboración propia

### 3 Mapa de peligro

Los mapas de peligro son herramientas que representan la distribución espacial de fenómenos naturales o antropogénicos, basados en una probabilidad de excedencia en determinado tiempo (periodo de retorno). Estas representaciones abstractas de la realidad muestran la intensidad de algún de tipo de fenómeno perturbador, a través de una clasificación asociada a una escala de colores que representa el nivel de peligro al que un sistema puede estar expuesto (CENAPRED, 2006).

#### 3.1 Procesamiento del Modelo digital de Elevaciones

Generalmente, para estudios de este corte, se recomienda utilizar modelos digitales de elevación generados por datos LIDAR (Light Detection and Ranging), gracias a su alta resolución espacial que permite una visualización más detallada de las condiciones de la superficie, que en ocasiones éstos pueden contar con información de infraestructuras hidráulicas como son: alcantarillas, puentes, diques, entre otros. Debido a la ausencia de este producto, no se incluyó en el modelo hidráulico información de este tipo.

El modelo hidráulico para la zona de Peribán de Ramos fue elaborado sobre la base del MDE del capítulo 2, particularmente el archivo ráster que contiene la corrección de sumideros (*Fill Sinks*).

#### 3.2 Modelación Hidráulica

Para la modelación matemática del proceso lluvia-escurrimiento de la cuenca Peribán de Ramos se utilizó el modelo matemático de flujo bidimensional para la simulación de flujos en ríos del software IBER, mediante el módulo hidrodinámico e hidrológico, el cual resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad bidimensionales, mejor conocidas como ecuaciones de Saint Venant 2D. Dichas ecuaciones asumen la hipótesis de distribución de presión hidrostática y distribución uniforme de velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios y zonas costeras (CONAGUA, 2014).



El MDE se discretizó en una malla no estructurada de cálculo en la que se anidan tres tamaños de elementos a lo largo de la cuenca; la primera de 15x15 m (figura 3-1), para la zona urbana; una segunda de 60x60 m en la periferia de la ciudad (figura 3-2).; y la tercera con una malla de 90x90 m para el resto de la cuenca (figura 3-3).

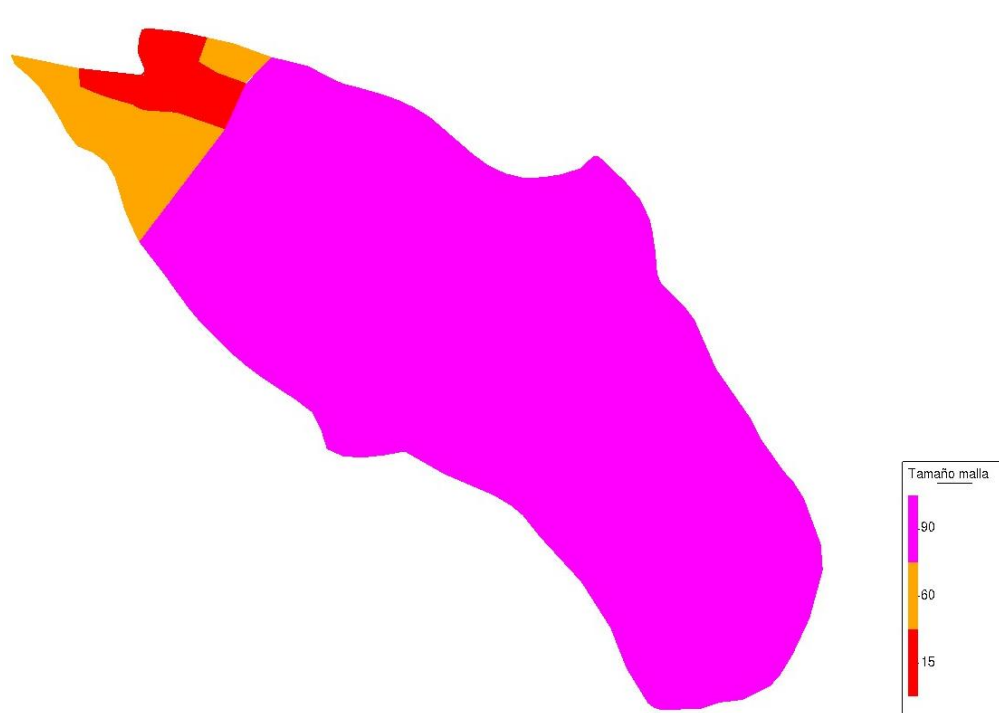


Figura 3-1 Tamaños de la celda para la cuenca Peribán de Ramos

Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

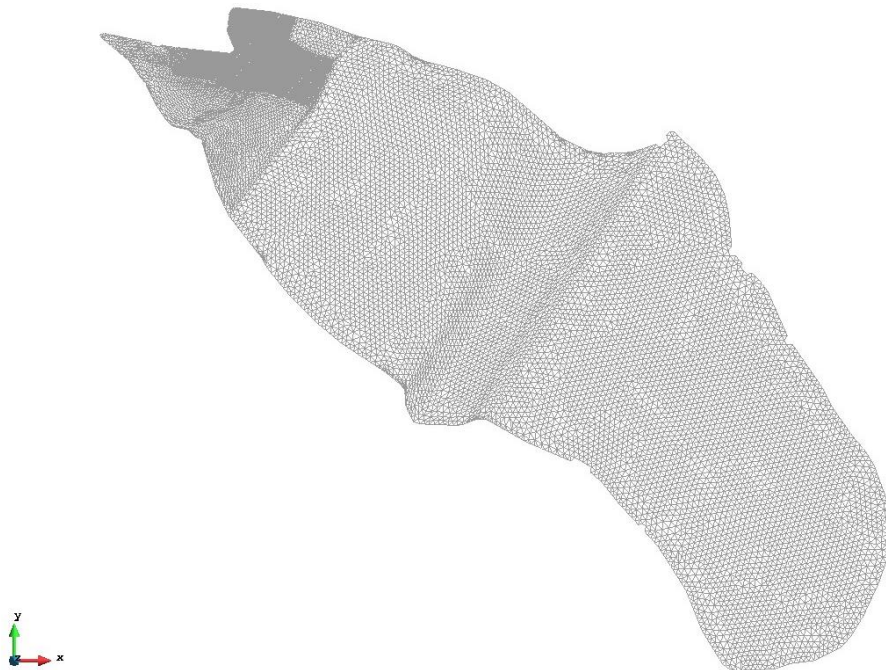


Figura 3-2 Malla triangular para la cuenca Peribán de Ramos

Los datos del problema para la simulación lluvia-escorrentamiento son representados en la tabla siguiente.

Tabla 3-1 Datos de entrada para el tránsito hidráulico

<b>Datos</b>	
Tiempo máximo de simulación	18,000 segundos
Intervalo de resultados	600 segundos
Esquema numérico	Primer orden
Número de Courant-Friedrichs-Lewy	0.45
Límite Seco-Mojado	0.01 m
Método de Secado	Hidrológico

Fuente: elaboración propia

El coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) se emplea en la zona de modelación para estimar la resistencia al flujo que se simula dentro del área urbana. Se asignó un uso de suelo, a partir de los valores sugeridos en (Chow 2000), junto a los valores definidos por defecto en el programa IBER. Se utilizaron tres coeficientes ( $n$ ) según

las zonas de la cuenca, en la parte alta de la misma se usó 0.18 que corresponde a vegetación densa, en la parte media 0.08 para vegetación dispersa y en la zona urbana el coeficiente para infraestructura de 0.002.

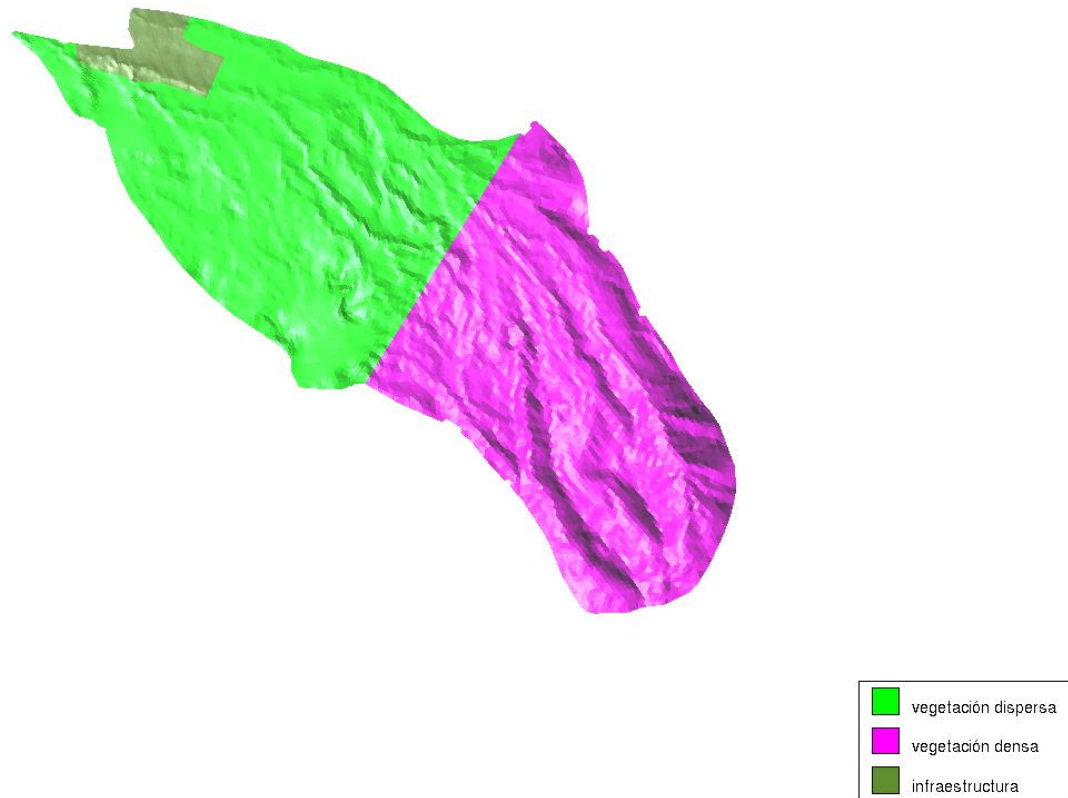


Figura 3-3 Clasificación de los coeficientes (n) para la cuenca Peribán de Ramos.

Resultado de las simulaciones numéricas se obtuvieron los archivos en formato ráster para generar los mapas de profundidades máximas (figura 3-4), mapas de velocidades máximas (figura 3-5), así como la extensión de la inundación en la zona urbana, cada uno para diferentes periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años. Ver anexos

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

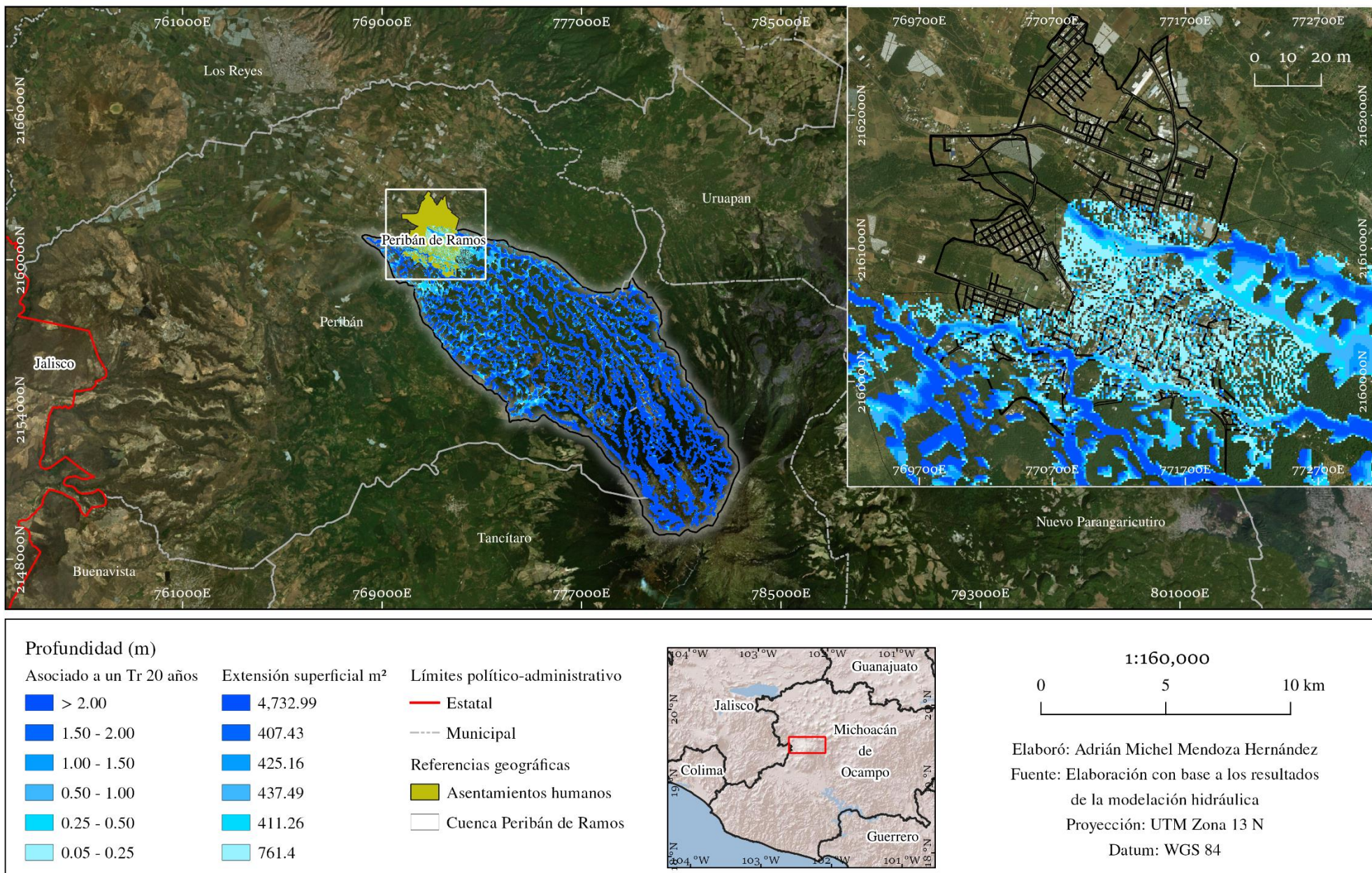


Figura 3-4 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 20 años

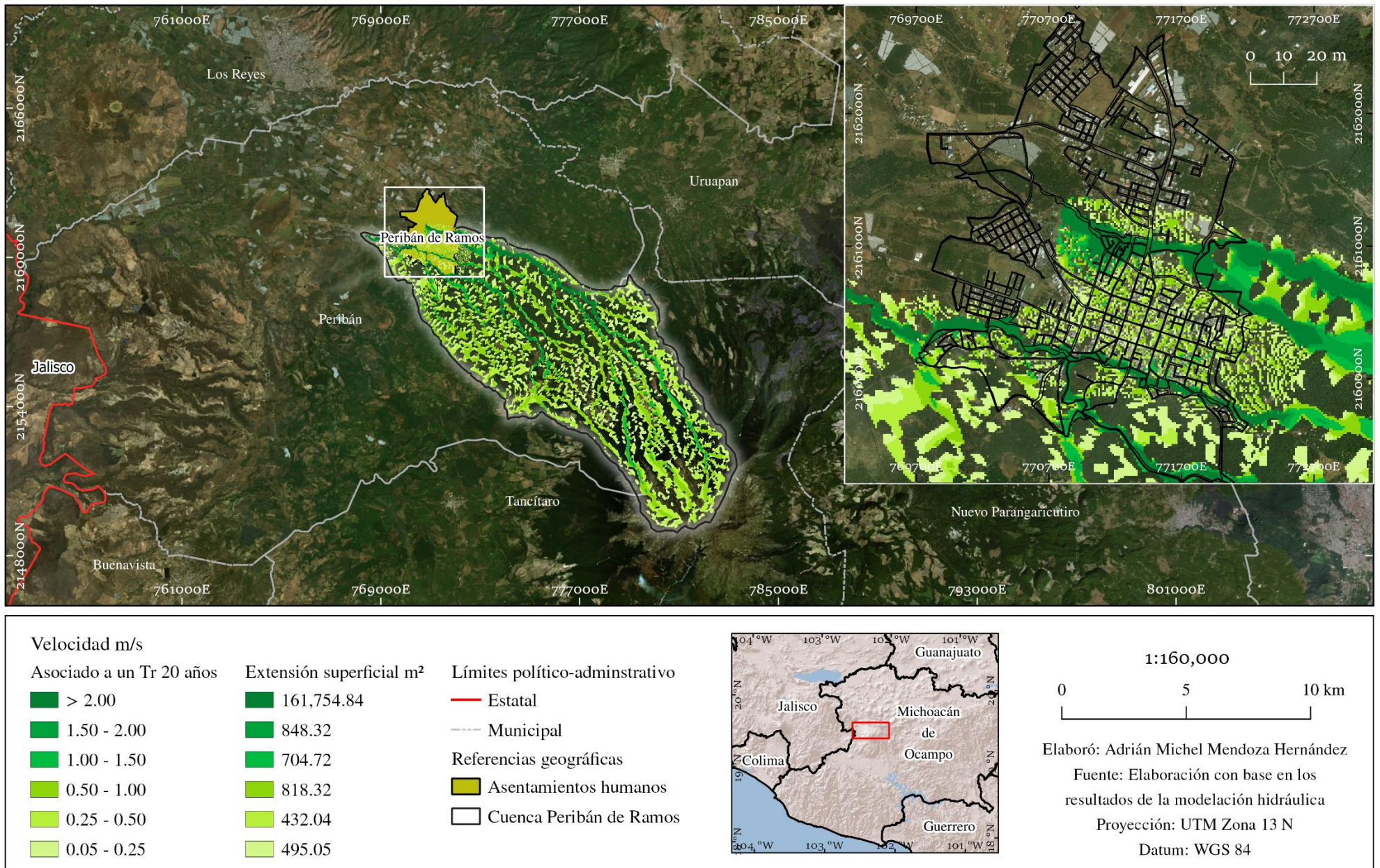


Figura 3-5 Velocidades máximas asociadas a un Tr = 20 años

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

### 3.3 Obtención del mapa de peligro

Definir el nivel de peligro requiere de dos componentes clave, la velocidad del flujo y la profundidad (tirante) alcanzada por la inundación; para ello, se parte del diagrama de resistencia al vuelco, mejor conocido como diagrama de Dorrigo (figura 3-6). Este diagrama representa en el eje de las ordenadas la velocidad del flujo ( $v$ ), mientras que en el eje de las abscisas se encuentra la profundidad del agua ( $y$ ), dividido en cinco clases, en función de los efectos que puedan presentarse ante la combinación ( $v,y$ ).

De acuerdo con el criterio establecido por el gobierno de Nueva Gales del Sur, (Australia) el cual fue aplicado en la ciudad de Dorrigo, la determinación del peligro está en función de la velocidad y la profundidad que el agua puede alcanzar. Dicho criterio establece tres rangos de peligro en función de las dos variables. En el nivel alto se especifica que existe dificultad para cruzar las calles con seguridad, la evacuación por vehículos resultaría difícil, además de la existencia de un potencial daño estructural a las edificaciones; la zona de transición depende de las condiciones de cada lugar y en el nivel bajo se establece que, en caso necesario, los vehículos pueden evacuar personas y las personas tendrían inconvenientes para cruzar las calles de manera segura (NSW 2005).

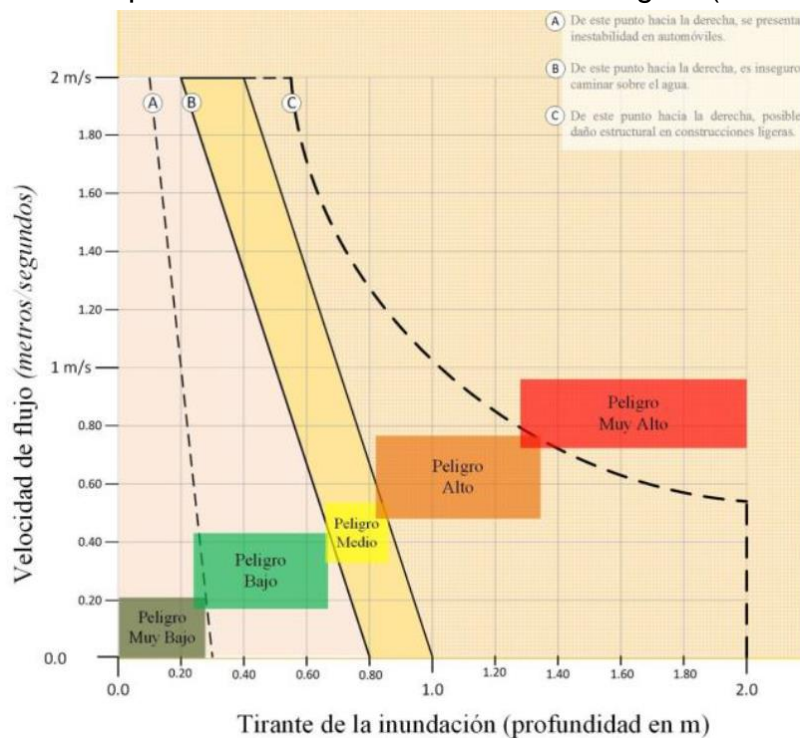


Figura 3-6 Diagrama Dórrigo modificado por SEDATU (Flood hazard ~ velocity and depth. Bellingen Shire Council. Dorrigo Flood Study)

La elaboración de un mapa de peligro por inundación requiere los resultados de un modelo bidimensional (profundidad y velocidades calculadas en cada celda de la zona modelada). Estas variables se almacenan en archivos ráster (matrices de valores de velocidad por un lado y matrices de valores de tirantes por el otro), que se conforman a partir de la extracción del valor máximo de ambas variables en cada celda y para cada tiempo de cálculo de la modelación. El mapa resulta de identificar la pareja de valores (y,v) para cada elemento de la matriz y verificar en qué zona del Diagrama de Dorrigo se ubica, procediendo a clasificar cada elemento.

De acuerdo con las bases para la estandarización en la elaboración de *Atlas de riesgos y catálogo de datos geográficos para representar el riesgo* de la SEDATU (2014). El análisis de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos, se simboliza en cinco rangos cualitativos, la representación de cada intensidad estará en función al código internacional de tráfico vehicular: rojo, amarillo y verde (añadiéndose el naranja entre el rojo y el amarillo; y el verde claro entre el amarillo y el verde (figura 3-7)



Figura 3-7 Escala cromática a emplearse en la representación de amenaza, peligro, vulnerabilidad y riesgo. Fuente: SEDATU, 2014

La figura 3-8 muestra el mapa de peligro por inundación para un  $T_r = 20$  años. En los Anexos A, B y C se muestran mapas de profundidades, velocidades, y de peligro para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, respectivamente.

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

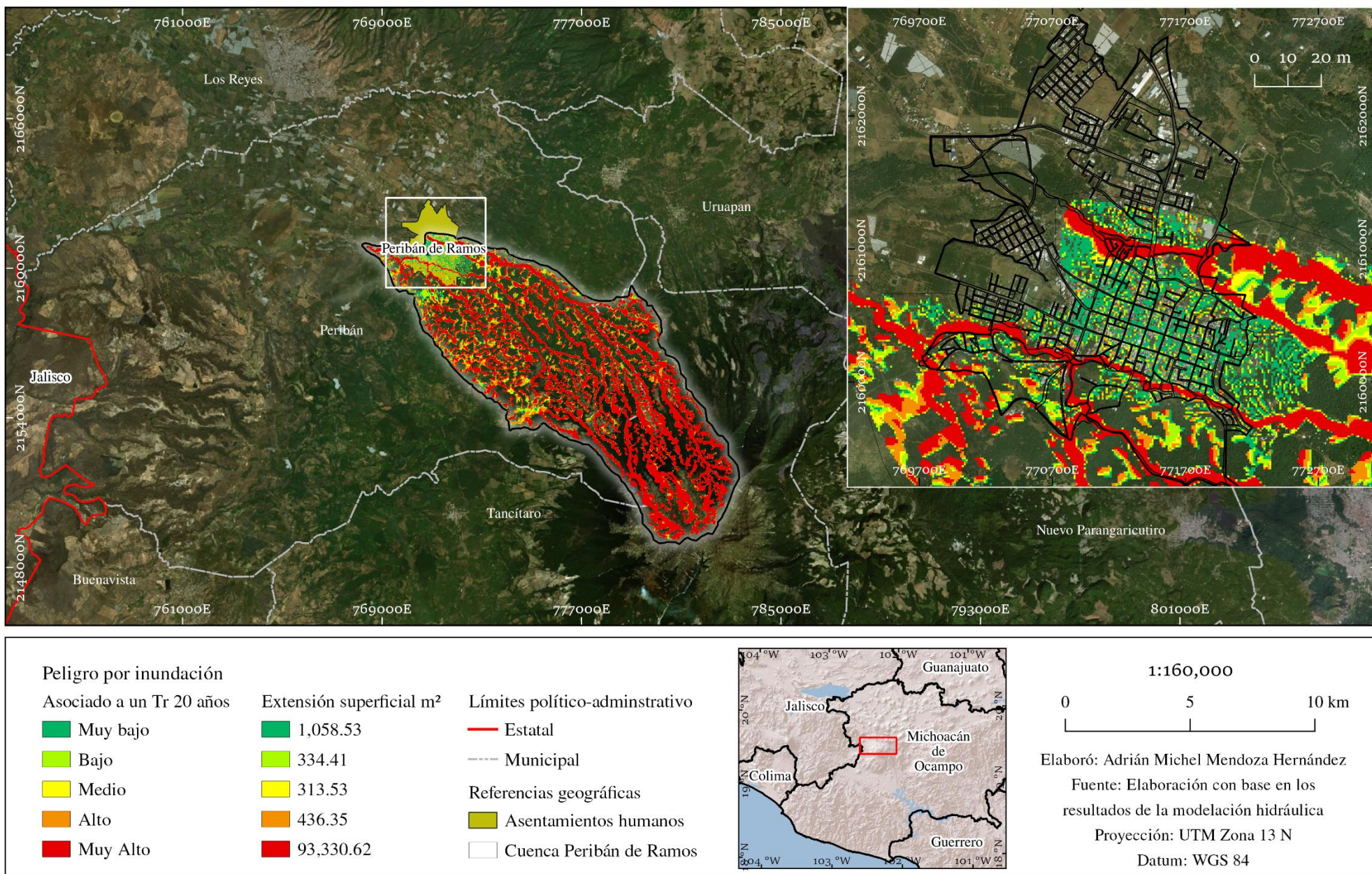


Figura 3-8 Peligro por inundación asociado a un Tr=20 años



## 4 Resultados y discusión

Los resultados de la modelación numérica son presentados en mapas de peligrosidad y mapas de exposición, tipologías que son mencionadas en Ribera (2004). Los primeros, mostrados en el capítulo anterior, describen condiciones que lo pueden convertir en más o menos dañino, es decir, se muestran las profundidades y velocidades que el agua puede alcanzar; los segundos determinan la localización de los elementos expuestos en un periodo determinado.

### 4.1 Zonas afectadas

Se generó un polígono (figura 4.1) para representar las áreas inundadas, arrojadas por la modelación numérica, la delimitación de este polígono está hecha con base en los límites de las Áreas Geoestadísticas Básicas urbanas (AGEBS) de la ciudad de Peribán de Ramos y al mapa de peligro.

Con respecto al evento de inundación del pasado 23 de septiembre de 2018, de acuerdo con la CONAGUA, las velocidades que los escurrimientos alcanzaron fueron de siete metros por segundo, capaces de arrastrar árboles y vehículos. Por otra parte, los resultados de las modelaciones numéricas muestran que, para un periodo de retorno de 20 años, las velocidades que se alcanzan superan los siete metros por segundos, así que dicho evento está asociado a un  $Tr=20$  años.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

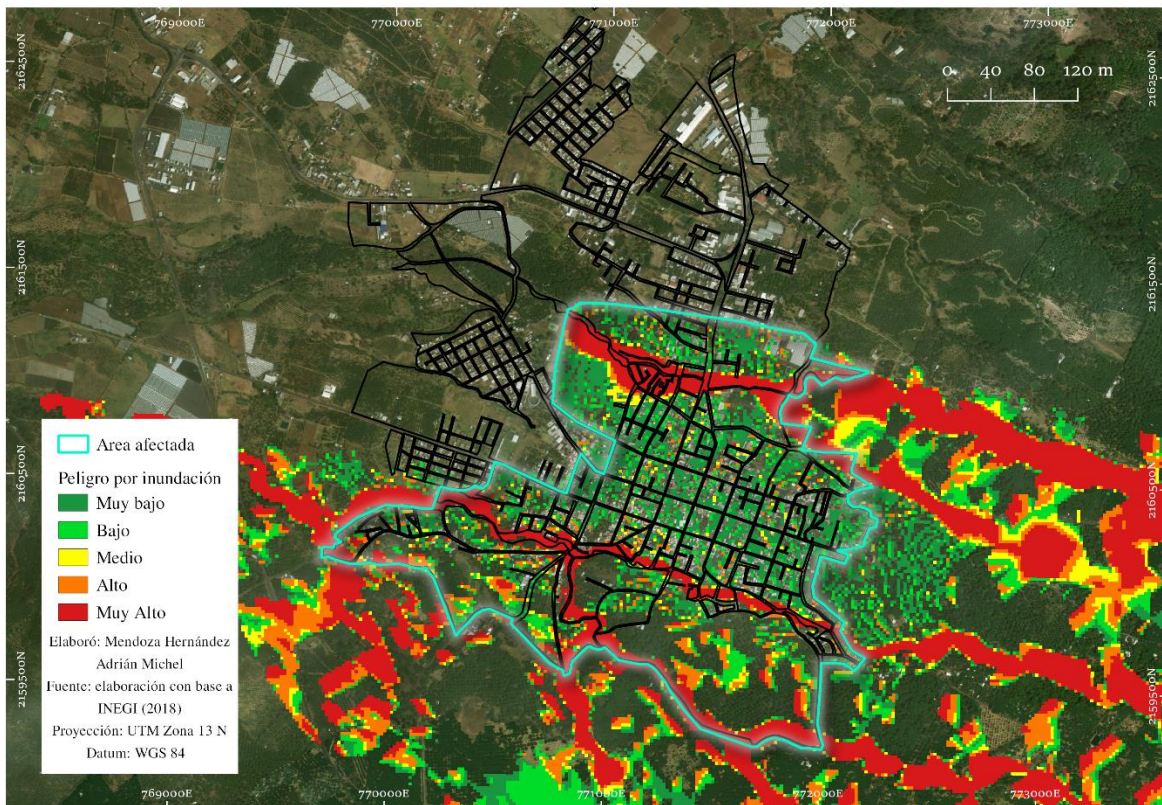


Figura 4-1 Áreas afectadas. Fuente: elaboración propia

### 4.2 Sistema expuesto con Atlas Nacional de Riesgos.

Una forma de análisis del sistema expuesto se realizó con el sistema de información geográfica mediante la plataforma digital: Atlas Nacional de Riesgos (ANR), elaborado por el CENAPRED, disponible en la dirección <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>. El sistema expuesto se discretiza en: población y vivienda, escuelas, unidades médicas, colonias bancos, hoteles, gasolineras, supermercados, aeropuertos, presas, unidades de producción pecuaria y lenguas indígenas.

El ANR se trata de un sistema integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables. Con las herramientas que posee dicho portal, ofrece la posibilidad de simular escenarios de riesgos, y estimación del sistema expuesto ante un fenómeno perturbador, para la oportuna toma de decisiones en las medidas de prevención, mitigación y una gestión

adecuada. Además, contiene mapas históricos de eventos de desastre, mapas a nivel estatal y municipal de los índices de peligros para diferentes fenómenos, así como también el monitoreo de fenómenos en tiempo real entre otros. La información referente a mapas de peligros está en función por los distintos fenómenos que se desglosan en la Ley General de Protección Civil (LGPC), tales como: geológicos hidrometeorológicos, químico-tecnológicos, sanitario-ecológico, socio-organizativo y astronómicos

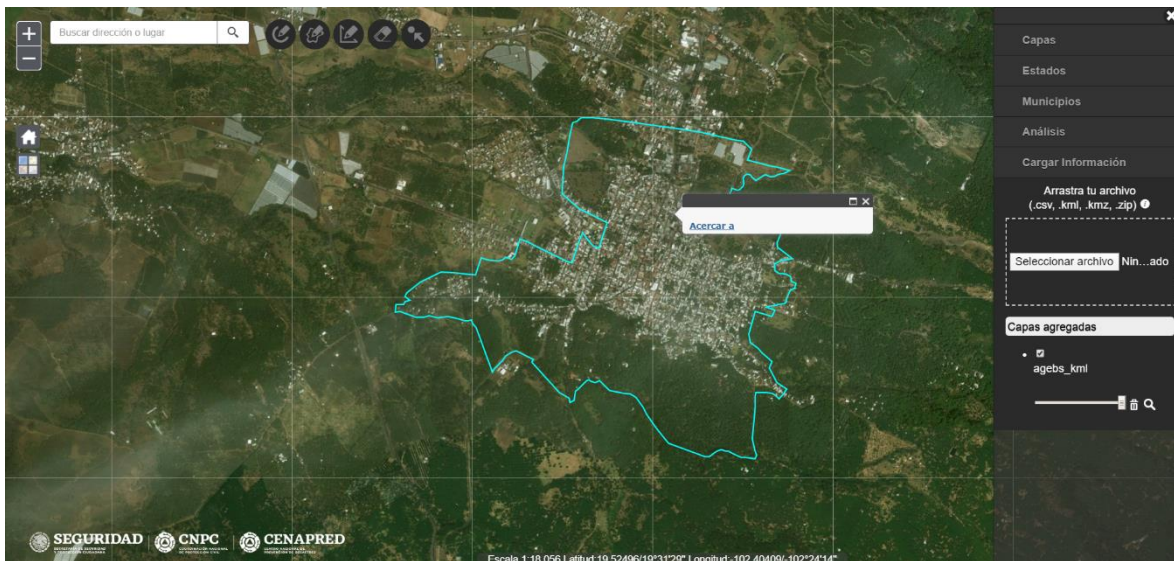


Figura 4-2 Visualización del portal Atlas Nacional de Riesgos y el polígono que contiene el área inundada para la zona urbana de Peribán de Ramos. Fuente: ANR, 2019

La Información arrojada por el ANR señala que el sistema expuesto para la ciudad de Peribán de Ramos, que está dentro del polígono de inundación, se encuentra en la categoría de peligro entre muy bajo a bajo, debido a que el tirante contiene niveles demasiado pequeños que no representan daños. Tampoco se decidió utilizar los datos de viviendas, ya que éstos se encuentran a nivel de AGEB y no representan la información adecuada del número de viviendas expuestas, para esto último se utilizó el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) del INEGI que contiene los datos de viviendas a nivel de manzanas para 2010 en su versión de 2013, que es la más reciente.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Por otra parte, las colonias que presentan potencial daño con respecto al mapa de peligro por inundación son: Centro, El Calvario, Girasol, El Molino, El Pedregal, La Loma, La Loma II, Los Frenos, sin nombre, Los Pinos y Tirinditas.

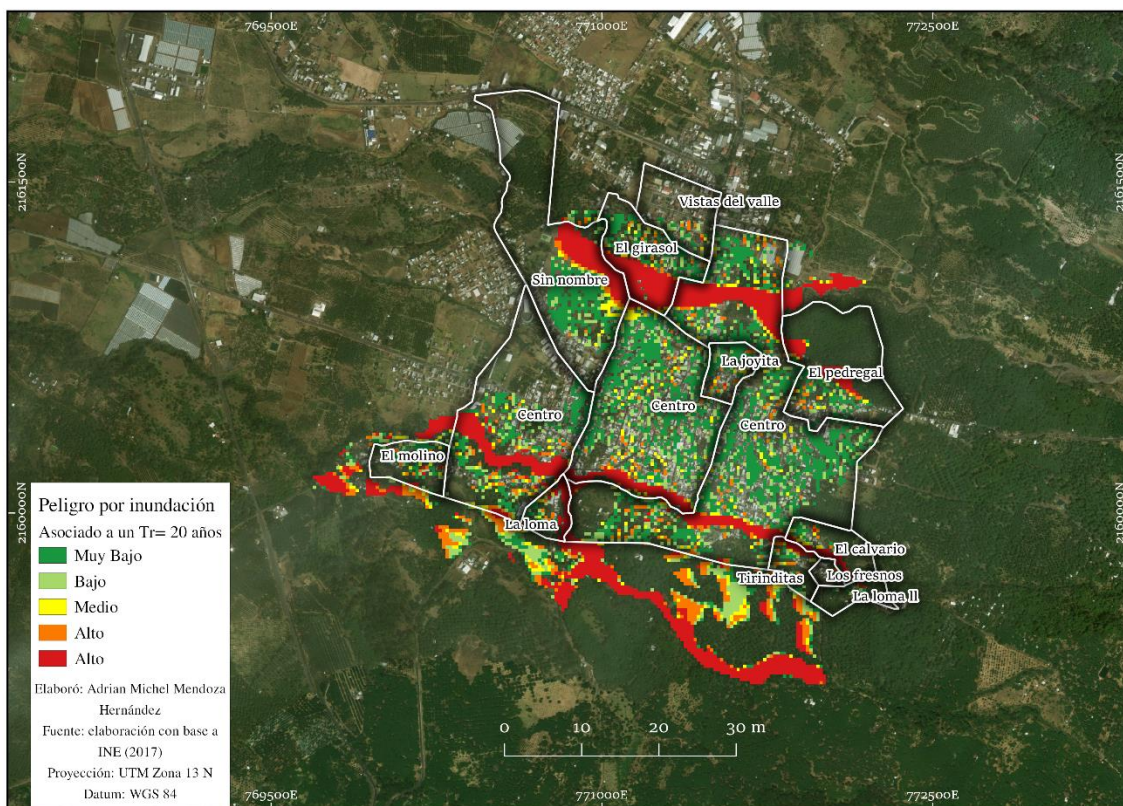


Figura 4-3 Colonias expuestas de la ciudad Peribán de Ramos ante un  $T_r=20$  años Fuente: elaboración propia

La figura 4.3 muestra las colonias que resultan con afectaciones ante un evento de inundación asociado a un periodo de retorno para 20 años, se observa que las colonias que presentan los niveles más bajos son: las colonias Centro, El Molino, La Joyita y Vistas Valle; a su vez cuentan con algunas zonas puntuales de categorías que van desde el nivel medio a alto, pero que realmente no representan daños destacables. Mientras que las colonias Centro, El Girasol, El Pedregal, Sin Nombre y Tirinditas son las que presentan mayor peligro al ubicarse dentro del nivel muy alto, debido a la invasión de la zona federal, además de que existen obstrucciones de los cauces del río Cutio y del arroyo Chondo.

### 4.3 Sistema expuesto con el DENUE

Debido a lo anterior, se optó por incluir al análisis de sistema expuestos el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), disponible en la dirección <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/> que ofrece información de los negocios activos del país, de acuerdo con las unidades económicas por el nombre comercial, el tipo de organización jurídica (personas físicas o morales), por su actividad económica y por su tamaño (con base en el estrato de personal ocupado); así como, ubicarlas en el territorio mexicano por regiones, localidades, manzanas y calles.

La tabla siguiente muestra los establecimientos económicos que se encuentran dentro del polígono de inundación.

Tabla 4-1 Unidades expuestas que se encuentran dentro del polígono de inundación.

<b>Clasificación</b>	<b>Actividad económica</b>
Actividades legislativas gubernamentales y de impartición de justicia	Administración pública
Comercio al por mayor de	Frutas y verduras, medicamentos veterinarios y alimento para animales
Comercio al por menor de	Bebidas no alcohólicas y hielo, frutas y verduras, ropa excepto de bebe y lencería, ferreterías y tlapalerías tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas, farmacias
Elaboración de productos de panadería y tortillas	Elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal, panificación tradicional
Elaboración de productos lácteos	Elaboración de derivados y fermentos lácteos
Industrias manufactureras	Fabricación de maquinaria y equipo agrícola, fabricación de productos de herrería

Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

<b>Clasificación</b>	<b>Actividad económica</b>
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	Restaurantes con servicio de preparación de pizzas, hamburguesas, <i>hot dogs</i> y pollos rostizados para llevar, tacos y tortas
Servicios de orientación y trabajo social	Agrupaciones de autoayuda para alcohólicos y personas con otras adicciones
Servicios de reparación y mantenimiento	Reparación mecánica en general de automóviles y camiones, reparación menor en llantas, reparación de maquinaria y equipo agropecuario y forestal
Servicios de salud y asistencia social	Consultorios de medicina general del sector privado y consultorios dentales del sector privado
Servicios educativos	Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación
Servicios personales	Salones y clínicas de belleza y peluquerías
Servicios profesionales, científicos y técnicos	Servicios de contaduría y auditoría, servicios de empaclado y etiquetado
Telecomunicaciones	Operadores de servicios de telecomunicaciones alámbricas

Fuente: elaboración con base a los datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI,2020)

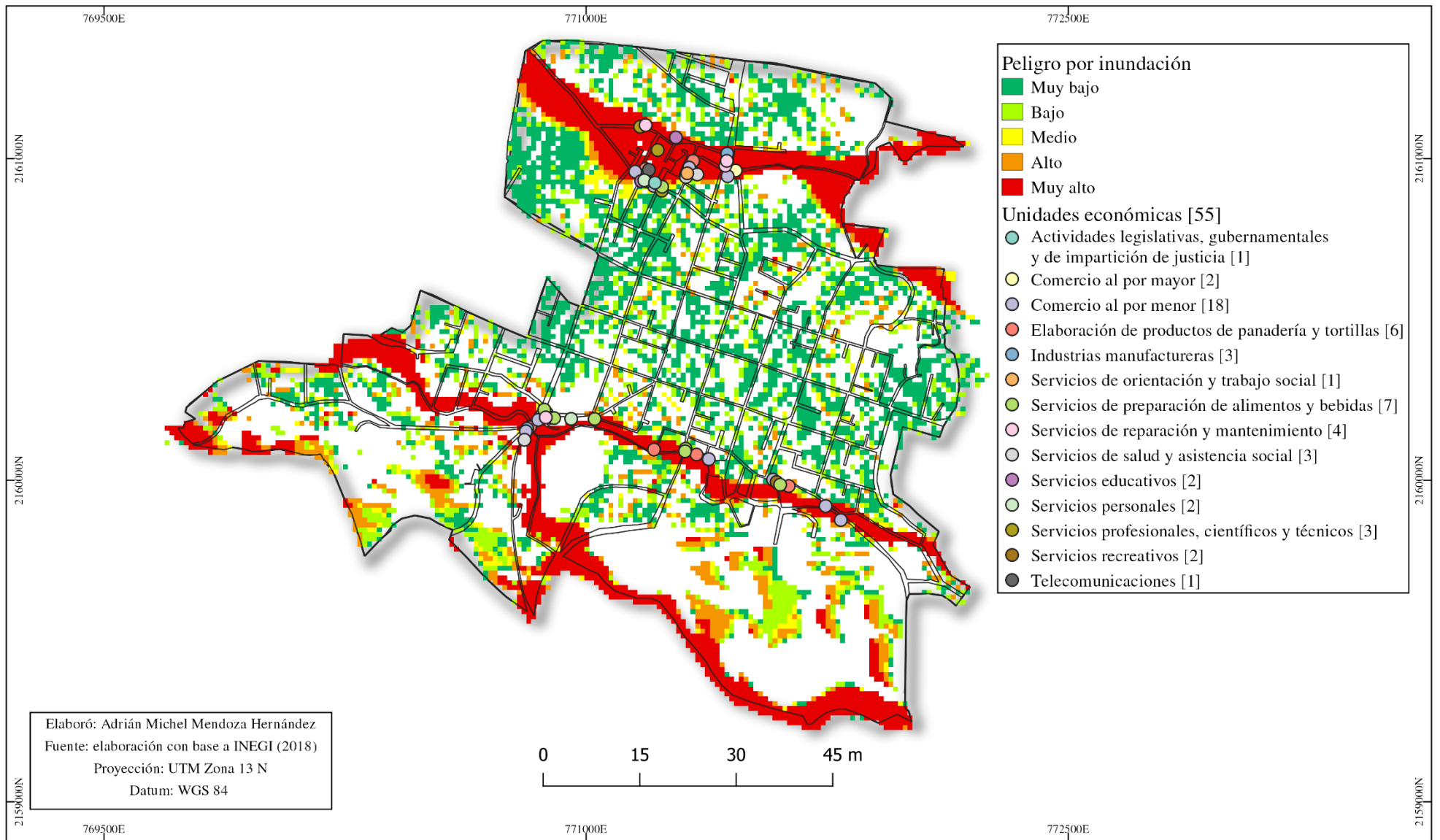


Figura 4-4 Mapa de exposición para un  $Tr=20$  años

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Por otra parte, se decidió representar los comercios de Peribán de Ramos de las colonias que se encuentren en el nivel de alto a muy alto, debido a que éstos son los que mayores daños tendrán con respecto a un evento de inundación. Así pues, 55 unidades económicas son las que posiblemente podrían ser afectadas de manera grave, destacando comercios al por menor, principalmente de bebidas no alcohólicas y hielo, frutas y verduras, ropa, ferreterías y tlapalerías tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas, farmacias. Éstos juegan un papel clave porque son los establecimientos en lo que las personas compran los insumos correspondientes a la canasta básica, lo que se traduce en pérdidas de productos, así como también dificultades para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes de esas colonias.

En tanto que, los servicios de salud y educativos sólo ven afectados sus consultorios de medicina general, consultorios dentales y una escuela primaria.

### 4.4 Viviendas expuestas

De acuerdo con el SCINCE (Sistema para la consulta de información censal), las viviendas que se encuentran expuestas dentro de polígono de inundación dan un total de 2,698 casas habitadas, sin embargo, esto no significa que todas se encuentren realmente en peligro, para ello se seleccionaron las manzanas que se encuentran en las colonias con nivel alto y muy alto, particularmente se incluyeron a las que se encuentren cerca de los cauces naturales.

La figura 4.5 muestra el número total de viviendas habitadas que representa un potencial peligro de inundación; con respecto al mapa de peligro, la gran mayoría de las viviendas con un total de 1,897, se encuentran en los niveles de peligro más bajos, que al igual que la gran mayoría de los comercios no representan daños que sean representativos. Mientras que la figura 4.6 muestra las viviendas que se localizan en los niveles más altos de peligro por inundación, destacan un total de 801 casas.



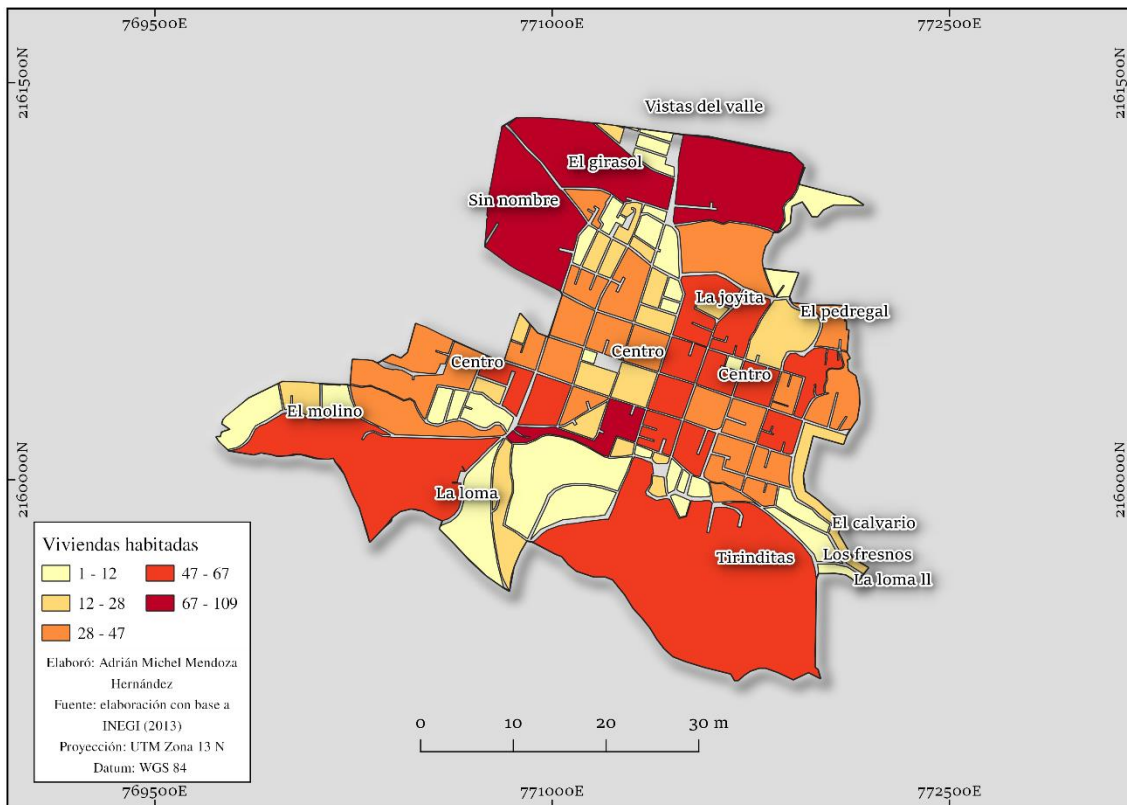


Figura 4-6 Total de viviendas expuestas ante un evento de inundación asociado a un  $Tr= 20$  años

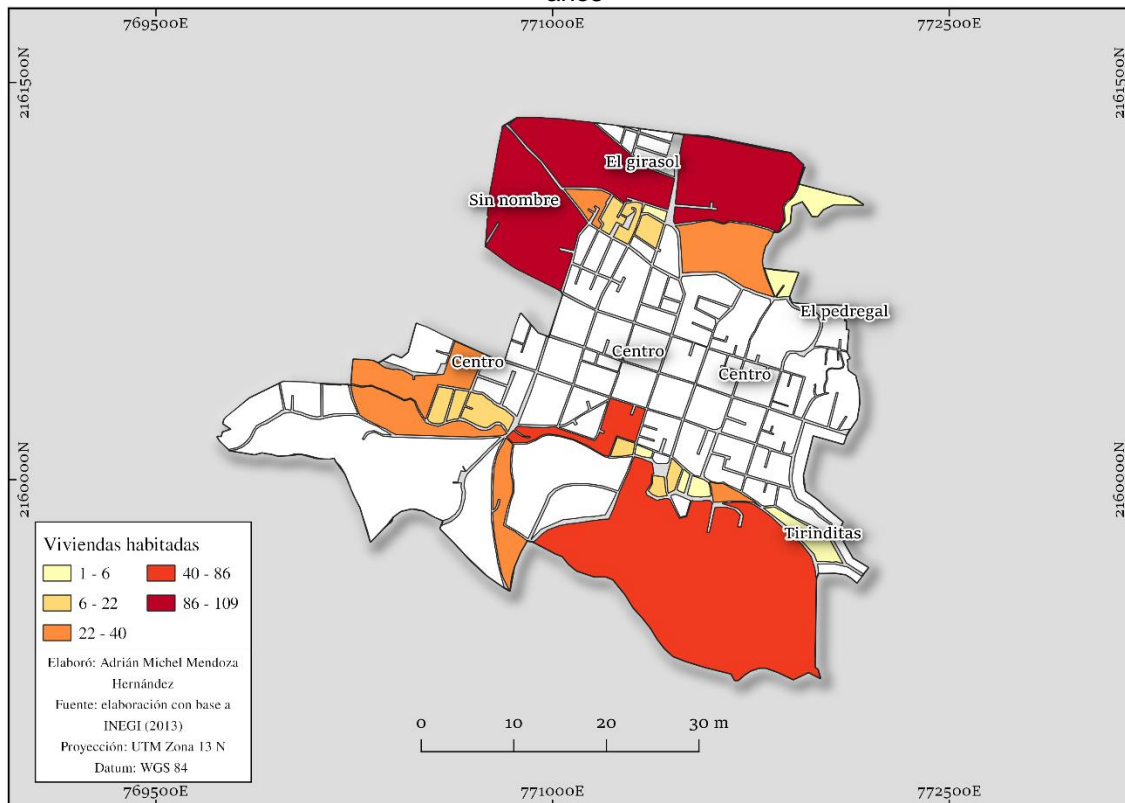


Figura 4-5 Viviendas mayormente expuestas ante un evento de inundación asociado a un  $Tr= 20$  años

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

### 4.5 Vulnerabilidad

Para conocer con mayor precisión los daños que puede sufrir una vivienda, es necesario contar con la información de la susceptibilidad de un bien expuesto ante un evento de inundación. Para ello, el CENAPRED cuenta con una metodología para identificar y cuantificar la vulnerabilidad en poblaciones urbanas, basado en inspecciones físicas de las viviendas, en función de la combinación de materiales entre techos y muros ante eventos de inundación. Dicha metodología es realizada en campo, revisando casa por casa, o en su defecto, a través de la herramienta Street View desarrollada por Google (CENAPRED, 2017). Dicha herramienta ofrece la posibilidad de realizar un recorrido virtual de las calles, que permite identificar los niveles y el tipo de material con el que están construidas las viviendas.

Sin embargo, esto no fue posible de realizar para este estudio, ya que no se cuenta con información de los materiales de las viviendas a nivel manzana, de igual manera la herramienta Street View no posee cobertura para realizar el recorrido de calles en la ciudad de Peribán de Ramos. Es por ello que los resultados se traducen en mapas de exposición y no en mapas de costo por daños.

### 4.6 Resultados con respecto al evento de inundación

Como se ha mencionado anteriormente, el evento de inundación de Peribán de Ramos fue el primero en su tipo, las afectaciones en mayor medida fueron provocadas por el desbordamiento del río Cutio, sin embargo, en el mapa de peligro del capítulo 3, se observa la presencia de dos corrientes que fluyen sobre la ciudad de Peribán de Ramos, al norte el arroyo Chondo y al sur el río Cutio. Ambas corrientes representan un potencial peligro para los habitantes, debido a que existen sitios donde las viviendas invaden los cauces y la zona federal, las figuras 4-7 y 4-8 muestran algunas de dichas obstrucciones respectivamente.

Como se pueden observar en los mapas de exposición, la subcuenca arroyo Chondo con una longitud de 19.45 Km y extensión de 44.29 Km<sup>2</sup> ante un evento de inundación es la corriente que puede generar una mayor cantidad de afectaciones para la población; no obstante, con las condiciones topográficas en las que se encuentra Peribán de Ramos y

las intensidades de precipitación elevadas, es posible que dichos escenarios de inundaciones puedan darse, es por ello que las autoridades tanto el gobierno municipal y como del estatal de Michoacán de Ocampo deben estar preparados para atender ese tipo de emergencias.



Figura 4-7 Obstrucciones existentes sobre el arroyo Chondo.



Figura 4-8 Obstrucciones existentes sobre el río Cutio.

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

Para el caso de México no existe una clasificación única en la que se puedan agrupar las cuencas o sitios que sean proclives ante inundaciones súbitas, algunos autores mantienen como parámetro de identificación el tiempo de concentración (el lapso que inicia desde que precipita una gota de lluvia hasta su salida en la cuenca) en un valor no mayor a cuatro horas. De acuerdo con lo anterior y con base en los resultados de los análisis hidrológicos e hidráulicos, se refuta la hipótesis planteada de este proyecto.

La evidencia muestra que los gastos calculados, así como los parámetros fisiográficos de la cuenca de Peribán de Ramos y sus subcuencas de aportación, pertenecen a la clasificación de inundaciones súbitas, puesto que el tiempo de concentración tienen duraciones de minutos y pocas horas. Como consecuencia, se afirma la hipótesis alterna, estableciendo que, la respuesta hidrológica de la cuenca a la que pertenece la ciudad de Peribán de Ramos es dependiente de sus características fisiográficas y sí determina el tipo de inundación.

## 5 Conclusiones y recomendaciones

El estudio sobre avenidas máximas ya mencionado en el capítulo dos, simplifica notablemente el procesamiento de las bases de datos hidrométricas y climatológicas, que, como resultado de esto, ofrece metodologías de fácil utilización, con métodos robustos y confiables, que reducen tiempos en los análisis hidrológicos, dicha metodología permite generar los insumos necesarios para el análisis fluvial, hidráulico e hidrológico. Las funciones regionales de gastos medios proporcionan los caudales asociados a diversos periodos de retorno y en combinación con las isoyetas, los modelos lluvia-escorrimento, permitiendo realizar estudios de peligro por inundación.

El uso de sistemas de información como Arcgis, Qgis, entre otros, permiten, mediante abstracciones de la realidad de atributos espaciales y temporales, análisis de evaluaciones y planificaciones del territorio mediante información georreferenciada; poseen un papel clave en la elaboración de estudios hidrológicos, ofreciendo ahorro de tiempos en cálculos y procesos manuales, manejo de grandes cantidades de datos de información espacial etc.; de igual manera, el software para estudios hidráulicos, como lo es IBER, ofrece gran cantidad de modelos con aplicación a la hidráulica y morfología fluvial para el cálculo de flujo en ríos y definición de zonas inundables en otros. En combinación, son herramientas viables que permiten la realización de trabajos confiables, robustos y funcionales para estudios relacionados con inundaciones.

Los resultados del análisis hidrológico, así como de las simulaciones numéricas para la cuenca a la que pertenece la ciudad de Peribán de Ramos, dieron la pauta para asociar el evento de inundación del pasado 23 septiembre de 2018 a un periodo de retorno de 20 años, sin embargo, esto se trata de una aproximación, ya que, para reproducir un evento con mayor precisión a la realidad, es necesario contar con una calibración del modelo que utilice registros de estaciones hidrométricas. Es por ello que se sugiere contar con más estaciones hidrométricas; no obstante, esto no fue una limitante para concluir este proyecto de tesis.

A pesar de que las inundaciones no son un fenómeno recurrente en la ciudad de Peribán de Ramos, el desafortunado evento de inundación quedará como un antecedente clave

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

en los futuros planes de ordenamiento territorial, así como en la toma de decisiones. Es por ello que, se recomienda a las autoridades de protección civil, así como las correspondientes autoridades de los diferentes niveles de gobierno, consultar los mapas de profundidades, velocidades, peligro para los distintos periodos de retorno y los mapas de exposición para su respectiva consideración. Cabe mencionar que, para las autoridades locales será de gran utilidad la toma de decisiones y priorizar medidas de prevención y mitigación, así como en la elaboración de su plan de contingencias y la actualización de su atlas de riesgo municipal.

Por otra parte, es necesario contar también con estudios entorno a obras de protección contra inundaciones, donde se traten acciones del tipo estructurales, ya sean orientados a la corrección, protección, encauzamientos, etc., y del tipo no estructurales, como acciones dirigidas a la reducción de vulnerabilidad y exposición como; conservación de suelos y reforestación, zonificación y regulación legal de cauces y áreas próximas además de una correcta delimitación de zona federal, así como también incluir una planeación adecuada del crecimiento urbano que no incluya lugares de riesgo como obstrucción de cauces de corrientes efímeras por viviendas. Todo esto ya que se desconoce la existencia de vigilancia hidrológica o de algún protocolo de prevención de inundaciones para el municipio de Peribán.

De igual manera, se espera que este estudio de peligro por inundación funcione como base para futuros proyectos de investigación en los que se pretenda realizar la información de vulnerabilidad física de la vivienda, la cual requiere un levamiento en campo por parte de las autoridades locales, con la finalidad de llegar a un estudio de nivel de riesgo, así como conocer el daño esperado ante otro evento de inundación y contar con los medios adecuados para la prevención en cada zona afectada.

## 6 Referencias.

- Aparicio Mijares, F. J., (2013): Fundamentos de hidrología de superficie, Limusa, México, 303 pp.
- Alcocer Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett Ortiz, V. J., LlagunoGuilberto, O. J.,y Albornoz-Góngora, P. M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 33-55.
- Atlas Nacional de Riesgos (2019). Disponible en <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- Aparicio, F., (1998). Revista Tláloc, Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica. No. 11, Inundaciones: la otra cara de la moneda, enero-abril, año V, pp. 15-20, México.
- Castellanos, F., (2018). Ocho muertos por tromba en Peribán; temen hallar más cadáveres. Recuperado de <https://www.proceso.com.mx/552519/ocho-muertos-por-tromba-en-periban-temen-hallar-mas-cadaveres>
- CENAPRED (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos. México, DF: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Sistema Nacional de Protección Civil
- CENAPRED (2014). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Versión electrónica. Secretaria de Gobernación- Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, 232. pp.
- CENAPRED (2004). Inundaciones. Serie Fascículos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.
- CENAPRED (2017). Mapas de Riesgos por inundación en la zona urbana de Piedras Negras, Coahuila. Secretaria de Gobernación-Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, 107pp.
- CONAGUA (2018). Informa la CONAGUA sobre la situación en Peribán, Michoacán. [Comunicado de Prensa] Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/393293/Comunicado de Prensa a 553-18.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/393293/Comunicado_de_Prensa_553-18.pdf)
- CONAGUA (2008). Inventario Nacional de Obras de Protección contra Inundaciones en Cauces Naturales. México
- CONAGUA (2013). Programa Nacional de Prevención Contra Contingencias Hidráulicas. Región Hidrológico- Administrativa IV Balsas. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-contra-contingencias-hidraulicas-pronacch>

## Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

- CONAGUA (2015). Programa Contra Contingencias Hidráulicas para la zona urbana de los Reyes, Michoacán. región hidrológico administrativa IV balsas. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281331/ZONA\\_URBANA\\_LOS\\_REYES\\_MICH..pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281331/ZONA_URBANA_LOS_REYES_MICH..pdf)
- Chow, V. T. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A., Colombia.
- Domínguez, M., Jiménez E., García J., y Salas S. (1994). Reflexiones sobre las inundaciones en México. Centro Nacional de Prevención y Desastres. Cuadernos de Investigación No.4
- Dirección Estatal de Protección de Civil Michoacán. (2013) Recuperado de [http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/776/1/images/Plan%20Fenomenos%20Hidrometeorologicos%20Michoacan%202013\(1\).pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/776/1/images/Plan%20Fenomenos%20Hidrometeorologicos%20Michoacan%202013(1).pdf)
- Domínguez, M., Carrizosa E., Arganis J., Esquivel G., González C, Martínez C., Hincapié L., y Osyana R., (2017). Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana. Instituto de Ingeniera, UNAM.
- Díaz Carvajal, Ángel., Mercado Fernández, Teobaldis. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí, Córdoba, Colombia mediante teledetección y SIG. 35(2), 452-470. Recuperado el 18 de septiembre de 2019 en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=8525203001>
- Hernández Uribe, R. E., Barrios Piña, H., y Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Peribán, Michoacán de Ocampo. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. México
- INEGI (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM). Recuperado el 27 de agosto de 2019 en <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/index.jsp>
- INEGI (2018). Marco Geoestadístico. Recuperado el 27 de agosto de 2019 en <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- INEGI (2014). Edafología. Recuperado el 27 de agosto de 2019 en <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- INEGI (2017) Uso de Suelo y Vegetación. Serie VI. Recuperado el 27 de agosto de 2019 en <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/default.html#Descargas>



- INEGI (2020) Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Recuperado el 11 de febrero de 2020 en <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Larios Tlali, Hugo, Torres-Benites, Elibeth, Quevedo Nolascol, Abel, Martínez Menes, Mario R., y Salgado-Tránsito, Jorge A.. (2015). Riesgo de inundación en la subcuenca del río La Antigua, Veracruz, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(3), 39-56. Recuperado el 23 de marzo de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S20024222015000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20024222015000300004&lng=es&tlng=es).
- NSW (2005). Floodplain Development Manual, the Management of Flood Liable Land. Queensland, Australia: News South Wales Government, Department of infrastructure, Planning and Natural Resources.
- Ribera, L. R. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 43, 18.
- Rodríguez Esteves, Juan Manuel. (2007). La conformación de los "desastres naturales": Construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, B. C.. *Frontera norte*, 19(37), 83-112. Recuperado el 21 de marzo de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73722007000100004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722007000100004&lng=es&tlng=es)
- Soldano, A. (2009). Conceptos sobre riesgo. Foro virtual de la RIMD, Comisión Nacional de Actividades Espaciales y Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaria General de la Organización de los Estados Unidos Americanos. Argentina.
- SEDATU. (2014). Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo. Recuperado el 18 de octubre de 2019 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40838/Bases\\_AR\\_PRAH\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40838/Bases_AR_PRAH_2014.pdf)
- Vergara Tenorio, Ma. del Carmen, Ellis, Edward A., Cruz Aguilar, José Antonio, Alarcón Sánchez, Luz del Carmen, y Galván del Moral, Ulises. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y cultura*, (36), 45-69. Recuperado el 21 de marzo de 2019 en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-77422011000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200003&lng=es&tlng=es)

### 7 ANEXO 1. Mapas de profundidades

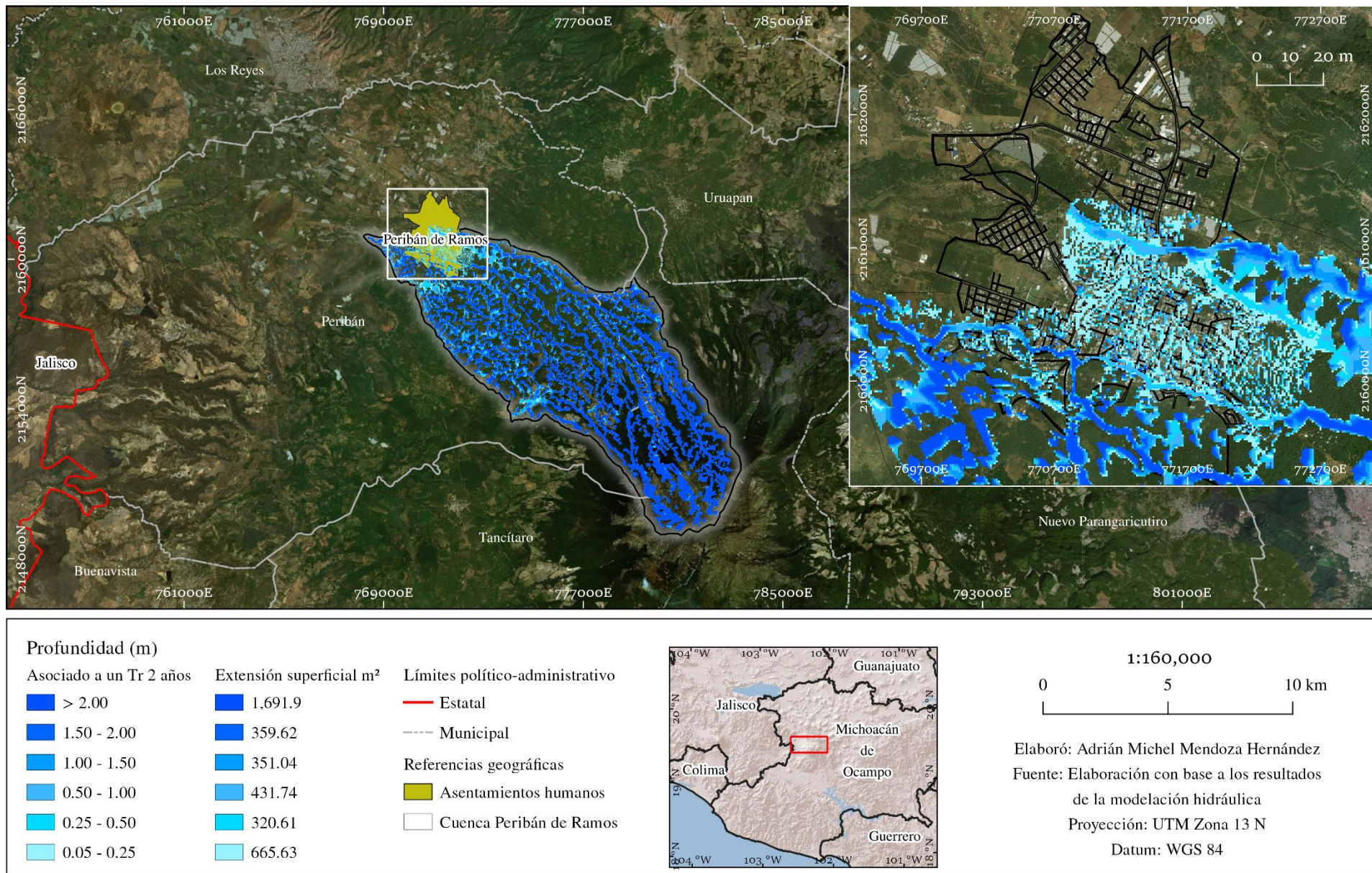


Figura 7-1 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 2 años

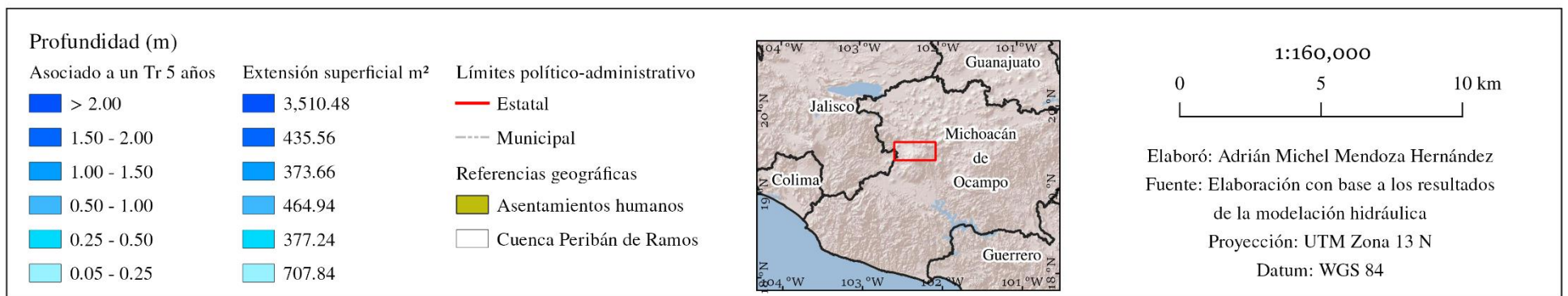
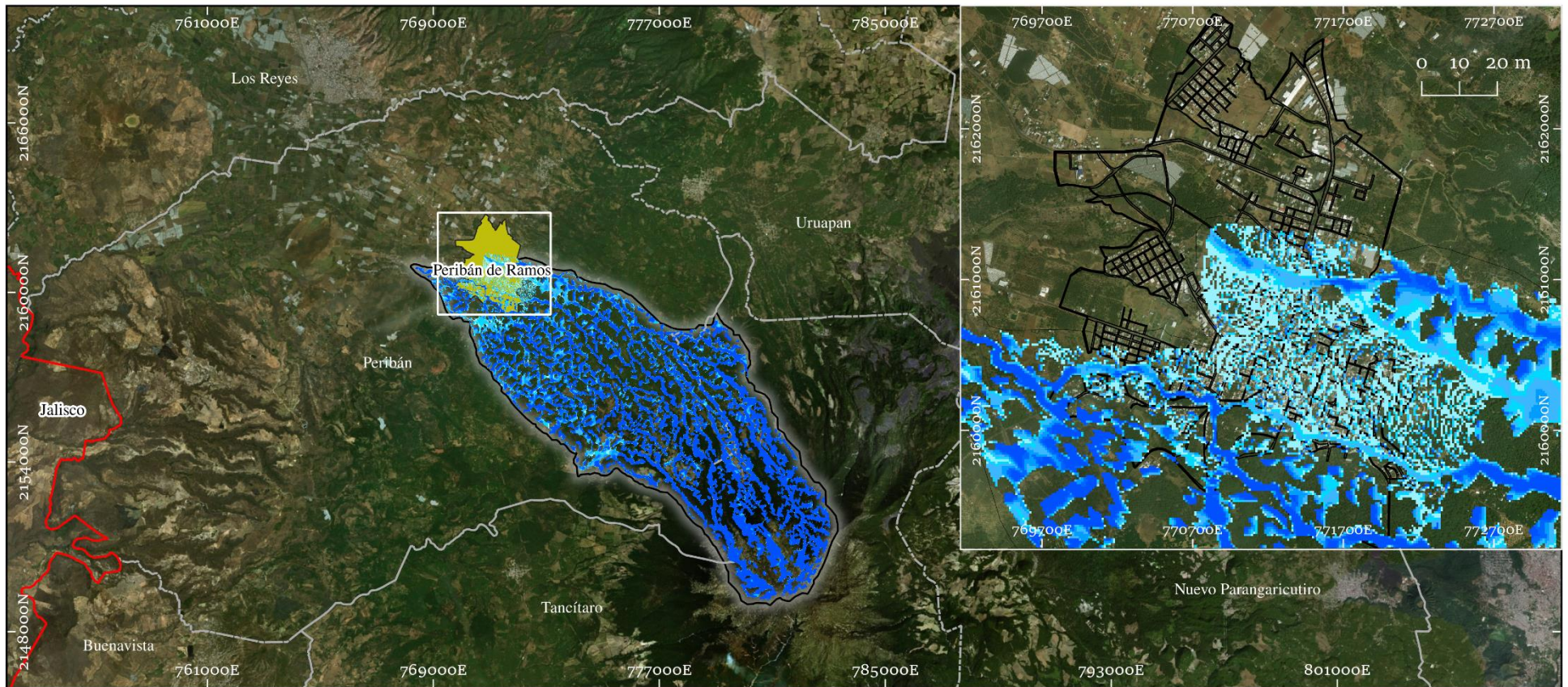


Figura 7-2 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 5 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

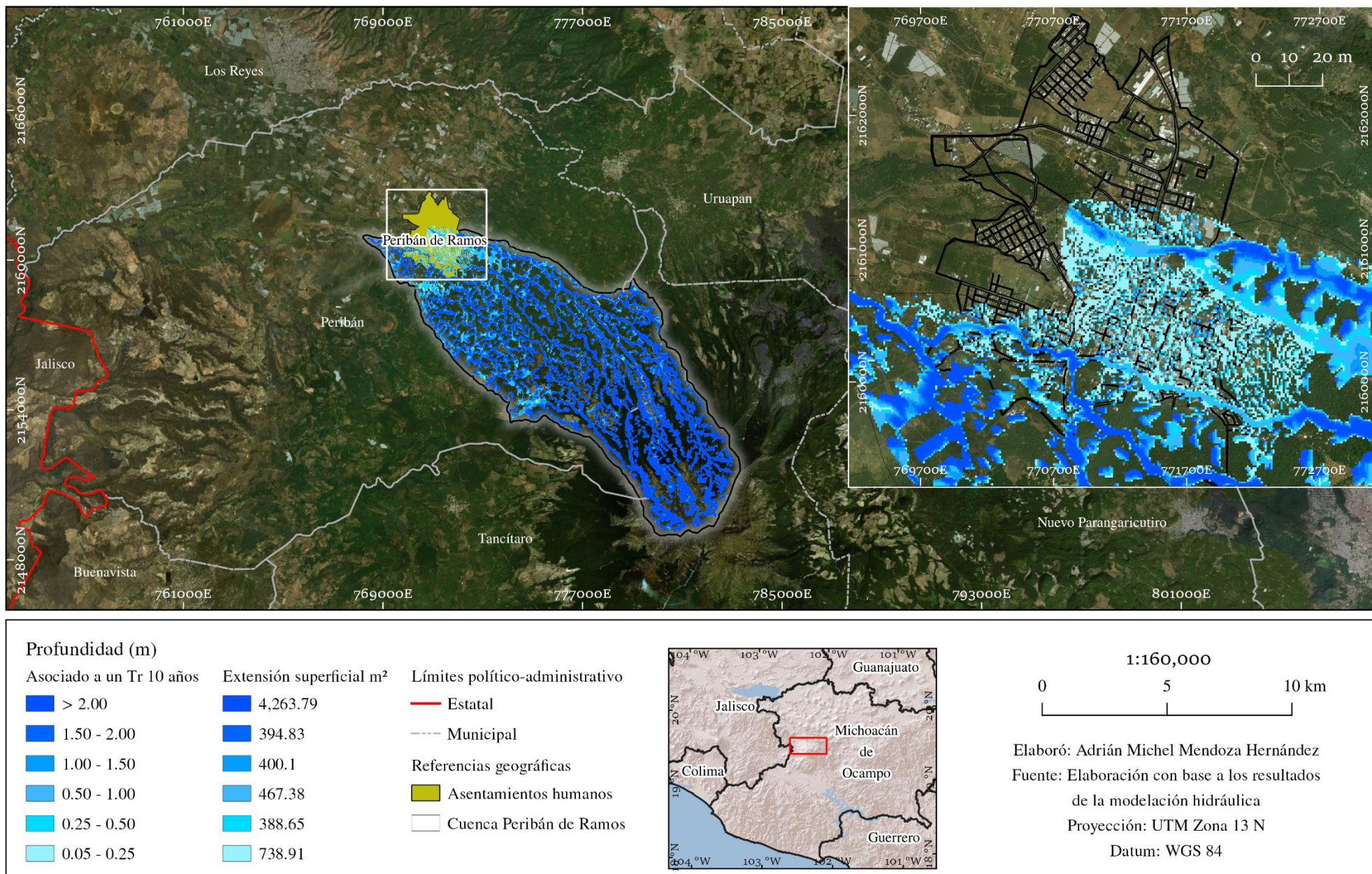


Figura 7-3 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 10 años

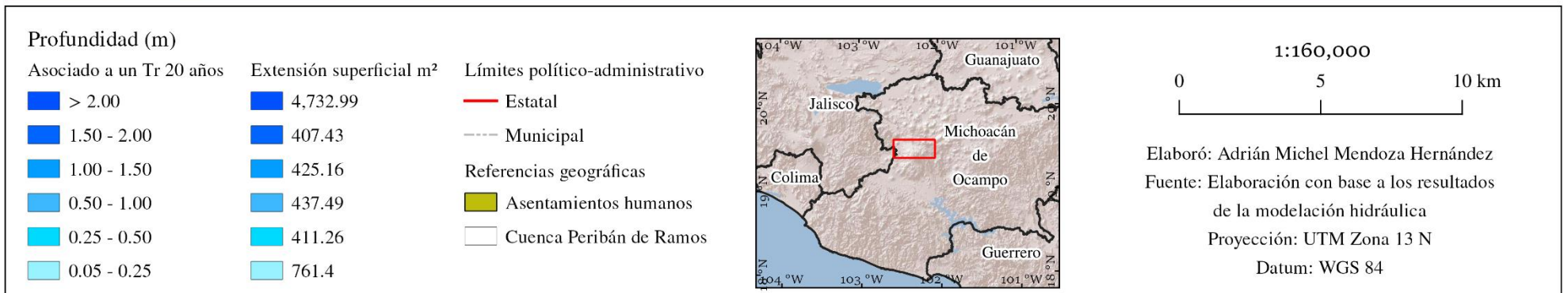
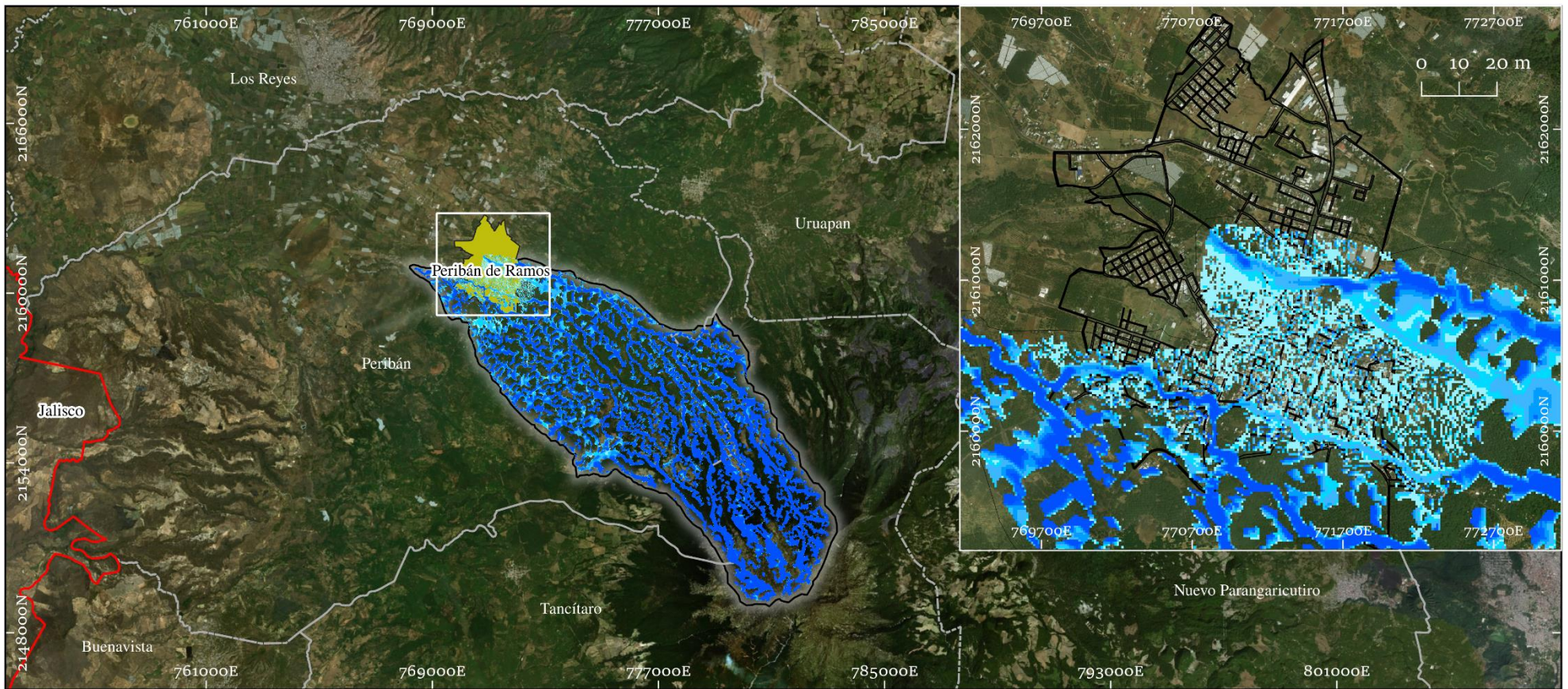


Figura 7-4 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 20 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

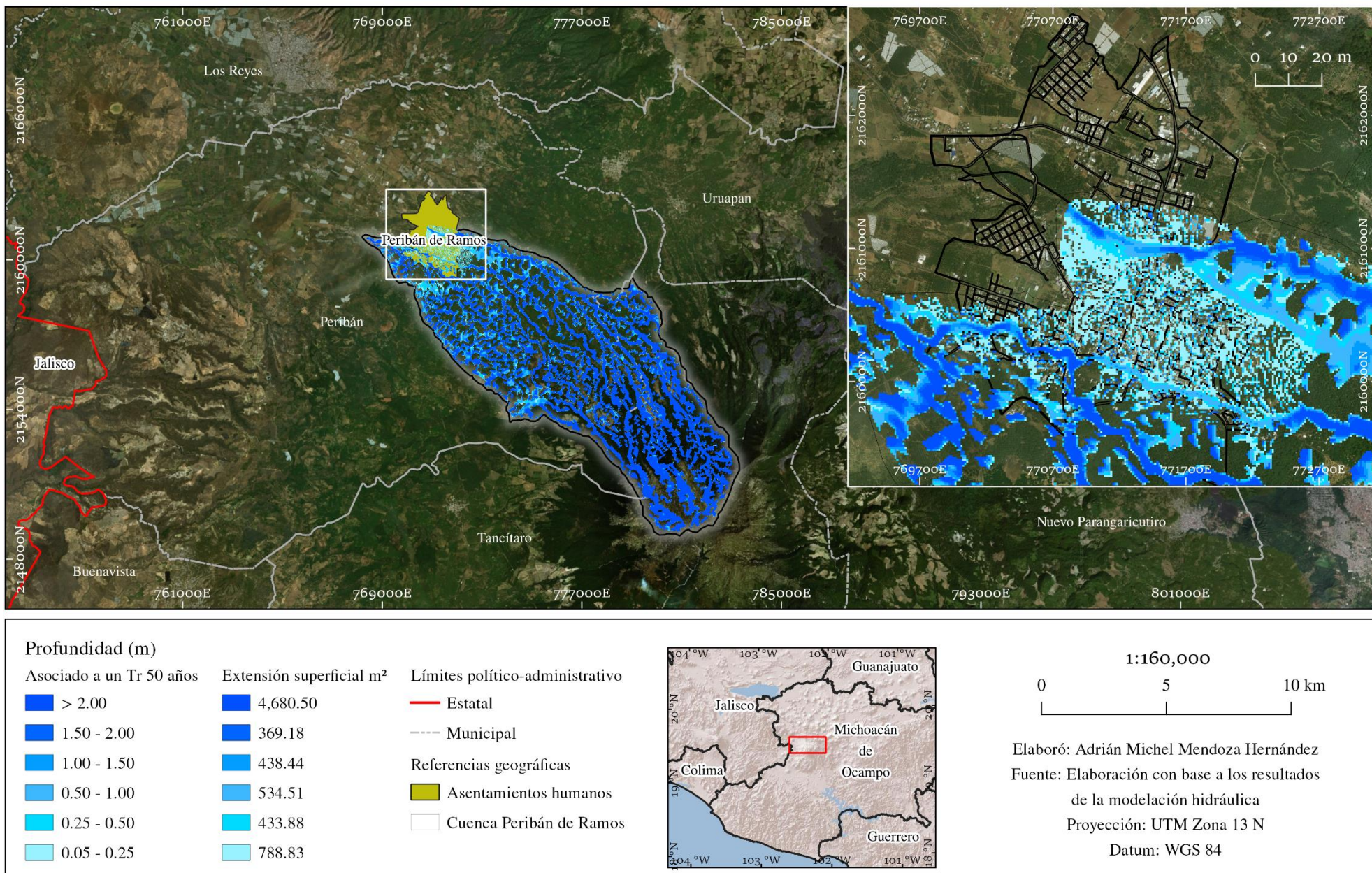


Figura 7-5 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 50 años

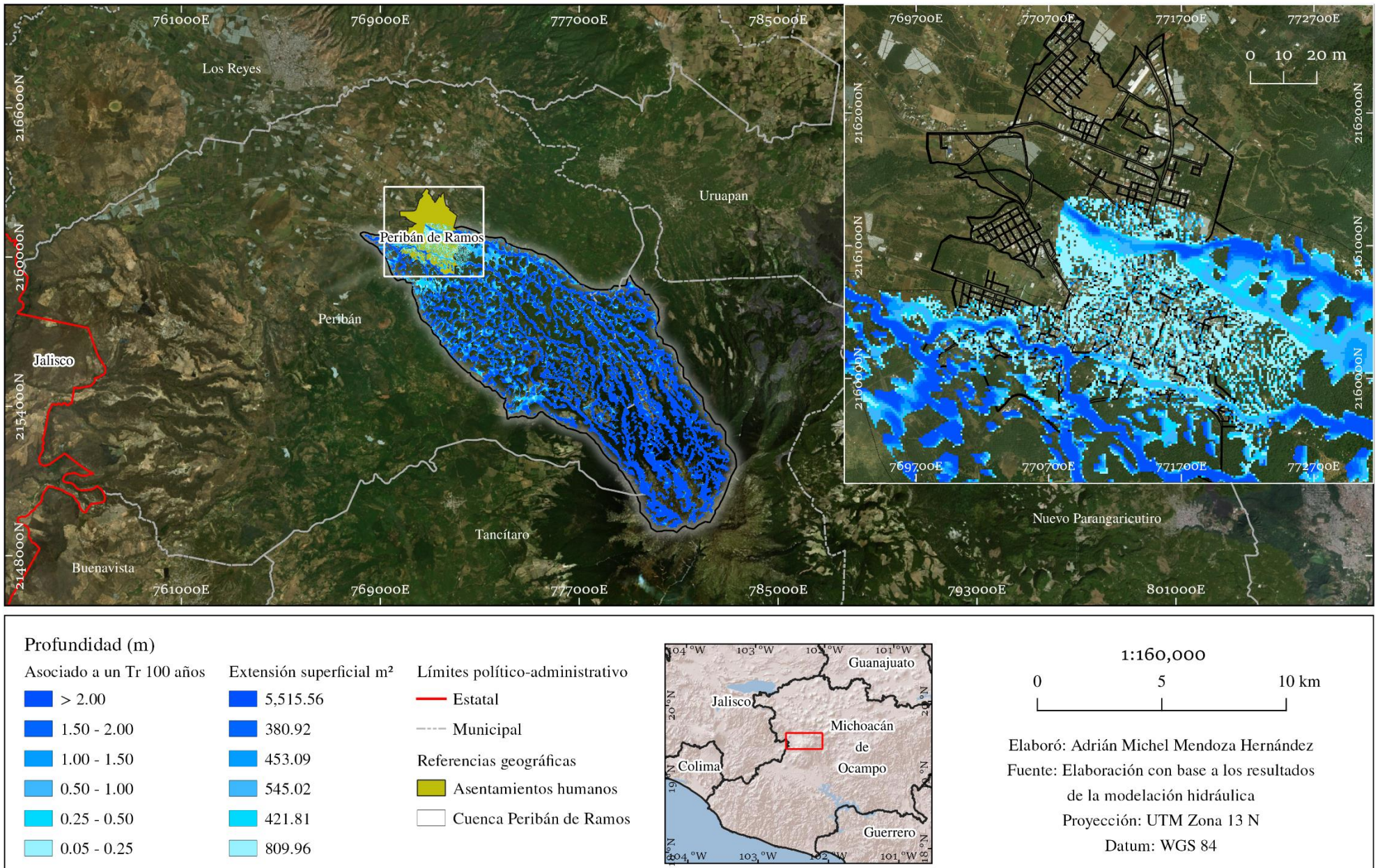


Figura 7-6 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 100 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

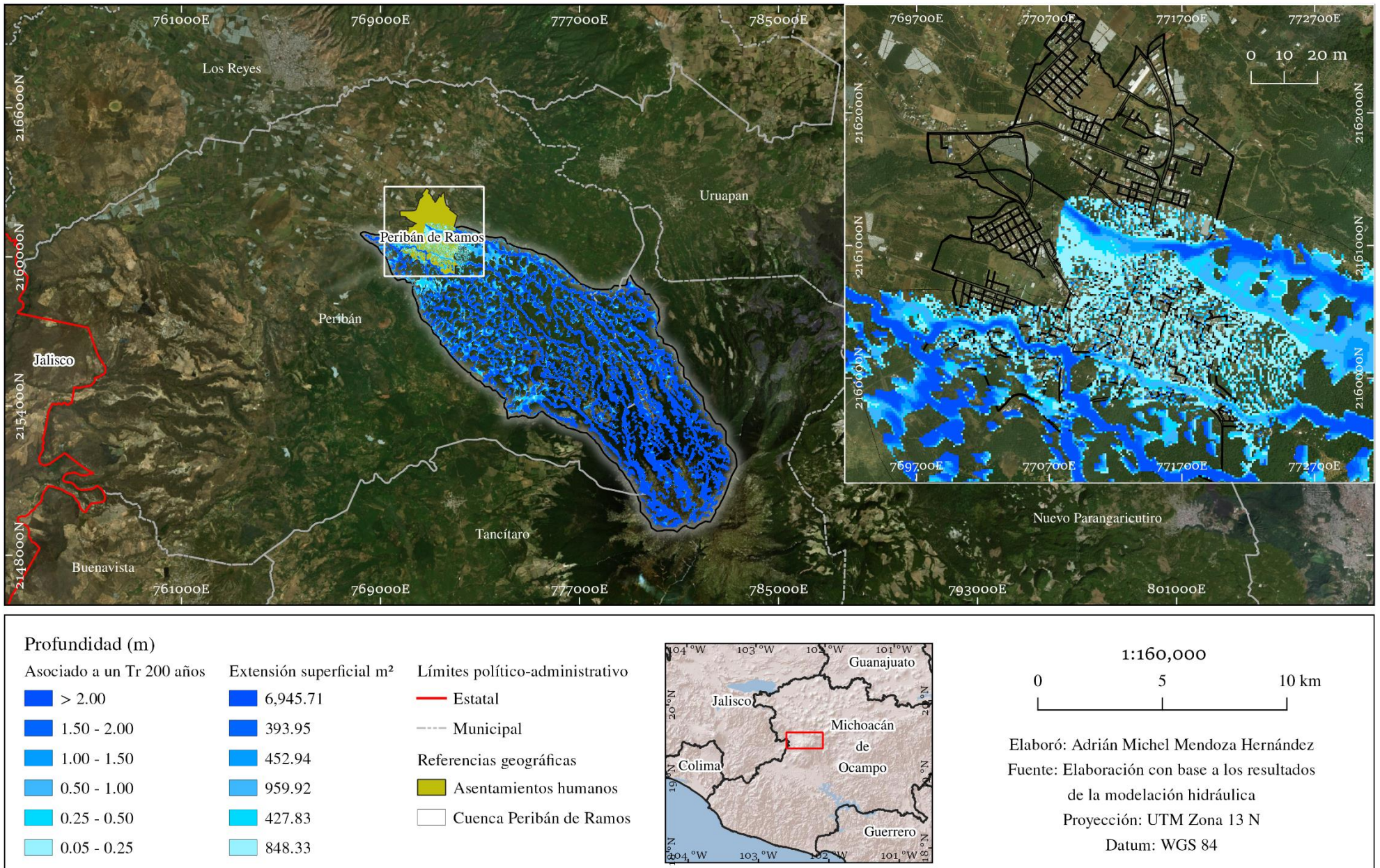


Figura 7-7 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 200 años



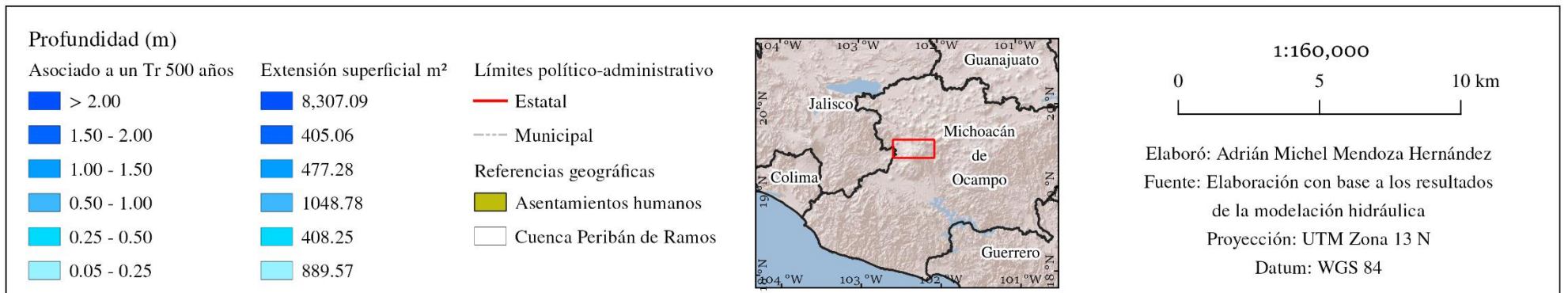
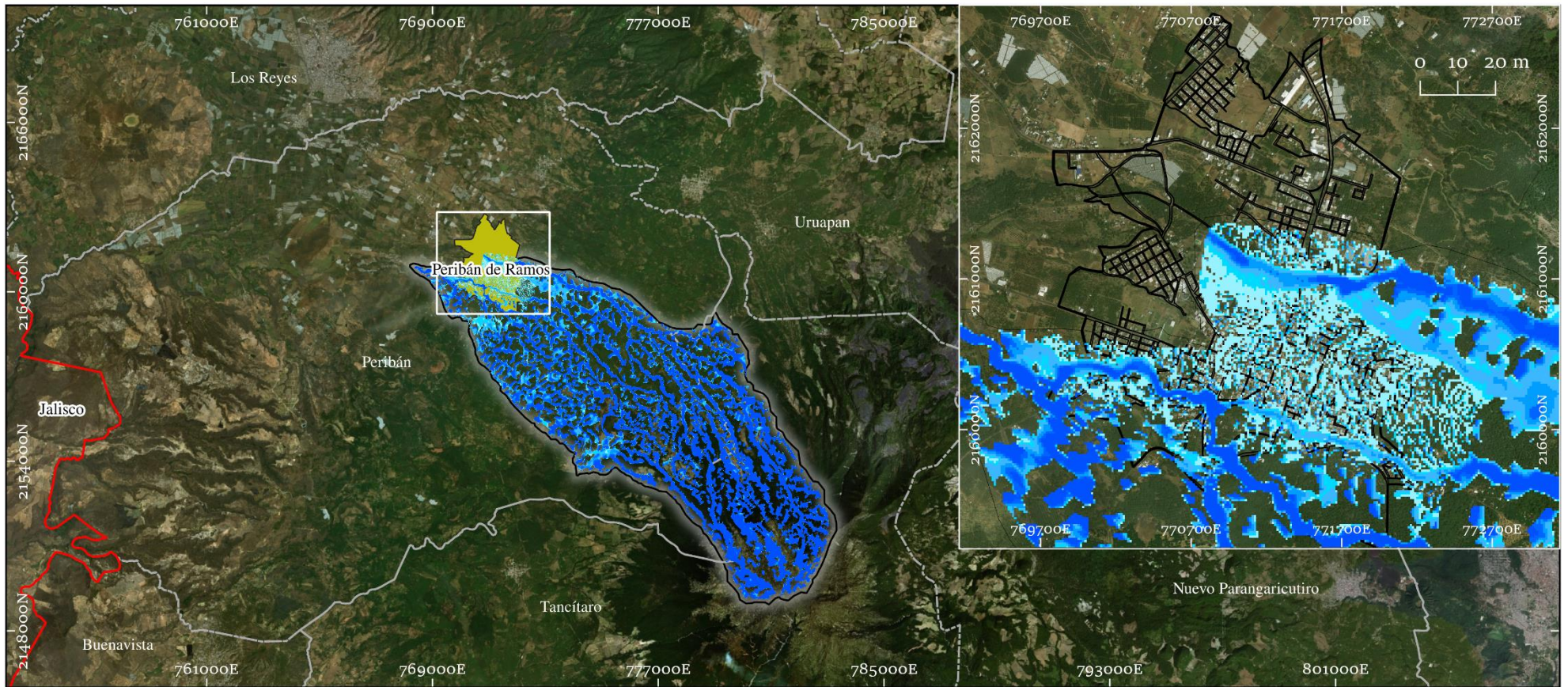


Figura 7-8 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 500 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

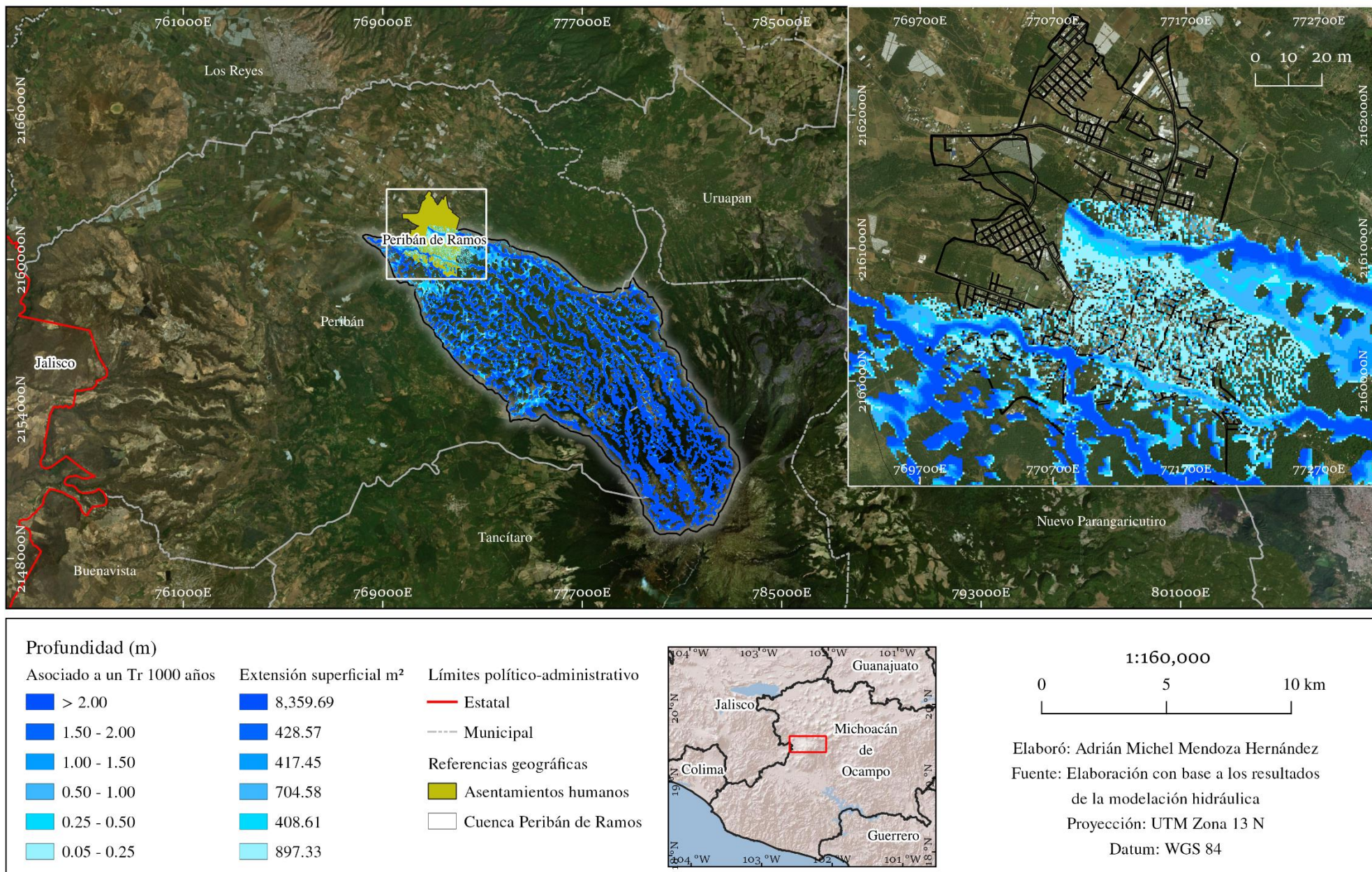


Figura 7-9 Profundidades de inundación asociadas a un Tr = 1000 años

## 8 ANEXO 2. Mapas de velocidad

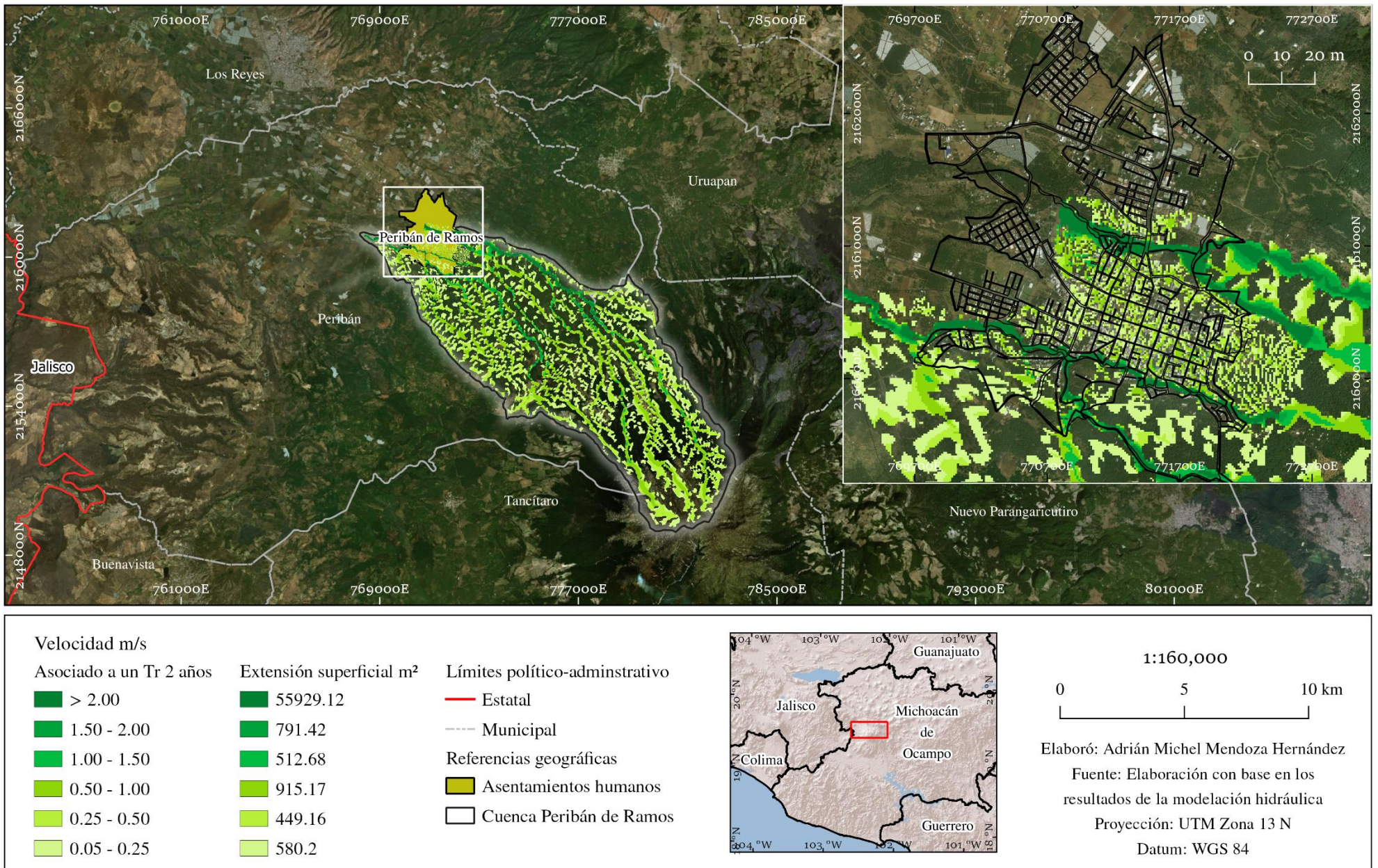


Figura 8-1 Velocidades asociadas a un Tr = 2 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

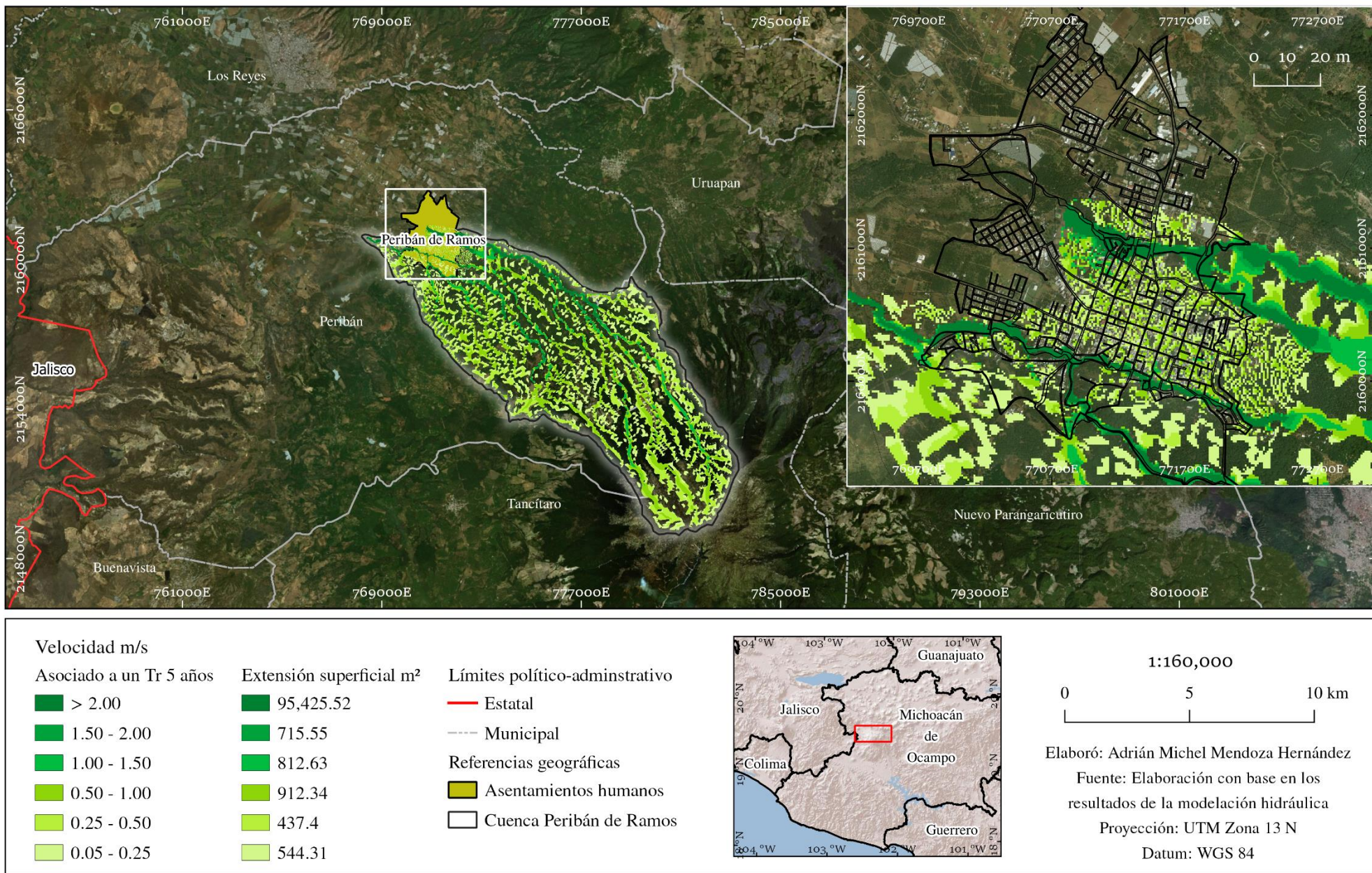


Figura 8-2 Velocidades asociadas a un Tr = 5 años

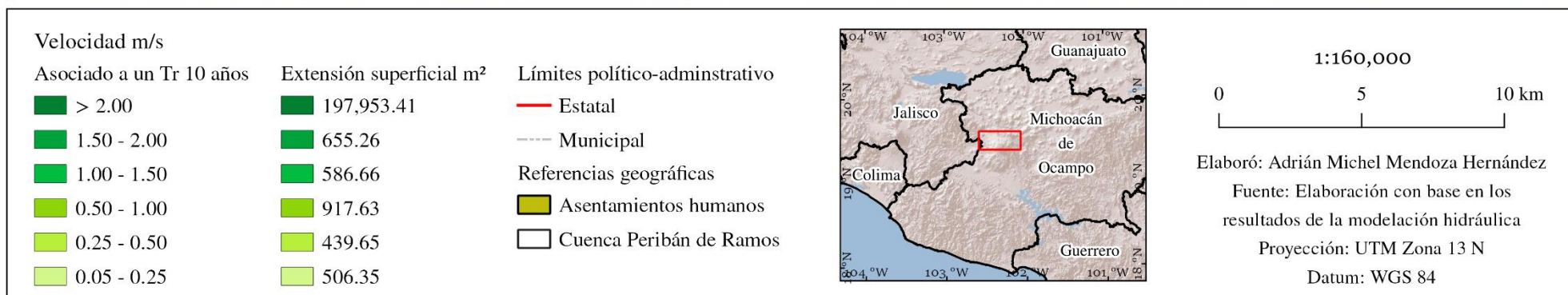
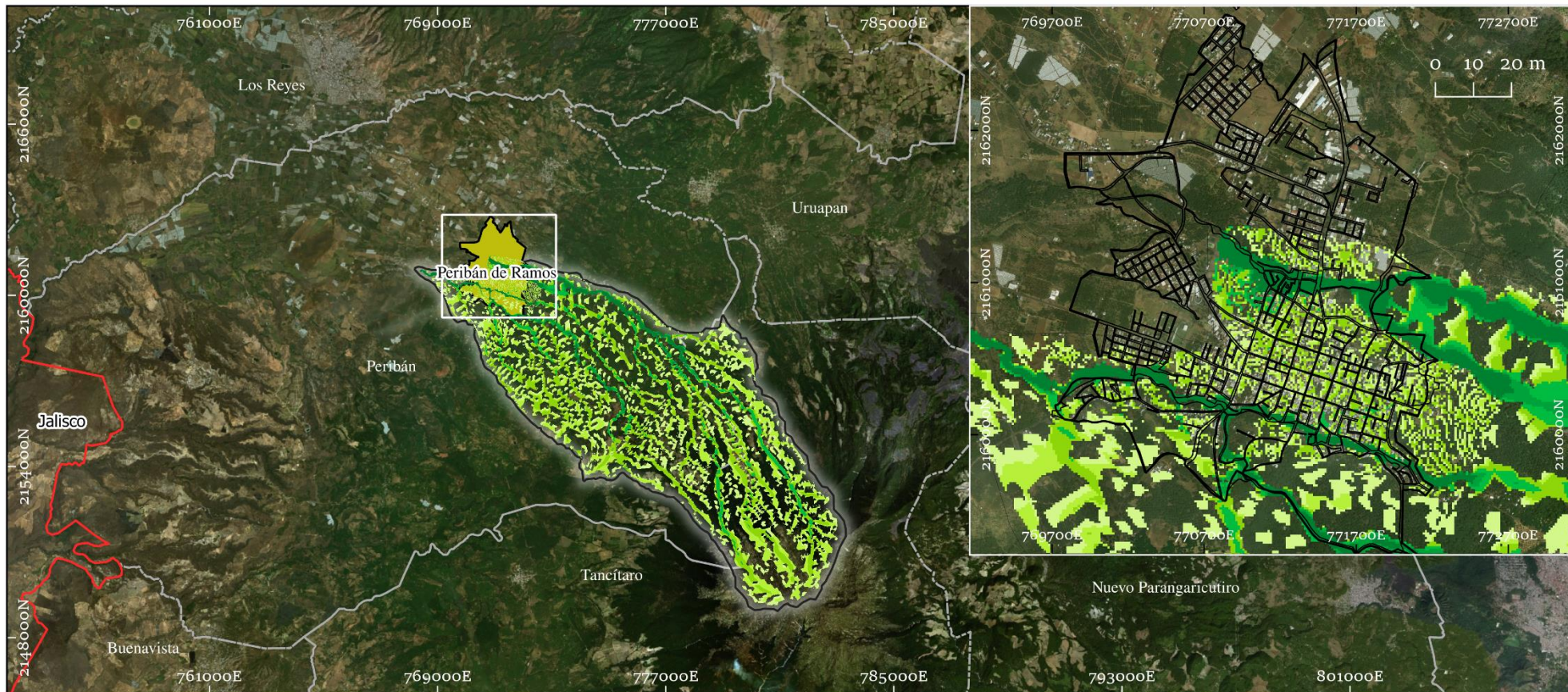


Figura 8-3 Velocidades asociadas a un Tr = 10 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

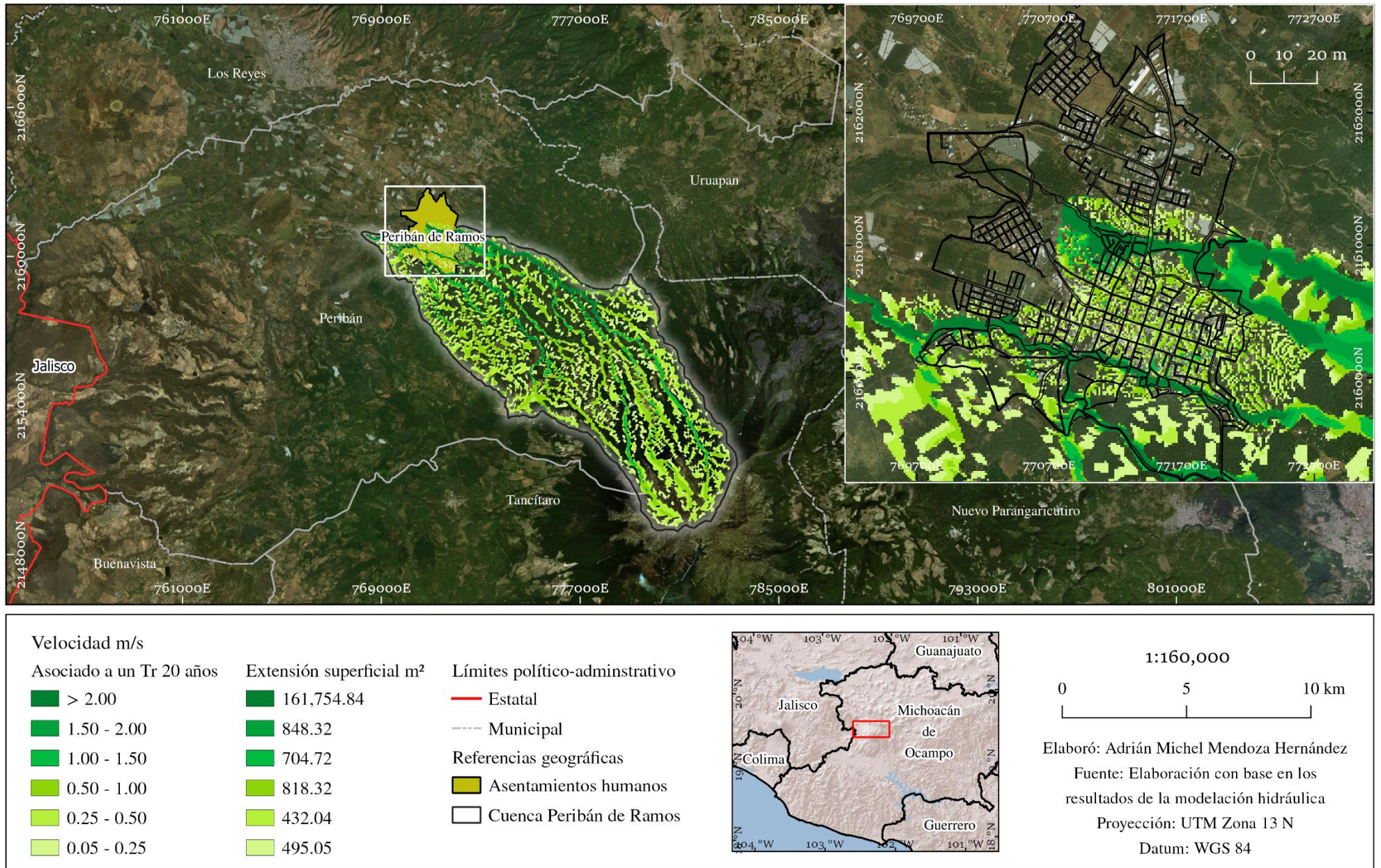


Figura 8-4 Velocidades asociadas a un Tr = 20 años

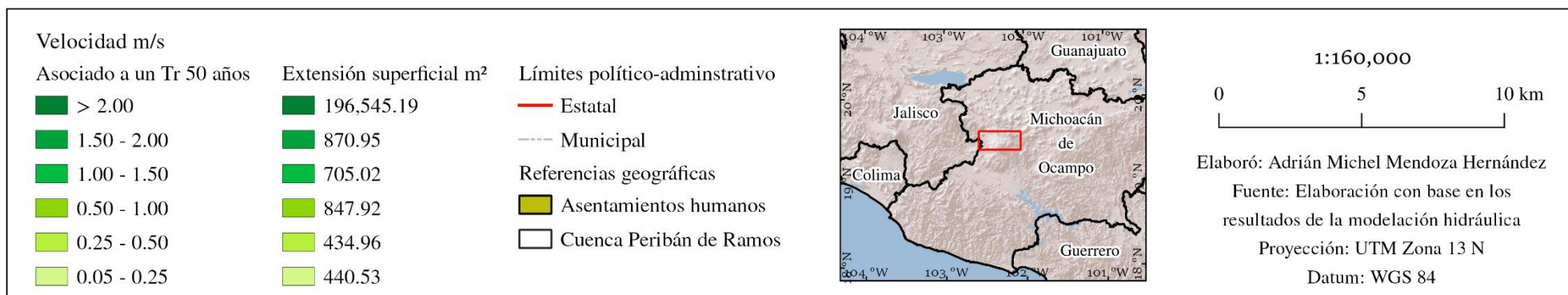
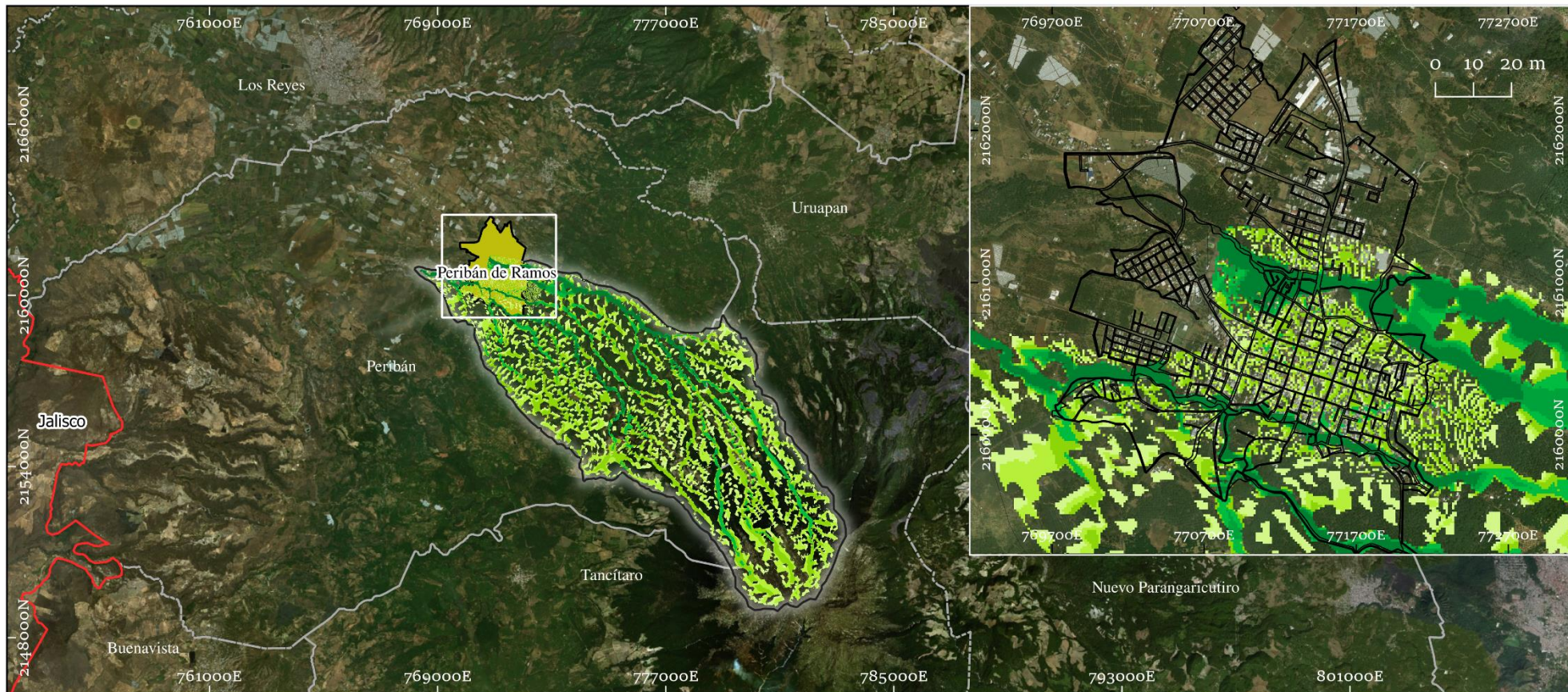


Figura 8-5 Velocidades asociadas a un Tr = 50 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

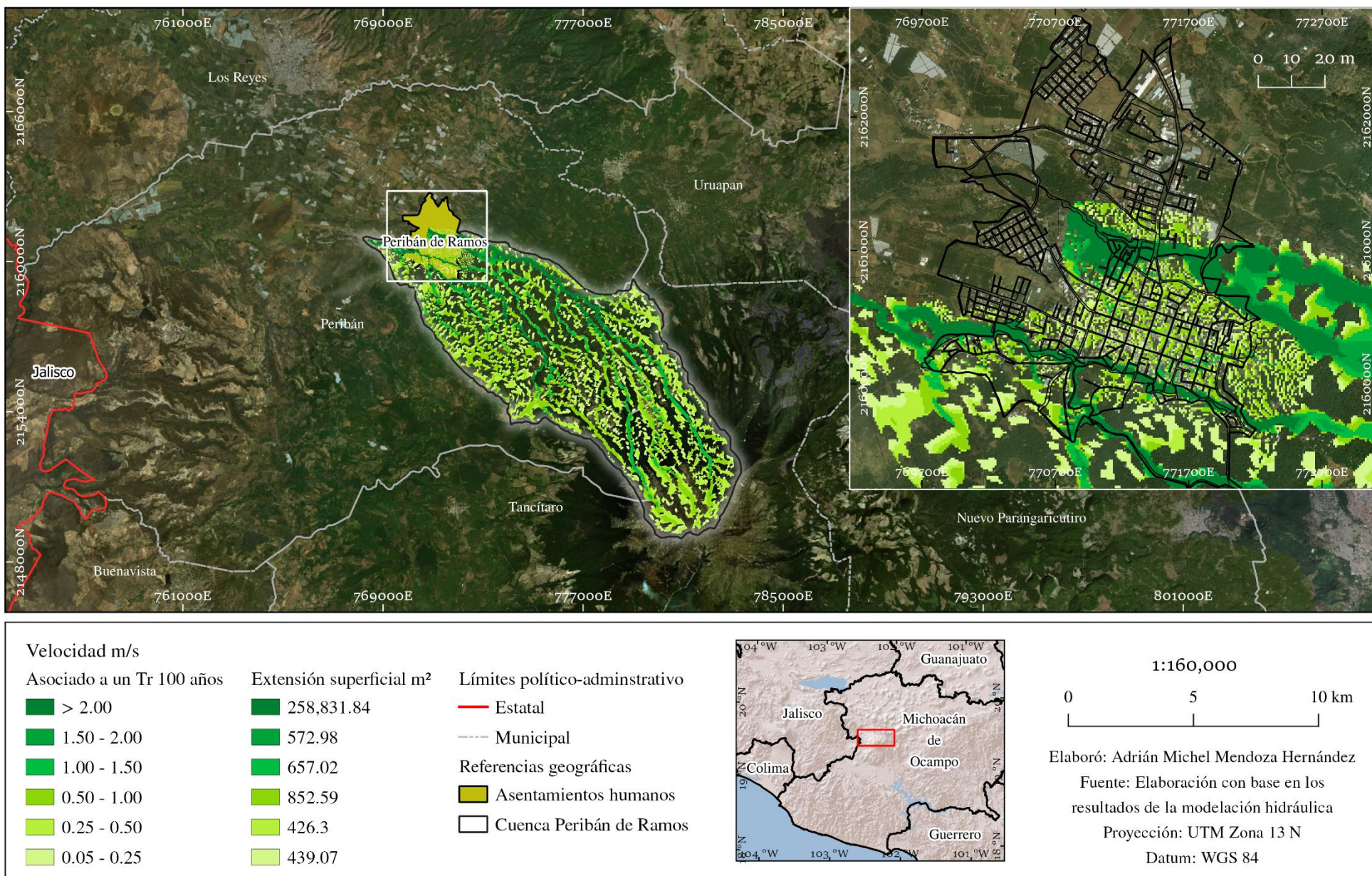


Figura 8-6 Velocidades asociadas a un Tr = 100 años



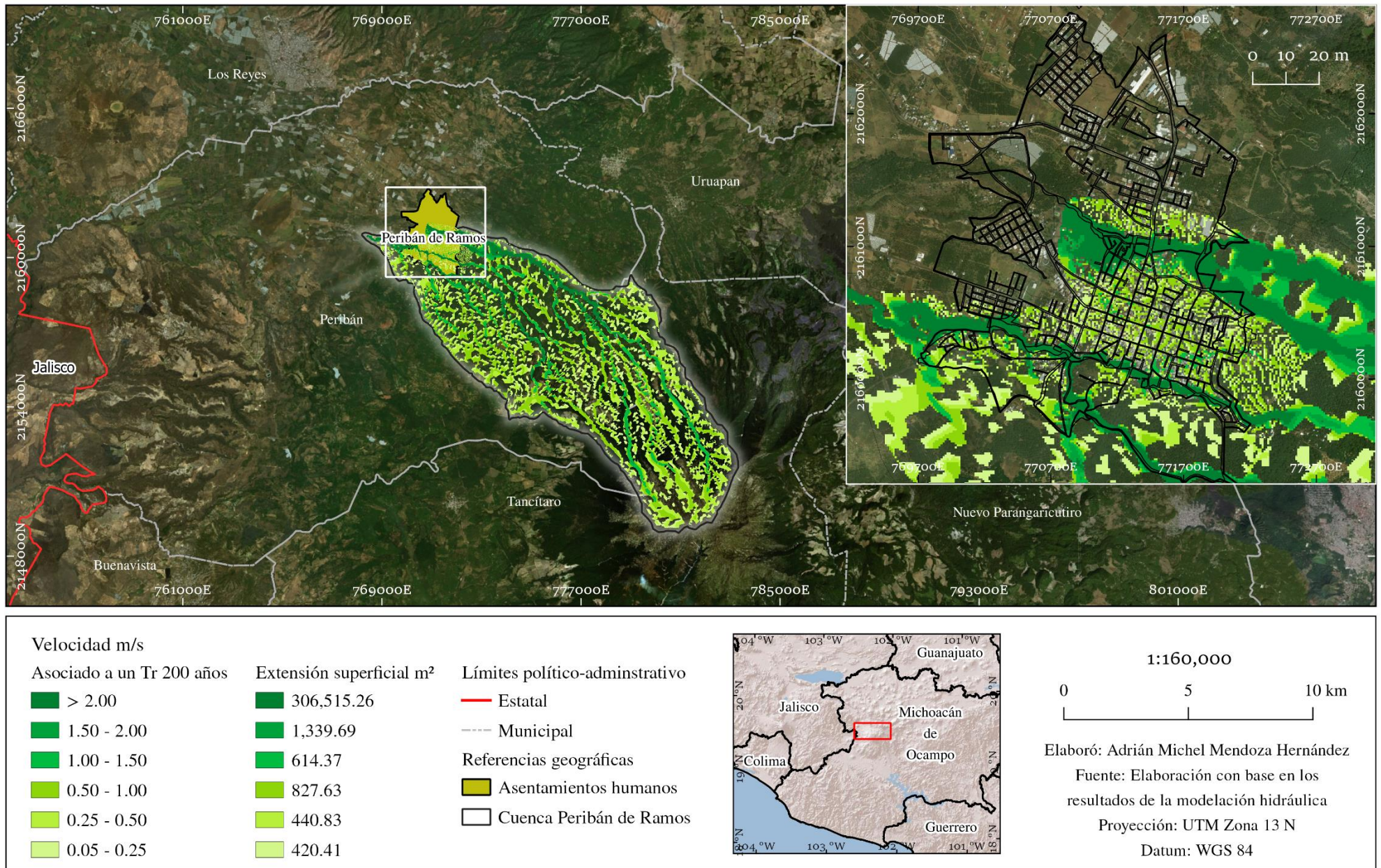


Figura 8-7 Velocidades asociadas a un Tr = 200 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

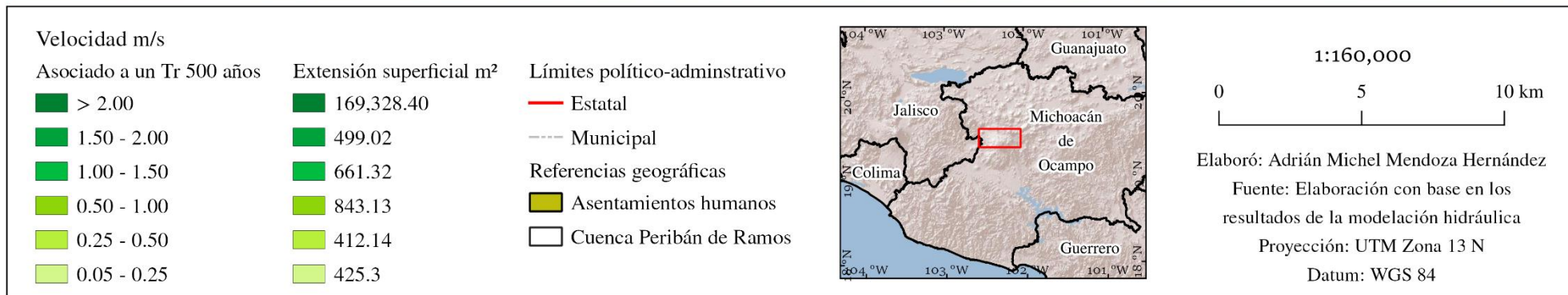
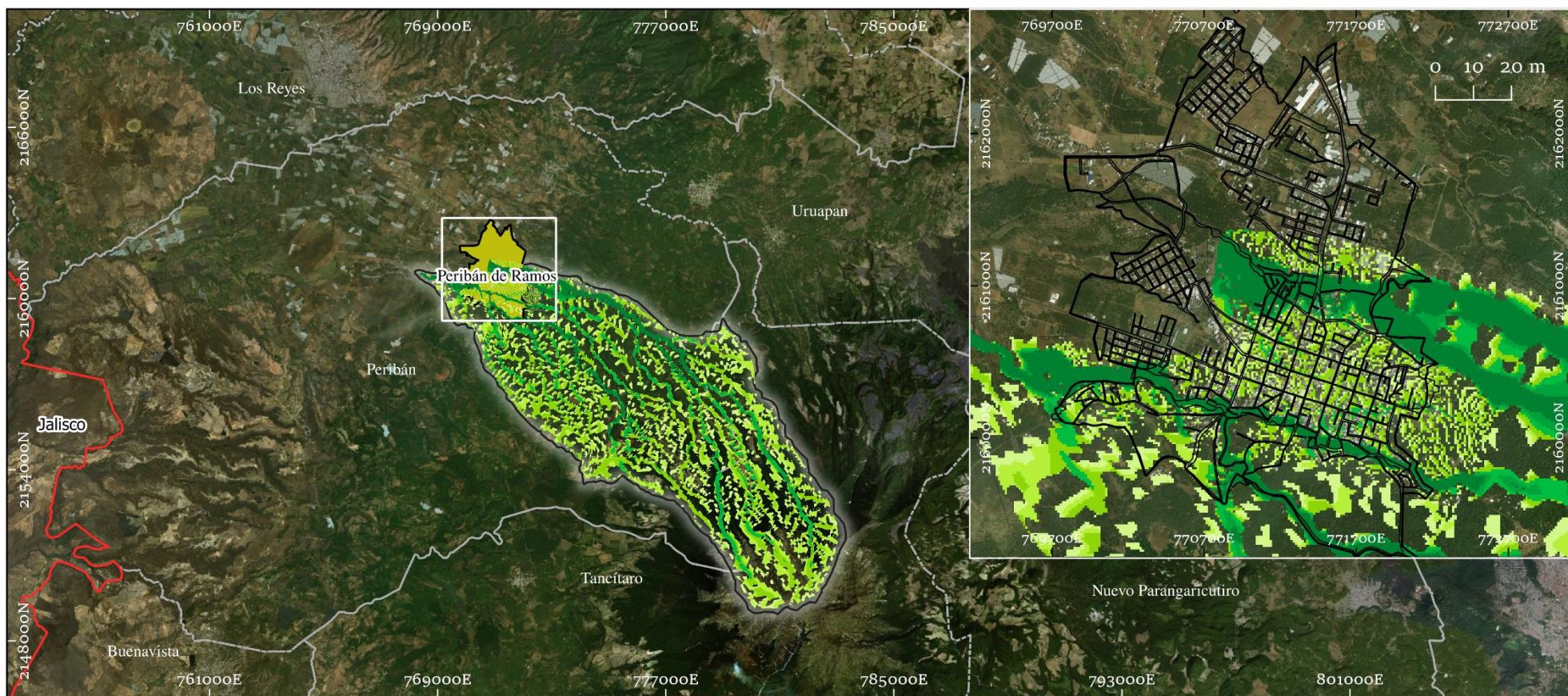


Figura 8-8 Velocidades asociadas a un Tr = 500 años

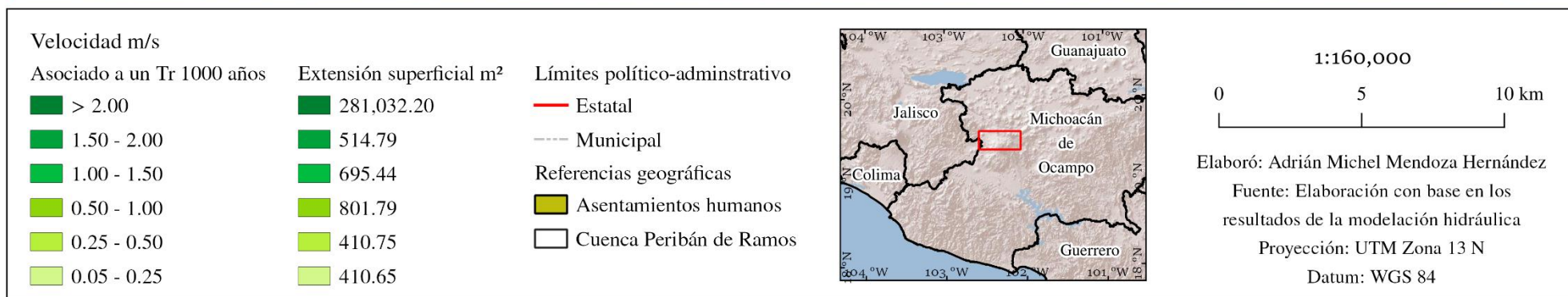
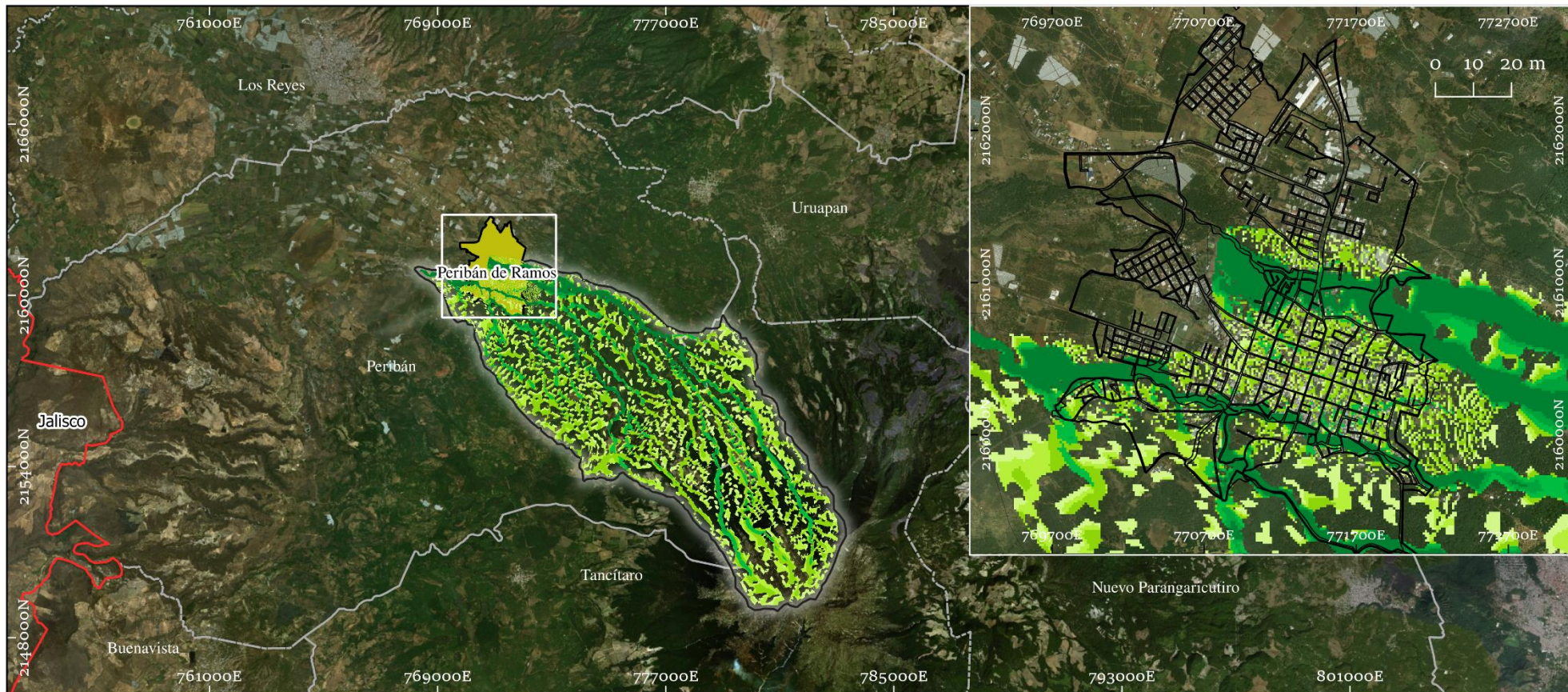


Figura 8-9 Velocidades asociadas a un Tr = 1000 años

### 9 ANEXO 3. Mapas de peligro por inundación

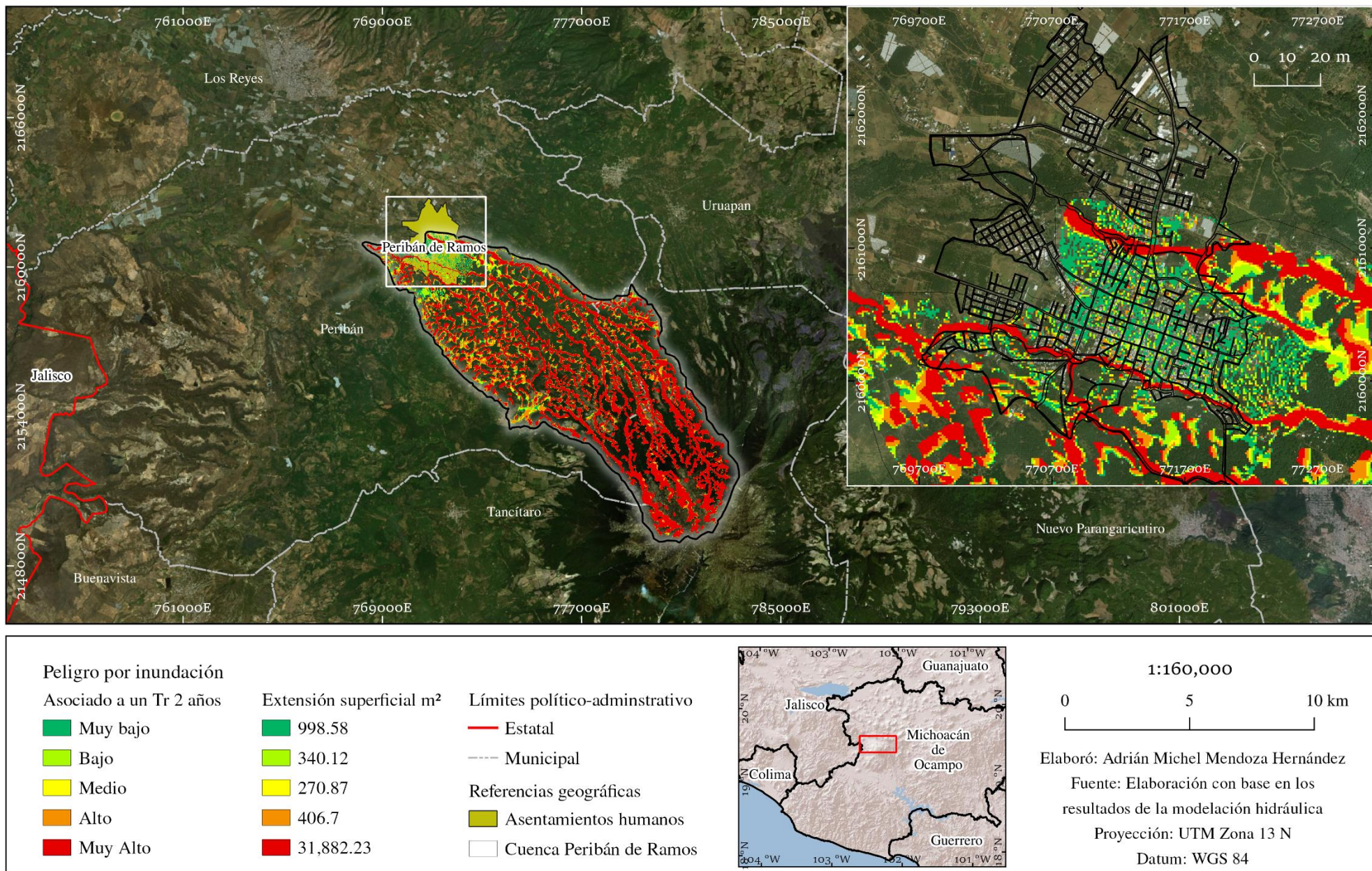


Figura 9-1 Peligro por inundación asociado a un Tr = 2 años

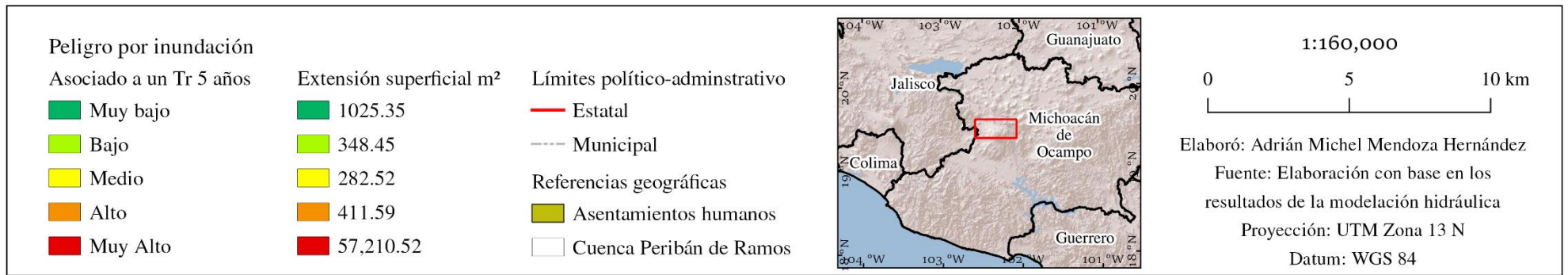
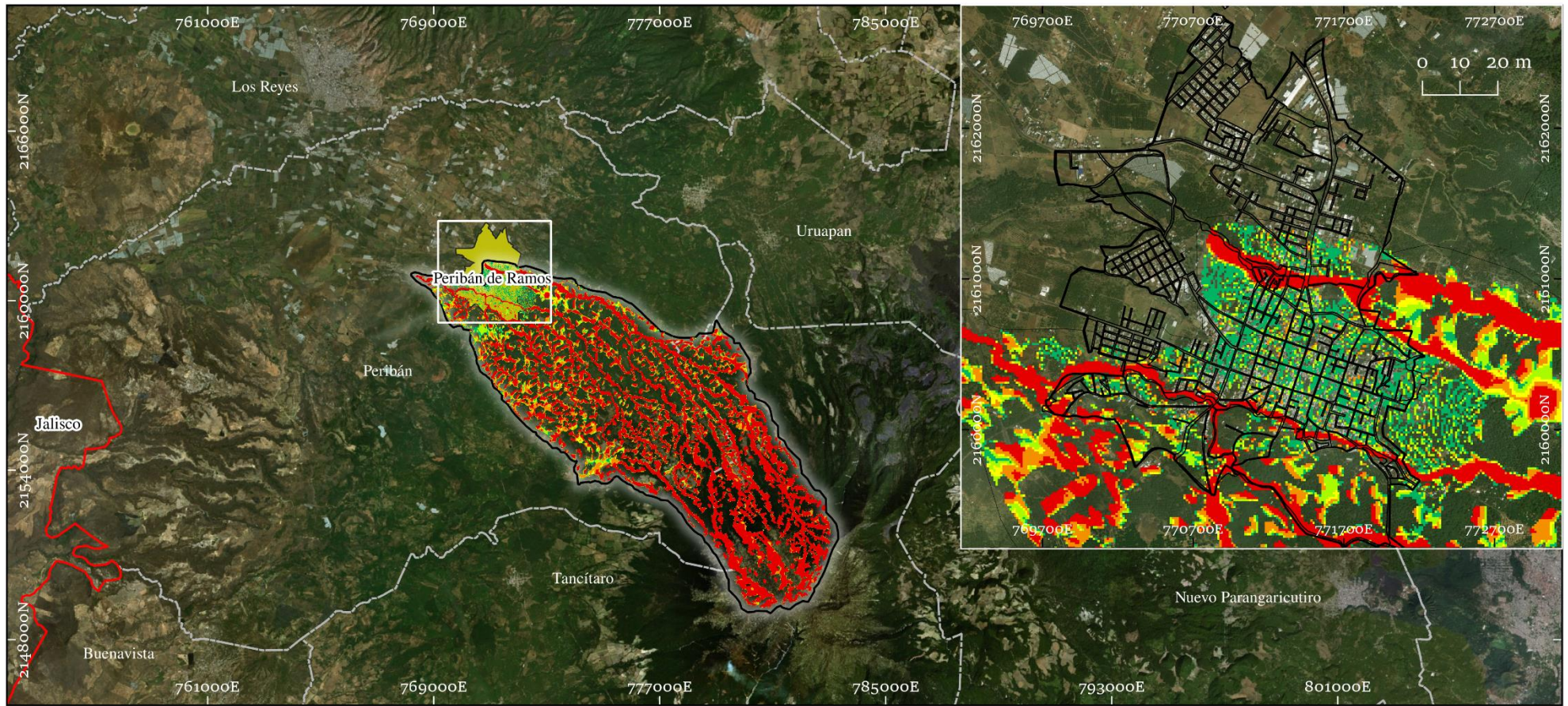


Figura 9-2 Peligro por inundación asociado a un Tr = 5 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

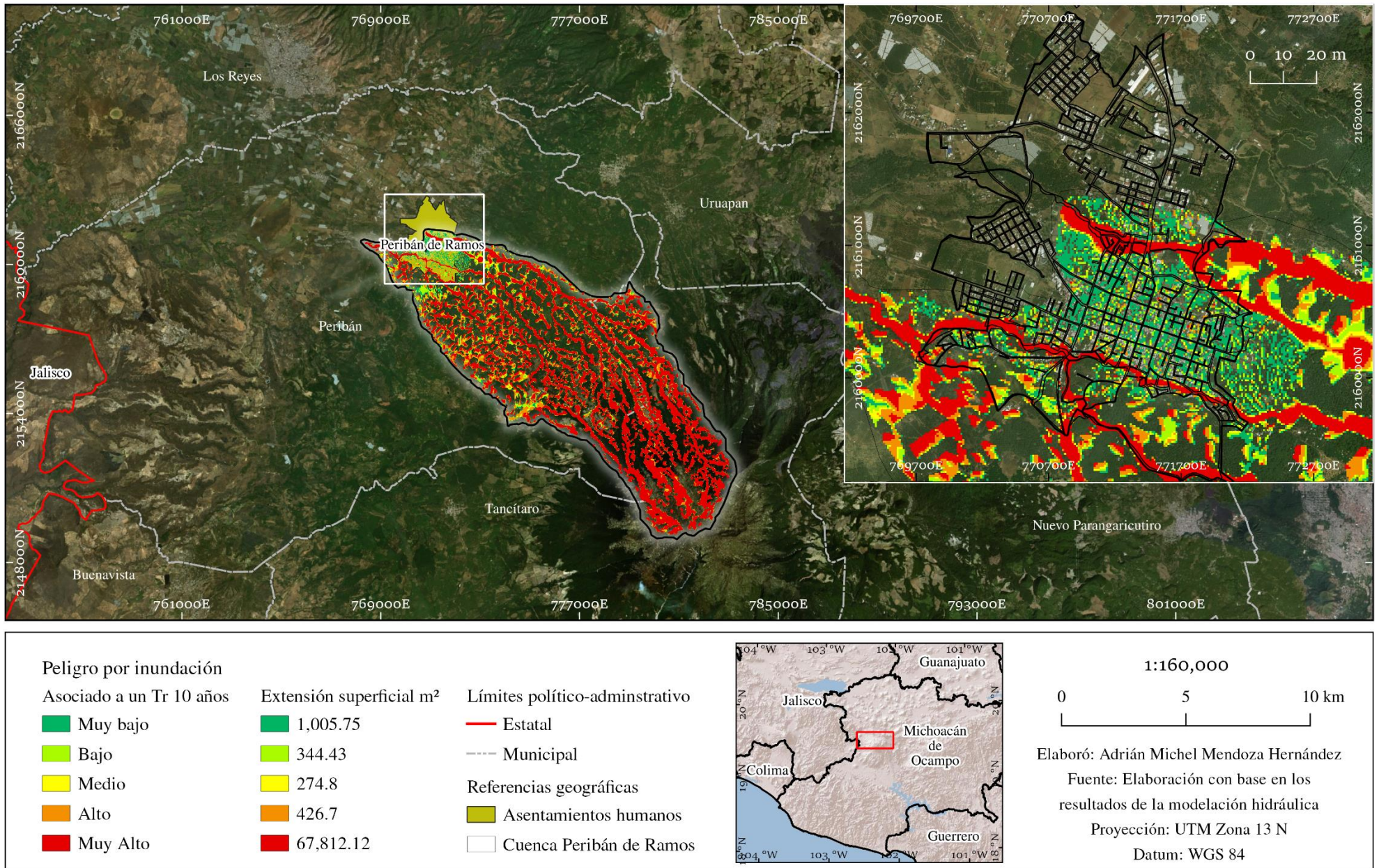


Figura 9-3 Peligro por inundación asociado a un Tr = 10 años

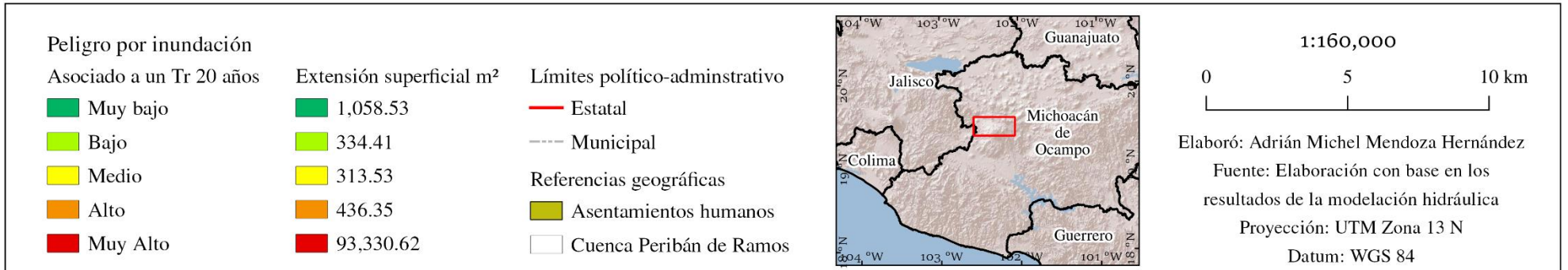
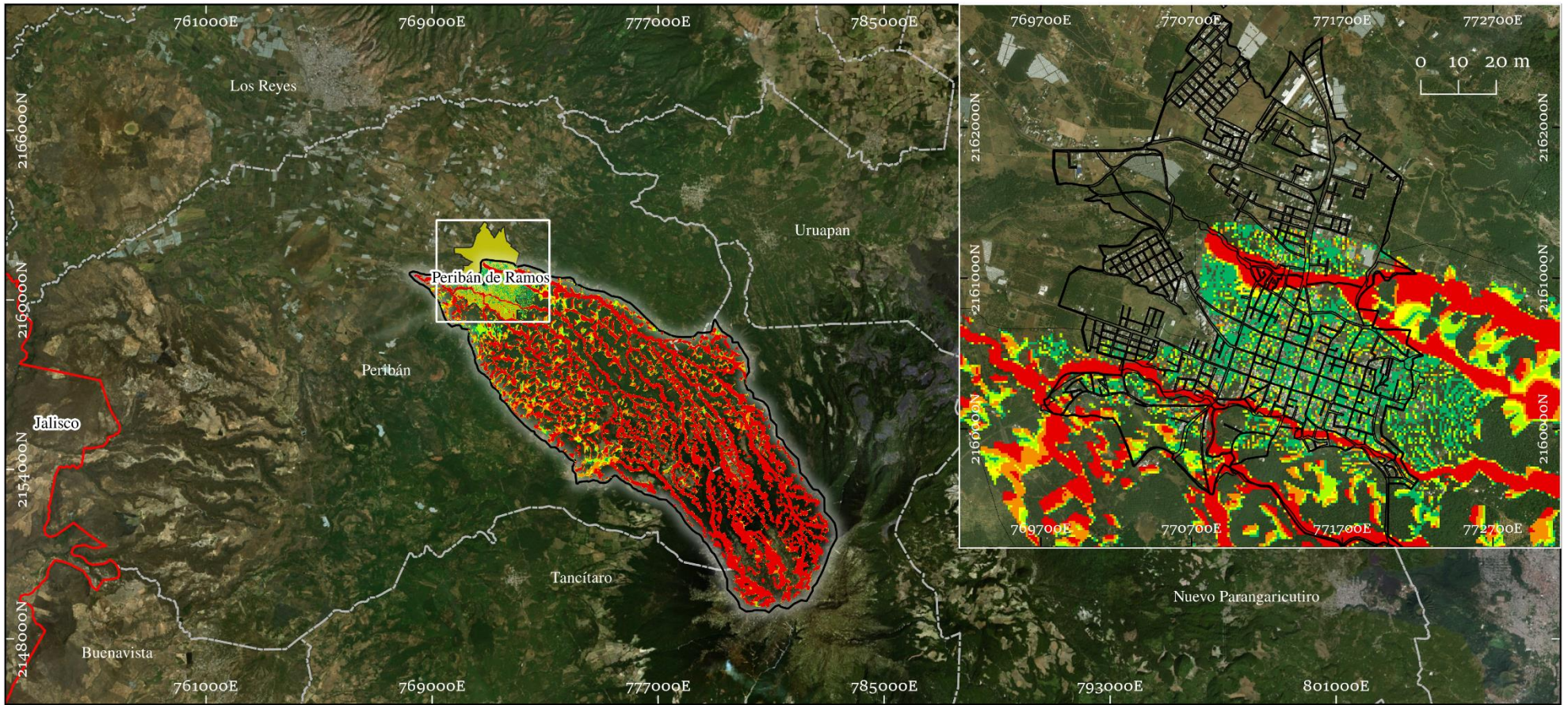


Figura 9-4 Peligro por inundación asociado a un Tr = 20 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

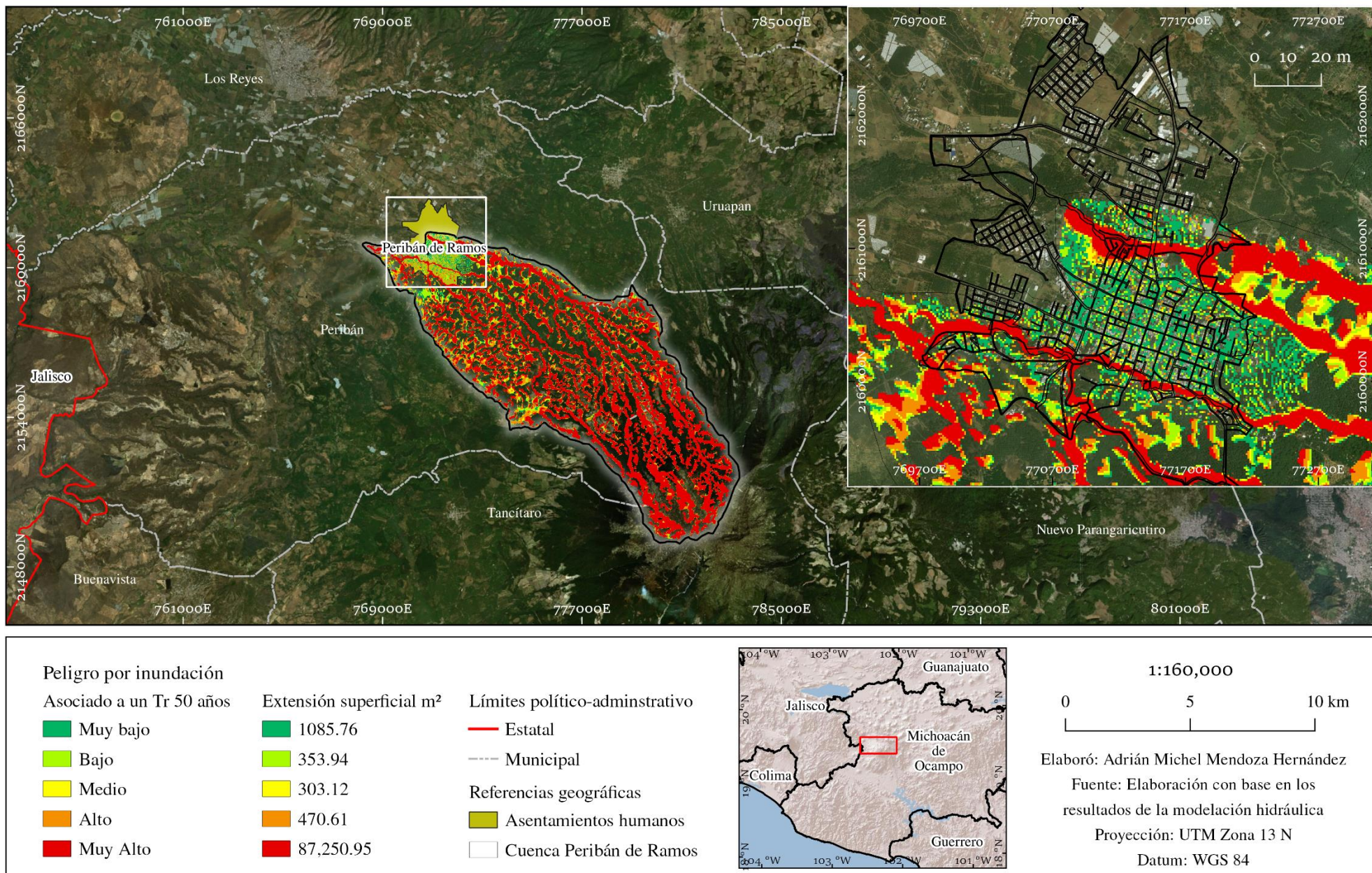


Figura 9-5 Peligro por inundación asociado a un Tr = 50 años



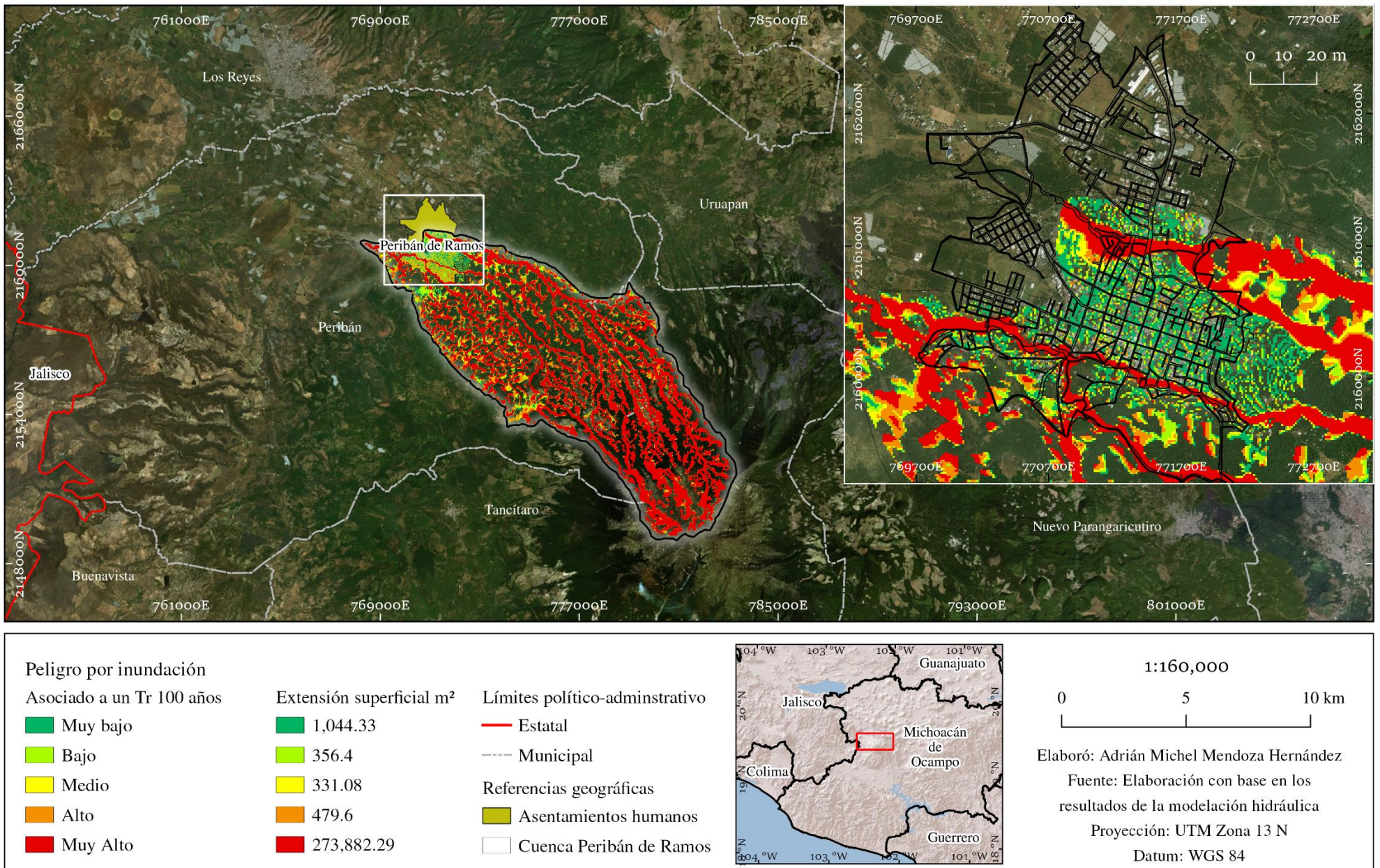


Figura 9-6 Peligro por inundación asociado a un Tr = 100 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

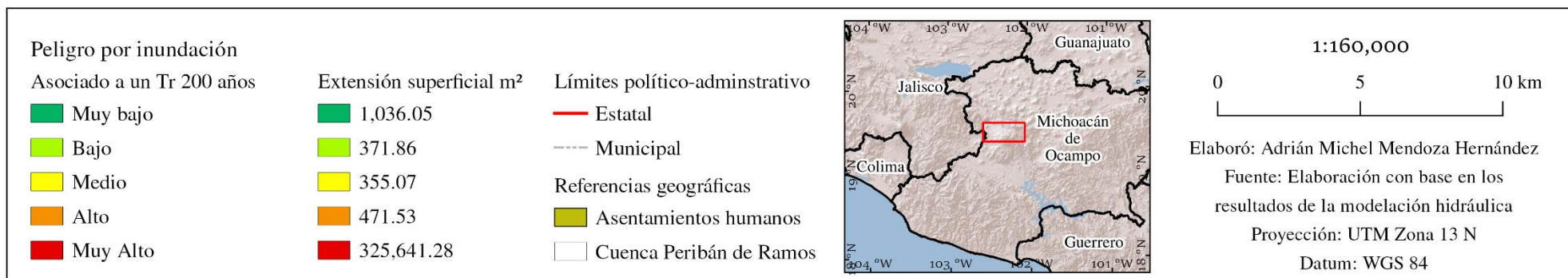
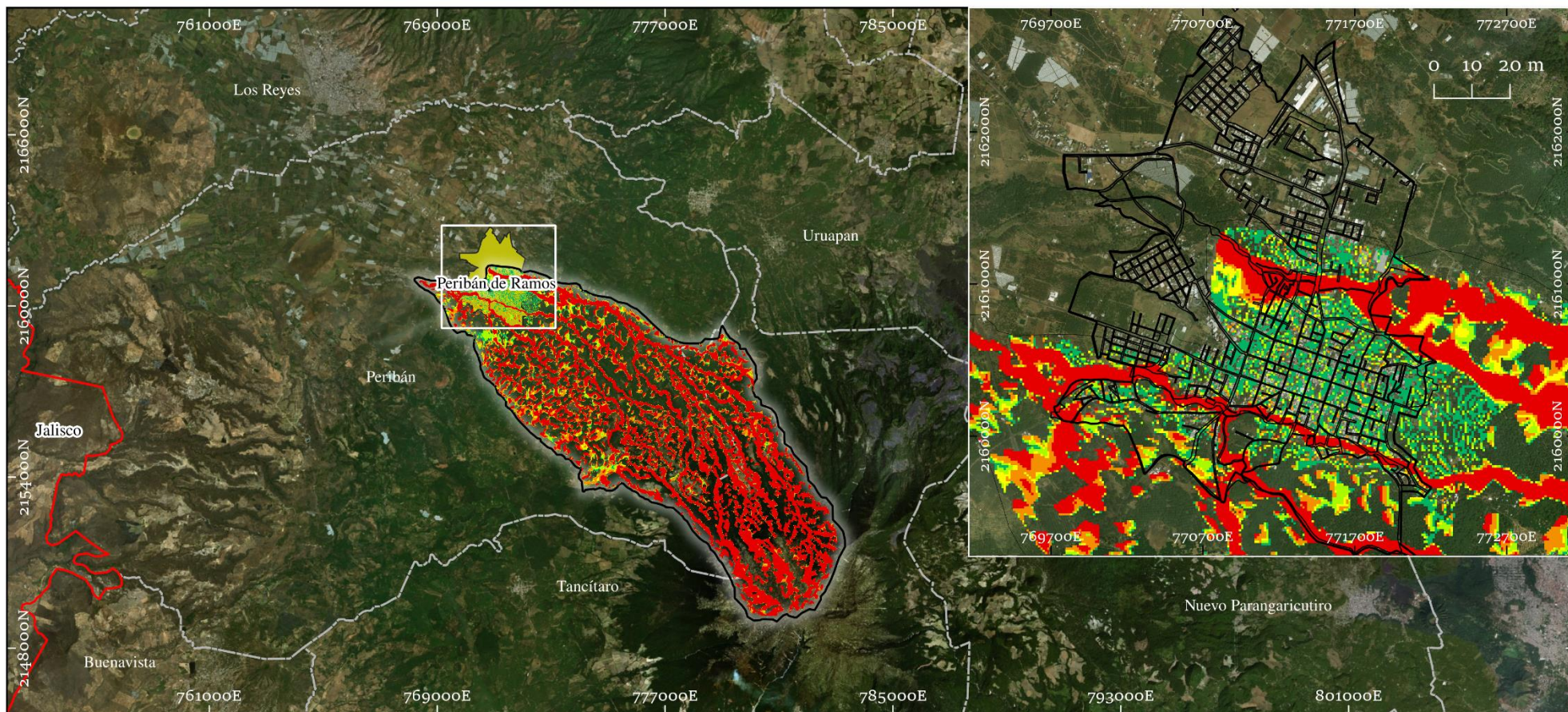


Figura 9-7 Peligro por inundación asociado a un Tr = 200 años

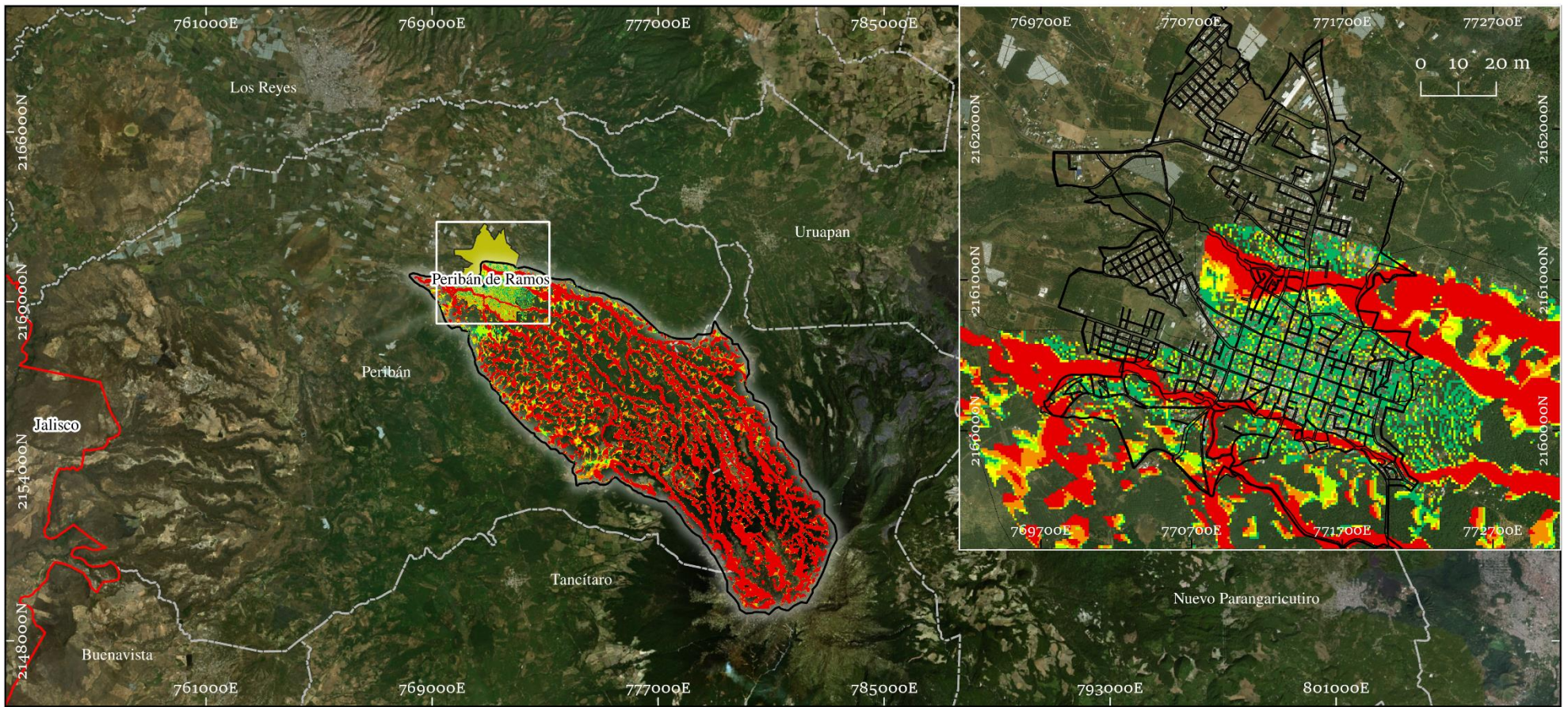


Figura 9-8 Peligro por inundación asociado a un Tr = 500 años

# Mapa de peligro por inundación para la ciudad de Peribán de Ramos, Michoacán de Ocampo

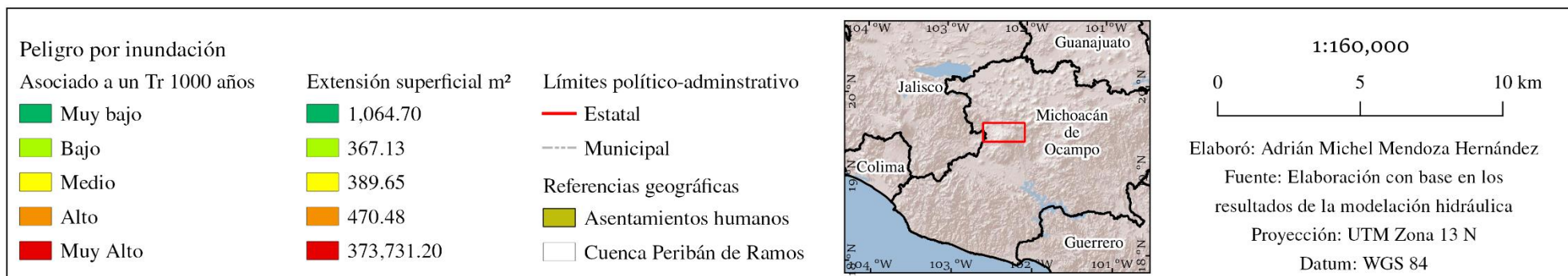
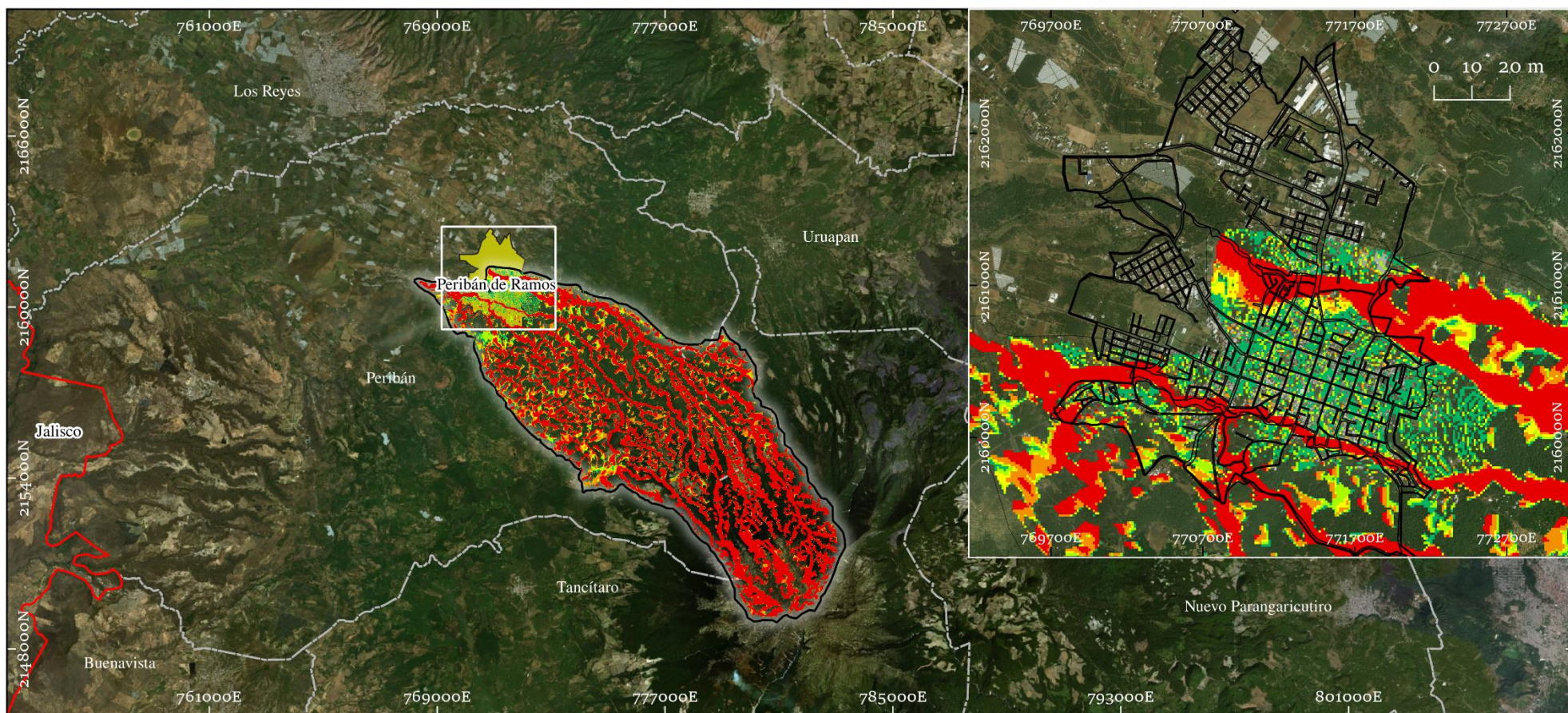


Figura 9-9 Peligro por inundación asociado a un Tr = 1000 años