



Capítulo 6

Caso de estudio



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.



6.1 Selección del área de estudio

La metodología propuesta es aplicable a cualquier ciudad con problemas de inundaciones de la cual se cuente con la información requerida, para la comprobación de la hipótesis del presente trabajo se aplicó a la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México.

La ciudad de Chihuahua presenta recurrentes afectaciones por inundaciones en diversas zonas, ver **Figura 24**, asociadas con lluvias convectivas, por lo que es factible evaluar los daños provocados por estos eventos. Otro elemento a favor es la disponibilidad de información necesaria para la aplicación de la metodología, proporcionada por dependencias gubernamentales y entidades particulares; por último, el reconocimiento previo de la zona de estudio permitió un mejor desarrollo de este trabajo.



Figura 24.- Inundaciones en Chihuahua, Chih. de 2013-2016. Fuente: a: (CN, 2013), b : (LCDCh, 2014), c: (López-Dóriga Digital, 2015), d: (Redacción SDPNoticias, 2016), e: (Chihuahua, 2017), f: (Guitérrez, 2018).



6.2 Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Chihuahua se ubica en el centro del estado del mismo nombre del cuál es la capital, ver **Figura 25**, cuenta con 878,062 habitantes y un área aproximada de 222.25km². Junto con los municipios de Aldama y Aquiles Serdán forma parte de la Zona Metropolitana de Chihuahua (Inegi, 2015). Hidrológicamente y administrativamente pertenece a la región hidrológico-administrativa IV, Río Bravo, específicamente a la subregión RH24K, ver **Figura 26**.

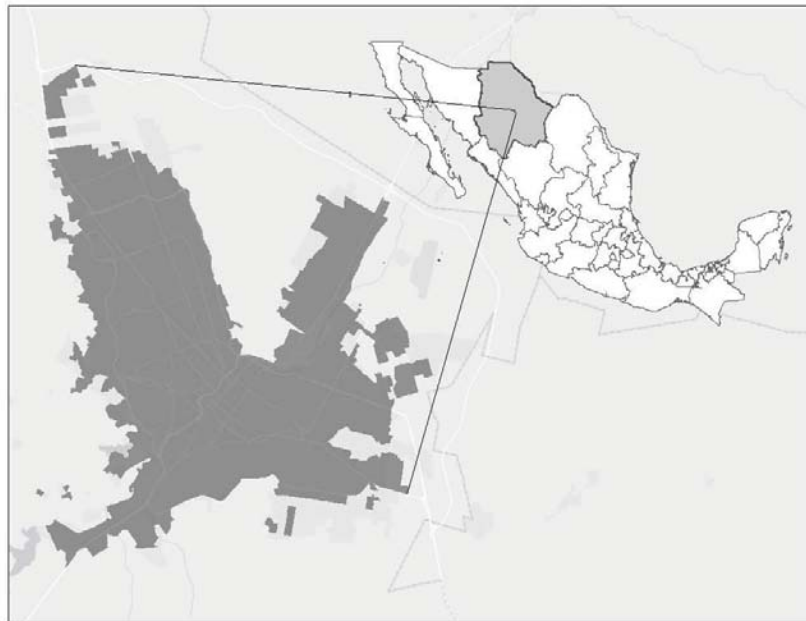


Figura 25.- Macro localización Chihuahua, Chih. Fuente: elaboración propia con información de (Conavi, s.f.).

En el Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua (PSMAP), describe la hidrografía de la subcuenca RH24K de Chihuahua (Chavarría Licón, s.f.):

La región RH24K está definida por las coordenadas 28° 35' a 28° 51' de latitud norte y 106° 03' a 106° 17' de longitud este. Hidrológicamente abarca parcialmente la cuenca del río Chuvíscar hasta la Boquilla de Aldama (28° 49.182'N, 105° 55.311'O), cubriendo una superficie de 2,682km², dividida en 4 cuencas: río Sacramento, río Chuvíscar zona alta, río Chuvíscar zona baja y arroyo Los Nogales Sur; incluye las subcuencas de dos ríos: Sacramento y Chuvíscar y



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

de los arroyos La Cantera, El Rejón, El Saucito, Picacho, El Mimbres Norte, El Mimbres Sur, Galeras Norte, Galeras Sur, Magallanes, Las Malvinas, El Barro, La Canica, Chamizal, La Manteca, San Jorge, Los Nogales Norte, Los Nogales Sur y Cacahuatal, entre otros de menos influencia. Políticamente se ubica en su mayor parte dentro del municipio de Chihuahua y en menor proporción en los municipios de Aldama y Aquiles Serdán.

Dentro de la zona se ubican 4 presas aguas arriba de la ciudad de Chihuahua, 3 de ellas relativamente dentro de la zona urbana aguas arriba del inicio del río Chuvíscar en la zona urbana: El Rejón, Chuvíscar y Chihuahua; y la San Marcos fuera de la zona urbana, agua arriba de la cuenca del río Sacramento.

En el mismo documento (Chavarría Licón, s.f.) describe la fisiografía de la zona:

Es una zona en la que sobresalen cordilleras y valles alargados con una orientación general sensiblemente noroeste-sureste. La geomorfología de la zona de estudio está constituida por sierras, lomeríos suaves y planicies ligeramente inclinadas.

Las sierras están constituidas en mayor proporción por rocas ígneas y en menor por sedimentarias. Presentan elevaciones que van de 2,300 a 1,500 msnm. Los lomeríos suaves se constituyen por rocas sedimentarias continentales constituidos de cantos rodados, gravas, arenas y arcillas como depósitos de pie de monte y abanicos aluviales, con elevaciones que varían de 1,500 a 1,450msnm.

En el área se localizan dos planicies, al norte de la ciudad de Chihuahua y al este de la misma, respectivamente; la primera ligeramente inclinada hacia el sur y la segunda hacia el norte, ambas con pendiente aproximada de 0.005%, con una elevación del orden de 1,200msnm. Están compuestas por sedimentos continentales de arcilla, arena y grava como depósitos de llanura de inundación, aluviales y fluviales.

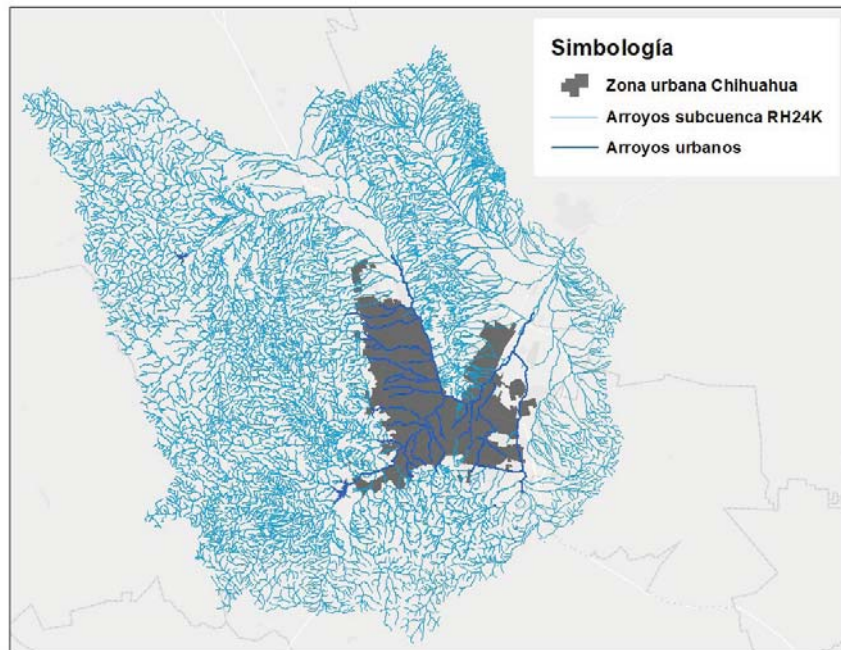


Figura 26.- Red de drenaje de subcuenca RH24K de Conagua. Fuente: elaboración propia con información de (SIATL, s.f.)

6.3 Pre proceso de información

6.3.1 Cuencas de aportación y microcuencas

Con base en dos Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) en formato ráster: El Continuo Mexicano de Elevaciones (CEM) de Inegi (Inegi, s.f.) y el Modelo Digital de Terreno (MDT) del Instituto Municipal de Planeación del municipio de Chihuahua (Implan), realizado con base en un vuelo fotogramétrico del año 2014, proporcionado de manera directa por el mismo instituto, ver **Figura 27**; y el apoyo de las herramientas de manejo de información geográfica hidrológica incluida en el programa PCSWMM® (*Watershed delineation*), se delimitaron las cuencas de la ciudad de Chihuahua. Con el fin de optimizar el pre proceso de información y el tiempo de simulación se eligieron únicamente las cuencas en las que se presentan más afectaciones por inundaciones y tienen diferentes niveles socioeconómicos, éstas son: Afluente la Cantera (AC), Cerro Prieto(CP), El Álamo(AL), El Mimbres Norte(MN), EL Mimbres Sur(MS), El Saucito(SA), Galera Norte(GN), Galera Sur(GS), Lomas de Santuario(LS), Los Arcos(LA), Magallanes(MG), María de los Ángeles(MA), Plaza de Toros(PT), Real de Minas(RM); ver **Figura 28**.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

La nomenclatura de las cuencas se asignó acorde a lo establecido por Inegi. En el caso de las cuencas Cerro Prieto, María de los Ángeles, Lomas del Santuario y Real de Minas no se contaba con nomenclatura previa, por lo que se les asignó el nombre según la colonia en la que se tiene mayor influencia o la avenida por la que escurre principalmente el arroyo.

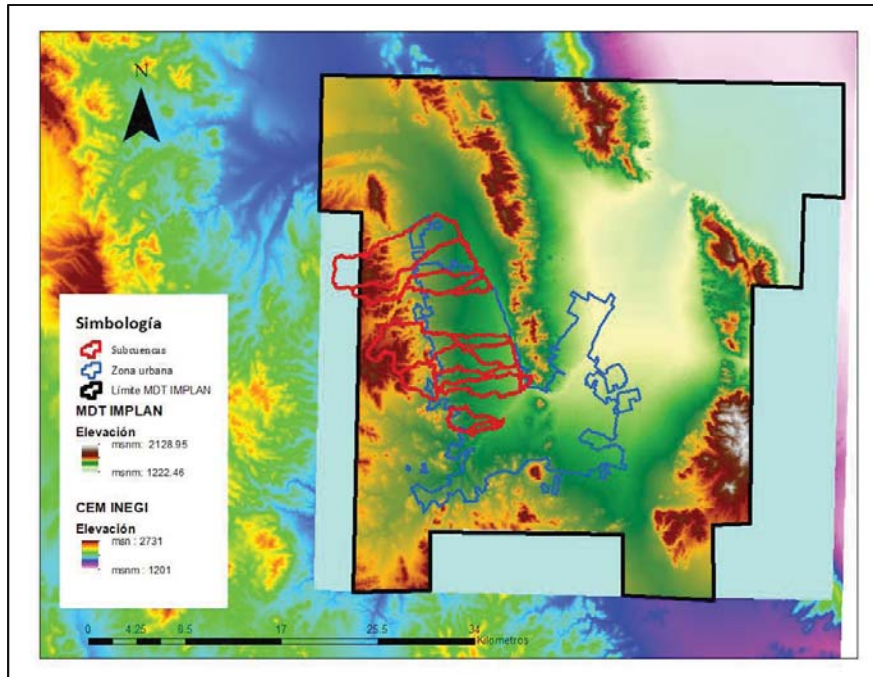


Figura 27.- Modelo Digital de Terreno Implan y Continuo Mexicano de Elevaciones Inegi, Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se delimitaron las cuencas de aportación y las microcuencas, para la zona urbana y parte de las cuencas de aportación se utilizó el MDT, para la parte alta de las cuencas de aportación que quedaron fuera del MDT se usó el CEM. Se priorizó el uso del MDT sobre el CEM, ya que el primero contaba con una resolución espacial de celdas de 1m y el segundo de 15m.

Siguiendo la recomendación de (IMTA, 2015), se buscó que el área promedio de las microcuencas fuera aproximadamente de 0.01km^2 (1 hectárea), una vez delimitadas se obtuvo un área promedio de 0.015km^2 . Por su parte, las cuencas de aportación CEM tuvieron un área promedio de 0.3km^2 , ver **Figura 29**. En la **Tabla 9**, se muestran las áreas y número de microcuencas contenidas en cada subcuenca a estudiar.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

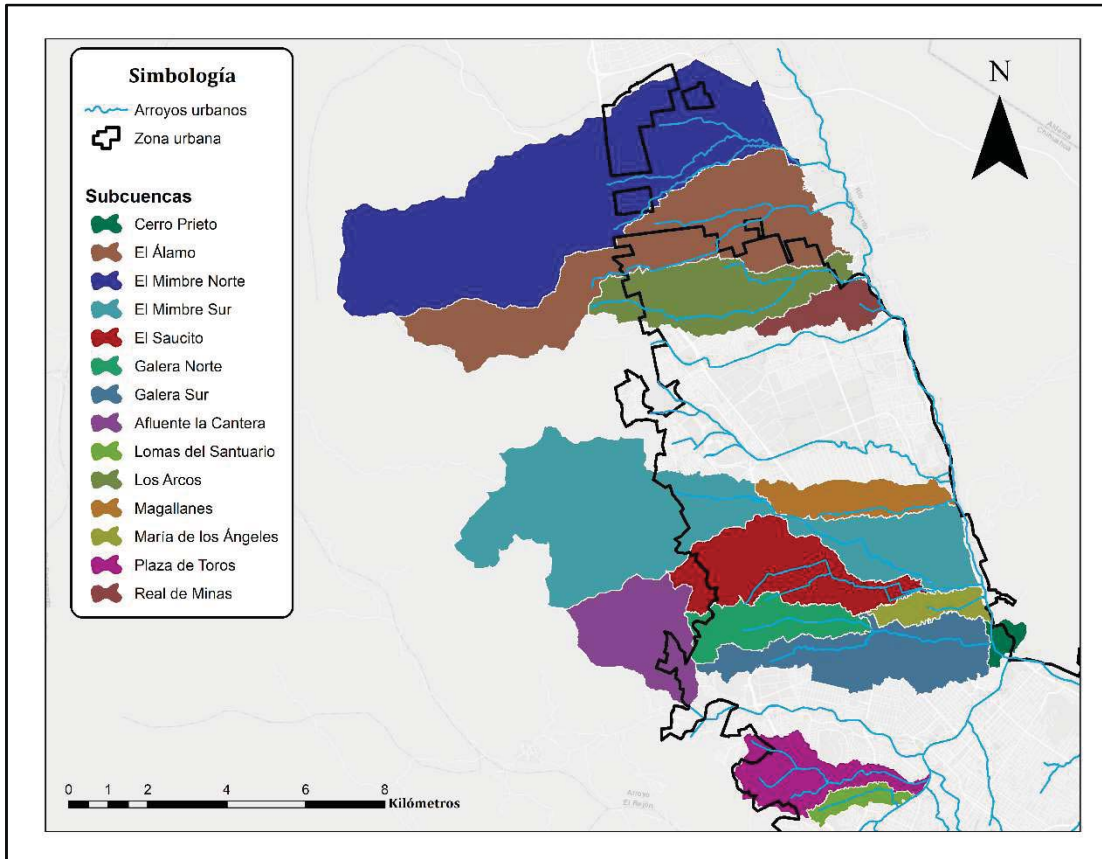


Figura 28.- Subcuencas de estudio. Fuente: elaboración propia.

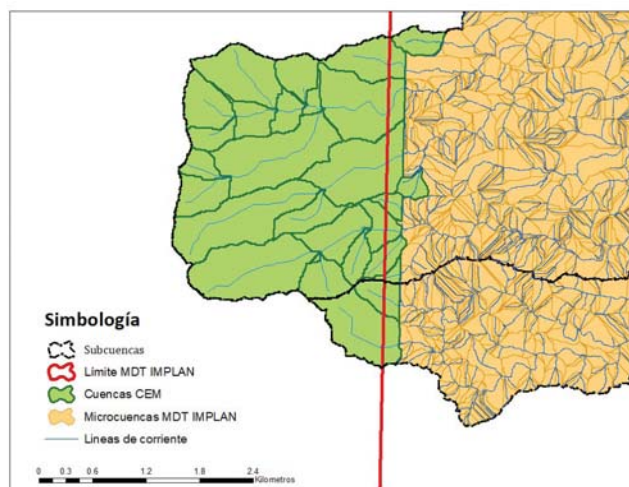


Figura 29.- Cuencas de aportación CEM INEGI. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Tabla 9.- Área y número de microcuencas de cada subcuenca. Fuente: elaboración propia.

Cuenca	Área (km ²)	Número de microcuencas
Afluente la Cantera	6.91	468
Cerro Prieto	0.83	58
El Álamo	18.65	1,189
El Mimbres Norte	32.86	1,613
El Mimbres Sur	26.23	1,601
El Saucito	8.64	665
Galera Norte	4.40	376
Galera Sur	8.70	669
Lomas del Santuario	1.85	116
Los Arcos	8.50	618
Magallanes	3.94	281
María de los Ángeles	1.88	118
Plaza de Toros	5.10	379
Real de Minas	2.43	181
Total	124.02	7,864

6.3.2 Tormenta de diseño

6.3.2.1 Información disponible

Se comenzó revisando la información disponible en la zona para determinar la manera de construir la tormenta de diseño. Existen cuatro fuentes de información de precipitación en la zona de estudio:

1. **Isoyetas de precipitación Cenapred-UNAM:** elaboradas en el 2006 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM con el fin de ser usadas para la creación de mapas y atlas de riesgo por inundaciones en el país. La información utilizada para su elaboración fue obtenida del CLICOM del SMN correspondiente a 2,243 estaciones pluviométricas en todo el país con más de 20 años de datos, en el estado de Chihuahua se usaron 58 estaciones. Se identificaron los valores máximos diarios de cada estación, se validaron dichos valores con lo que se creó una regionalización de cuencas homogéneas y mediante un análisis estadístico de funciones de distribución de probabilidad, extrapolaron los datos normalizados para diferentes periodos de retorno, posteriormente aplicaron el método de Chen Cheng-Lung y distribuyeron los datos de manera espacial con una resolución de



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

1km² apoyándose en un sistema de información geográfica (Cenapred/II UNAM, 2006).

2. **Isoyetas de precipitación Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):** fueron creadas con base en información pluviográfica y de alturas máximas de lluvia de las estaciones pluviométricas del país, cubriendo aquellas regiones donde la información es muy escasa (SCT, 2015). Sin embargo, no se menciona que dependencia las realizó, la cantidad de estaciones utilizadas, periodos de registro, técnicas de manejo de datos ni método de creación de las isoyetas.
3. **Red de EMAs de la zona de estudio:** conformada por 10 EMAs de la UACH y 1 del aeropuerto General Roberto Fierro Villalobos (CUU). Cuentan con datos de altura de precipitación acumulada (mm) a cada 10 minutos, la del aeropuerto tiene registros desde 1973 (42 años de registro) y las demás a partir del 2015 o posterior (3 años de registro o menos) (Wundermap, 2017), ver **Figura 31**.

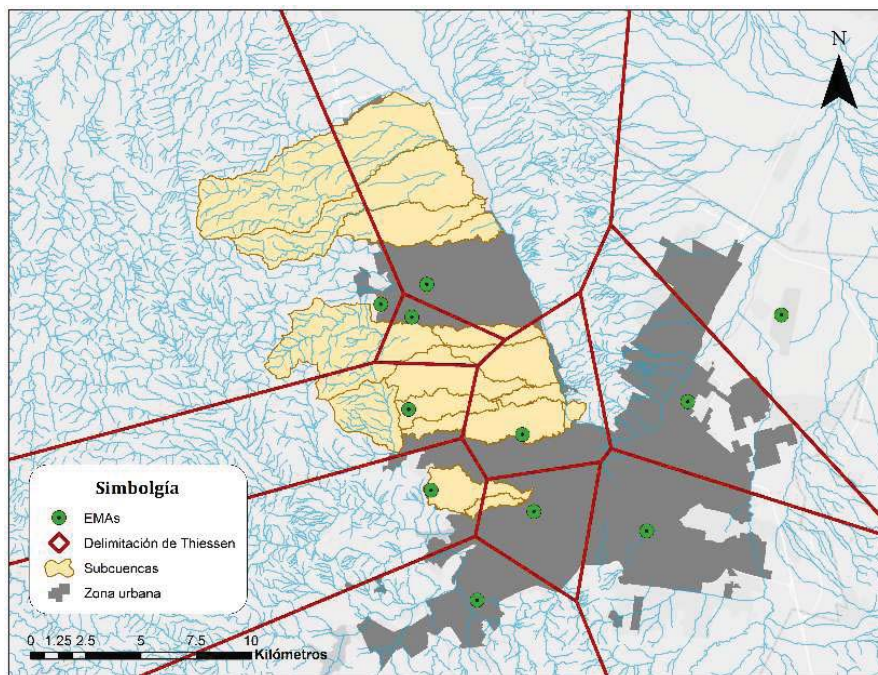


Figura 30.- Red de EMAs de zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos de (Wundermap, 2017).



- Red climatológica convencional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Conagua:** cuenta con cinco estaciones climatológicas convencionales cerca de la zona de estudio con información de altura de precipitación diaria acumulada (mm) de 1951 a 2016 (66 años de registro).

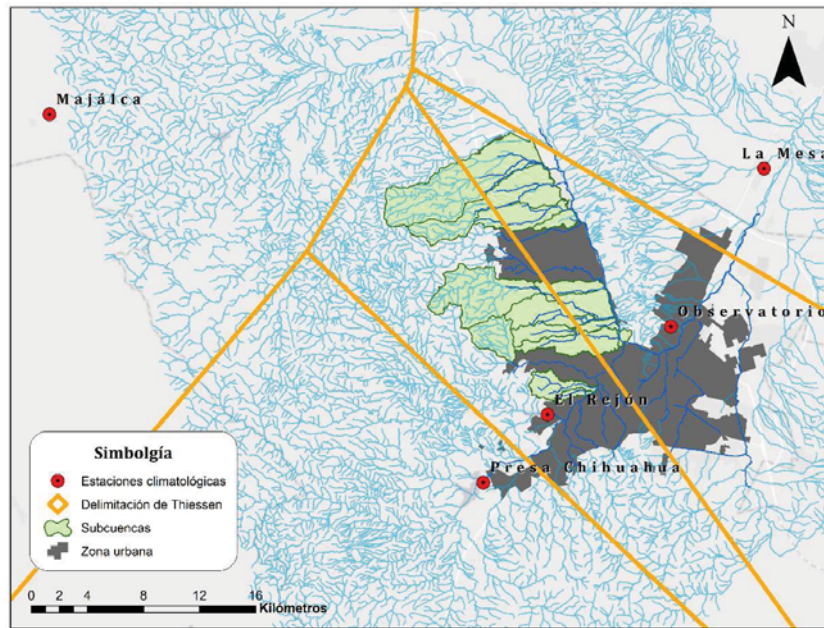


Figura 31.- Estaciones climatológicas convencionales SMN. Fuente: elaboración propia.

6.3.2.2 Selección de información

La fiabilidad de las isoyetas SCT es incierta debido a la falta de información respecto a su elaboración. La red de EMAs carece de años de registro para la creación de la tormenta de diseño, 10 años por lo menos (Campos Aranda, 1998).

En el caso de las isoyetas Cenapred-UNAM, para su elaboración se usó información de fuente oficial y el proceso de manejo de datos y creación de isoyetas concuerda con lo propuesto por (Campos Aranda, 2010). Sin embargo, no se tiene información sobre que estaciones cercanas a la zona de estudio se consideraron para su elaboración, asimismo se utilizaron únicamente 20 años de registro.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Por lo anterior, se seleccionó la información de la red de estaciones climatológicas convencionales a cargo de la Conagua al ser la información de fuente oficial con la mayor cantidad de años de registro en la zona de estudio.

Las estaciones climatológicas utilizadas, su clave, coordenadas y años de registro se muestran en la **Tabla 10**, y su ubicación se muestra en la **Figura 31**.

Tabla 10.- Estaciones climatológicas convencionales. Fuente: elaboración propia.

Estación	Clave CONAGUA	Clave CLICOM	latitud	Longitud	Nº de años de registro
Chihuahua (Observatorio)	QIJCH	-	28.67077°	-106.0306°	66
El Rejón	ERECH	-	28.61333°	-106.1199°	47
La Mesa	C08270	-	28.77306°	-105.9636°	42
Majálca	C08099	-	28.80327°	-106.4859°	36
Presa Chihuahua	-	8270	28.56914°	-106.1663°	21

Se seleccionaron estas estaciones al ser las más cercanas al área de estudio. En el caso de la estación Majálca, se encuentra a 50km de la parte alta de las cuencas de aportación, sin embargo, se seleccionó debido a que por su ubicación serrana presenta lluvias similares a la zona serrana de las cuencas de aportación de la zona de estudio. Los datos de la estación Presa Rejón fueron obtenidos de la base de datos CLICOM (Conacyt, 2012), los de las otras 4 estaciones fueron proporcionados de manera digital por la Delegación Chihuahua de la Conagua. En la **Tabla 11** se muestran los valores máximos anuales de cada estación.

6.3.2.3 Manejo de información de estaciones climatológicas

Como primer paso, se realizaron las pruebas de homogeneidad de *Helmert* y de *Las Secuencias* a la serie de datos de la estación Observatorio para comprobar si la serie es homogénea entre sí; es decir, que pertenece a una única serie de datos y puede considerarse como una sola muestra. Esto debido a que en 1982 fue reubicada 5.4 km en el plano horizontal y 33m en el plano vertical, rango cercano a lo recomendado por el Servicio de Datos Ambientales de Estados Unidos (U.S.E.D.S, por sus siglas en inglés): menos de 8km horizontales y 30m verticales (Campos Aranda, 1998).



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Tabla 11.- Precipitación diaria máxima anual por estación (mm). Fuente: elaboración propia con datos de Conagua.

Año	Majálca	La Mesa	Presa Chihuahua	El Rejón	Observatorio	Año	Majálca	La Mesa	Presa Chihuahua	El Rejón	Observatorio
2016	100.00	44.20			56.40	1984	49.00	47.00	45.00		22.20
2015	78.00	33.00			35.00	1983	41.00	35.00	37.00		30.40
2014	80.00	42.00			50.50	1982	44.00	25.00	24.50		13.20
2013	69.00	63.00		92.00	92.00	1981	27.00	36.00	50.50		35.00
2012	36.00	63.00		64.70	64.70	1980	140.00	66.00	39.50		64.00
2011	42.00	36.00		38.80	38.80	1979	120.00	40.00	73.00		71.50
2010		34.00		60.00	60.00	1978	37.00	70.00	65.00		67.20
2009		33.00		27.50	26.70	1977	80.00	33.00	40.00		31.80
2008	45.00	28.00		59.10	47.50	1976	36.00	58.00	93.00		80.60
2007	66.00	36.00	26.30	29.60	28.20	1975	53.00	80.00	37.50		38.00
2006	55.00	42.00	23.20	27.00	27.00	1974			65.00		51.00
2005	52.00	29.00	64.50	57.30	62.10	1973	110.00		56.50		64.50
2004	63.00	37.00	99.00	91.50	91.40	1972	50.00		25.50		34.90
2003	45.00	60.00	65.00	48.00	45.00	1971	52.00		56.00		26.20
2002	50.00	25.50	42.80	20.50	33.00	1970	45.00		28.00		30.50
2001		22.50	45.00	53.30	61.00	1969	40.00		44.00		49.00
2000		31.00	44.00	68.00	60.00	1968	45.00		73.00		60.30
1999		27.00	54.00	55.00	71.30	1967	55.00		34.00		43.00
1998		23.00	44.00	28.90	30.40	1966	70.00		116.50		70.00
1997		31.00	28.60	32.00	32.60	1965	60.00		52.50		42.50
1996		20.00	57.70	77.60	85.30	1964	40.00		27.50		19.00
1995		68.00	88.40	86.50	112.90	1963	60.00		42.00		62.00
1994		13.00	20.00	24.30	32.20	1962			21.00		23.00
1993		7.00	30.20		28.20	1961			7.50		20.00
1992		32.00	40.80	36.00	44.30	1960					25.60
1991		26.00	51.00		37.80	1959					24.60
1990		35.00	101.00		80.00	1958					31.50
1989		45.00	50.50		65.90	1957					23.60
1988		54.00	21.80		35.00	1956					30.60
1987		68.00	69.50		51.80	1955					48.00
1986	64.00	48.00	51.00		54.40	1954					70.00
1985	70.00	80.00	46.00		40.40	1953					11.00
						1952					34.70
						1951					18.00
Prom.	60.25	41.10	49.33	51.31	46.20						

Prueba de estadística de Helmert

Esta prueba permite identificar “saltos” en la serie de datos respecto a su promedio o tendencia. Consiste en un análisis del signo de las desviaciones de cada evento de la serie respecto a su valor medio, identificando secuencias (S), cuando la desviación de cierto signo es seguida por otra del mismo signo, y cambios (C), cuando la desviación es seguida por otra de signo contrario. Cada año, excepto el primero, definirá un cambio o secuencia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Entre menor sea la diferencia entre el número de Cambios y Secuencias, mayor será la homogeneidad. Al comparar la diferencia entre Cambios y Secuencias, la serie será homogénea o no según la ecuación **Ec. 16**, dónde n es el número de datos analizados:

$$S - C \leq \pm \sqrt{n - 1} \quad \text{Ec. 16}$$

En total se tuvieron 31 cambios y 34 series:

$$31 - 34 \leq \pm \sqrt{66 - 1}$$
$$3 \leq \pm 8.06$$

Debido a que se cumple la relación se determina una muestra homogénea. En los anexos se muestra la tabla completa de secuencias y cambios.

Prueba estadística de Las Secuencias

Se aplicó el procedimiento descrito por (Campos Aranda, 1998):

1. Se obtiene la mediana;
2. Se compara si cada dato es mayor o menor que la mediana; es decir, si está arriba (A) o está abajo (B);
3. Se contabiliza la cantidad total de secuencias. Esto es: Cada vez que la comparación anterior es de igual valor al actual, arriba o abajo, se crea una secuencia;
4. Se compara el número de secuencias con el rango de la "tabla 4.8" de (Campos Aranda, 1998).

Dicha tabla contiene valores para muestras con número de datos a cada 10 valores. Debido a que la muestra es de 66 datos, se obtuvo el promedio de los límites de los valores de 60 y 70 datos. El rango para la serie de 66 datos fue de 28.5 a 38.5 secuencias. Para la serie de datos de la estación Observatorio se obtuvieron 34 secuencias, por tanto, se considera como una muestra homogénea con base en esta prueba. En los anexos se muestra la tabla con la que se obtuvieron las secuencias de esta prueba.



Completado de datos

Se completaron las series de las cuatro estaciones que presentaban registros incompletos, aplicando la técnica de Relación Normalizada aplicando la **Ec. 17**, debido a que, para cada caso, la diferencia entre el promedio de la serie de datos a completar y el promedio de la serie de datos con la que se va a completar, difieren en más del 10% entre ellos (Campos Aranda, 1998).

$$P_x = \frac{1}{n} * \sum_1^n \frac{N_x}{N_i} * P_c \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

- P_x = Dato que se desea completar, en este caso la precipitación diaria máxima anual de la estación faltante;
- n = Cantidad de datos con los que se va a completar; es decir, con cuantas estaciones auxiliares se va a completar la estación faltante;
- N_x = Valor promedio de la serie de datos de la estación faltante;
- N_i = Valor promedio de una estación auxiliar;
- P_c = Valor de la estación auxiliar en el año o mes, según sea el caso, en el que se quiere completar el dato.

Los datos completados se muestran en la **Tabla 12**.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Tabla 12.- Completado de datos de precipitación diaria máxima anual por estación (mm).
Fuente: elaboración propia.

Año	Majálca	La Mesa	Presa Chihuahua	Presa Rejón	Observatorio	Año	Majálca	La Mesa	Presa Chihuahua	Presa Rejón	Observatorio
2016	100.00	44.20	65.04	67.67	56.40	1984	49.00	47.00	45.00	42.97	22.20
2015	78.00	33.00	46.94	48.84	35.00	1983	41.00	35.00	37.00	37.72	30.40
2014	80.00	42.00	56.61	58.89	50.50	1982	44.00	25.00	24.50	27.21	13.20
2013	69.00	63.00	79.69	92.00	92.00	1981	27.00	36.00	50.50	39.84	35.00
2012	36.00	63.00	59.09	64.70	64.70	1980	140.00	66.00	39.50	78.45	64.00
2011	42.00	36.00	39.08	38.80	38.80	1979	120.00	40.00	73.00	76.88	71.50
2010	66.18	34.00	54.18	60.00	60.00	1978	37.00	70.00	65.00	65.29	67.20
2009	38.49	33.00	76.92	27.50	26.70	1977	80.00	33.00	40.00	46.57	31.80
2008	45.00	28.00	44.49	59.10	47.50	1976	36.00	58.00	93.00	72.34	80.60
2007	66.00	36.00	26.30	29.60	28.20	1975	53.00	80.00	37.50	56.56	38.00
2006	55.00	42.00	23.20	27.00	27.00	1974	72.95	49.77	65.00	62.13	51.00
2005	52.00	29.00	64.50	57.30	62.10	1973	110.00	59.83	56.50	74.70	64.50
2004	63.00	37.00	99.00	91.50	91.40	1972	50.00	28.80	25.50	35.96	34.90
2003	45.00	60.00	65.00	48.00	45.00	1971	52.00	35.15	56.00	43.88	26.20
2002	50.00	25.50	42.80	20.50	33.00	1970	45.00	27.05	28.00	33.78	30.50
2001	57.52	22.50	45.00	53.30	61.00	1969	40.00	35.85	44.00	44.76	49.00
2000	64.32	31.00	44.00	68.00	60.00	1968	45.00	48.39	73.00	60.41	60.30
1999	65.78	27.00	54.00	55.00	71.30	1967	55.00	34.70	34.00	43.32	43.00
1998	40.26	23.00	44.00	28.90	30.40	1966	70.00	69.03	116.50	86.19	70.00
1997	40.12	31.00	28.60	32.00	32.60	1965	60.00	40.83	52.50	50.97	42.50
1996	75.54	20.00	57.70	77.60	85.30	1964	40.00	22.37	27.50	27.93	19.00
1995	114.11	68.00	88.40	86.50	112.90	1963	60.00	43.69	42.00	54.55	62.00
1994	28.50	13.00	20.00	24.30	32.20	1962	26.74	18.98	21.00	23.70	23.00
1993	27.98	7.00	30.20	23.83	28.20	1961	13.39	12.02	7.50	15.01	20.00
1992	49.20	32.00	40.80	36.00	44.30	1960	33.39	22.77	27.33	28.43	25.60
1991	49.90	26.00	51.00	42.50	37.80	1959	32.08	21.88	26.26	27.32	24.60
1990	93.00	35.00	101.00	79.21	80.00	1958	41.08	28.02	33.63	34.99	31.50
1989	71.20	45.00	50.50	60.64	65.90	1957	30.78	20.99	25.20	26.21	23.60
1988	50.48	54.00	21.80	42.99	35.00	1956	39.91	27.22	32.67	33.99	30.60
1987	84.04	68.00	69.50	71.58	51.80	1955	62.60	42.70	51.25	53.31	48.00
1986	64.00	48.00	51.00	56.98	54.40	1954	91.29	62.27	74.74	77.75	70.00
1985	70.00	80.00	46.00	63.06	40.40	1953	14.35	9.79	11.74	12.22	11.00
						1952	45.25	30.87	37.05	38.54	34.70
						1951	23.47	16.01	19.22	19.99	18.00
Prom.	60.25	41.10	49.33	51.31	46.20						

Análisis de Frecuencias

Debido a la naturaleza aleatoria de los fenómenos naturales relacionados con la lluvia, es necesario modelarlos a través de un enfoque probabilístico, (Carlos A. Escalante Sandoval, 2002). Por esto, se realizó un análisis de frecuencias de los datos de precipitación aplicando siete funciones de distribución de probabilidad (FDP) a cada estación para obtener valores correspondientes a periodos de retorno mayores a los 66 años de registro, necesarios para la construcción de las curvas I-D-Tr (Conagua, 2015b).



Funciones de Distribución de Probabilidad

Representa la ocurrencia de una variable aleatoria en un rango predefinido a través de una función de densidad de probabilidad (Conagua, 2015b), consiste en ajustar una ecuación (FDP) a una serie de puntos en coordenadas x,y permitiendo extrapolar valores a periodos de retorno mayores a los de registro. Se aplicaron las siguientes FDP en una hoja de cálculo en Excel:

- Distribución Normal (Gauss);
- Log-Normal con 2 parámetros;
- Log-Normal con 3 parámetros;
- Exponencial con 2 parámetro;
- Gumbel;
- Gumbel doble;
- Pearson o Gamma III;

Selección de FDP

Se realizó el análisis de frecuencias a los datos de cada estación según la metodología descrita por (Conagua, "2015"), seleccionando la FDP con el menor Error Estándar de Ajuste (EEA), el cual compara los valores de los datos medidos respecto a los datos estimados por cada FDP, tomando en cuenta la cantidad de parámetros que utiliza cada FDP (Conagua, "2015"), mediante la **Ec. 18**:

$$EEA = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - X_0)^2}{n - np}} \quad \text{Ec. 18}$$

Dónde:

- **n** : número de datos analizados;
- **np** : Número de parámetros de la FDP;
- **X_i** : Es el "i-gésimo" dato registrado en la serie de tiempo;
- **X_0** : Es el "i-gésimo" dato calculado con la FDP.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Los resultados del EEA de cada estación se muestran en la **Tabla 13** y los datos de precipitación diaria máxima anual extrapolados con su respectiva FDP se muestran en la **Tabla 14**. Asimismo, en la **Figura 32**, **Figura 33**, y **Figura 34**, se muestran las funciones de distribución de probabilidad con mejor ajuste a la serie de datos de cada estación.

Tabla 13.- Error Estándar de Ajuste de FDP por estación en porcentaje. Fuente: elaboración propia.

Estación\FDP	Distribución Normal	Log Normal 2 parámetros	Log Normal 3 parámetros	Exponencial 2 parámetros	Gumbel	Gumbel doble	Pearson o Gamma III
Majálca	0.85	0.29	0.60	0.59	0.39	0.43	0.42
La Mesa	0.45	0.45	0.37	0.60	0.34	0.38	0.32
Presa Chihuahua	0.60	0.37	0.43	0.62	0.29	0.44	0.30
El Rejón	0.38	0.65	0.35	0.88	0.50	0.49	0.34
Observatorio	0.61	0.37	0.45	0.63	0.35	0.50	0.35

Tabla 14.- Datos de precipitación diaria máxima anual (mm), extrapolados con Funciones de Distribución de Probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Periodo de retorno (años)	Función de mejor ajuste para cada estación				
	Log Normal 2 parámetros	Pearson o Gamma III	Gumbel	Pearson o Gamma III	Gumbel
	Majálca	La Mesa	Presa Chihuahua	El Rejón	Observatorio
1000	204.29	107.53	158.50	120.32	152.14
500	185.77	101.43	146.41	114.79	140.53
200	162.23	93.08	130.41	107.07	125.17
100	145.06	86.46	118.29	100.83	113.53
50	128.38	79.53	106.12	94.15	101.84
20	106.88	69.70	89.88	84.41	86.25
10	90.82	61.52	77.33	76.02	74.20
5	74.56	52.31	64.25	66.21	61.64
2	51.13	36.70	44.50	48.45	42.67



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

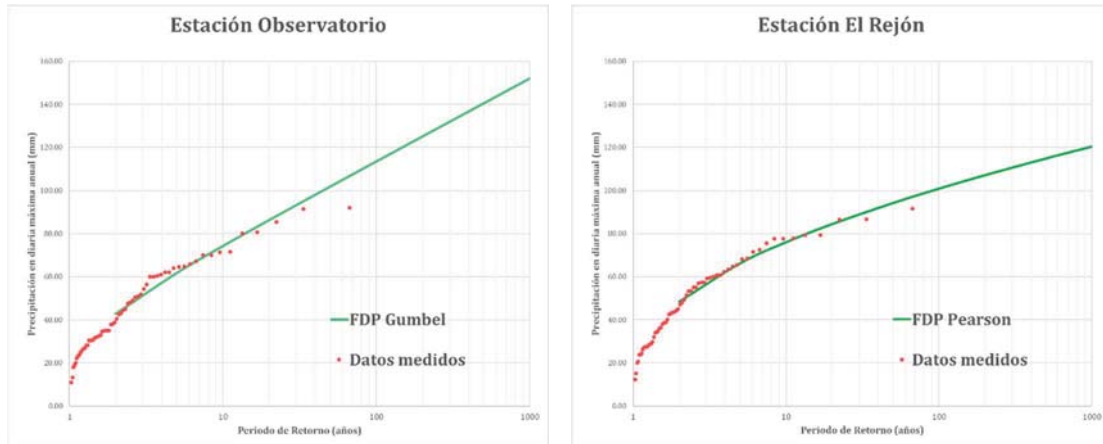


Figura 32.- FDP estación Observatorio y estación El Rejón. Fuente: elaboración propia.

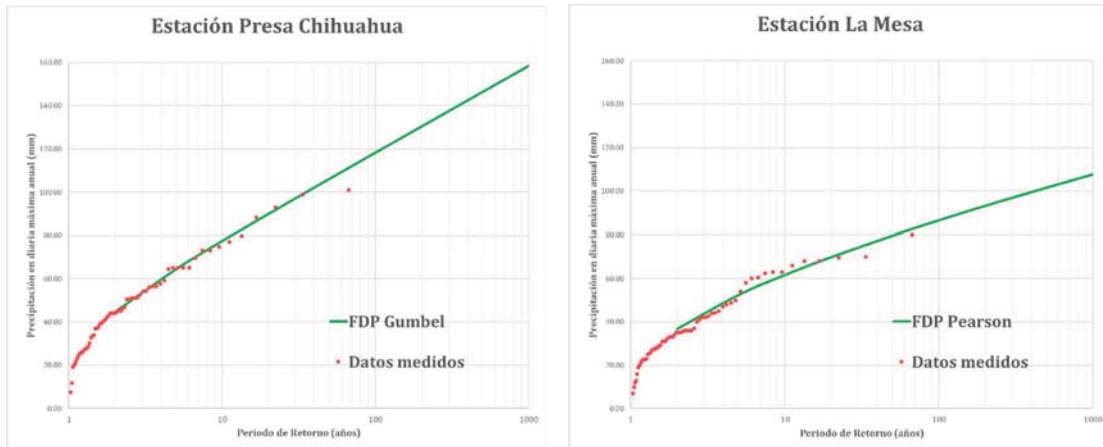


Figura 33.- FDP estación Presa Chihuahua y estación La Mesa. Fuente: elaboración propia.

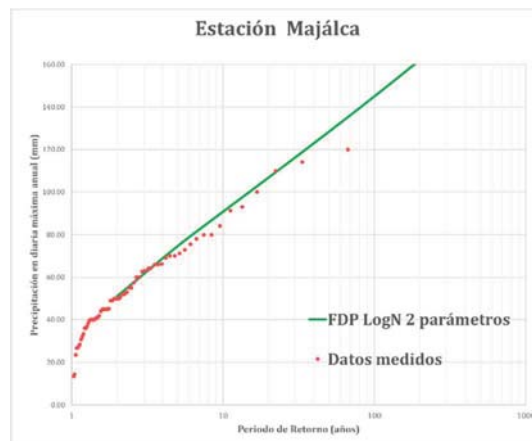


Figura 34.- FDP estación Majálca. Fuente: elaboración propia.



6.3.2.4 *Curvas Intensidad - Duración - Periodo de Retorno (I-D-Tr)*

Con los datos resultados del análisis de frecuencias se construyeron las curvas I-D-Tr mediante dos métodos:

- Chen Cheng-Lung;
- F.C. Bell modificado.

A continuación, se muestra el empleo de los métodos para los datos de la estación Observatorio, en los anexos se muestran las tablas y gráficas de cada estación.

6.3.2.5 *Método I-D-Tr de Chen Cheng-Lung*

(Chen-Lung, 1983) desarrolló un método para calcular las curvas I-D-Tr, con base en los avances de (Bell, 1969), válida para periodos de retorno mayores a 1 año y duraciones entre 5 minutos y 24 horas, con base en la **Ec. 19** (Campos Aranda, 2010):

$$i_D^{Tr} = \frac{a * P_1^{10} * \log(10^{2-F} * Tr^{F-1})}{(D + b)^c} \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde:

- i_D^{Tr} : Intensidad de la lluvia a un periodo de retorno dado y duración dada (mm/h);
- P_1^{10} : Precipitación asociada con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 1 hora (mm);
- F : Cociente Lluvia-Frecuencia;
- D : Duración a la que se asocia la intensidad (minutos);
- Tr : Periodo de retorno al que se asocia la intensidad (años);

Los parámetros a, b y c que asoció Cheng-Lung a su fórmula se basan en una regresión polinomial, pueden ser obtenidos de sus gráficas o la **Ec. 20** y la **Ec. 21** respetando sus dominios de aplicación (Campos Aranda, 2010):



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

$$\begin{aligned} a &= 2.297536 + 100.0389R - 432.5438R^2 + 1256.228R^3 - 1028.902R^4 \\ b &= -9.845761 + 96.94864R - 341.4349R^2 + 757.9172R^3 - 598.7461R^4 \\ c &= -0.06498345 + 5.069294R - 16.08111R^2 + 29.09596R^3 \\ &\quad - 20.06288R^4 \end{aligned} \quad \text{Ec. 20}$$

Válida para $0.10 \leq R \leq 0.60$

$$\begin{aligned} a &= 21.03453 - 186.4683R + 825.4915R^2 - 1,084.846R^3 + 524.06R^4 \\ b &= 3.487775 - 68.13976R + 389.4625R^2 - 612.4041R^3 + 315.8721R^4 \\ c &= 0.2677553 + 0.9481759R + 2.109415R^2 - 4.827012R^3 \\ &\quad + 2.459584R^4 \end{aligned} \quad \text{Ec. 21}$$

Válida para $0.20 \leq R \leq 0.70$

Dicho parámetro R es el cociente lluvia duración, obtenido con la fórmula **Ec. 22**:

$$R = \frac{P_1^2}{P_{24}^2} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

- P_1^2 : Precipitación máxima con periodo de retorno de 2 años y duración de 1 hora (mm);
- P_{24}^2 : Precipitación máxima con periodo de retorno de 2 años y duración de 24 horas, diaria (mm);

La P_{24}^2 se obtuvo de los valores estimados con la FDP, multiplicándolo por un coeficiente de ajuste de pérdidas entre el momento de la lluvia y de la medición, con valor de 1.13 (Conagua, 2015b). La P_1^2 se obtuvo al multiplicar la P_{24}^2 por el factor de convectividad (Fc), el cual relaciona la precipitación acumulada diaria con la precipitación acumulada en 1 hora de tormenta. El factor depende del tipo de tormentas presentadas en la zona de



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

estudio. Se consideró el valor de 0.55 correspondiente a lluvia de tipo convectiva según lo presentado por (Baeza Ramírez, 2007), ver **Figura 35**.

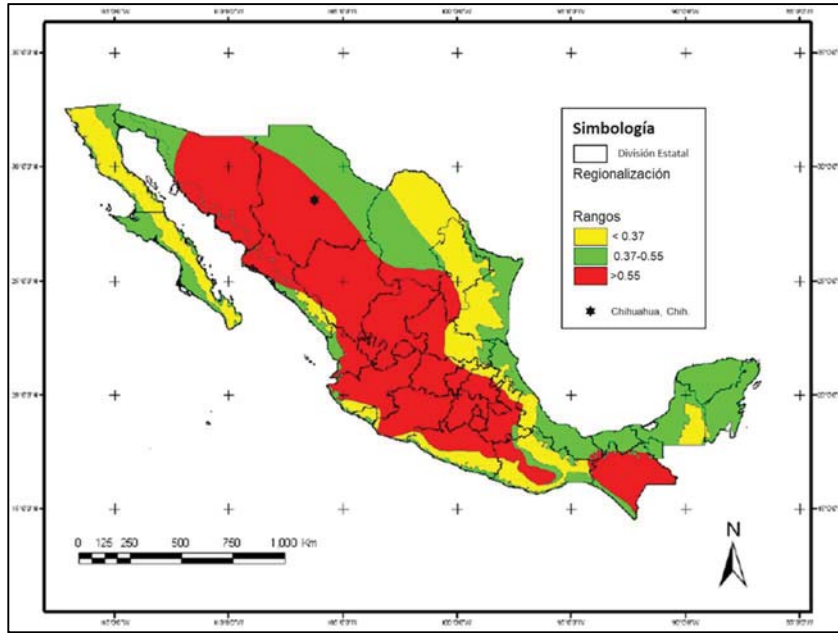


Figura 35.- Factor de convectividad para Chihuahua, Chih. Fuente: adaptación de (Baeza Ramírez, 2007).

En la **Tabla 15** se muestran los valores de precipitación máxima horaria anual correspondiente a los periodos de retorno mencionados en la metodología, obtenidas al aplicar el factor de convectividad.

Tabla 15.- Precipitación diaria máxima horaria (mm), obtenidas con factor de convectividad. Fuente: elaboración propia.

Periodo de retorno (años)	Estación				
	Majalca	La Mesa	Presa Chihuahua	Presas Rejón	Observatorio
1,000	112.36	59.14	87.18	66.18	83.68
500	102.17	55.79	80.53	63.14	77.29
200	89.22	51.19	71.73	58.89	68.85
100	79.78	47.56	65.06	55.45	62.44
50	70.61	43.74	58.37	51.78	56.01
20	58.78	38.33	49.43	46.42	47.44
10	49.95	33.84	42.53	41.81	40.81
5	41.01	28.77	35.34	36.42	33.90
2	28.12	20.19	24.47	26.65	23.47



**ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS
DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

Después, el cociente lluvia-Frecuencia F se obtiene con la siguiente fórmula **Ec. 23**:

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} \quad \text{Ec. 23}$$

Dónde:

- P_{24}^{100} : Precipitación máxima en 24 horas a un periodo de retorno de 100 años (mm);
- P_{24}^{10} : Precipitación máxima en 24 horas a un periodo de retorno de 10 años (mm);

Los resultados de los parámetros R , F , a , b y c se muestran en la **Tabla 16**.

Tabla 16.- Parámetros R , F , a , b y c ; método Cheng-Lung. Fuente: elaboración propia.

Tr (años)	$P_{24}^{TR_1}$ (mm)	$P_{24}^{TR_{24}}$ (mm)	$P_{24}^{TR_{24\text{máx}}}$ (mm)	R	F	Parámetro	Valor
2	23.471	42.674	48.221	0.487	1.530	a=	31.030
10	40.812	74.203	83.850	-	-	b=	10.245
100	-	113.531	128.289	-	-	c=	0.822

Los resultados de la aplicación de la fórmula general de Chen Cheng-Lung, variando el periodo de retorno y con duraciones a cada 5 minutos se muestran en la **Tabla 17** y la **Figura 36** muestra las curvas I-D-Tr para la estación Observatorio.

Generar datos con duración a cada 5 minutos hace viable el uso de los hietogramas de diseño en el programa de simulación hidrológica-hidráulica.



**ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS
DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

Tabla 17.- Intensidad de lluvia en mm/h, para diferentes duraciones y periodo de retorno; método Cheng-Lung para estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
5	85.00	113.48	135.02	156.57	185.04	206.59	228.13	256.60	278.15
10	67.33	89.89	106.95	124.01	146.57	163.63	180.70	203.25	220.32
15	56.16	74.98	89.21	103.44	122.26	136.49	150.72	169.54	183.77
20	48.41	64.63	76.90	89.17	105.39	117.66	129.93	146.14	158.41
25	42.69	57.00	67.82	78.64	92.94	103.76	114.58	128.88	139.70
30	38.28	51.11	60.81	70.51	83.34	93.04	102.74	115.57	125.27
35	34.77	46.42	55.23	64.05	75.69	84.51	93.32	104.97	113.78
40	31.90	42.59	50.67	58.76	69.45	77.53	85.62	96.30	104.39
45	29.51	39.40	46.87	54.35	64.24	71.72	79.20	89.08	96.56
50	27.48	36.69	43.65	50.62	59.82	66.79	73.75	82.96	89.93
55	25.74	34.36	40.89	47.41	56.03	62.55	69.08	77.70	84.22
60	24.22	32.34	38.48	44.62	52.73	58.87	65.01	73.13	79.27
65	22.89	30.56	36.36	42.17	49.84	55.64	61.44	69.11	74.91
70	21.71	28.99	34.49	40.00	47.27	52.77	58.28	65.55	71.05
75	20.66	27.58	32.82	38.06	44.98	50.22	55.45	62.37	67.61
80	19.72	26.32	31.32	36.32	42.92	47.92	52.91	59.52	64.52
85	18.86	25.18	29.96	34.74	41.06	45.84	50.62	56.94	61.72
90	18.09	24.14	28.73	33.31	39.37	43.95	48.54	54.60	59.18
95	17.38	23.20	27.60	32.01	37.83	42.23	46.63	52.46	56.86
100	16.73	22.33	26.57	30.81	36.41	40.65	44.89	50.49	54.73
105	16.13	21.53	25.62	29.71	35.11	39.20	43.28	48.69	52.77
110	15.57	20.79	24.74	28.69	33.90	37.85	41.80	47.02	50.96
115	15.06	20.11	23.92	27.74	32.79	36.61	40.42	45.47	49.29
120	14.59	19.47	23.17	26.86	31.75	35.45	39.14	44.03	47.73



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

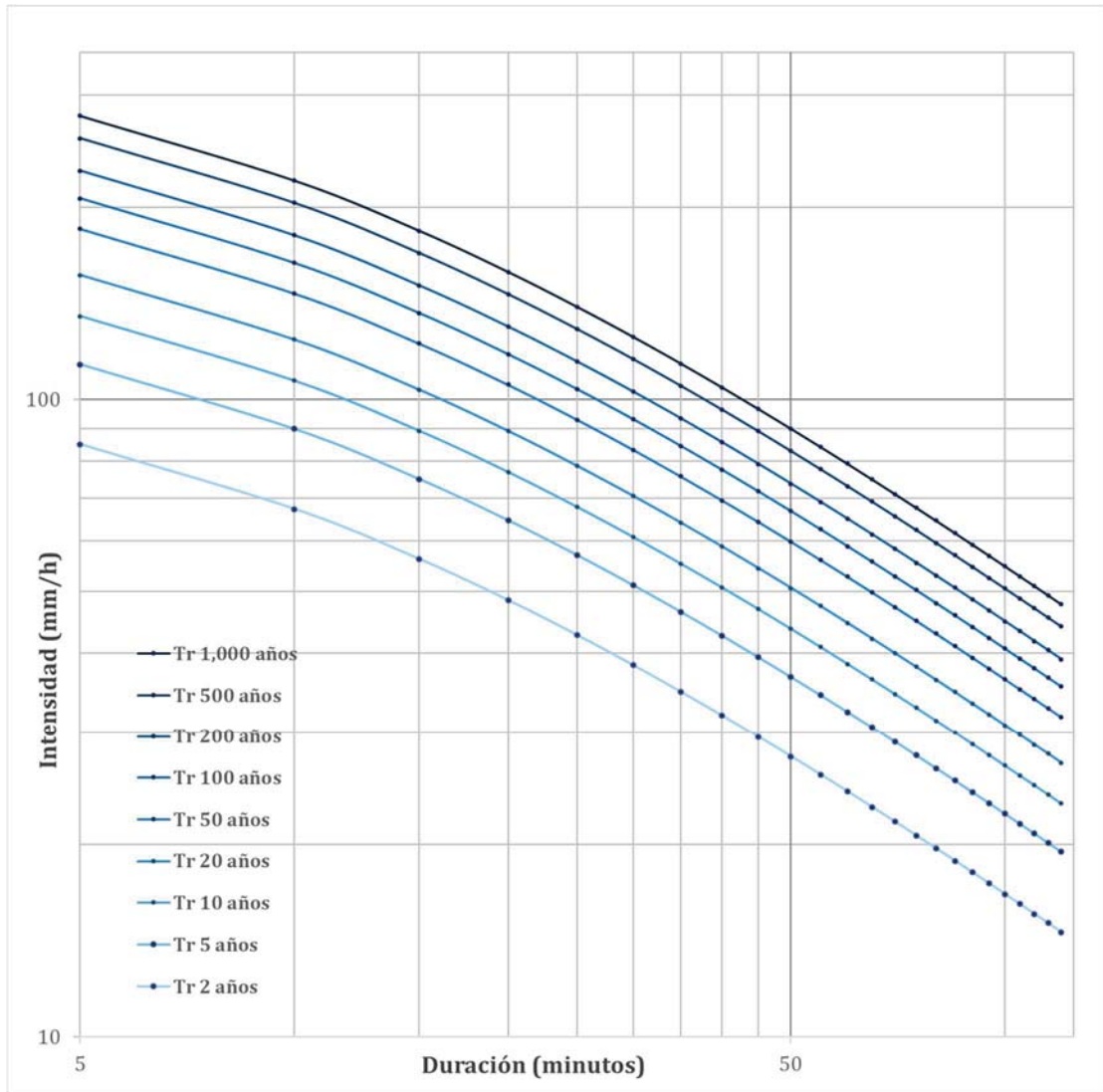


Figura 36.- Curvas I-D-Tr Método Chen Cheng-Lung, estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.



6.3.2.6 Método I-D-Tr de Bell modificado

La **Ec. 24** sirve para la construcción de las curvas I-D-Tr con duraciones entre 5 y 120 minutos y periodos de retorno de 2 a 100 años, propuesta por (Bell, 1969).

$$P_{Tr}^d = (0.21 \ln Tr + 0.52)(0.54 * d^{0.25} - 0.5) * P_2^{60} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

- P_{Tr}^d : Precipitación acumulada en una duración determinada y periodo de retorno dado (mm);
- P_2^{60} : Precipitación acumulada en 1 hora para el periodo de retorno de 2 años;
- Tr : Periodo de retorno deseado;
- d : Duración deseada;

Debido a la limitante en cuanto a periodo de retorno, (González & Domínguez Mora, 2013) modificaron la fórmula original de Bell, quitando el término influenciado por el periodo de retorno, dejando éste último como variable, ver **Ec. 25**:

$$P_{Tr}^d = (0.54 * d^{0.25} - 0.50)P_{Tr}^{60} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

- P_{Tr}^d : Precipitación acumulada en una duración determinada y periodo de retorno dado (mm);
- P_{Tr}^{60} : Precipitación máxima acumulada en 1 hora a diferentes periodos de retorno (mm);
- d : Duración (min);



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Los valores de P_{Tr}^{60} son los mostrados en la **Tabla 15**. Las precipitaciones acumuladas obtenidas con el método de Bell modificado para los periodos de retorno mencionados en la metodología se muestran en la **Tabla 19**, en la **Tabla 18** se muestran los valores de intensidad con este mismo método y en la **Figura 37** se muestran las curvas I-D-Tr construidas con el método de Bell Modificado

Tabla 19.- Precipitaciones acumuladas método Bell m., estación Observatorio (mm), Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
5	7.22	10.43	12.55	14.59	17.22	19.20	21.17	23.77	25.73
10	10.80	15.60	18.78	21.83	25.78	28.74	31.69	35.58	38.52
15	13.21	19.08	22.97	26.69	31.52	35.14	38.74	43.49	47.09
20	15.07	21.77	26.20	30.45	35.96	40.09	44.20	49.62	53.72
25	16.60	23.99	28.87	33.56	39.63	44.18	48.71	54.68	59.20
30	17.93	25.90	31.17	36.23	42.78	47.69	52.58	59.04	63.91
35	19.09	27.58	33.20	38.59	45.56	50.79	56.00	62.87	68.07
40	20.14	29.09	35.02	40.70	48.06	53.58	59.07	66.32	71.80
45	21.09	30.47	36.67	42.63	50.34	56.11	61.87	69.46	75.19
50	21.97	31.73	38.20	44.40	52.43	58.44	64.44	72.34	78.32
55	22.78	32.91	39.61	46.04	54.37	60.60	66.82	75.02	81.22
60	23.54	34.00	40.93	47.58	56.18	62.62	69.05	77.52	83.92
65	24.25	35.03	42.17	49.02	57.88	64.52	71.14	79.87	86.46
70	24.92	36.00	43.34	50.38	59.49	66.31	73.11	82.08	88.86
75	25.56	36.93	44.45	51.67	61.01	68.01	74.98	84.18	91.14
80	26.17	37.80	45.50	52.89	62.46	69.62	76.76	86.18	93.30
85	26.75	38.64	46.51	54.06	63.84	71.16	78.46	88.09	95.36
90	27.30	39.44	47.47	55.18	65.16	72.63	80.08	89.91	97.34
95	27.83	40.21	48.40	56.26	66.43	74.05	81.64	91.66	99.23
100	28.34	40.94	49.29	57.29	67.64	75.41	83.14	93.34	101.05
105	28.84	41.65	50.14	58.28	68.82	76.72	84.58	94.96	102.81
110	29.31	42.34	50.97	59.24	69.95	77.98	85.97	96.53	104.50
115	29.77	43.00	51.76	60.17	71.05	79.20	87.32	98.04	106.13
120	30.21	43.64	52.54	61.07	72.11	80.38	88.62	99.50	107.72

Tabla 18.- Intensidad de lluvia en mm/h a diferentes duraciones y periodo de retorno; método Bell m. para estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
5	86.60	125.10	150.59	175.04	206.69	230.40	254.03	285.20	308.76
10	64.82	93.63	112.71	131.01	154.69	172.44	190.13	213.46	231.09
15	52.83	76.31	91.86	106.78	126.08	140.85	154.96	173.98	188.35
20	45.20	65.30	78.60	91.36	107.88	120.26	132.59	148.86	161.16
25	38.85	57.57	69.30	80.55	95.11	106.02	116.90	131.24	142.08
30	35.85	51.79	62.34	72.46	85.57	95.38	105.17	118.07	127.83
35	32.73	47.28	56.91	66.15	78.11	87.07	96.00	107.78	116.69
40	30.21	43.64	52.53	61.05	72.09	80.37	88.61	99.48	107.70
45	28.12	40.62	48.90	56.84	67.11	74.81	82.49	92.61	100.26
50	26.36	38.08	45.84	53.28	62.91	70.13	77.32	86.81	93.98
55	24.85	35.90	43.21	50.23	59.31	66.11	72.89	81.84	88.60
60	23.54	34.00	40.93	47.58	56.18	62.62	69.05	77.52	83.92
65	22.39	32.34	38.93	45.25	53.43	59.56	65.66	73.72	79.81
70	21.36	30.86	37.15	43.18	50.99	56.84	62.67	70.36	76.17
75	20.45	29.54	35.56	41.33	48.81	54.41	59.99	67.35	72.91
80	19.63	28.35	34.13	39.67	46.84	52.22	57.57	64.64	69.98
85	18.88	27.27	32.83	38.16	45.06	50.23	55.38	62.18	67.32
90	18.20	26.29	31.65	36.79	43.44	48.42	53.39	59.94	64.89
95	17.58	25.39	30.57	35.53	41.95	46.77	51.56	57.89	62.67
100	17.01	24.57	29.57	34.37	40.59	45.24	49.88	56.01	60.63
105	16.48	23.80	28.65	33.30	39.33	43.84	48.33	54.26	58.75
110	15.99	23.09	27.80	32.31	38.16	42.53	46.90	52.65	57.00
115	15.53	22.44	27.01	31.39	37.07	41.32	45.56	51.15	55.37
120	15.11	21.82	26.27	30.53	36.05	40.19	44.31	49.75	53.86



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

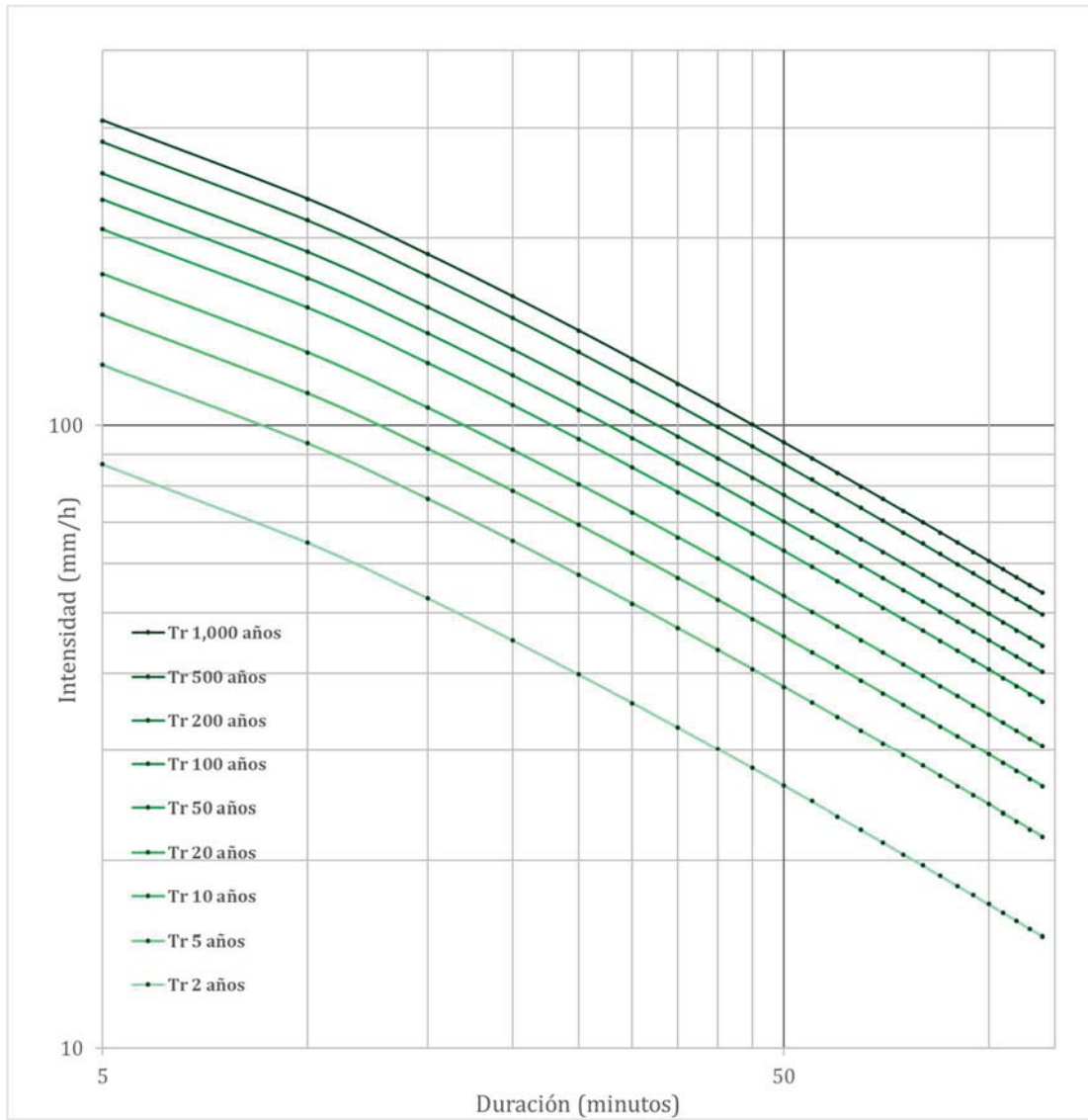


Figura 37.- Curvas I-D-Tr Método Bell m., estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.



Comparación I-D-Tr Chen contra Bell y selección de método

En la **Figura 38** se muestra una comparación de las curvas I-D-Tr construidas con el método de Cheng-Lung Chen y Bell modificado. Los valores de las curvas de ambos métodos son similares. Se eligieron los del método de Bell Modificado al ser los de mayor magnitud en los periodos de retorno más grandes, de tal manera que se considere el escenario más crítico, y al contar con menor curvatura al graficarlos en escala doble logarítmica.

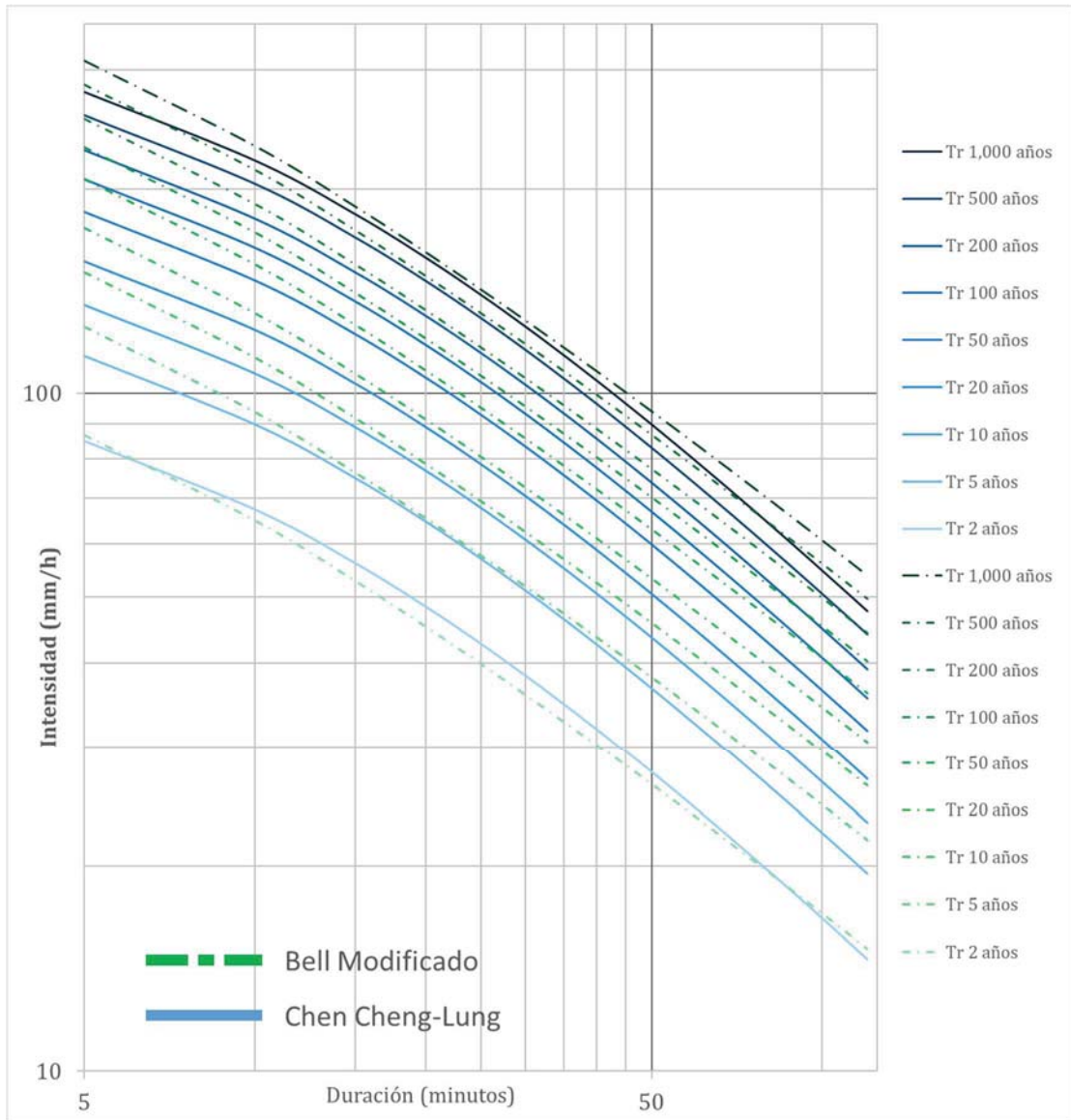


Figura 38.- Comparación de curvas I-D-Tr de métodos de Cheng-Lung Chen y Bell modificado. Fuente: elaboración propia.



6.3.2.7 *Hietogramas de diseño*

Para poder utilizar los datos de las curvas I-D-Tr de la tormenta de diseño en la simulación hidrológica es necesario presentarlos en forma de hietogramas de diseño.

Existe una gran cantidad de formas de un hietograma de diseño, (Conagua, "2015") recomienda utilizar el criterio de bloques alternos de tormenta balanceada, dicho método fue creado por (Keifer & Chu, 1957), quienes analizaron la variación de la precipitación efectiva al cambiar el tiempo de ocurrencia del valor máximo de precipitación (pico de precipitación) y crearon el hietograma tipo para Chicago, el cual especificaron no está validado para ninguna otra zona. Por otra parte, (Singh, 1997) realizó una investigación sobre factores que afectan el resultado del proceso lluvia-escurrimiento, de entre esos factores revisó el cambio del tiempo de ocurrencia del valor máximo de precipitación en un hietograma de diseño, concluyendo que la variación en la cantidad de escurrimiento por este factor era despreciable.

Por lo que para el hietograma de diseño de este trabajo se usó un criterio de bloques alternos de tormenta balanceada con el valor máximo de precipitación a 40 minutos del inicio de la tormenta, similar al comportamiento de una lluvia de tipo convectiva como las presentadas en la zona de estudio.

De la **Tabla 20** a la **Tabla 23** se muestran los datos los 45 hietogramas de diseño con tormenta balanceada con pico a 40 minutos y sus gráficas.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Tabla 20.- Hietogramas de diseño (mm), estación Majálca. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
5	0.81	1.18	1.43	1.69	2.02	2.29	2.56	2.93	3.22
10	0.91	1.33	1.62	1.90	2.28	2.58	2.89	3.30	3.63
15	1.05	1.53	1.86	2.19	2.64	2.98	3.33	3.81	4.19
20	1.25	1.83	2.23	2.62	3.15	3.56	3.98	4.56	5.01
25	1.58	2.31	2.81	3.31	3.98	4.49	5.02	5.75	6.33
30	2.23	3.25	3.96	4.66	5.60	6.32	7.07	8.10	8.90
35	4.30	6.27	7.63	8.98	10.79	12.19	13.63	15.61	17.17
40	8.65	12.61	15.36	18.08	21.71	24.53	27.44	31.42	34.55
45	2.88	4.20	5.12	6.02	7.23	8.17	9.14	10.47	11.51
50	1.84	2.69	3.27	3.85	4.63	5.23	5.85	6.69	7.36
55	1.40	2.04	2.48	2.92	3.51	3.96	4.43	5.07	5.58
60	1.14	1.66	2.03	2.39	2.87	3.24	3.62	4.15	4.56
65	0.97	1.42	1.73	2.04	2.44	2.76	3.09	3.54	3.89
70	0.85	1.25	1.52	1.79	2.14	2.42	2.71	3.10	3.41
75	0.76	1.11	1.36	1.60	1.92	2.17	2.42	2.78	3.05
80	0.73	1.06	1.29	1.52	1.83	2.06	2.31	2.64	2.90
85	0.69	1.01	1.23	1.45	1.74	1.97	2.20	2.52	2.77
90	0.66	0.97	1.18	1.39	1.67	1.88	2.11	2.41	2.65
95	0.64	0.93	1.13	1.33	1.60	1.81	2.02	2.31	2.54
100	0.61	0.89	1.09	1.28	1.54	1.74	1.94	2.22	2.44
105	0.59	0.86	1.05	1.23	1.48	1.67	1.87	2.14	2.35
110	0.57	0.83	1.01	1.19	1.43	1.61	1.80	2.07	2.27
115	0.55	0.80	0.98	1.15	1.38	1.56	1.74	2.00	2.20
120	0.53	0.78	0.94	1.11	1.34	1.51	1.69	1.93	2.13
Suma	35.67	52.01	63.35	74.56	89.55	101.19	113.17	129.59	142.51

Tabla 21.- Hietogramas de diseño (mm), estación La Mesa. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
5	0.58	0.82	0.97	1.10	1.25	1.36	1.47	1.60	1.70
10	0.65	0.93	1.09	1.24	1.41	1.54	1.66	1.80	1.91
15	0.75	1.07	1.26	1.43	1.63	1.78	1.91	2.08	2.21
20	0.90	1.28	1.51	1.71	1.95	2.12	2.28	2.49	2.64
25	1.14	1.62	1.91	2.16	2.46	2.68	2.88	3.14	3.33
30	1.60	2.28	2.68	3.04	3.47	3.77	4.06	4.42	4.69
35	3.08	4.40	5.17	5.86	6.68	7.27	7.82	8.52	9.04
40	6.21	8.85	10.40	11.79	13.45	14.62	15.74	17.15	18.19
45	2.07	2.95	3.47	3.93	4.48	4.87	5.24	5.72	6.06
50	1.32	1.88	2.22	2.51	2.87	3.12	3.35	3.66	3.87
55	1.00	1.43	1.68	1.90	2.17	2.36	2.54	2.77	2.94
60	0.82	1.17	1.37	1.56	1.78	1.93	2.08	2.26	2.40
65	0.70	1.00	1.17	1.33	1.51	1.65	1.77	1.93	2.05
70	0.61	0.87	1.03	1.16	1.33	1.44	1.56	1.69	1.80
75	0.55	0.78	0.92	1.04	1.19	1.29	1.39	1.52	1.61
80	0.52	0.74	0.87	0.99	1.13	1.23	1.32	1.44	1.53
85	0.50	0.71	0.83	0.95	1.08	1.17	1.26	1.38	1.46
90	0.48	0.68	0.80	0.90	1.03	1.12	1.21	1.32	1.40
95	0.46	0.65	0.77	0.87	0.99	1.08	1.16	1.26	1.34
100	0.44	0.63	0.74	0.83	0.95	1.03	1.11	1.21	1.29
105	0.42	0.60	0.71	0.80	0.92	1.00	1.07	1.17	1.24
110	0.41	0.58	0.68	0.78	0.88	0.96	1.04	1.13	1.20
115	0.39	0.56	0.66	0.75	0.85	0.93	1.00	1.09	1.16
120	0.38	0.54	0.64	0.73	0.83	0.90	0.97	1.06	1.12
Suma	25.60	36.49	42.92	48.62	55.48	60.32	64.93	70.76	75.01



**ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS
DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS**

Tabla 23.- Hietograma de diseño (mm), estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
5	0.63	0.84	1.00	1.16	1.37	1.53	1.69	1.90	2.06
10	0.77	1.03	1.22	1.42	1.67	1.87	2.06	2.32	2.52
15	0.98	1.31	1.56	1.81	2.14	2.39	2.64	2.97	3.22
20	1.35	1.81	2.15	2.49	2.95	3.29	3.63	4.08	4.43
25	2.10	2.80	3.33	3.86	4.56	5.10	5.63	6.33	6.86
30	2.10	2.80	3.33	3.86	4.56	5.10	5.63	6.33	6.86
35	4.14	5.52	6.57	7.62	9.01	10.06	11.11	12.49	13.54
40	7.08	9.46	11.25	13.05	15.42	17.22	19.01	21.38	23.18
45	2.82	3.76	4.48	5.19	6.14	6.85	7.56	8.51	9.22
50	1.65	2.20	2.62	3.04	3.59	4.01	4.43	4.99	5.40
55	1.14	1.52	1.81	2.10	2.48	2.77	3.06	3.45	3.74
60	0.86	1.15	1.37	1.59	1.88	2.10	2.32	2.61	2.83
65	0.69	0.92	1.10	1.28	1.51	1.68	1.86	2.09	2.27
70	0.58	0.77	0.92	1.06	1.26	1.40	1.55	1.74	1.89
75	0.49	0.66	0.79	0.91	1.08	1.20	1.33	1.49	1.62
80	0.46	0.62	0.73	0.85	1.00	1.12	1.24	1.39	1.51
85	0.43	0.58	0.69	0.80	0.94	1.05	1.16	1.31	1.41
90	0.41	0.54	0.65	0.75	0.89	0.99	1.09	1.23	1.33
95	0.38	0.51	0.61	0.71	0.84	0.93	1.03	1.16	1.26
100	0.36	0.49	0.58	0.67	0.79	0.89	0.98	1.10	1.19
105	0.35	0.46	0.55	0.64	0.75	0.84	0.93	1.05	1.13
110	0.33	0.44	0.52	0.61	0.72	0.80	0.89	1.00	1.08
115	0.32	0.42	0.50	0.58	0.69	0.77	0.85	0.95	1.03
120	0.30	0.40	0.48	0.56	0.66	0.73	0.81	0.91	0.99
Suma	30.43	40.63	48.34	56.05	66.25	73.96	81.67	91.87	99.58

Tabla 22.- Hietograma de diseño (mm), estación El Rejón. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
5	0.76	1.04	1.20	1.33	1.48	1.59	1.69	1.81	1.90
10	0.86	1.18	1.35	1.50	1.67	1.79	1.90	2.04	2.14
15	0.99	1.36	1.56	1.73	1.93	2.07	2.20	2.36	2.47
20	1.19	1.62	1.86	2.07	2.31	2.47	2.63	2.81	2.95
25	1.50	2.05	2.35	2.61	2.92	3.12	3.32	3.56	3.73
30	2.11	2.89	3.31	3.68	4.10	4.39	4.67	5.00	5.24
35	4.07	5.56	6.39	7.09	7.91	8.47	9.00	9.65	10.11
40	8.19	11.20	12.86	14.28	15.92	17.05	18.11	19.41	20.35
45	2.73	3.73	4.28	4.76	5.30	5.68	6.03	6.47	6.78
50	1.75	2.39	2.74	3.04	3.39	3.63	3.86	4.14	4.34
55	1.32	1.81	2.08	2.31	2.57	2.75	2.92	3.13	3.29
60	1.08	1.48	1.70	1.88	2.10	2.25	2.39	2.56	2.69
65	0.92	1.26	1.45	1.61	1.79	1.92	2.04	2.19	2.29
70	0.81	1.11	1.27	1.41	1.57	1.68	1.79	1.92	2.01
75	0.72	0.99	1.14	1.26	1.41	1.51	1.60	1.72	1.80
80	0.69	0.94	1.08	1.20	1.34	1.43	1.52	1.63	1.71
85	0.66	0.90	1.03	1.14	1.28	1.37	1.45	1.56	1.63
90	0.63	0.86	0.99	1.10	1.22	1.31	1.39	1.49	1.56
95	0.60	0.82	0.95	1.05	1.17	1.26	1.33	1.43	1.50
100	0.58	0.79	0.91	1.01	1.13	1.21	1.28	1.37	1.44
105	0.56	0.76	0.88	0.97	1.09	1.16	1.23	1.32	1.39
110	0.54	0.74	0.85	0.94	1.05	1.12	1.19	1.28	1.34
115	0.52	0.71	0.82	0.91	1.01	1.08	1.15	1.23	1.29
120	0.50	0.69	0.79	0.88	0.98	1.05	1.11	1.19	1.25
Suma	33.80	46.19	53.03	58.88	65.68	70.34	74.69	80.08	83.93



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Tabla 24.- Hietograma de diseño (mm), estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

Duración (minutos)	Tr (años)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
5	0.70	1.01	1.22	1.42	1.67	1.87	2.06	2.31	2.50
10	0.79	1.14	1.38	1.60	1.89	2.10	2.32	2.60	2.82
15	0.91	1.32	1.59	1.85	2.18	2.43	2.68	3.01	3.25
20	1.09	1.58	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.59	3.89
25	1.38	1.99	2.40	2.78	3.29	3.66	4.04	4.53	4.91
30	1.94	2.80	3.37	3.92	4.63	5.16	5.68	6.38	6.91
35	3.74	5.40	6.50	7.55	8.92	9.94	10.96	12.30	13.32
40	7.53	10.87	13.08	15.20	17.95	20.00	22.06	24.76	26.81
45	2.51	3.62	4.36	5.06	5.98	6.66	7.35	8.25	8.93
50	1.60	2.32	2.79	3.24	3.82	4.26	4.70	5.28	5.71
55	1.22	1.75	2.11	2.45	2.90	3.23	3.56	4.00	4.33
60	0.99	1.43	1.73	2.01	2.37	2.64	2.91	3.27	3.54
65	0.85	1.22	1.47	1.71	2.02	2.25	2.48	2.79	3.02
70	0.74	1.07	1.29	1.50	1.77	1.98	2.18	2.45	2.65
75	0.67	0.96	1.16	1.34	1.59	1.77	1.95	2.19	2.37
80	0.63	0.91	1.10	1.28	1.51	1.68	1.85	2.08	2.25
85	0.60	0.87	1.05	1.22	1.44	1.60	1.77	1.99	2.15
90	0.58	0.83	1.00	1.17	1.38	1.54	1.69	1.90	2.06
95	0.55	0.80	0.96	1.12	1.32	1.47	1.62	1.82	1.97
100	0.53	0.77	0.93	1.08	1.27	1.42	1.56	1.75	1.90
105	0.51	0.74	0.89	1.04	1.22	1.36	1.50	1.69	1.83
110	0.49	0.71	0.86	1.00	1.18	1.32	1.45	1.63	1.76
115	0.48	0.69	0.83	0.97	1.14	1.27	1.40	1.57	1.70
120	0.46	0.67	0.80	0.94	1.10	1.23	1.36	1.52	1.65
Suma	31.04	44.82	53.95	62.70	74.03	82.52	90.98	102.14	110.57



6.3.3 Uso de suelo

El escurrimiento efectivo es la cantidad de agua precipitada sobre el suelo que no se infiltra ni es interceptada por la vegetación o se queda almacenada en depresiones del suelo, por tanto, escurre. Se determina con respecto a las características físicas del suelo sobre el que se precipita. Por esto, se requiere delimitar los diferentes usos de suelo de la zona a simular hidrológicamente y asignarle a cada uno de ellos parámetros con los cuales se pueda simular su escurrimiento efectivo (Campos Aranda, 2010):

La delimitación del uso de suelo en la zona de estudio del presente trabajo se realizó con apoyo de las herramientas de manejo de información geográfica del programa PCSWMM® con base en tres archivos:

1. Orto imagen de Chihuahua, Chih. del año 2014 del Implan;
2. Plan de Desarrollo Urban de Chihuahua al 2040 (PDU2040) del Implan;
3. Uso de suelo de (Inegi, s.f.);

Los dos primeros proporcionados por parte del mismo Implan de manera digital en formato *.ecw* y *.shp* respectivamente, y el tercero se descargó en formato *.shp* de la página de internet del Inegi. El uso de suelo del Plan de Desarrollo Urbano 2040 se debe a que, como se mencionó en capítulos anteriores, los mapas de riesgo ante inundaciones son una herramienta de planeación, por lo que para su generación debe considerarse preferentemente y en medida de lo posible el uso de suelo futuro.

Con esto en mente, se delimitó primero lo descrito en la orto imagen del 2014, posteriormente, en zonas donde aún no se ha urbanizado se asignó el uso de suelo descrito en el PDU2040 y, por último, si la zona no estaba considerada dentro de éste, se le asignó el uso de suelo definido por Inegi. Por el mismo enfoque de uso de suelo a futuro, todas las avenidas y calles dentro de la zona urbana se consideraron como pavimentadas aún si en la orto imagen se apreciaban de terracería, considerando que en un futuro estarán pavimentadas.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Los usos de suelo se determinaron tomando en cuenta los parámetros requeridos para la simulación hidrológica en PCSWMM con el método de infiltración de Horton.

Con el objetivo de contar con una delimitación de uso de suelo más fina; por ende, de mejor representación de los fenómenos hidrológicos a simular, se consideraron dos tipos de uso de suelo: básicos y compuestos. Los segundos integrados a partir de usos de suelo básicos o inclusive a partir de otros usos de suelo compuestos. A continuación, se describen los diferentes usos de suelo básicos y posteriormente los compuestos:

Básicos:

- **Arena:** Espacios urbanos de extensión considerable cubiertos por arena, encontrados principalmente en campos de golf y parques. Es totalmente permeable con alta infiltración, ver **Figura 39**.
- **Cauce Natural:** Aquellos cauces naturales en los que no se diferencia el fondo del cauce de la vegetación marginal. Es totalmente permeable con rugosidad alta al igual que un almacenamiento en depresión alto, ver **Figura 44**.
- **Cuerpo de agua:** Espacios urbanos cubiertos constantemente por agua, en su mayoría corresponden a lagos artificiales de zonas residenciales. Es prácticamente impermeable debido a que se encuentra sobre un suelo ya saturado y no cuenta con vegetación por lo que no tiene almacenamiento en depresión, por ende toda el agua precipitada sobre este uso de suelo es escurrimiento efectivo, ver **Figura 39**.
- **Fondo de cauce natural:** Corresponde al fondo de aquellos cauces donde se aprecia la diferencia entre su fondo y su vegetación marginal, no tiene vegetación y cuenta con una rugosidad alta, ver **Figura 48**.
- **Grava ornamental:** Zonas dentro de parques y camellones donde se ha colocado grava suelta sobre una membrana de plástico impermeable con propósitos



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

ornamentales, debido a la membrana de plástico es totalmente impermeable, pero con un almacenamiento en depresión mayor al promedio, ver **Figura 47**.

- **Mampostería:** Ubicado principalmente dentro de cauces canalizados con este material. Es prácticamente impermeable casi sin vegetación y un almacenamiento en depresión considerable, ver **Figura 40**.
- **Matorral medio denso:** Hallado dentro la zona urbana en áreas abiertas con vegetación de follaje medio denso y fuera de ella en aquellas áreas que no se consideran urbanizables en el PDU2040;
- **Pasto sintético:** Ubicado en canchas deportivas de este material. Es prácticamente impermeable, sin vegetación y con poco almacenamiento en depresión.
- **Pavimento:** Calles y vialidades urbanas, incluyendo camellones pequeños sobre ellas, compuesto en su gran mayoría de concreto o asfalto y en mucho menor proporción de vegetación urbana rala. Es prácticamente impermeable y su rugosidad es un promedio entre la del asfalto y la del concreto.
- **Techumbre:** Edificios aislados cuya superficie superior es techumbre de concreto o lámina, es totalmente impermeable con un almacenamiento en depresión y rugosidad similar al pavimento, ver **Figura 41**.
- **Terracería:** Espacios dentro de la zona urbana que no están urbanizados ni cuentan con vegetación. Es totalmente permeable y cuenta con menor rugosidad que otros usos de suelo como el fondo de cauce natural, ver **Figura 46**.
- **Terreno baldío:** Corresponde a predios dentro de la zona urbana que aún no han sido urbanizados, sus valores son muy similares a los de matorral medio denso.



- **Vegetación urbana densa:** Espacios urbanos con vegetación conformada principalmente por árboles juntos entre ellos y con mucho follaje, encontrado sobre todo en parque y zonas destinadas al deporte y la recreación. Es prácticamente permeable en su totalidad, cuenta con una rugosidad más alta que el promedio y la intercepción de lluvia por el follaje se representada con un mayor almacenamiento de depresión que otras vegetaciones, ver **Figura 45**.
- **Vegetación urbana media densa:** Espacios urbanos con vegetación conformada por arbustos ligeramente separados entre ellos y/o con menos follaje, encontrada en parque y zonas dedicadas al deporte y la recreación, y camellones. Es prácticamente permeable en su totalidad y sus valores de rugosidad y almacenamiento en depresión son menores a los de la vegetación urbana densa, ver **Figura 42**.
- **Vegetación urbana rala:** Espacios urbanos con vegetación a ras de piso sin arbustos, hallada en espacios abiertos destinados al deporte y recreación, así como en camellones y similares. Es prácticamente permeable en su totalidad y sus valores de rugosidad y almacenamiento en depresión son menores a las vegetaciones media densa y densa, ver **Figura 43**.

Compuestos:

Comercio: Áreas que fueron urbanizadas exclusivamente para comercio y prestación de servicios, cuentan poca o nula vegetación siendo en su mayoría edificaciones y superficies de concreto o asfalto. Compuesto por 70% de techumbre, 25% de pavimento y 10 % de parque, ver **Figura 50**.

- **Comercio PDU2040:** Áreas aun no urbanizadas destinadas por el PDU2040 a ser usadas para el comercio y prestación de servicios incluyendo sus vialidades. Compuesto por 60% de comercio y 40% de pavimento;
- **Equipamiento urbano PDU2040:** Áreas aun no urbanizadas destinadas por el PDU2040 a fungir como espacios de utilidad para la ciudad, como escuelas,



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

hospitales, dependencias gubernamentales, etc. Compuesto por 40% de techumbre, 45% de parque y 15% de pavimento;

- **Habitacional alta PDU2040:** Espacios aun no urbanizados destinados por el PDU2040 a ser aprovechados por viviendas de nivel socioeconómico alto, su composición cuenta con un menor porcentaje de vivienda residencial y mayor porcentaje de parque que el uso de suelo habitacional PDU2040. Compuesto por 45% de vivienda residencial, 40% de pavimento y 15% de parque;
- **Habitacional PDU2040:** Espacios aun no urbanizados destinados por el PDU2040 a ser aprovechados por viviendas en general. Compuesto por 50% de vivienda residencial, 40% de pavimento y 10% de parque;
- **Industria:** Espacios urbanos utilizados por la industria, cuentan en su mayoría con edificios de techumbres extensas y vialidades, y en menor medida con terracerías y vegetación. Compuesto por 30% de techumbre, 45% de pavimento, 10% de parque y 15% de terracería. Este mismo uso de suelo se utilizó para las zonas industriales del PDU2040;
- **Maleza urbana:** Vegetación dentro de la zona urbana ubicada comúnmente dentro de áreas en desuso. Compuesto por 50% de vegetación urbana media densa, 45% de terracería y 5% de pavimento;
- **Mixto PDU2040:** Espacio aun no urbanizado destinado en el PDU2040 a poder ser usado como comercio, vivienda o una mezcla de ambos. Compuesto por 50% de habitacional PDU2040 y 50% de comercio PDU2040;
- **Panteón:** Espacios con poca vegetación cubiertos parcialmente por concreto. Compuesto por 65% de terracería y 35% de pavimento, ver **Figura 49**;



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

- **Parque:** Espacios urbanos dedicados a la recreación y el deporte. Compuestos por 20% de pavimento, 50% de vegetación urbana media densa, 25% de terracería y 5% de techumbre, ver **Figura 54**;
- **Vivienda campestre:** Predios suburbanos ubicados en su mayoría a las afueras de la ciudad que cuentan con una vivienda dentro de ellos y alguna otra edificación, sin embargo, en su mayoría son espacios abiertos cubiertos parcialmente por vegetación y caminos peatonales de concreto. Compuesto por 20% de vivienda residencial y 80% de parque, ver **Figura 53**;
- **Vivienda en serie:** Viviendas en colonias de interés social construidas en serie, cuentan con menos vegetación y espacio entre edificaciones que el uso de suelo de vivienda urbana. Compuesto por 65% de techumbre, 20% de pavimento y 15% de vegetación urbana media densa, ver **Figura 52**;
- **Vivienda residencial:** Ubicadas en zonas residenciales de mayor nivel socioeconómico al promedio con mayor espacio entre edificaciones que el uso de suelo de vivienda urbana, aunque menos que las viviendas suburbanas, compuesto por 75% de vivienda urbana y 25% de parque, ver **Figura 51**;
- **Vivienda suburbana:** Ubicadas comúnmente a las orillas de la ciudad o en zonas suburbanas, contando con más espacio entre edificaciones que el uso de suelo de vivienda urbana. Compuesto por 60% de vivienda urbana, 20% de matorral y 20% de parque, ver **Figura 56**;
- **Vivienda urbana:** Aquellas viviendas predominantes dentro del área de estudio. Compuesto por 70% de techumbre 20% de vegetación urbana media densa y 10% de pavimento, ver **Figura 55**;

Los porcentajes de los suelos compuestos se asignaron con base en la observación realizada en la orto imagen durante la delimitación del uso de suelo. En la **Figura 57** se muestra el mapa con dicha delimitación.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS



Figura 39.- Ejemplo de uso de suelo: arena y cuerpo de agua. Fuente: elaboración propia.



Figura 44.- Ejemplo de uso de suelo: cauce natural. Fuente: elaboración propia.



Figura 42.- Ejemplo de uso de suelo: vegetación urbana media densa. Fuente: elaboración propia.



Figura 43.- Ejemplo de uso de suelo: vegetación urbana rala. Fuente: elaboración propia.



Figura 40.- Ejemplo de uso de suelo: mampostería. Fuente: propia.



Figura 41.- Ejemplo de uso de suelo: techumbre. Fuente: elaboración propia



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS



Figura 48.- Ejemplo de uso de suelo: fondo cauce natural. Fuente: elaboración propia.



Figura 47.- Ejemplo de uso de suelo: grava ornamental. Fuente: propia.



Figura 46.- Ejemplo de uso de suelo: terracería. Fuente: elaboración propia.



Figura 45.- Ejemplo de uso de suelo: vegetación urbana densa. Fuente: elaboración propia.



Figura 50.- Ejemplo de uso de suelo: comercio. Fuente: elaboración propia.



Figura 49.- Ejemplo de uso de suelo: panteón. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS



Figura 54.- Ejemplo de uso de suelo: parque. Fuente: elaboración propia.



Figura 53.- Ejemplo de uso de suelo: vivienda campestre. Fuente: elaboración propia.



Figura 52.- Ejemplo de uso de suelo: vivienda en serie. Fuente: elaboración propia.



Figura 51.- Ejemplo de uso de suelo: vivienda residencial. Fuente: elaboración propia.



Figura 56.- Ejemplo de uso de suelo: vivienda suburbana. Fuente: elaboración propia.



Figura 55.- Ejemplo de uso de suelo: vivienda urbana. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

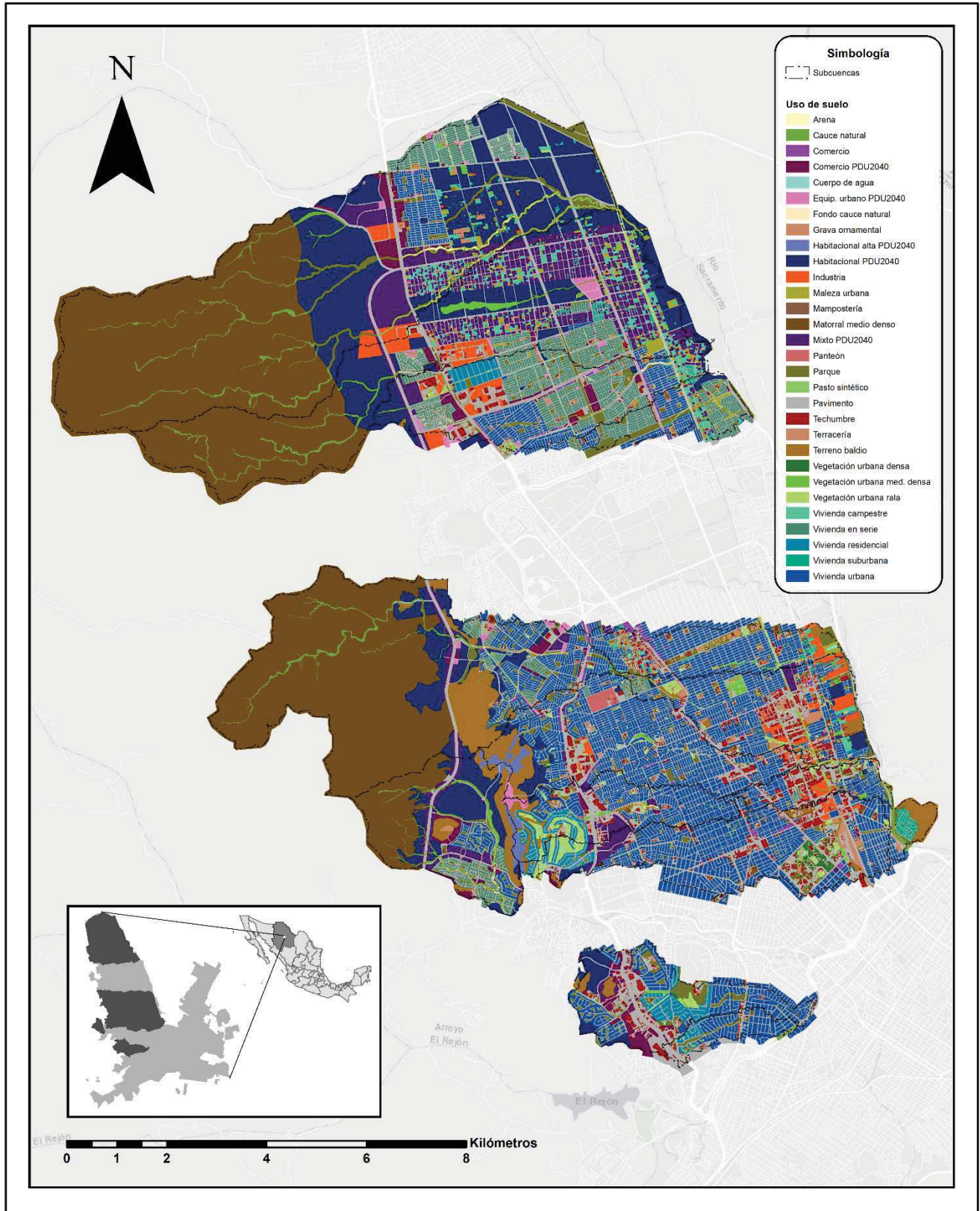


Figura 57.- Mapa del uso de suelo de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Debido a la falta de estaciones hidrométricas en la zona de estudio para realizar el ajuste de parámetros de simulación, se realizó una delimitación del uso de suelo de manera detallada, lo que ayudó a dicho ajuste, de la **Figura 58** a la **Figura 61** se muestran ejemplos del detalle de delimitación.

Una vez delimitado cada uso de suelo se asignaron valores a las siguientes variables según lo descrito en los apéndices de la guía de usuario del programa EPA SWMM5 (EPA, 2015):

- Porcentaje impermeable (*Imperv*);
- Coeficiente de rugosidad de Manning de la zona impermeable (*N Imperv*);
- Coeficiente de rugosidad de Manning de la zona permeable (*N Perv*);
- Altura de almacenamiento en depresión de la zona impermeable (*Dstore Imperv*);
- Altura de almacenamiento en depresión de la zona permeable (*Dstore Perv*);
- Porcentaje de la zona impermeable que no presenta almacenamiento en depresión (*Zero Imperv*);
- Ritmo máximo de infiltración del agua en el suelo (*Max. Infil. Rate*);
- Ritmo mínimo de infiltración del agua en el suelo (*Min. Infil. Rate*);
- Constante de decaimiento (*Decay Constant*);
- Tiempo de secado del suelo (*Drying Time*).

En la **Tabla 25** se muestran los valores asignados a cada uso de suelo después del ajuste de parámetros hidrológicos que se describirá en subtemas posteriores.

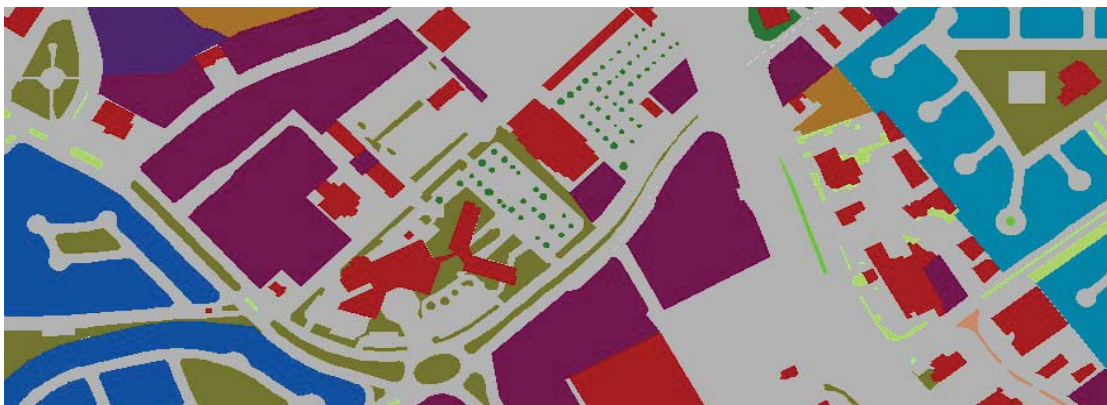


Figura 58.- Detalle de delimitación de uso de suelo 1. Fuente: Elaboración propia.



Figura 59.- Detalle de delimitación de uso de suelo 2. Fuente: elaboración propia.



Figura 60.- Detalle de delimitación de uso de suelo 3. Fuente: elaboración propia.



Figura 61.- Detalle de delimitación de uso de suelo 4. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Tabla 25.- Parámetros hidrológicos por uso de suelo. Fuente: elaboración propia con base en (EPA, 2015).

Uso de suelo	Imperv (%)	N Imperv	N Perv	Dstore Imperv (mm)	Dstore Perv (mm)	Zero Imperv (%)	Max. Infil. Rate (mm/hr)	Min. Infil. Rate (mm/hr)	Decay Constant (1/hr)	Drying Time (días)
Básicos										
Arena	2.00	0.01	0.02	2.50	2.00	25.00	110.00	33.00	4.00	2.00
Cauce natural	5.00	0.01	0.04	2.50	5.00	25.00	190.00	57.00	4.00	2.00
Cuerpo de agua	100.00	0.01	0.00	2.50	1.00	25.00	20.00	6.00	4.00	2.00
Fondo cauce natural	5.00	0.01	0.03	2.50	5.00	25.00	110.00	33.00	4.00	2.00
Grava ornamental	100.00	0.03	0.04	30.00	5.00	10.00	70.00	21.00	4.00	2.00
Mamostería	97.00	0.02	0.04	2.50	5.00	25.00	110.00	33.00	4.00	2.00
Matorral medio denso	3.00	0.01	0.04	2.50	5.00	25.00	130.00	39.00	4.00	2.00
Pasto sintético	100.00	0.02	0.02	15.00	5.00	10.00	70.00	21.00	4.00	2.00
Pavimento	95.00	0.01	0.02	2.50	5.00	10.00	70.00	21.00	4.00	2.00
Techumbre	100.00	0.01	0.02	2.50	5.00	10.00	70.00	21.00	4.00	2.00
Terracería	3.00	0.01	0.02	2.50	4.00	25.00	70.00	21.00	4.00	2.00
Terreno baldío	3.00	0.01	0.03	2.50	6.00	25.00	140.00	42.00	4.00	2.00
Vegetación urbana densa	3.00	0.01	0.04	2.50	7.50	25.00	210.00	63.00	4.00	2.00
Vegetación urbana media densa	3.00	0.01	0.03	2.50	6.50	25.00	190.00	57.00	4.00	2.00
Vegetación urbana rala	3.00	0.01	0.02	2.50	5.00	25.00	170.00	51.00	4.00	2.00
Compuestos										
Comercio	95.06	0.01	0.02	2.50	5.03	10.56	73.00	21.90	4.00	2.00
Comercio PDU2040	95.04	0.01	0.02	2.50	5.02	10.34	71.80	21.54	4.00	2.00
Equipamiento urbano PDU2040	66.06	0.01	0.02	2.50	5.23	15.06	97.00	29.10	4.00	2.00
Habitacional alta PDU204	71.92	0.01	0.02	2.50	5.23	13.97	93.85	28.16	4.00	2.00
Habitacional PDU2040	80.68	0.01	0.02	2.50	5.20	12.63	88.00	26.40	4.00	2.00
Industria	81.84	0.01	0.02	2.50	5.03	12.44	79.00	23.70	4.00	2.00
Maleza urbana	7.60	0.01	0.02	2.50	5.30	24.25	130.00	39.00	4.00	2.00
Mixto PDU2040	87.86	0.01	0.02	2.50	5.11	11.48	79.90	23.97	4.00	2.00
Pantecón	35.20	0.01	0.02	2.50	4.35	19.75	70.00	21.00	4.00	2.00
Parque	26.25	0.01	0.02	2.50	5.50	21.25	130.00	39.00	4.00	2.00
Vivienda campestre	37.02	0.01	0.02	2.50	5.46	19.60	122.80	36.84	4.00	2.00
Vivienda en serie	84.45	0.01	0.02	2.50	5.23	12.25	88.00	26.40	4.00	2.00
Vivienda residencial	66.64	0.01	0.02	2.50	5.35	15.06	103.00	30.90	4.00	2.00
Vivienda suburbana	52.75	0.01	0.02	2.50	5.26	17.24	108.40	32.52	4.00	2.00
Vivienda urbana	80.10	0.01	0.02	2.50	5.30	13.00	94.00	28.20	4.00	2.00



6.3.4 Área de simulación C2D

Se delimitó el área de simulación considerando la forma de las cuencas (parteaguas) y la traza urbana de la ciudad, obteniendo 4 áreas de simulación aisladas entre ellas sumando 79.86km², ver **Figura 62**. Posteriormente, con el fin de optimizar el proceso de simulación se consideraron 3 modelos: Plaza de Toros (área 1), Saucito (áreas 2 y 3) y Los Arcos (área 4), llamados según la cuenca de mayor interés dentro de ellos. Los datos de las áreas y modelos se muestran en la **Tabla 26**.

Tabla 26.- Características de las áreas de simulación hidráulica a superficie libre cuasi 2D. Fuente: elaboración propia.

Área	Modelo	Cuencas	Área (km ²)
1	Plaza de toros	Lomas del santuario y Plaza de toros.	6.29
2	Saucito	Cerro prieto, El Mimbres sur, El Saucito, Magallanes, Galera norte, Galera sur y María de los Ángeles.	37.41
3		Afluente la Cantera.	2.13
4	Los Arcos	El Álamo, El Mimbres norte, Los Arcos y Real de Minas.	34.02
Total			79.86

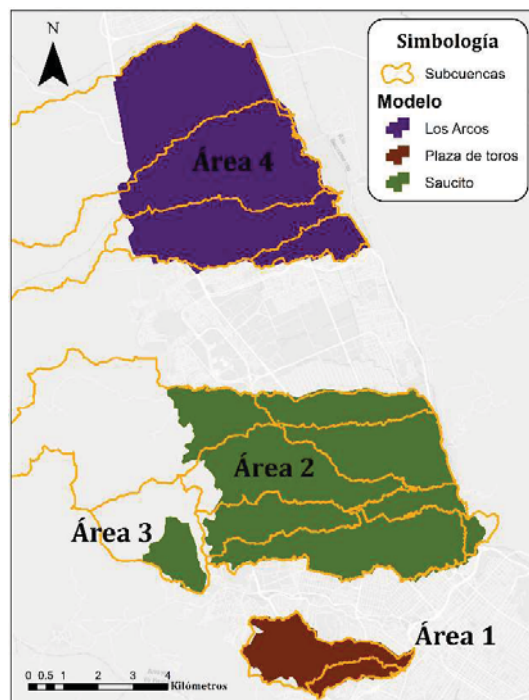


Figura 62.- Áreas y modelos de simulación hidráulica a superficie libre cuasi 2D. Fuente: elaboración propia.



6.3.5 Obstáculos hidráulicos

Como se mencionó en la metodología, aun cuándo en un evento real de inundación, el agua se introduce en las viviendas, la mejor manera de representar las líneas de flujo del agua al escurrir superficialmente a través de una trama urbana es considerar en el modelo de simulación hidráulica a superficie libre cuasi 2D aquellas edificaciones o elementos físicos no incluidos en la topografía que tiene una influencia en la dirección de escurrimiento superficial; es decir, obstáculos hidráulicos. Esto se logra al suprimir los nodos del mallado cuasi 2D correspondientes a dichos obstáculos, o bien, al modificar el MDE elevando el nivel relativo de los polígonos de los obstáculos hidráulicos por encima del valor máximo del tirante esperado (Smith, 2012).

Para esto se delimitó en PCSWMM® un archivo tipo *shape* con los obstáculos hidráulicos dentro de la zona de estudio con base en el plano catastral de la ciudad de Chihuahua del año 2013 proporcionado en formato *.dwg* por la Universidad Autónoma de Chihuahua y lo descrito en la orto imagen proporcionada por el Implan, asimismo, se utilizó el programa *Google Earth* para generar archivos *.kml* delimitando obstáculos hidráulicos de zonas de reciente urbanización, en la **Figura 63**, **Figura 64** y **Figura 67** se aprecia la delimitación de los obstáculos hidráulicos.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

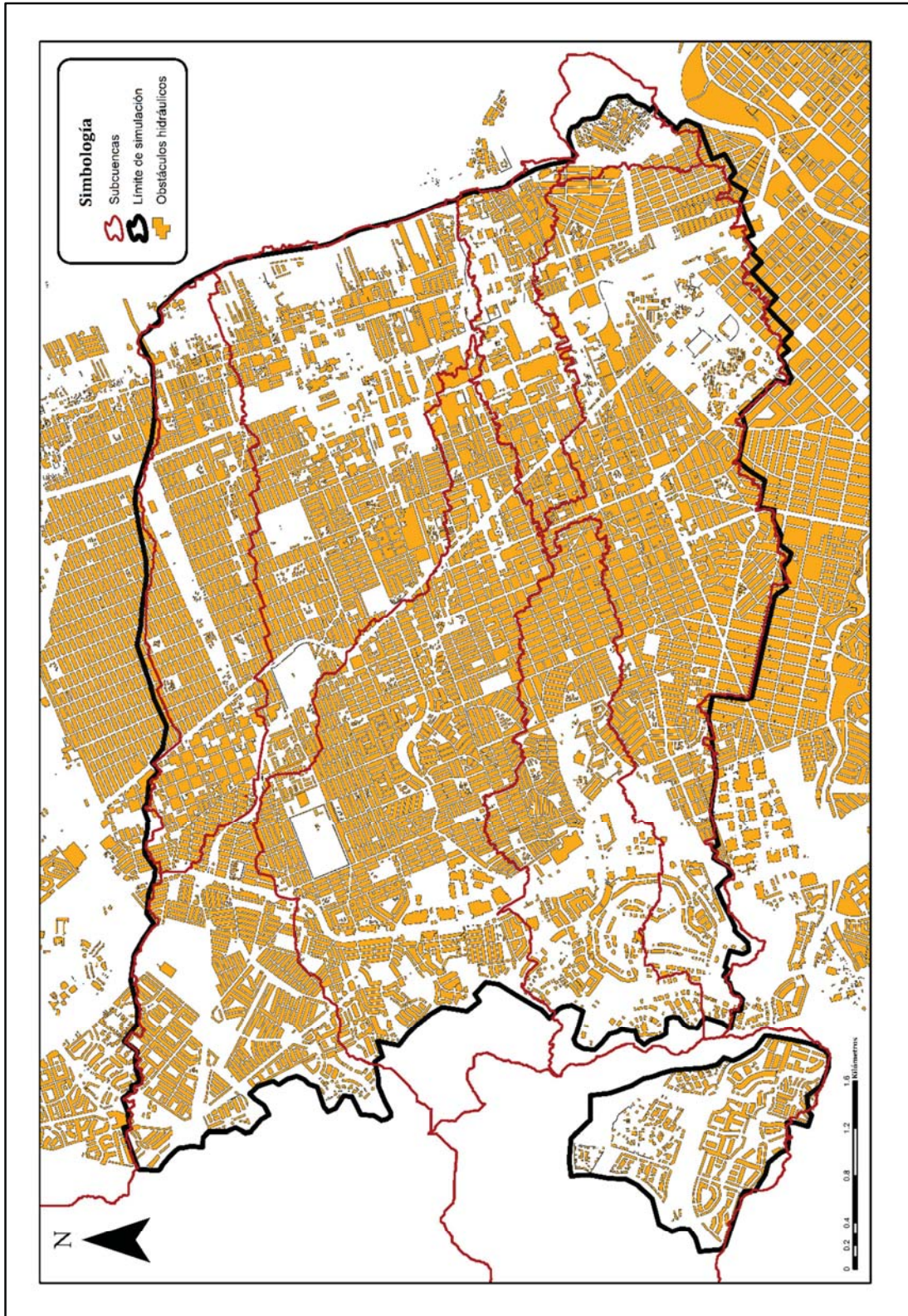


Figura 63.- Obstáculos hidráulicos, modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



6.3.6 Construcción del modelo de simulación hidrológica-hidráulica a superficie libre cuasi 2D

6.3.6.1 Mallado

Se delimitaron diferentes zonas de mallado asignado a cada una su rugosidad específica, el tamaño de mallado y la configuración del mismo, pudiendo ser:

- Direccional;
- Rectangular;
- Hexagonal;
- Adaptativo.

La delimitación de zonas por tamaño y configuración de mallado se realizó considerando lo descrito en la **Tabla 27**, siguiendo la recomendación de (IMTA, 2015): no exceder 100,000 nodos por modelo, con el fin de guardar un equilibrio entre la resolución espacial de los resultados y el tiempo de computo.

Tabla 27.- Configuraciones y tamaños de mallado usados. Fuente: elaboración propia.

Zona	Configuración	Tamaño de mallado (m)	
		Máximo	Mínimo
Calles de bajo interés	Rectangular	15	10
Calles generales	Rectangular	10	8
Calles de interés medio	Rectangular	8	5
Callés de interés alto	Rectangular	5	3
Planicies laminares de poco interés	Hexagonal	40	15
Planicies laminares de interés	Hexagonal	15	10
Arroyos de bajo o medio interés	Direccional	6	3
Arroyos de interés alto	Direccional	3	2

En las calles se consideró un mallado rectangular ya que la mayor parte de la traza urbana es de tipo rectangular, en la planicies laminares así como zonas abiertas de bajo interés se consideró un mallado hexagonal, por último en los arroyos donde la velocidad del flujo es mayormente dominante en una dirección, se utilizó un mallado direccional, para éste último fue necesario además crear un archivo *shape* de línea de quiebre (*break line*) para determinar la dirección del flujo, ver **Figura 64**.

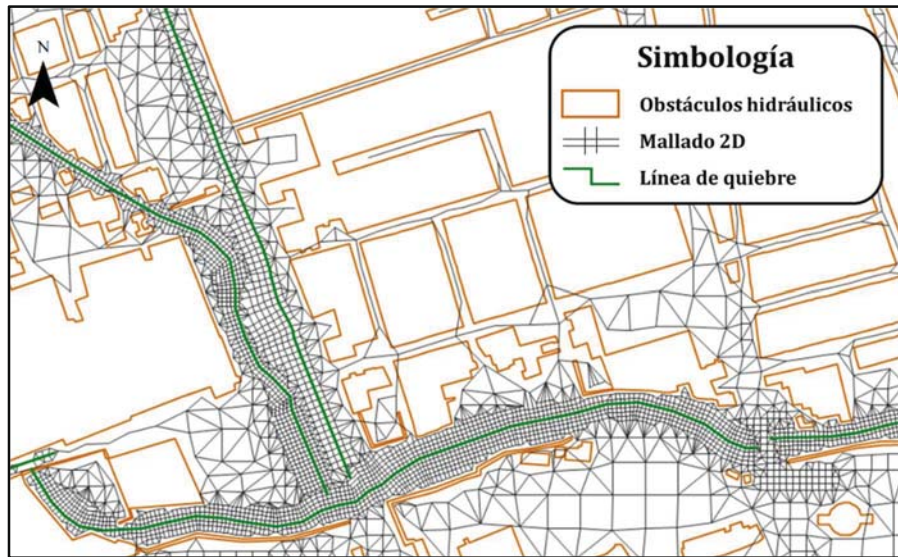


Figura 64.- Ejemplo de mallado tipo direccional. Fuente: elaboración propia.

El coeficiente de rugosidad se consideró con base en los descrito en el uso de suelo, asignándolo de manera ponderada a cada área de mallado. En la **Figura 65** se muestra el tamaño de mallado por zona de mallado, en la **Figura 66** se muestran su configuración y en la **Figura 67** el mallado resultante en el modelo Saucito.

Con el mallado y los nodos de resolución se crearon las celdas 2D, las cuáles son polígonos de Thiessen de área tributaria de cada nodo de resolución cuasi 2D. En estas celdas se excluye el área de los obstáculos hidráulicos, por tanto, su área es el área de simulación cuasi 2D. En la **Tabla 28** se muestran los resultados del mallado y celdas 2D por modelo de simulación.

Tabla 28.- Número de nodos y área de simulación C2D. Fuente: elaboración propia.

Modelo	Área (km ²)	Nodos C2D	Área de simulación C2D (km ²)	Porcentaje de área de simulación C2D
Plaza de toros	6.29	25,776	3.86	61%
Saucito	39.54	129,115	22.25	56%
Los Arcos	34.02	111,660	26.34	77%
Total	79.86	266,551	52.45	



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

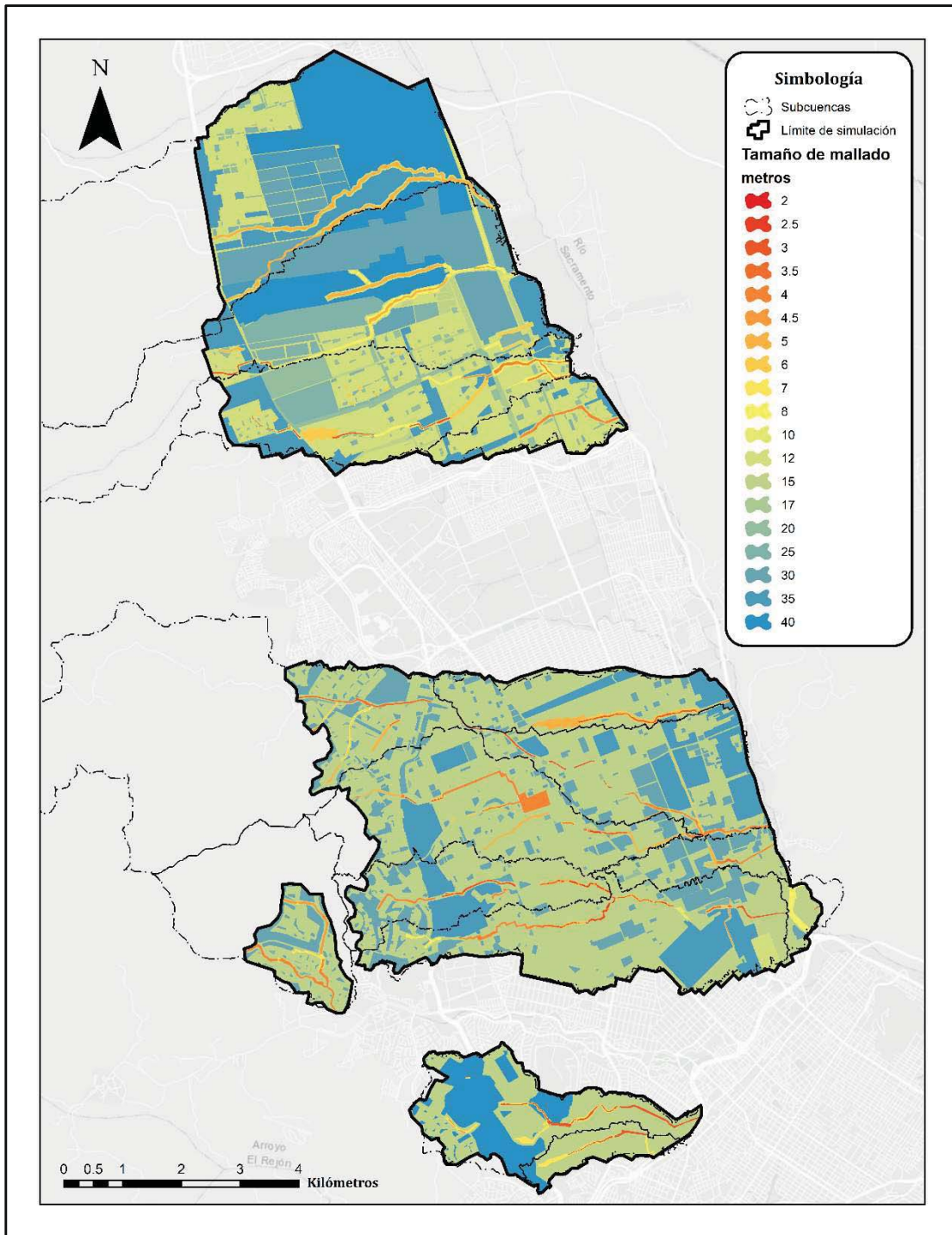


Figura 65.- Tamaño de mallado del área de simulación C2D. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

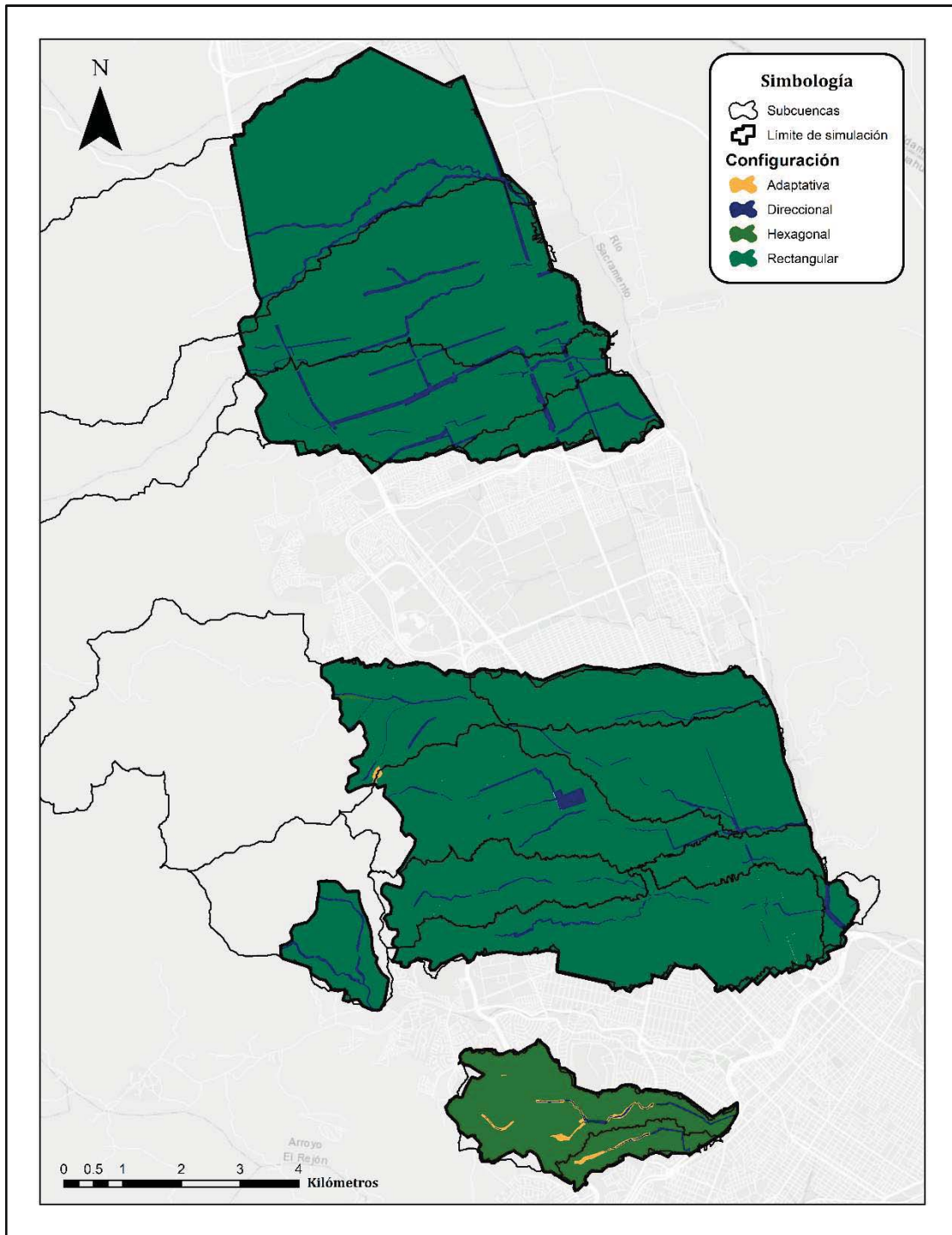


Figura 66.- Configuración de mallado del área de simulación C2D. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

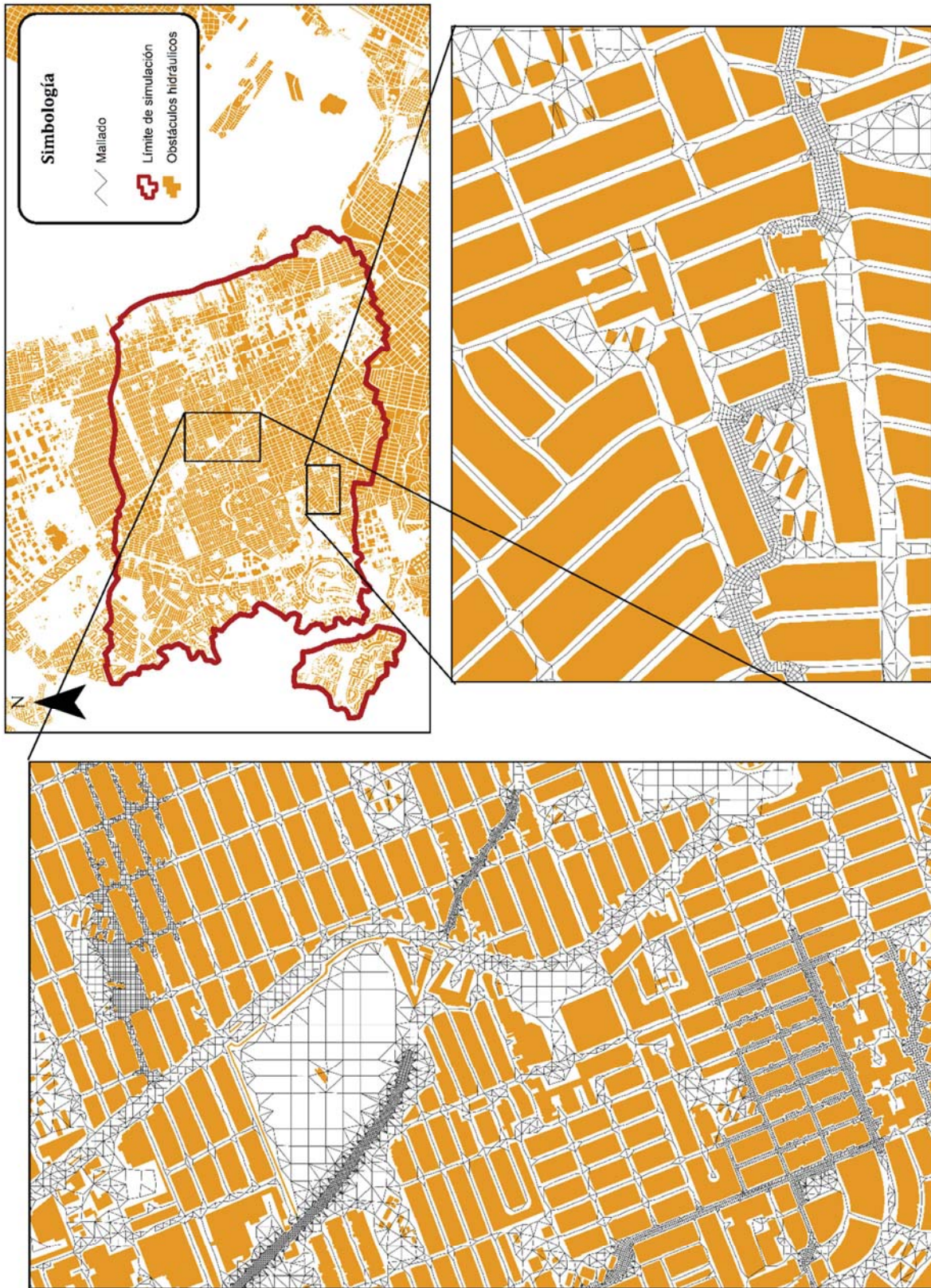


Figura 67.- Mallado del modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



6.3.6.2 Colocación de salidas

En las zonas más bajas de los modelos se asignaron las salidas, las cuales fungen como condición de frontera de cálculo. Para evitar errores de cálculo se consideraron salidas de tipo libre; es decir, que se presenta la condición de tirante crítico; y a los conductos que llegaban a las salidas se les asignó una válvula de no retorno (*flap gate*). En la **Figura 68** se muestra la zona de salidas del modelo Saucito.

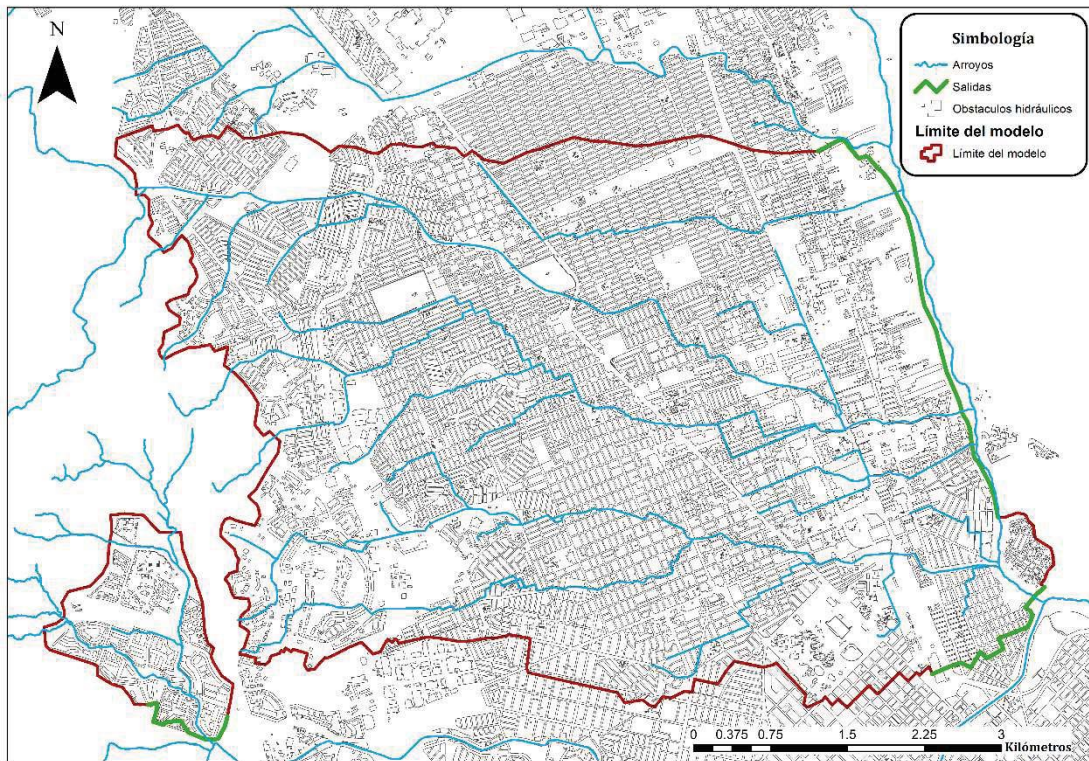


Figura 68.- Salidas del modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.

6.3.6.3 Conexión de cuencas y asignación de lluvia

La conexión de cuencas se realizó de dos maneras, las cuencas de aportación se conectaron entre ellas en forma de cascada dendrítica hasta llegar al mallado de simulación C2D, ver **Figura 69**, y las microcuencas dentro de la zona de simulación C2D se conectaron al nodo con cota (*invert elevation*) más alta, para que se simulará el recorrido del escurrimiento del agua desde la parte más alta de su microcuenca, ver **Figura 70**.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

A su vez, como se muestra en la **Figura 28**, solo dos de los polígonos de Thiessen tributarios de las estaciones climatológicas tienen influencia en las cuencas de estudio: estación Observatorio y estación El Rejón. Por tanto, se le asignó a cada microcuenca los hietogramas de diseño de su estación correspondiente, ver **Figura 71**.

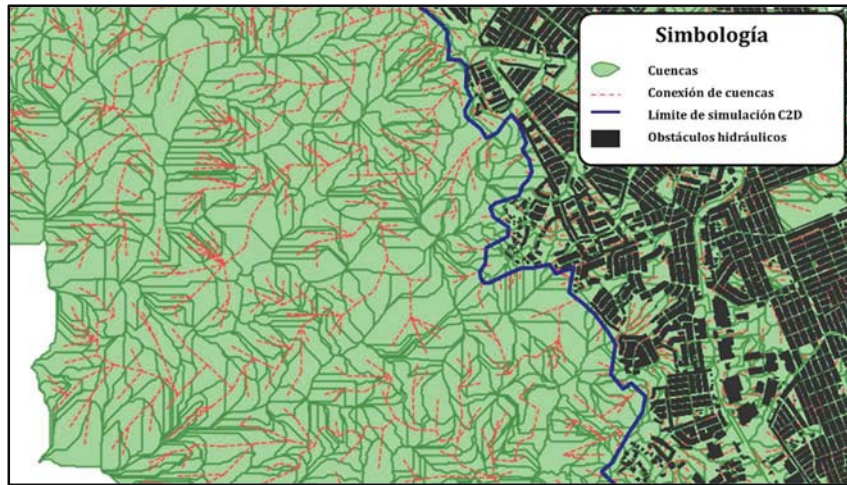


Figura 69.- Conexión de cuencas de aportación en forma de cascada dendrítica. Fuente: elaboración propia.

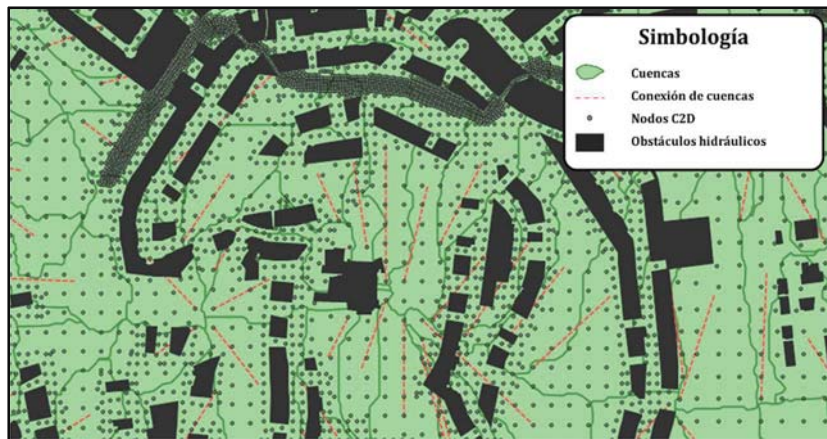


Figura 70.- Conexión de microcuencas en zona de simulación C2D. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

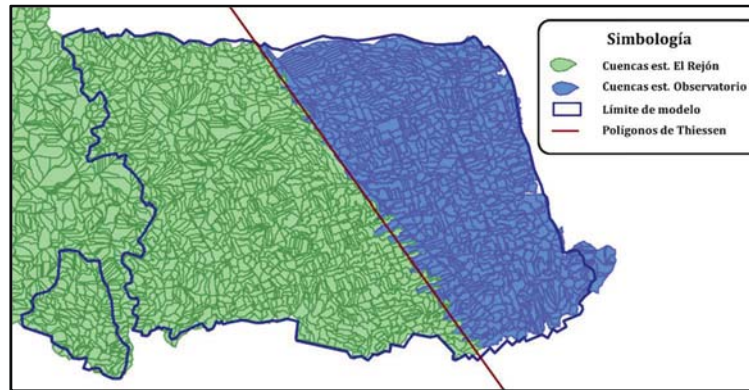


Figura 71.- Asignación de lluvia por estación climatológica. Fuente: elaboración propia.

6.3.6.4 Asignación de parámetros del uso de suelo a las cuencas.

Para poder realizar la simulación hidrológica se asignó a cada microcuena los parámetros del uso del suelo de manera ponderada. En la **Figura 72**, se muestra un ejemplo de la asignación ponderada del porcentaje de área impermeable en el modelo Saucito.

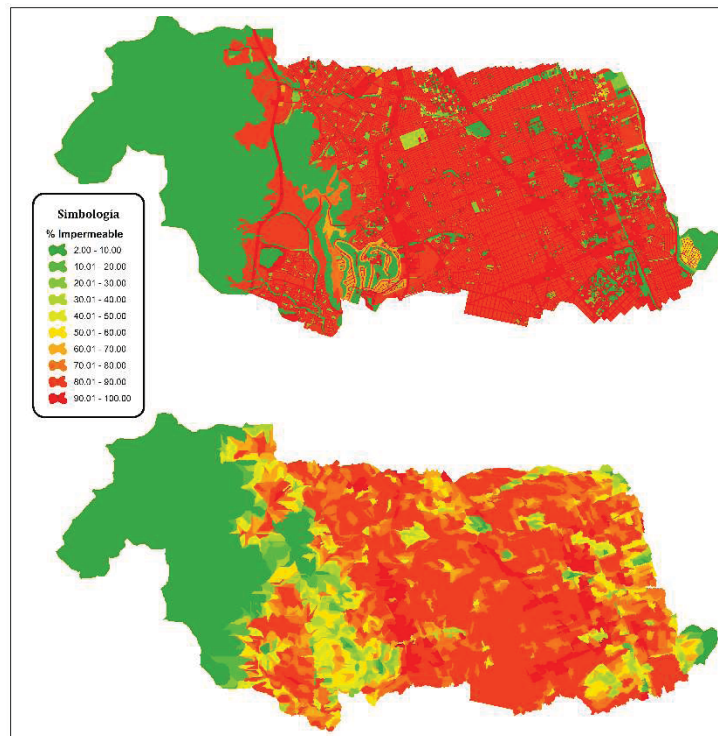


Figura 72.- Asignación ponderada de porcentaje de área impermeable en modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



6.3.6.5 Integración de Infraestructura pluvial existente

Para integrar la infraestructura pluvial existente de la zona de estudio, se obtuvo mediante un levantamiento pedestre en campo información geométrica y fotografías de 241 estructuras, ver **Figura 75**, clasificada en:

- 133 de cruce (puentes y alcantarillas pluviales);
- 19 de captación (bocas de tormenta de piso y de banqueteta);
- 53 de entrada o salida a una estructura de conducción (embovedado);
- 21 de conexión;
- 9 de regulación y;
- 6 de descarga.



Figura 74.- Estructura de cruce (a), estructura de conducción (b) y estructura de captación (c). Fuente: propia.



Figura 73.- Estructura de salida (a) y estructura de conexión (b). Fuente: propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

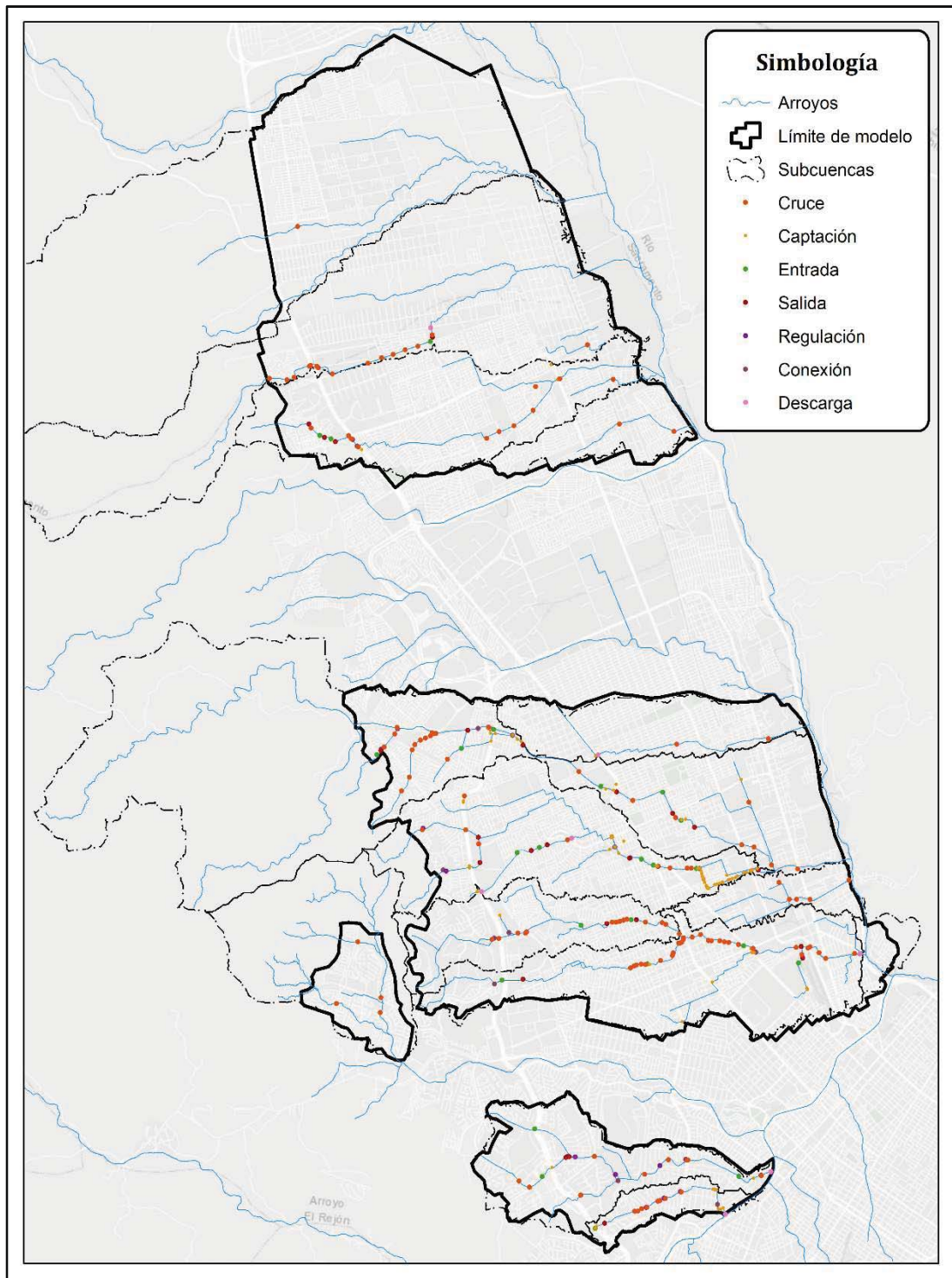


Figura 75.- Ubicación de infraestructura pluvial existente levantada en recorrido pedestre.
Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

- **Estructuras de cruce:** Se representaron como conductos cerrados conectados mediante nodos (*junctions*) conectados a su vez a la malla mediante de orificios. A los *junctions* se les dio la elevación del MDT y a los conductos se les asignó la geometría de la estructura de cruce (circular, rectangular o trapecial) con base en las medidas obtenidas en campo y rugosidad con base en las fotografías igualmente obtenidas en campo, ver **Figura 77**.
- **Estructuras de captación:** Se representaron como orificios rectangulares conectados de la malla 2D a la estructura de conducción correspondiente. En el caso de las bocas de tormenta de piso se consideraron orificios con descarga de fondo y de la mitad del área ocupada por la rejilla real, suponiendo que capta un 50% del agua que escurre sobre ella, ver **Figura 76**; por otra parte, las bocas de tormenta de banqueta se consideraron como orificios con descarga lateral del total del área de la boca de tormenta real.
- **Estructuras de conducción:** Se representaron como conductos cerrados de pendiente constante entre la cota de entrada y de salida, colocando un *junction* en cada lugar donde se le conectaría una estructura de captación o conexión, ver **Figura 79**.
- **Estructuras de regulación:** Se representaron elevando la cota de los *junctions* que se ubicaban alineados a la cortina del dique y colocando conductos conectados a orificios que a su vez se conectaron a la malla 2D aguas abajo y aguas arriba del dique para simular el desagüe de fondo, ver **Figura 78**.
- **Estructuras de descarga:** Se representaron conectando los conductos a una salida de tipo libre; es decir, donde se presenta el tirante crítico; y se les dio una longitud de 500m, considerando que de esta manera el tirante al inicio del conducto de descarga tendería al tirante normal.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS



Figura 77.- Ejemplo de estructura de cruce en PCSWMM®, arroyo El Mimbresur y avenida Heroico Colegio Militar. Fuente: elaboración propia.

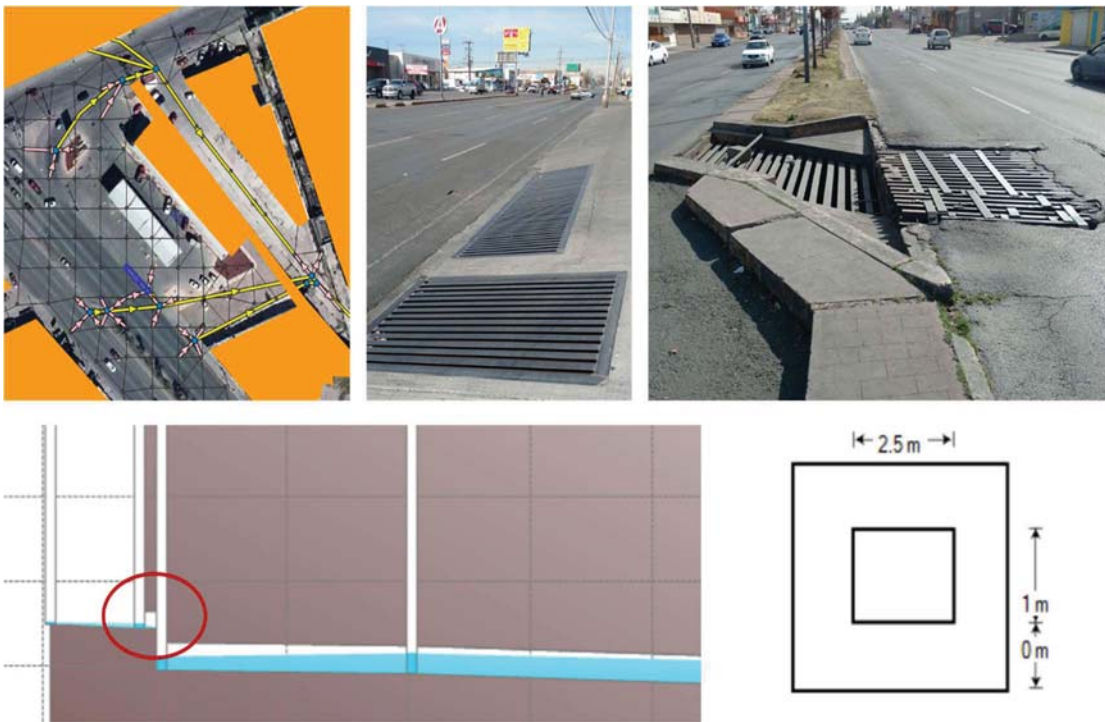


Figura 76.- Ejemplo de estructura de captación en PCSWMM®, arroyo Galera sur en avenidas Agustín Melgar y Tecnológico. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

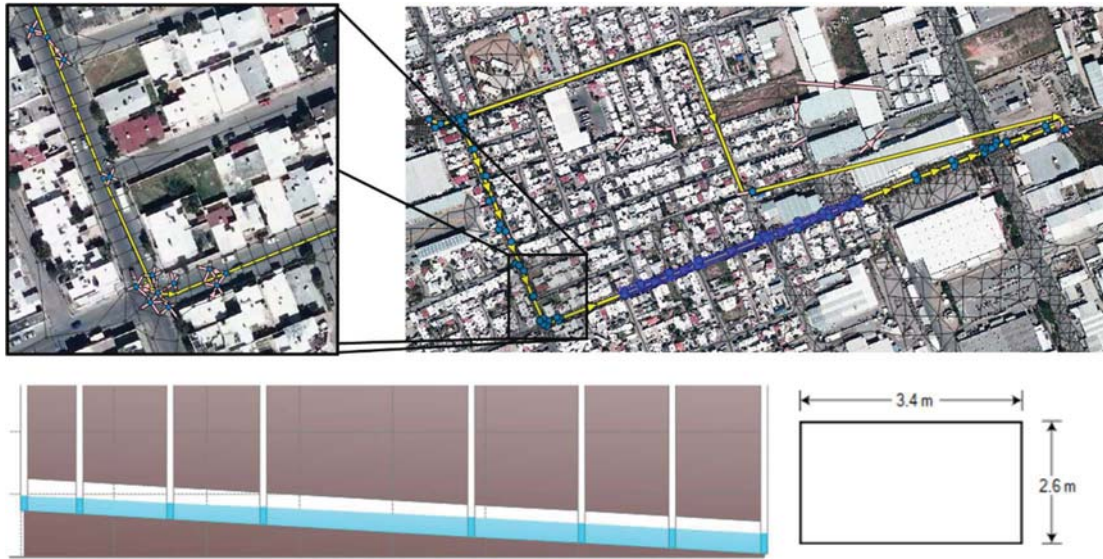


Figura 79.- Ejemplo de estructura de conducción en PCSWMM®, arroyo Saucito debajo de calle Sicomoro. Fuente: elaboración propia.



Figura 78.- Ejemplo de estructura de regulación en PCSWMM®, arroyo Plaza de toros aguas arriba de iglesia Santa María Reina. Fuente: elaboración propia.



6.3.6.6 Consideraciones especiales

A continuación, se explican diversas consideraciones especiales que se tuvieron en cuenta en la construcción de los tres modelos para las simulaciones.

- **Estructuras de detención:** Debido a que los mapas producto de los resultados de las simulaciones serán de carácter preventivo, se simula la situación sin proyecto de estructuras de detención, por lo cual estas estructuras se consideraron únicamente en el modelo Plaza de toros durante la recreación del evento pasado para el ajuste de parámetros de simulación;
- **Canales y arroyos 1D-2D:** Cuando la geometría de alguno de los canales o arroyos a cielo abierto del modelo no se describía correctamente en el MDE, se tomaron sus dimensiones en campo y se incluyó en el modelo con conductos y *junctions* en 1D conectados al mallado 2D mediante orificios. Posteriormente, debido a que los resultados de la simulación C2D se muestran en las celdas 2D, las cuales, cada una está asociada a un *junction* 2D, se crearon mediante procesos en un SIG, celdas 2D para los *junctions* 1D-2D y se asociaron dichos nodos con ellas. De esta manera, a pesar de no ser conductos del mallado 2D, fue posible incluir sus resultados en los mapas obtenidos de las simulaciones, ver **Figura 80**;

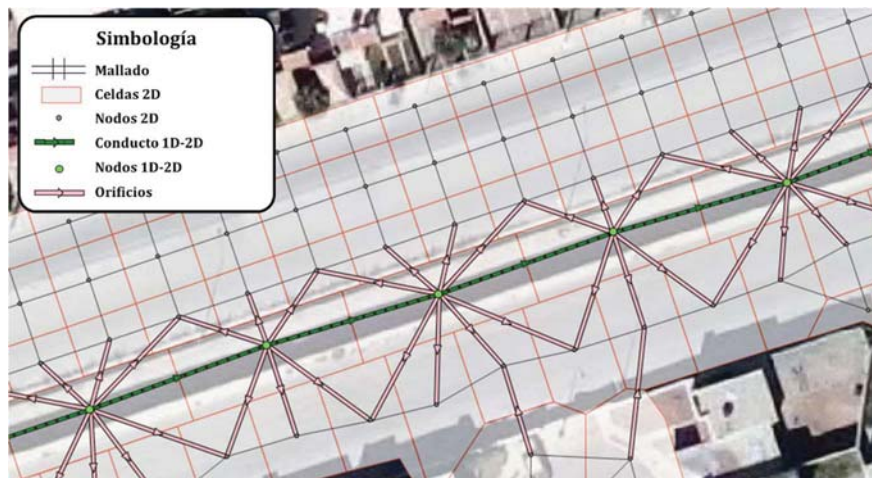


Figura 80.- Ejemplo de canal 1D-2D. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

- **Longitud mínima de conductos:** Se eliminaron los conductos con longitud menor a 1 metro para tener un equilibrio en la relación del *número de Courant*;
- **Pasillos pluviales de fraccionamientos privados:** En varios fraccionamientos residenciales privados de la zona de estudio se cuenta con pasillos pluviales, por los cuales se desaloja el agua precipitada sobre el mismo fraccionamiento y en algunos casos el agua pluvial de fraccionamientos contiguos. Se identificó que varios de estos pasillos pluviales a su salida contaban con rejillas o celosías de blocks de concreto alternados. Estas salidas se representaron en los modelos colocando orificios conectando el mallado 2D dentro y fuera del fraccionamiento privado, ver **Figura 81**. La geometría de los orificios se obtuvo con apoyo de la herramienta *streetview* de *Google Earth* considerando el ancho y alto de un block de concreto (0.20m*0.40m) y en casos donde no se pudo obtener de esta manera se midió en campo durante el levantamiento pedestre.



Figura 81.- Representación de pasillos pluviales de fraccionamientos privados. Fuente: elaboración propia.



6.4 Simulación

6.4.1 Ajuste de parámetros

Como se mencionó en la metodología, el ajuste de parámetros de simulación consiste en modificar los mismos con el fin de asemejar lo más posible los resultados de la simulación a los efectos reales de un evento de inundación pasado. Para esto se utiliza información de dicho evento, principalmente su lámina de precipitación y el nivel registrado en las estaciones hidrométricas sobre un río o arroyo dentro de la zona.

Sin embargo, debido a la carencia de estaciones hidrométricas en la zona de simulación, se realizó dicho ajuste con base en la información del evento de inundación presentado en la zona el 4 de julio de 2015. En el cuál y como se muestra en la **Figura 82**, aproximadamente a la 1:20pm se presentó sobre la ciudad de Chihuahua una lluvia de 36.8mm acumulados, la cual provocó escurrimientos importancia en buena parte de la ciudad incluida la cuenca del arroyo Plaza de toros, donde el escurrimiento arrastró diversos vehículos sobre la calle 2 del fraccionamiento Encordada Santa Fe y posterior depósito aguas abajo en un parque sobre el que escurre el arroyo. Esto fue documentado en video y fotografías por los vecinos del fraccionamiento y posteriormente compartido en redes sociales, ver **Figura 84** y **Figura 83** .



Figura 82.- Lluvia 4 de julio del 2015 sobre Chihuahua, Chih. Fuente: (SDP Noticias, 2015)



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS



Figura 84.- Inundación en calle 2, Encordada Santa Fe, Chihuahua, Chih. 4 de julio del 2015.
Fuente: (Ruíz, 2015).



Figura 83.- Inundación en arroyo Plaza de toros, Chihuahua, Chih. 4 de julio del 2015.
Fuente: (Daniela Jiménez, 2015).

A partir de las imágenes de las grabaciones realizadas por los vecinos de la calle 2, **Figura 85**, se obtuvo el tirante del agua alcanzado durante el evento, comparándolo con la altura del vehículo marca *Hummer* se estimó su valor entre 1.30m y 1.35m.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

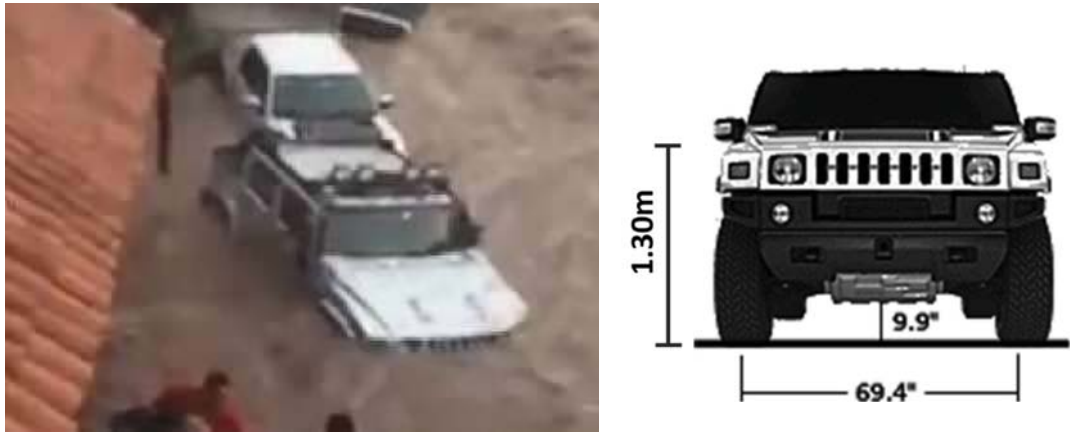


Figura 85.- Tirante de escorrentía en calle 2, durante inundación del 04/07/15. Fuente: elaboración propia con datos de (Ruíz, 2015) y (TBP, 2018)

La información de precipitación se obtuvo de la EMA “Deportiva” de la UACH, la cual fue la EMA en funcionamiento durante el evento de lluvia más cercana a la cuenca, estando a 3.8km de su centro geométrico, **Figura 86**, sus valores se muestran en la **Figura 88**, con ellos se elaboró el hietograma a cada 5 minutos de la **Figura 87**, con un total de 36.8mm acumulados y una intensidad máxima de 36.3mm/h durante la primera hora de la lluvia.

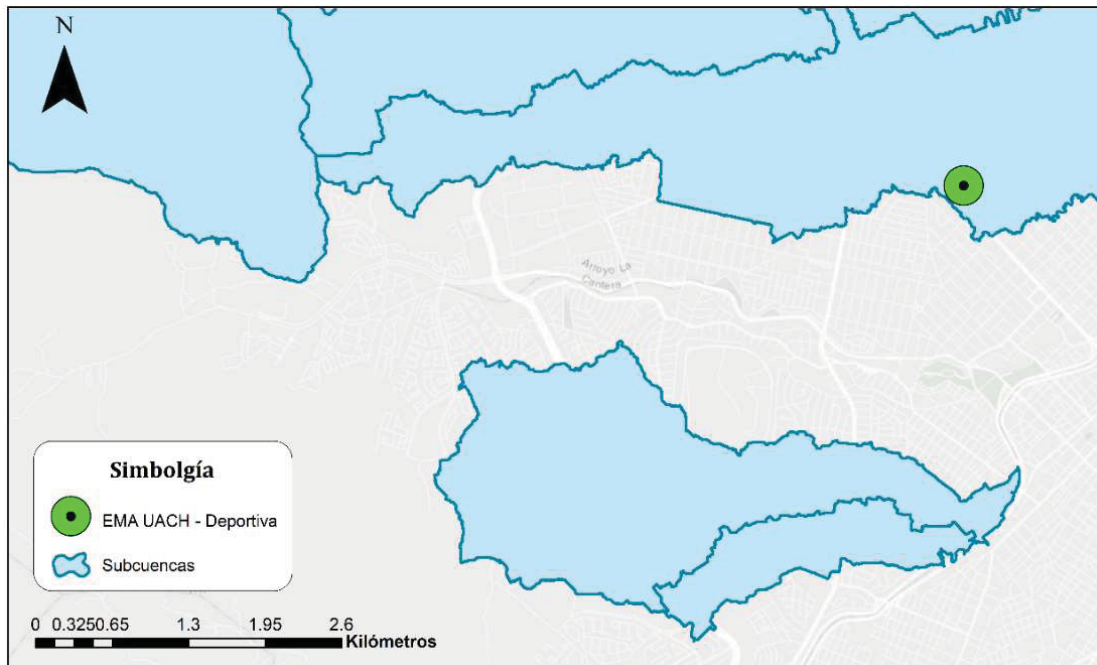


Figura 86.- Ubicación EMA UACH- Deportiva. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

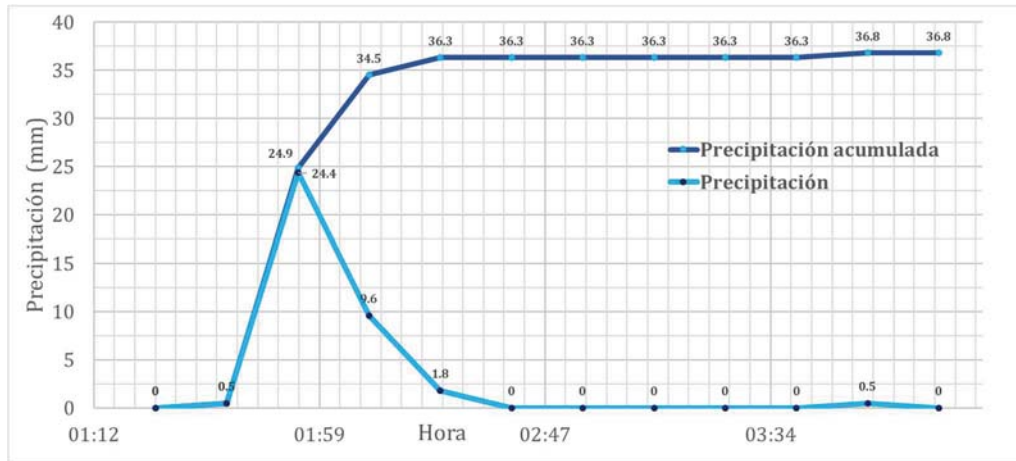


Figura 88.- Precipitación EMA Deportiva 04/07/2015. Fuente: elaboración propia con datos de (Wundermap, 2017).

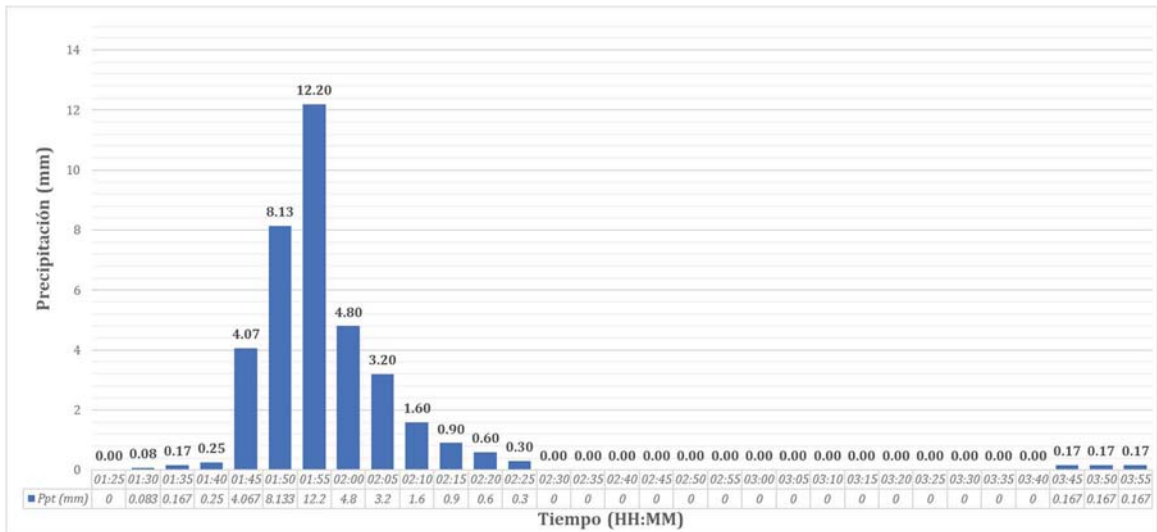


Figura 87.- Hietograma de diseño para evento 04/07/15. Fuente: elaboración propia con datos de (Wundermap, 2017).

En este modelo si se incluyeron las siete estructuras de regulación encontradas en los recorridos pedestres dentro de las cuencas a simular.

Se simularon 5 horas de evento en repetidas ocasiones variando los parámetros hidrológicos hasta obtener los resultados de tirante máximo de escorrentía mostrados en la **Figura 89**, asimismo en dicha figura se observa que en la ubicación del vehículo *Hummer* el día del evento se presentan tirantes de entre 1.31m a 1.35m (mostrados en color rojo). Con esto se validaron los valores del uso de suelo mostrados en la **Tabla 25**.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

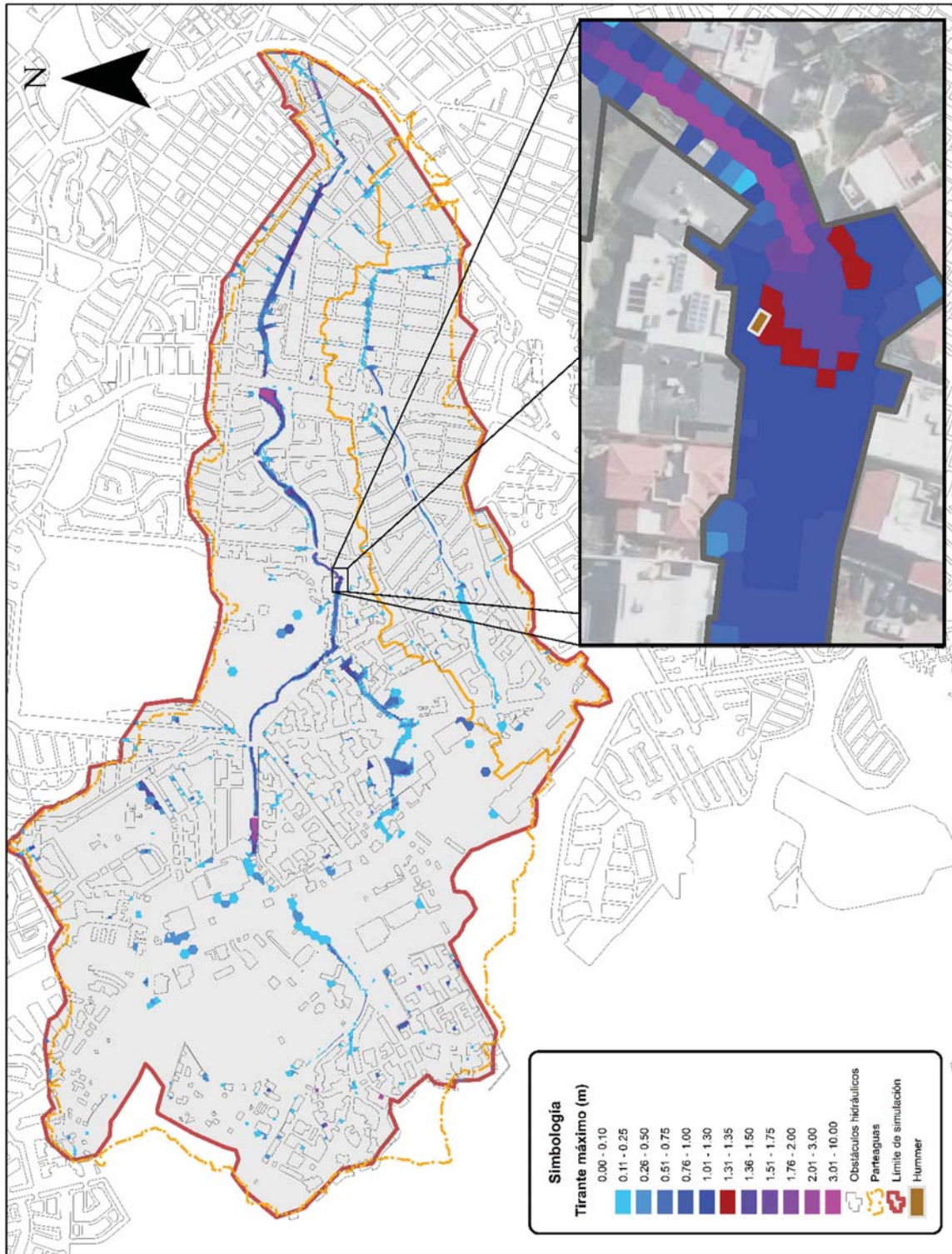


Figura 89.- Tirantes máximos de escorrentía en modelos Plaza de toros-04/07/15. Fuente: elaboración propia.



6.4.2 Simulaciones hidrológicas-hidráulicas

Se simularon 6 horas de evento de lluvia por cada modelo a cada periodo de retorno: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1,000. De la **Figura 92** a la **Figura 98** se muestran los resultados de tirante máximo de escorrentía y velocidad máxima de escorrentía en los tres modelos, para un periodo de retorno de 200 años considerando que en éste se aprecian las zonas de mayores tirantes y velocidades. Asimismo, en la **Figura 91** y en la **Figura 95** se muestra la evolución de los tirantes y velocidades máximos de escorrentía, respectivamente, para diferentes periodos de retornos en una zona de la cuenca Saucito. En anexos se muestran los mapas de tirante y velocidad máximos de escorrentía para cada periodo de retorno para cada modelo.

En la **Figura 90** se muestra el resultado de las consideraciones especiales para la salida de los pasillos pluviales en fraccionamientos privados, apreciando un remanso por la incapacidad hidráulica debida a las rejillas o celosías colocada en dichos pasillos.



Figura 90.- Remanso en fraccionamientos privados por incapacidad hidráulica en pasillos pluviales. Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 92** se aprecia que los mayores tirantes en el arroyo Plaza de toros, se presentan en la calle 2, dentro del fraccionamiento Encordada Santa Fe y aguas abajo en la calle 26^a; y se aprecia el desbordamiento del tramo canalizado antes de llegar a su



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

descarga. Asimismo, se aprecia la formación de dos cuerpos de agua a lo largo del arroyo, el mayor, aguas arriba de la avenida Ortiz Mena.

En la **Figura 93** se muestra que el arroyo Galera sur presenta tirantes mayores a 1.50m sobre algunas calles, el arroyo Galera norte presenta incapacidad hidráulica en uno de sus tramos embovedados desbordando aguas arriba, el arroyo María de los Ángeles presenta tirantes de entre 1.50m y 2.00m sobre sus calles cerca de su descarga, el arroyo Saucito es el que presenta más escurrimientos sobre las calles con tirantes mayores a 0.15m sobre las calles de su cauce principal y afluentes, en alguna zonas rebasando los 2.00m, asimismo se aprecia que el escurrimiento de este arroyo rebasa los límites de su parteaguas hidrográfico en sentido del oeste al este, principalmente en la zona de la confluencia de la Ave. Vallarta y la Ave. Tecnológico bajando por la calle Broadway hasta llegar al arroyo El Mimbresur, el cual a pesar de tener menos zonas con desbordamientos presenta tirantes de hasta 1.00m sobre las calles aguas debajo de la Ave. Periférico de la Juventud. Por último, el arroyo Magallanes presenta en dos de sus afluentes, tirantes sobre las calles de hasta 1.00m y posteriormente desbordamientos en su cauce.

En la **Figura 94** se aprecia que el arroyo Real de minas presenta desbordamientos al girar a la calle monte Everest, el arroyo Los arcos es el que presenta mayor área con tirantes mayores a 0.15m sobre las calles llegando a tirantes de entre 1.26m y 1.50m, a su vez se aprecian zonas de captación que no cumplen su objetivo por lo que el agua escurre por las calles en lugar de por el arroyo. El arroyo El Álamo muestra un comportamiento de flujo laminar en su zona más baja perdiendo su cauce. Por último, el arroyo El Mimbresur norte presenta desbordamientos, que en general quedan alejados de las viviendas.

En la **Figura 96**, **Figura 97** y **Figura 98** se muestra la distribución de velocidades denotando las mismas zonas críticas que los tirantes máximos, sin embargo tiene una mayor distribución, por lo que en general se tienen más zonas con velocidades altas que con tirantes altos.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

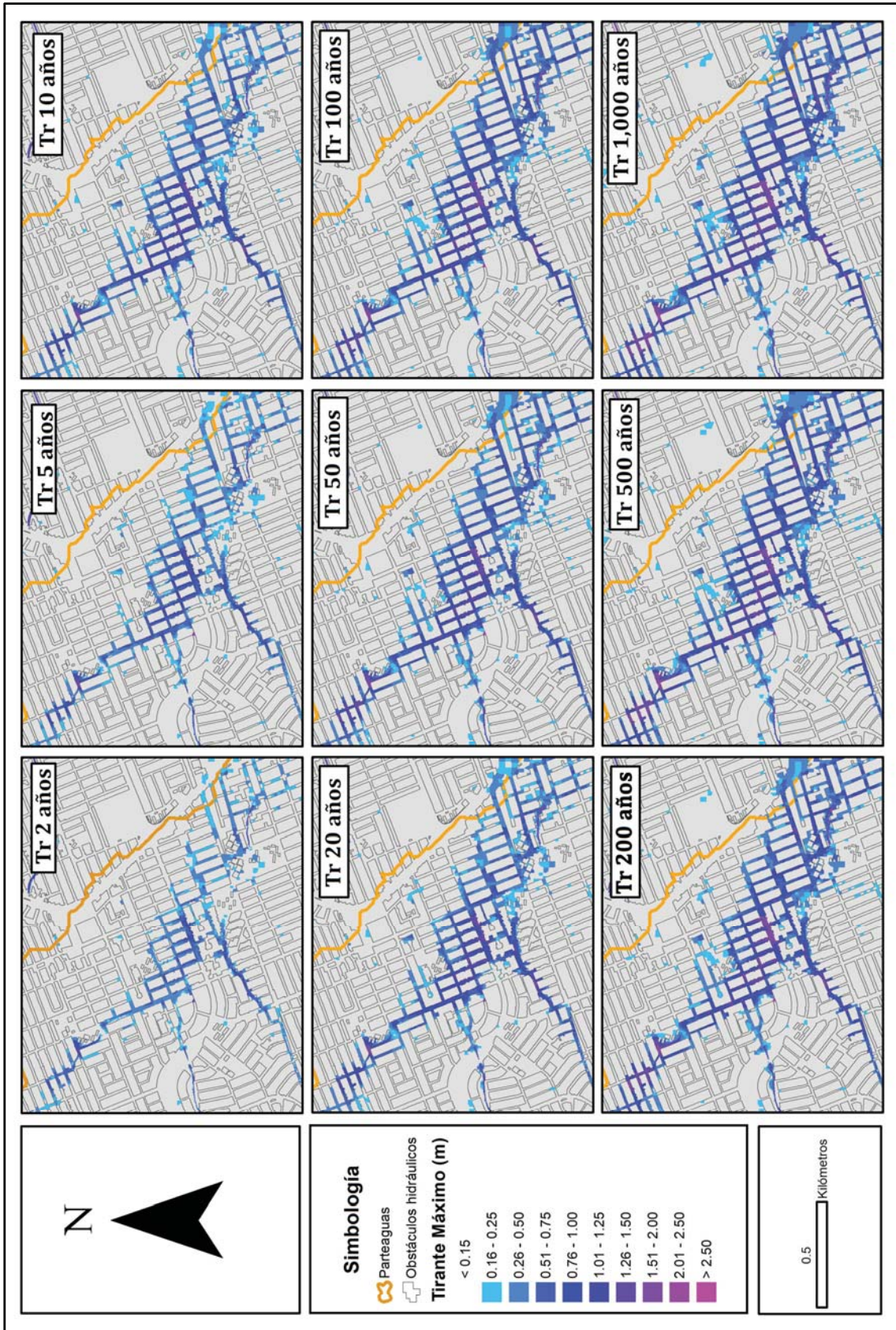


Figura 91.- Ejemplo de tirantes máximos de escorrentía en metros por periodo de retorno. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

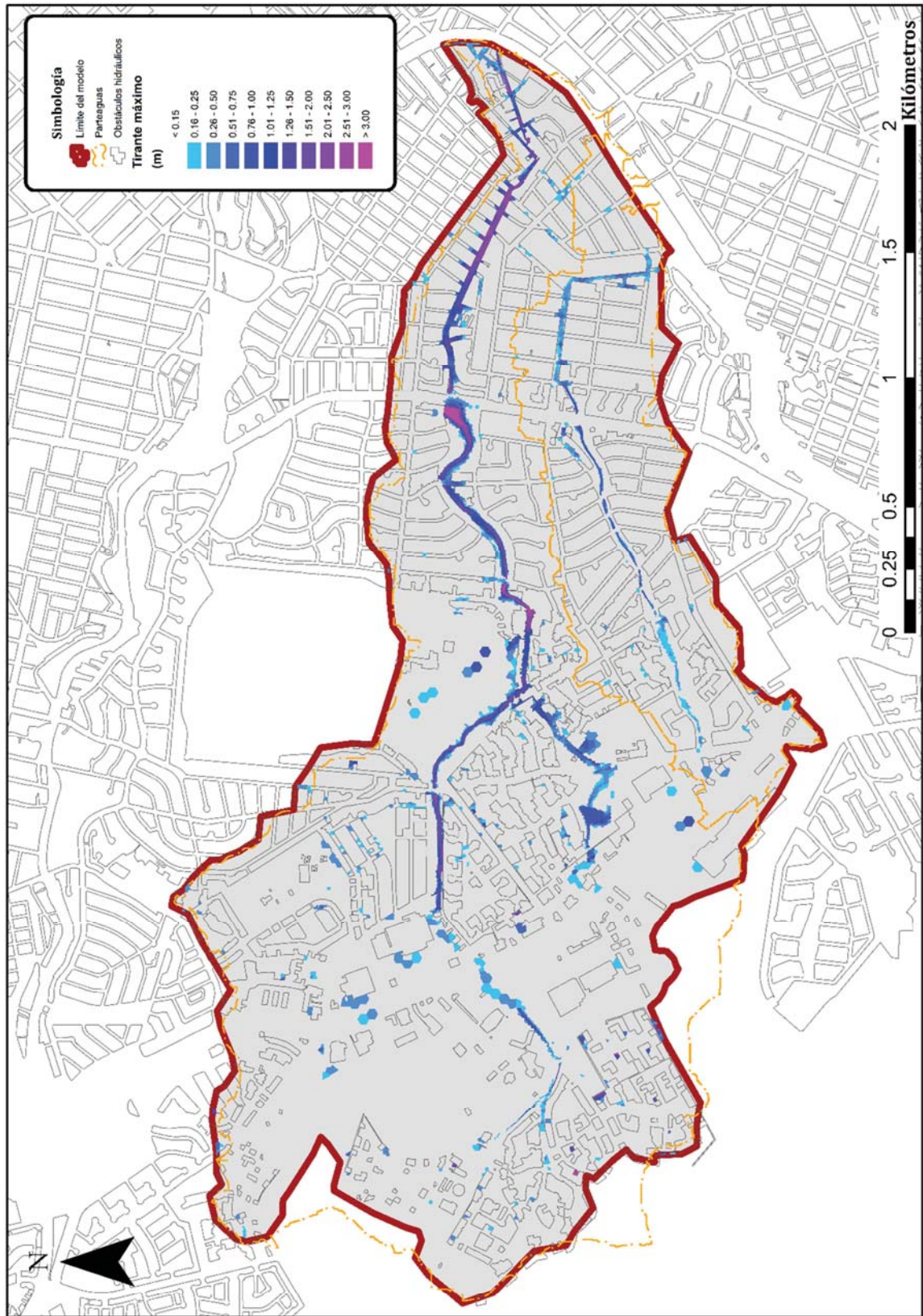


Figura 92.- Mapa de Tirantes máximos de escorrentía (m) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Plaza de toros. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

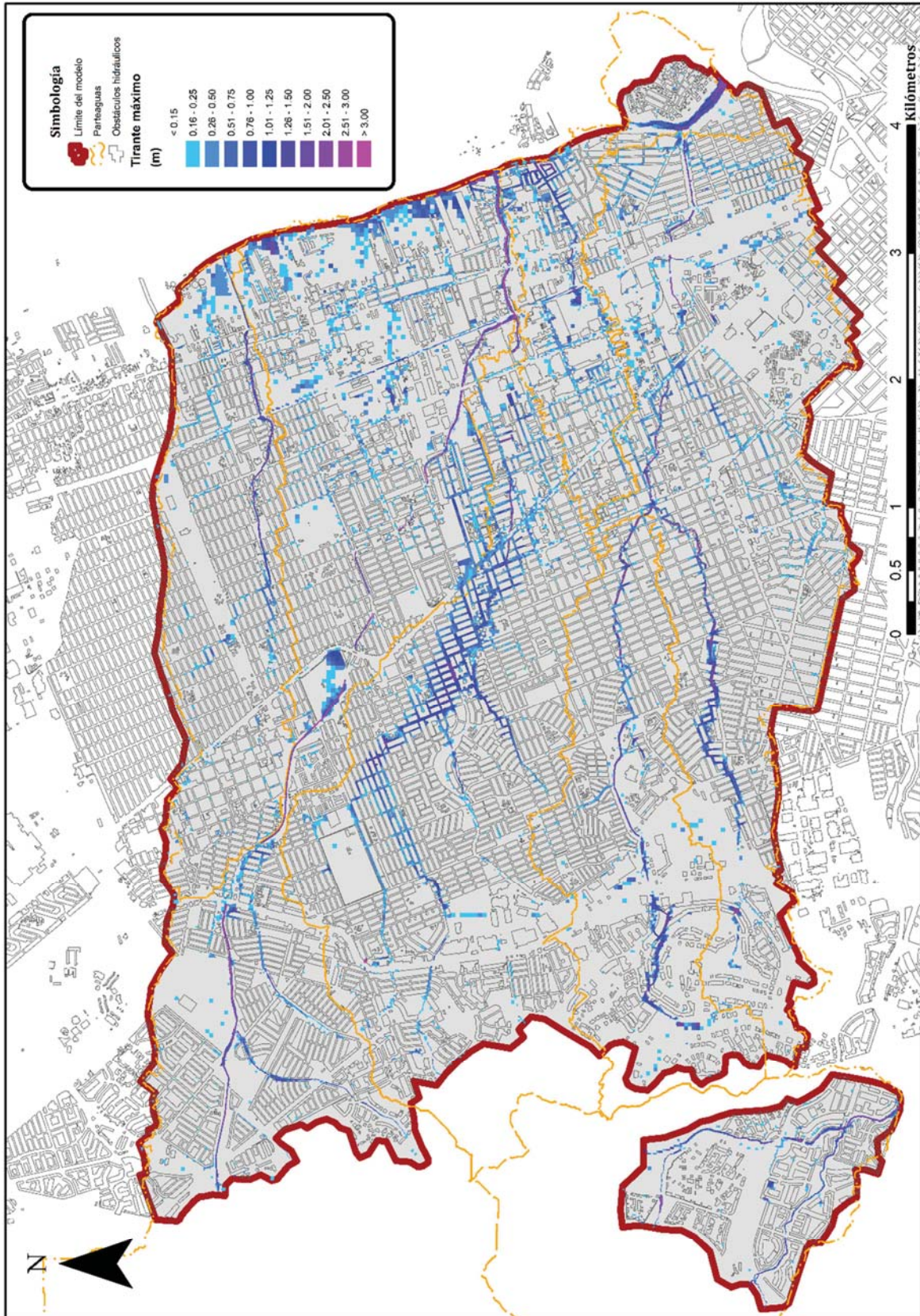


Figura 93.- Mapa de Tirantes máximos de escorrentía (m) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

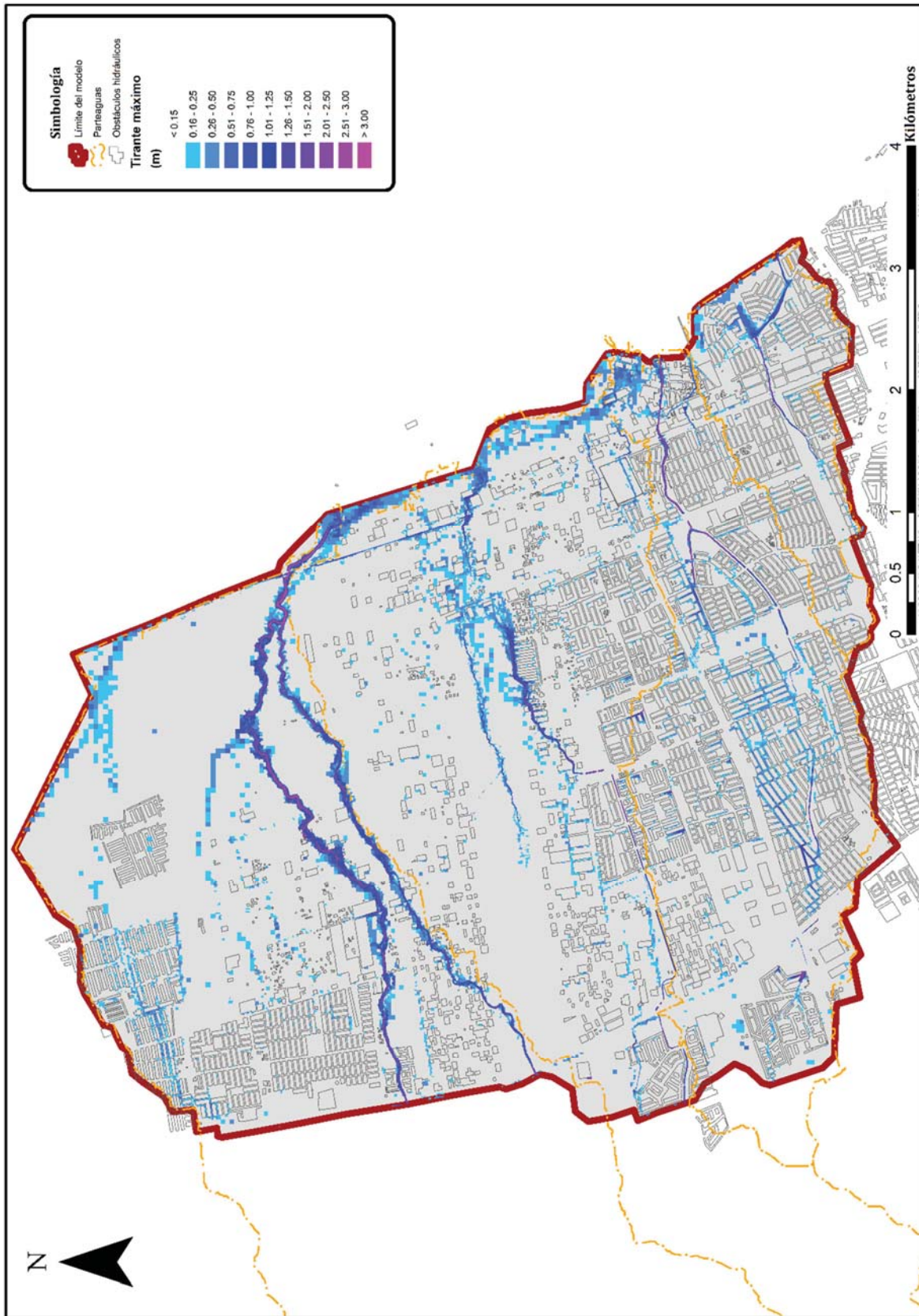


Figura 94. - Mapa de Tirantes máximos de escorrentía (m) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Los Arcos. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

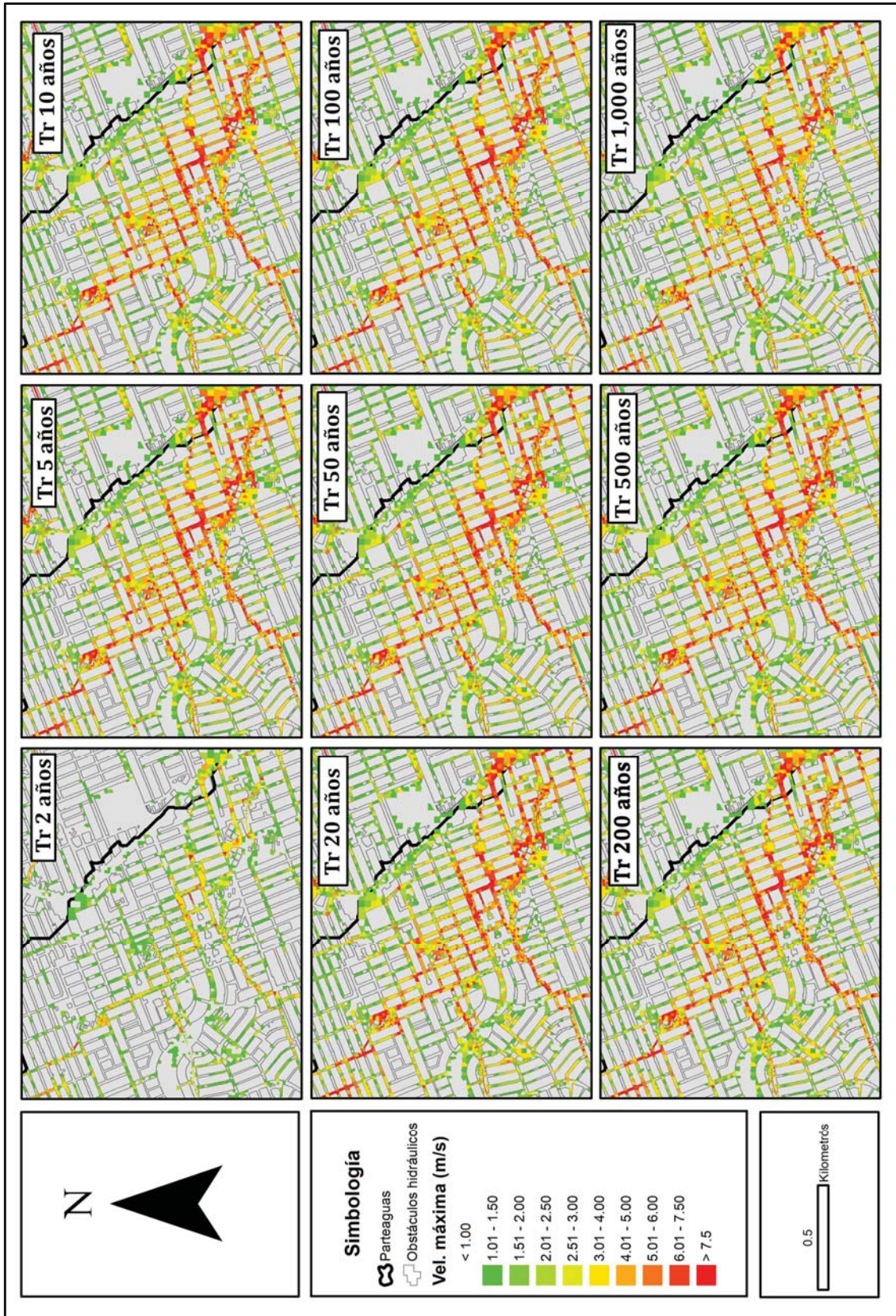


Figura 95.- Mapa de velocidades máximas de escorrentía (m) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Los Arcos. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

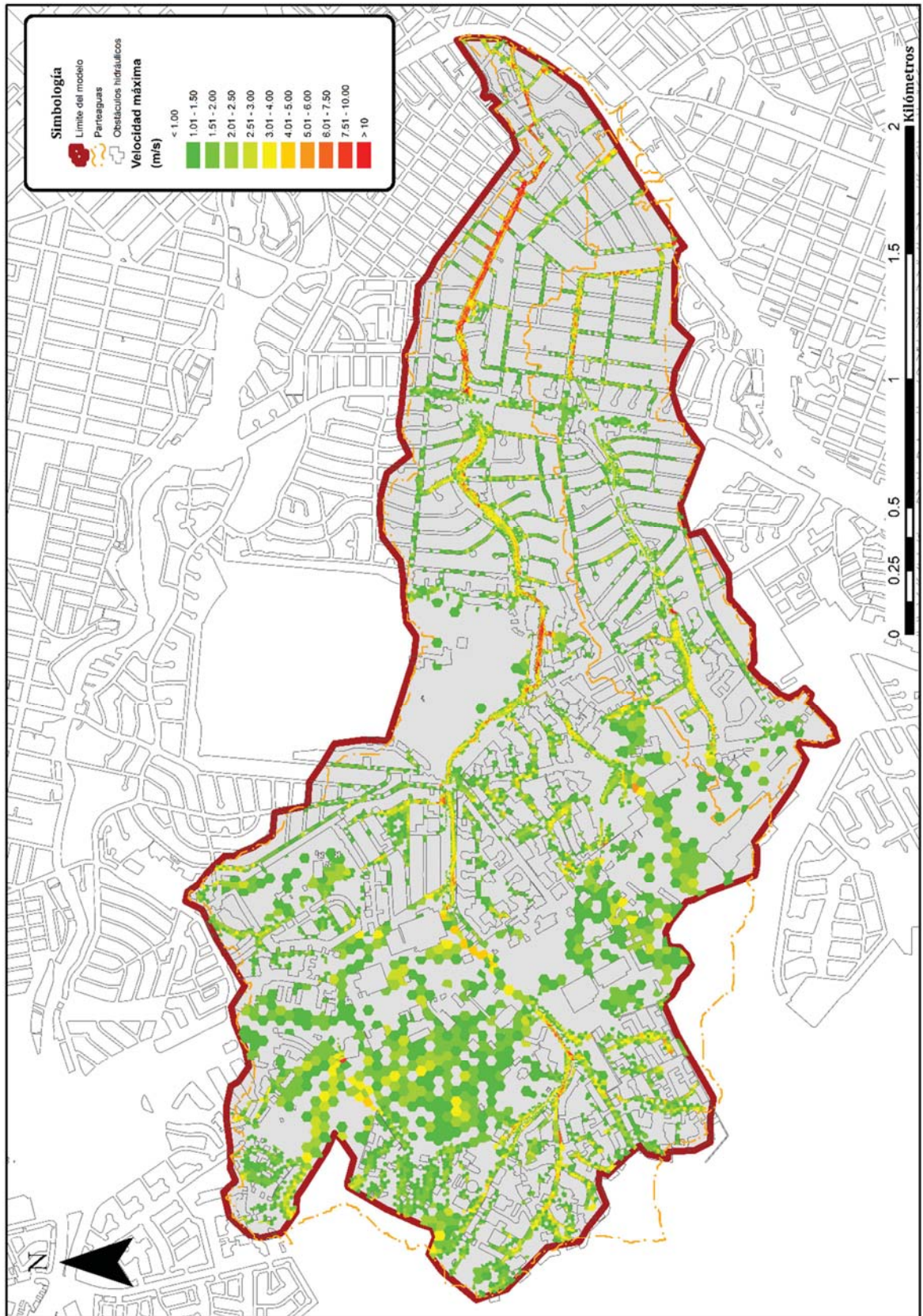


Figura 96.- Mapa de Velocidades máximas de escorrentía (m/s) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Plaza de toros. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

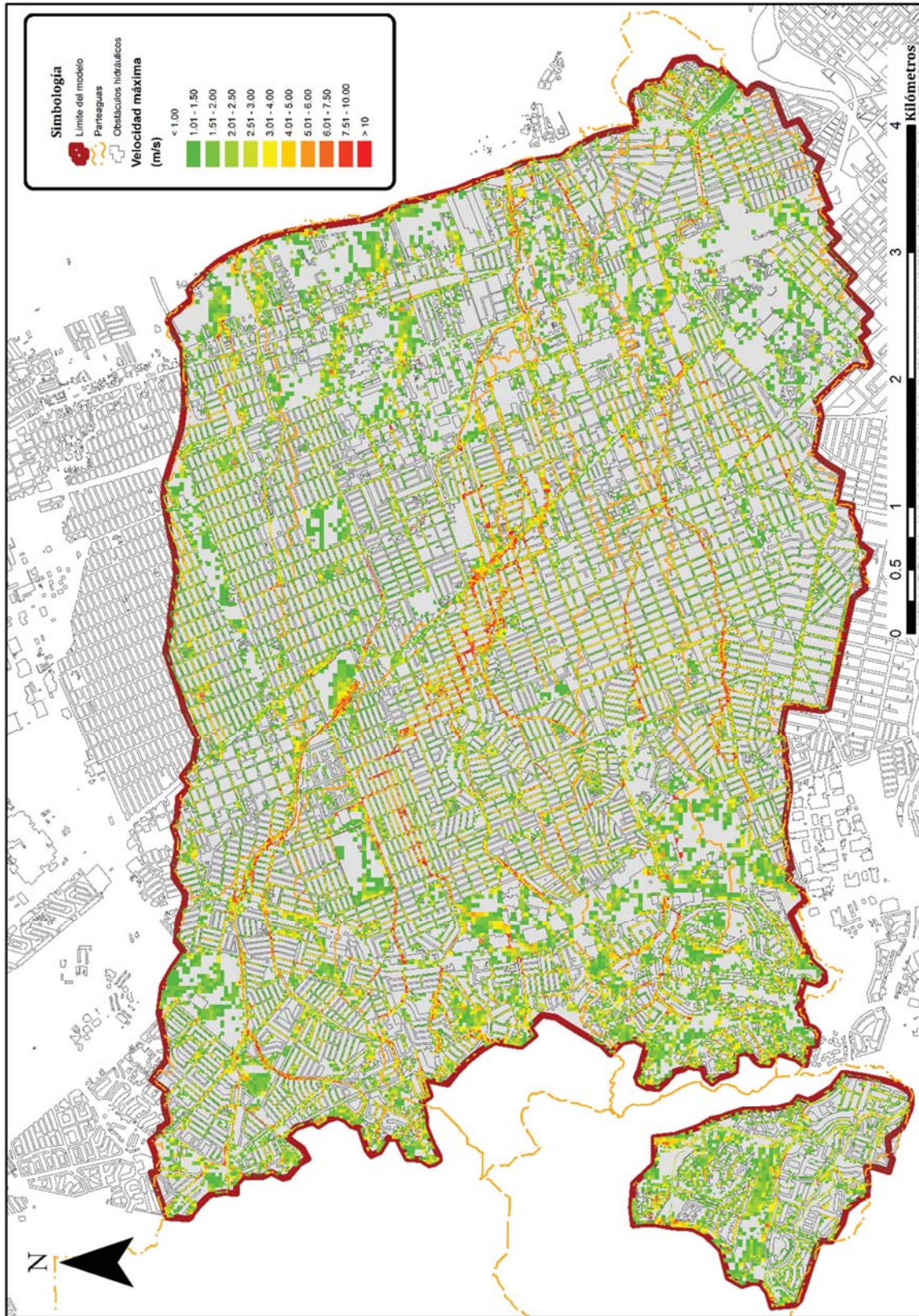


Figura 97.- Mapa de Velocidades máximas de escorrentía (m/s) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

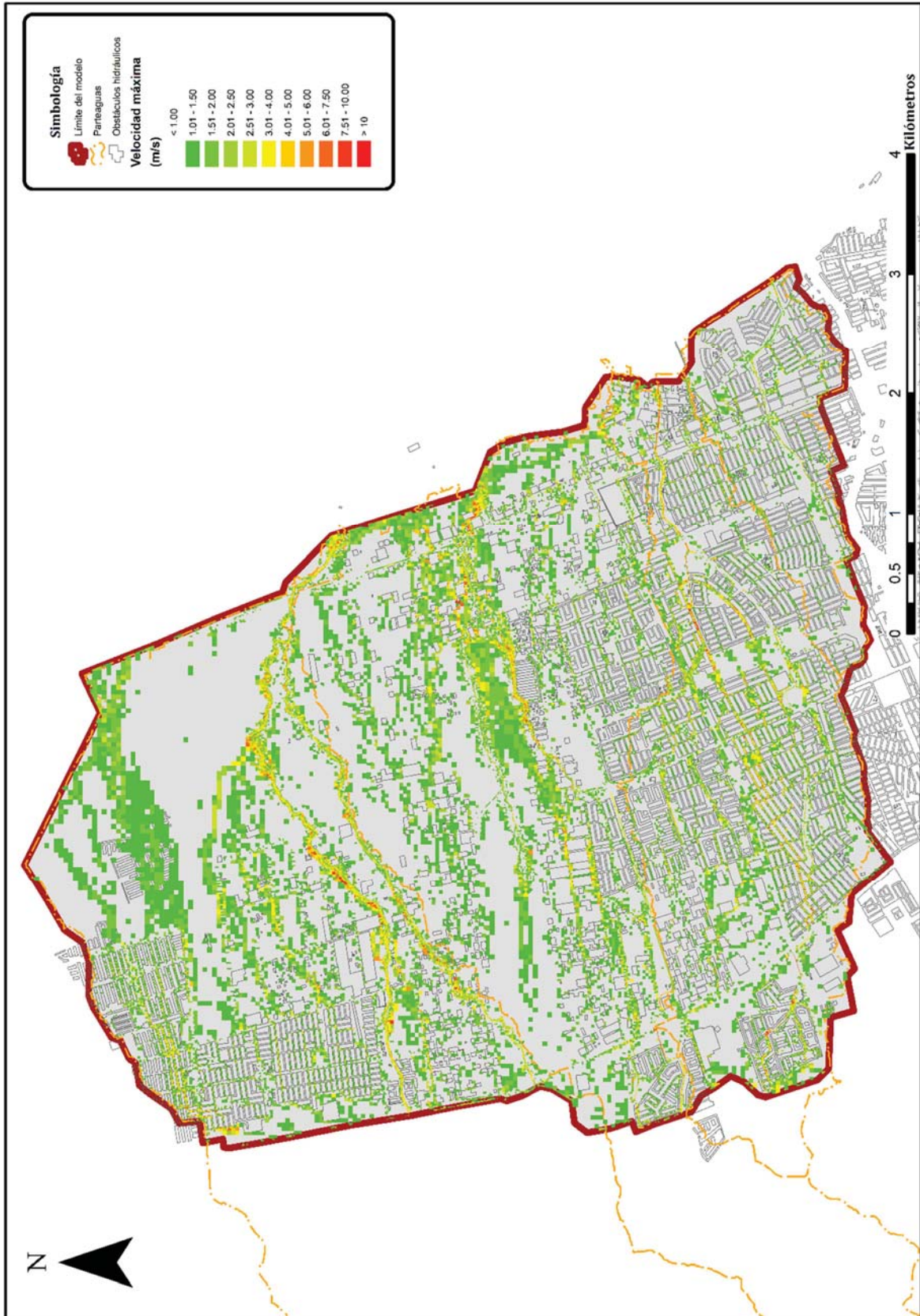


Figura 98.- Mapa de Velocidades máximas de escorrentía (m/s) para un periodo de retorno 200 años, en modelo Los Arcos. Fuente: elaboración propia.



6.5 Post proceso de información

6.5.1 Mapas de Peligro Ante Inundaciones Simplificado Para Vivienda (PAISPV)

Con los resultados de tirante máximo de escorrentía y velocidad máxima de escorrentía se construyeron los mapas de peligro (PAISPV) mostrados de la **Figura 100** a la **Figura 102** para el periodo de retorno de 200 años, aplicando el criterio mostrado en la **Tabla 5**. También se muestra el resultado de considerar peligro nulo las zonas con un tirante menor a 0.30m sin importar su velocidad, pues en varias zonas a pesar de contar con velocidad alta, en los mapas de peligro se muestran en peligro nulo. En anexos se muestran los mapas de PAISPV para cada periodo de retorno para cada modelo.

Tabla 5.- Valores de tirante y volcamiento por niveles de peligro ante inundaciones simplificado para viviendas (PAISPV). Fuente: elaboración adaptación de (IMTA, 2015).

Peligro Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas	Altura (y)	Volcamiento ($y*v$)
	(m)	(m^2/s)
Nulo	$y < 0.30$	-
Bajo	$0.30 < y < 0.75$	$y*v < 0.5$
Medio	$0.75 < y < 1.5$	$0.5 < y*v < 2$
Alto	$y > 1.5$	$y*v > 2$

Asimismo, en la **Figura 99** se muestra la evolución del peligro PAISPV para diferentes periodos de retorno en una zona de la cuenca Saucito



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

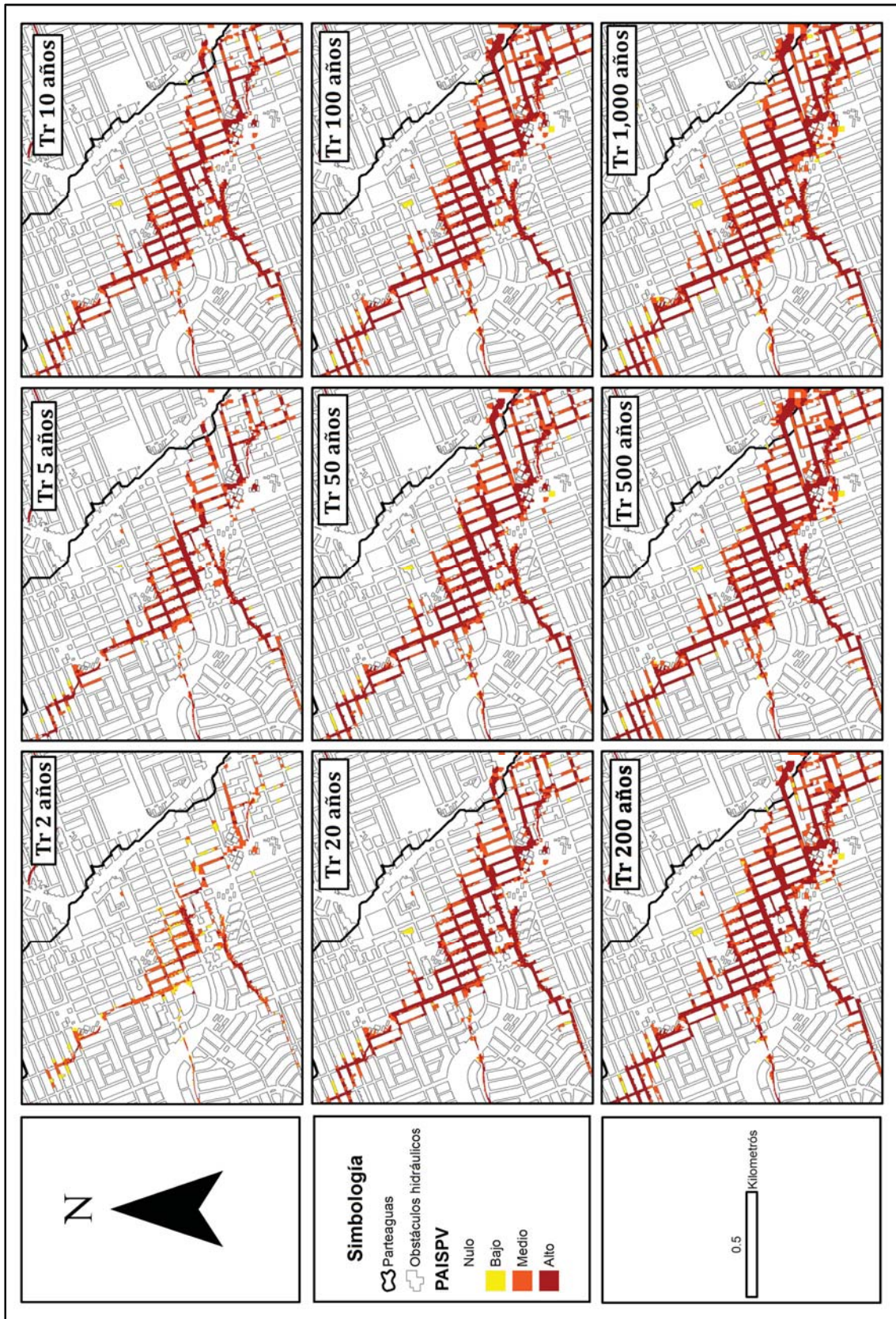


Figura 99.- PAISPV para diferentes periodos de retorno en cuenca Saucito. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

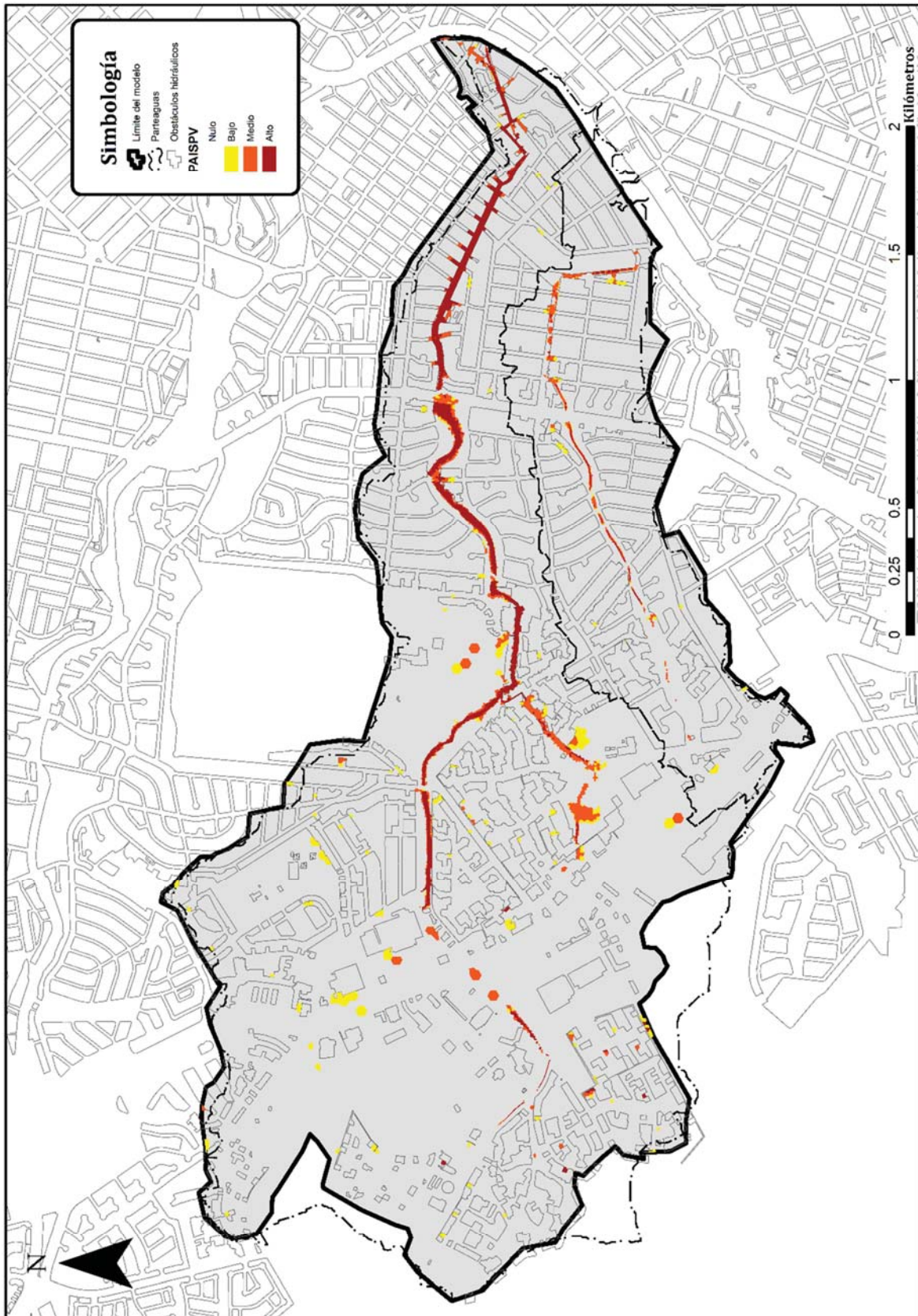


Figura 100.- Mapa de Peligro Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas en modelo Plaza de toros para periodo de retorno de 200 años. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

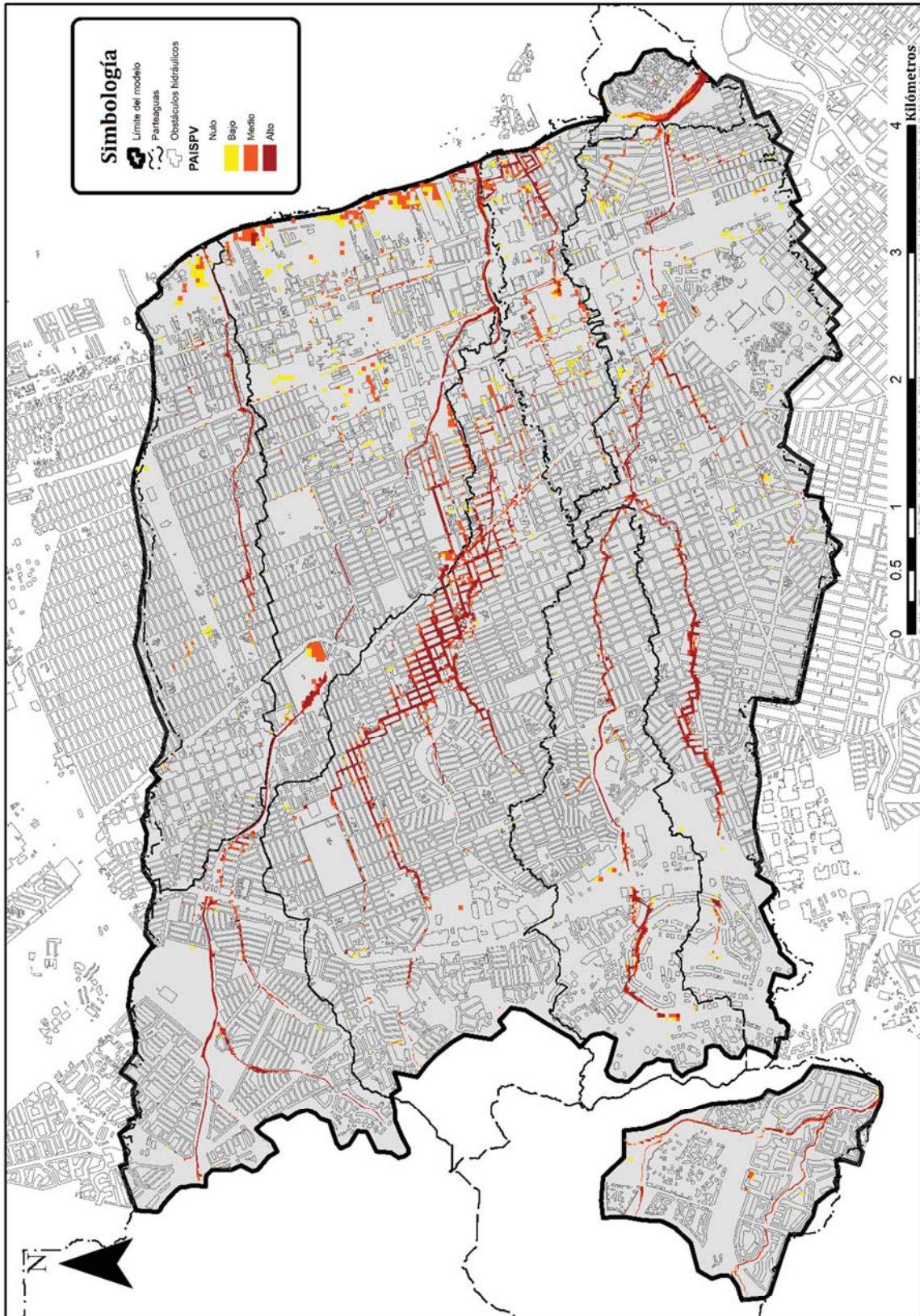


Figura 101.- Mapa de Peligro Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas en modelo Saucito para periodo de retorno de 200 años.
Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

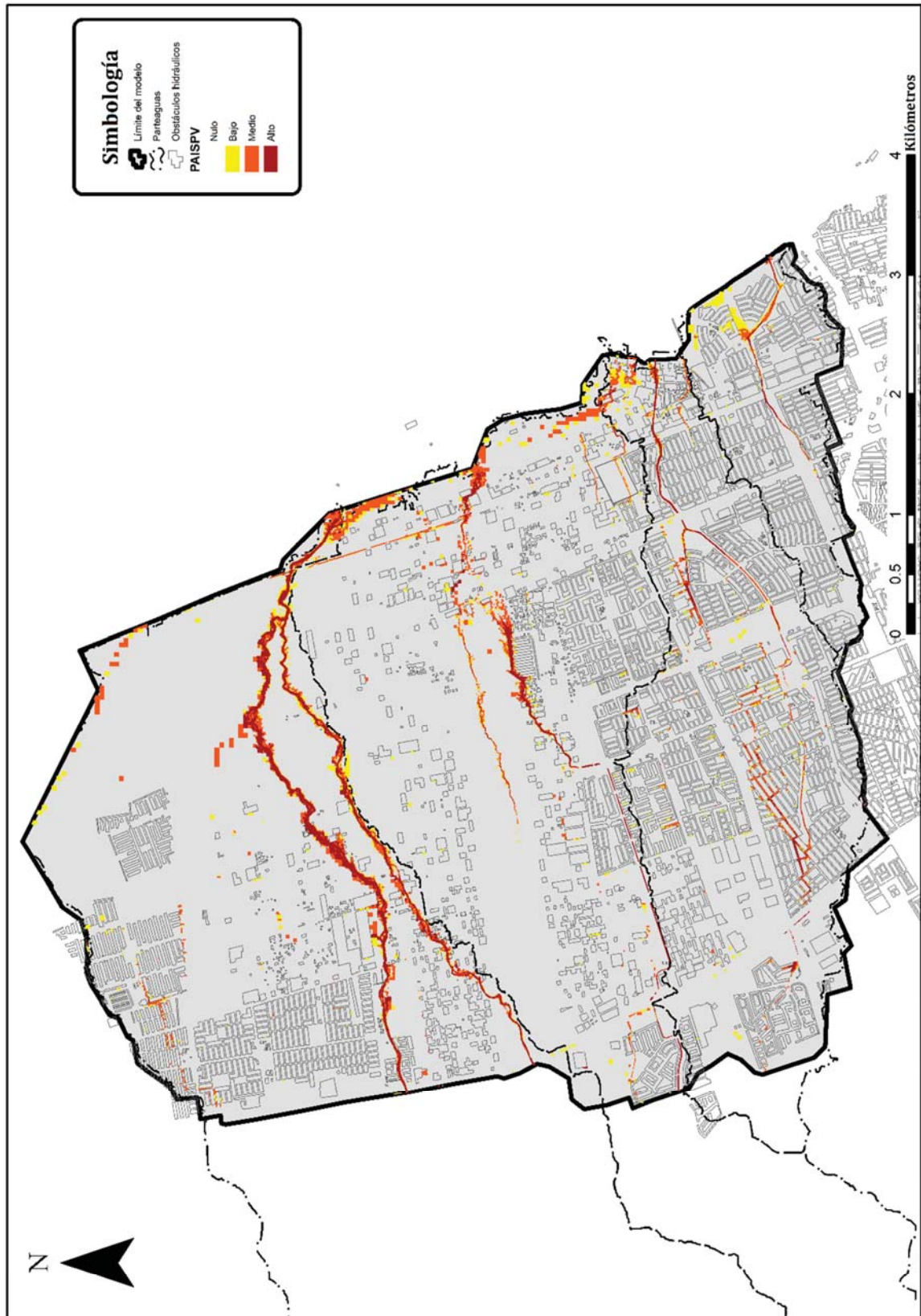


Figura 102.- Mapa de Peligro Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas en modelo Los Arcos para periodo de retorno de 200 años.
Fuente: elaboración propia.



6.5.2 Mapa de Vulnerabilidad Ante Inundaciones Simplificada Para Viviendas

Para la creación del mapa de vulnerabilidad VAISPV se utilizó la información de las manzanas de las AGEBS de Inegi de la localidad de Chihuahua, aplicando lo descrito en la metodología, se eligieron los parámetros socioeconómicos y condicionantes mostrados en la **Tabla 29**.

Tabla 29.- Criterio para asignar Vulnerabilidad Ante Inundaciones Simplificada para Viviendas con parámetros socioeconómicos de AGEBS Inegi en la localidad de Chihuahua.

Fuente: elaboración propia.

Descripción	Parámetro Inegi	VAISPV				
		I MUY BAJA	II BAJA	III MEDIA	IV ALTA	V MUY ALTA
Grado promedio de años de estudios de los habitantes	GRAPROES	> 13	> 10	> 8	> 4	< 4
[Viviendas con automóviles] / [Viviendas hab.]	VPH_AUTOM/VIVPAR_HAB	> 90%	> 70%	> 45%	> 25%	< 25%
[Viviendas con internet] / [Viviendas hab.]	VPH_INTER/VIVPAR_HAB	> 80%	> 50%	> 15%	< 15%	< 15%
[Viviendas con lavadora] / [Viviendas hab.]	VPH_LAVAD/VIVPAR_HAB	> 90%	> 75%	> 75%	< 30%	< 30%
[Viviendas hab. con más de 3 cuartos] / [Viviendas hab.]	VPH_3YMAC/VIVPAR_HAB	> 95%	> 80%	> 60%	> 30%	< 30%
[Viviendas con piso de tierra] / [Viviendas hab.]	VPH_PISODT/VIVPAR_HAB	< 10%	< 10%	< 10%	< 10%	> 10%

Se aplicaron dichos condicionantes al total de las manzanas de la localidad de Chihuahua con el fin de cumplir mejor lo descrito en la metodología: asemejar la distribución porcentual de la VAISPV a la distribución de NSE por estados de la AMAI. En la **Tabla 30** y en la **Figura 103** se muestra una comparación entre la distribución porcentual de la vulnerabilidad obtenida al aplicar el criterio de la **Tabla 29** y la distribución de la AMAI por estado mostrado en la **Figura 23**.

Tabla 30.- Distribución porcentual de NSE y VASPV en la localidad de Chihuahua.

Fuente: elaboración propia.

NSE-AMAI					
[A/B]	[C+] + [C]	[C-] + [D+]	[D-]	[E]	Total
7.50%	27.50%	35.50%	23.00%	6.50%	100%
VAISPV					
Muy baja (I)	Baja (II)	Media (III)	Alta (IV)	Muy Alta (V)	Total
7.53%	28.27%	36.60%	21.28%	6.32%	100.00%



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

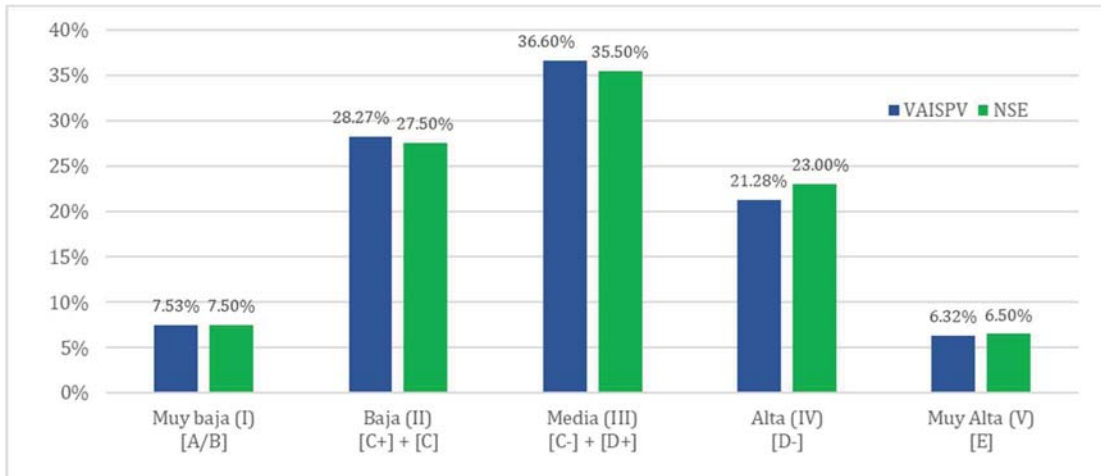


Figura 103.- Distribución porcentual de NSE y VAISPV en la localidad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 104** se muestra el mapa de VAISPV para la localidad de Chihuahua, y en la **Figura 104** se muestra la VAISP para la zona de estudio.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

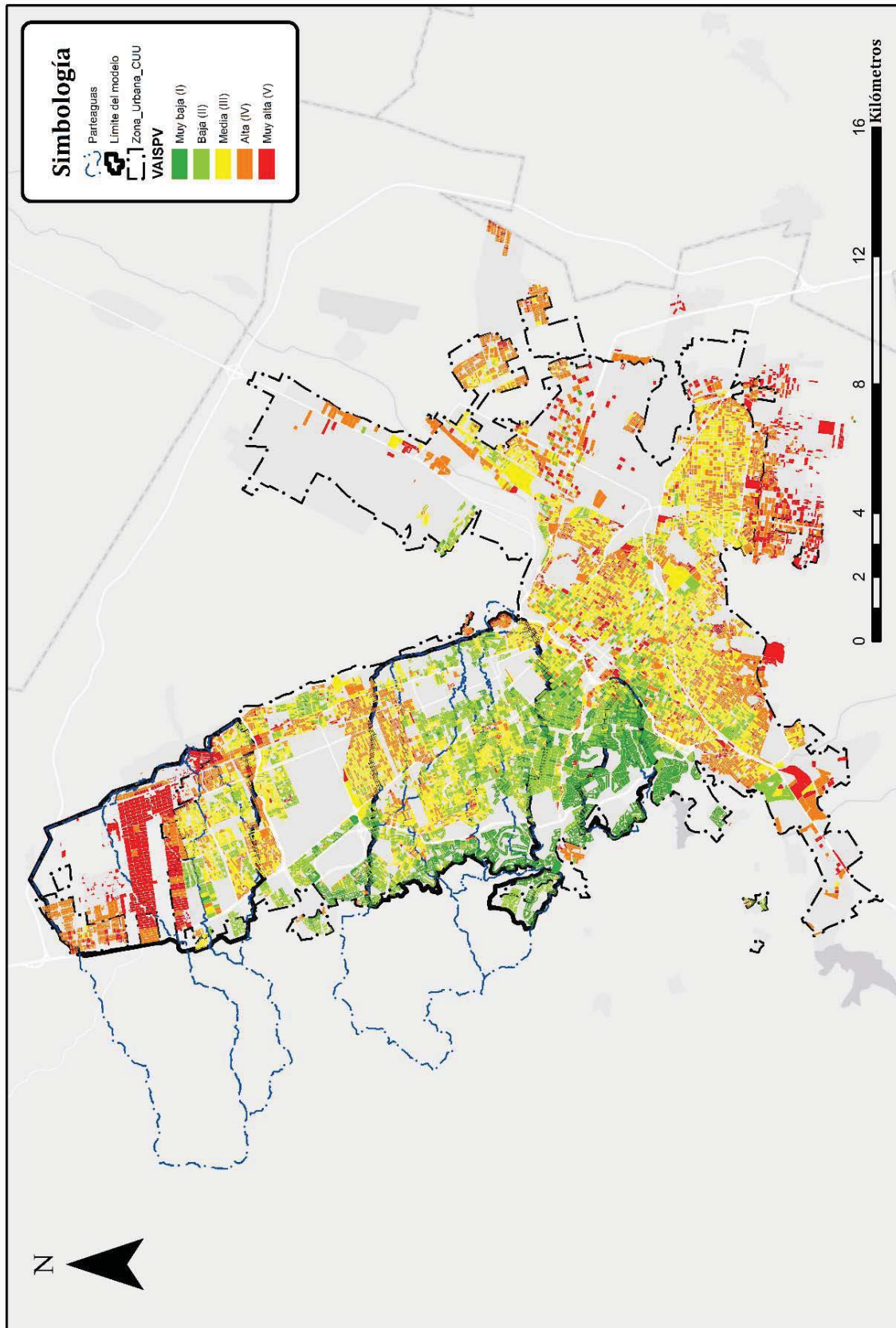


Figura 104.- Mapa Vulnerabilidad Ante Inundaciones Simplificada Para Viviendas en la localidad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

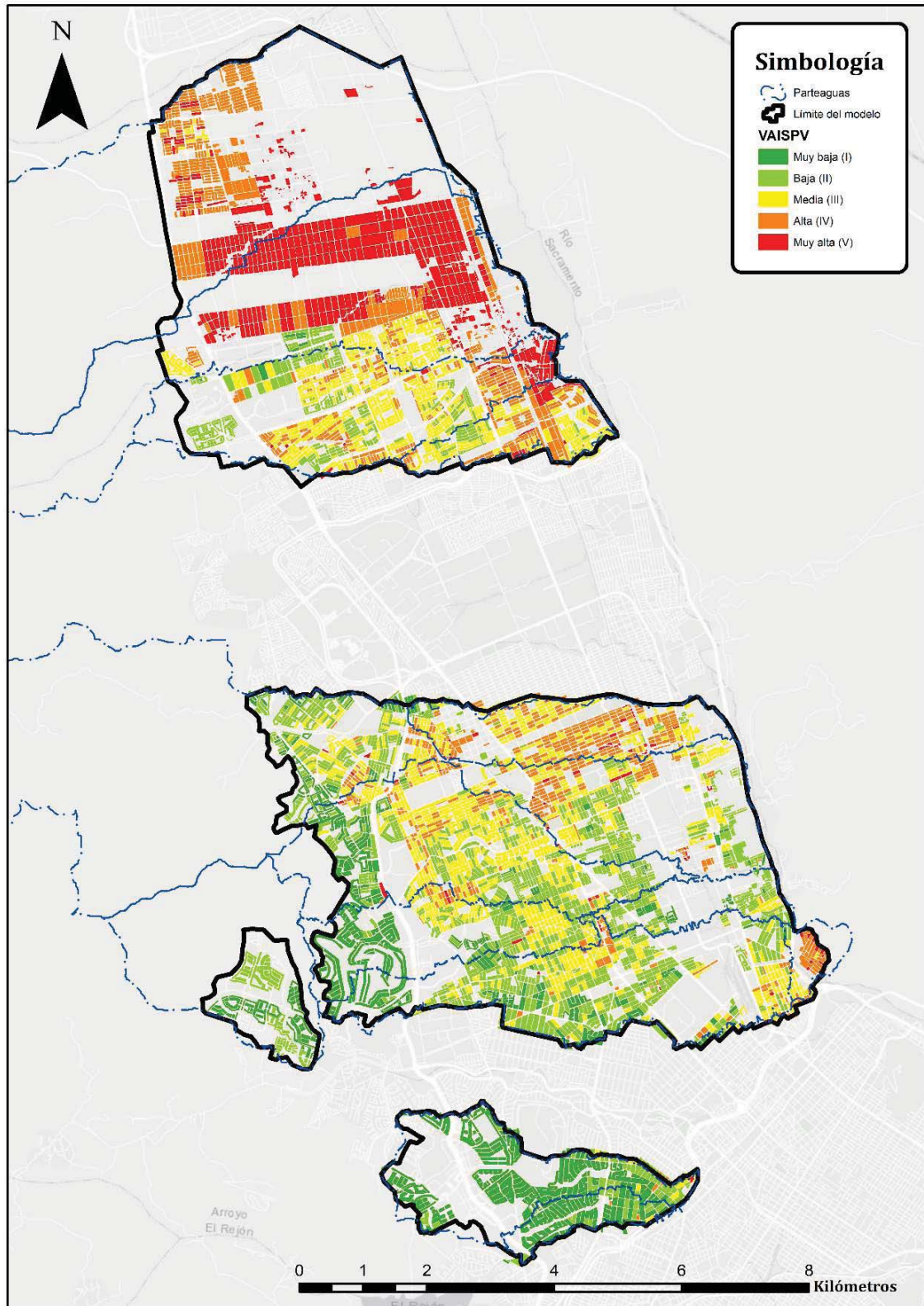


Figura 105.- Mapa Vulnerabilidad Ante Inundaciones Simplificada Para Viviendas en la zona de simulación. Fuente: elaboración propia.



6.5.3 Mapas de Riesgo Ante Inundaciones Simplificada Para Viviendas

Para la generación de los mapas de RAISPV se cruzó la información de los archivos *shape* de peligro PAISP y vulnerabilidad VAISPV en un sistema de información geográfica asignando los valores de PAISPV al *shape* de VAISPV, como se muestra en la **Figura 106**.



Figura 106.- Cruce de información de peligro y vulnerabilidad en un SIG. Fuente: elaboración propia.

De la **Figura 107** a la **Figura 109** se muestran los resultados de aplicar el criterio de RIASPV mostrado en la metodología en la **Tabla 7**, para un periodo de retorno de 200 años. En anexos se muestran los mapas de RAISPV para cada periodo de retorno para cada modelo.

Tabla 7.- Valores de peligro PAISPV, vulnerabilidad VAISPV y porcentaje de pérdida de bienes muebles por nivel de riesgo RAISPV. Fuente: elaboración propia adaptación de (IMTA, 2015).

Nivel de VAISPV	Nivel de PAISPV			
	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Muy Baja	R0 (0%)	R0 (0%)	R2 (35%)	R3 (65%)
Baja	R0 (0%)	R1 (10%)	R2 (35%)	R3 (65%)
Media	R0 (0%)	R1 (10%)	R3 (65%)	R4 (100%)
Alta	R0 (0%)	R2 (35%)	R3 (65%)	R4 (100%)
Muy Alta	R0 (0%)	R2 (35%)	R4 (100%)	R4 (100%)



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

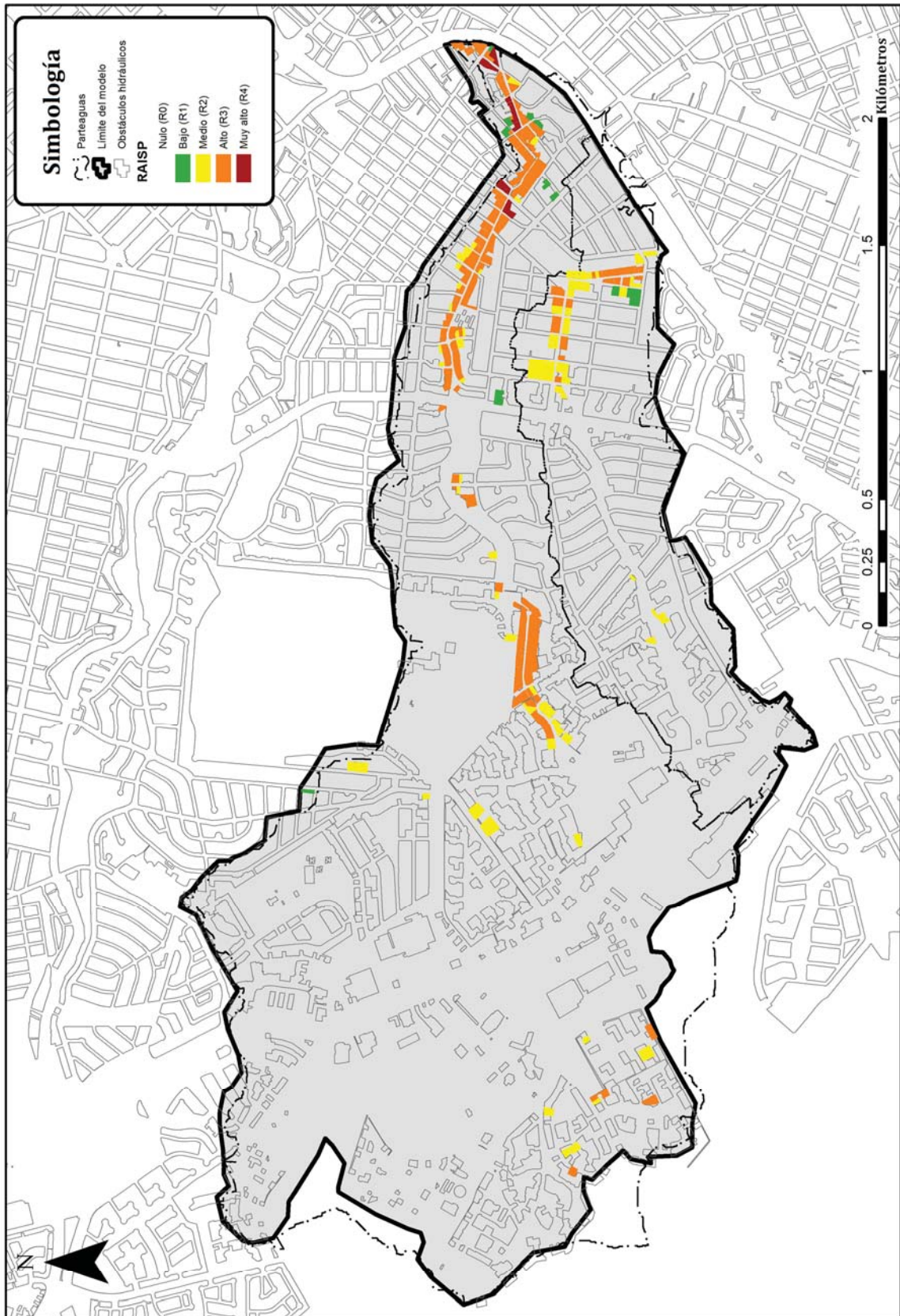


Figura 107.- Mapa de Riesgo Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas en modelo Plaza de Toros para periodo de retorno de 200 años. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

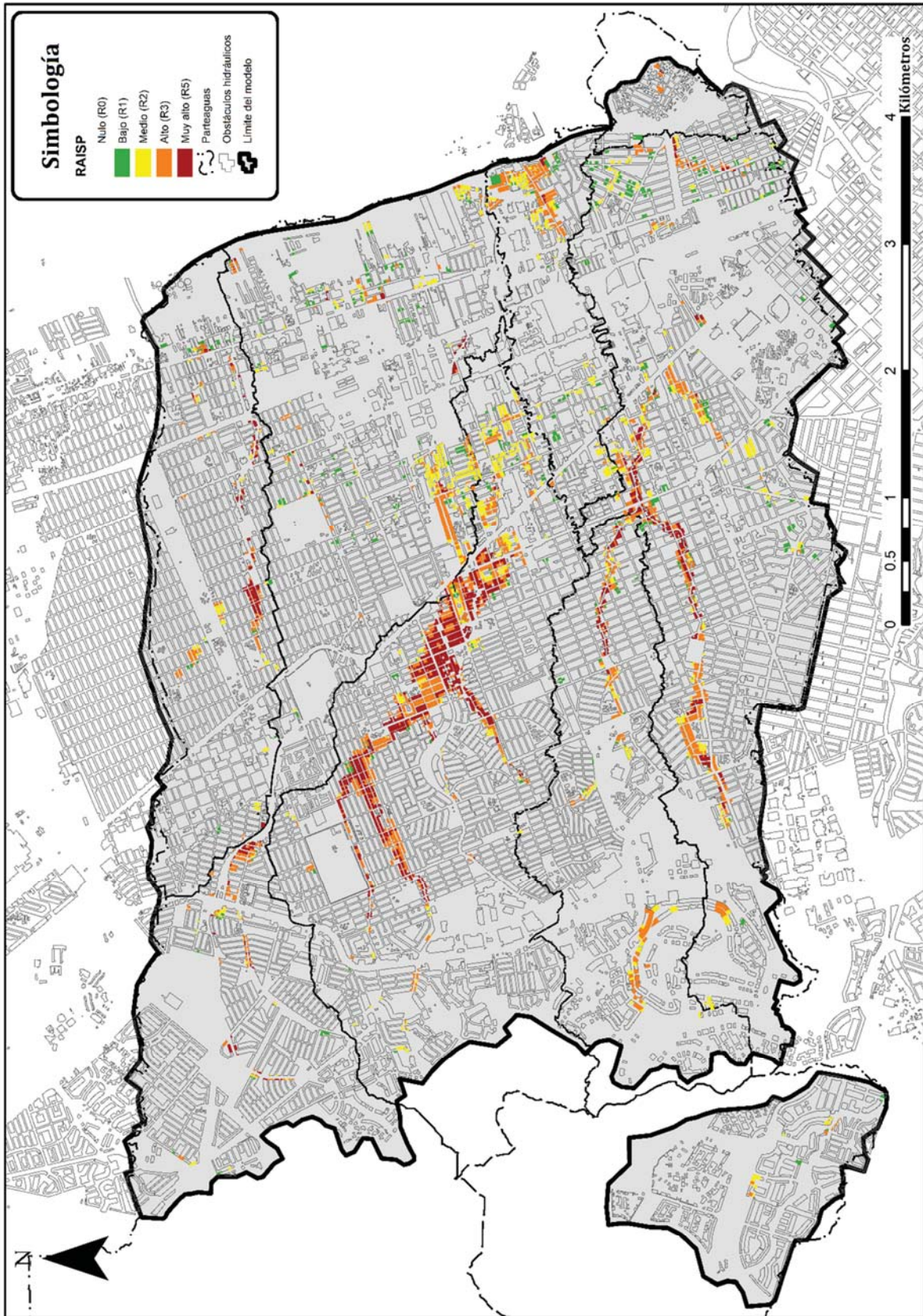


Figura 108.- Mapa de Riesgo Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas en modelo Saucito para periodo de retorno de 200 años. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

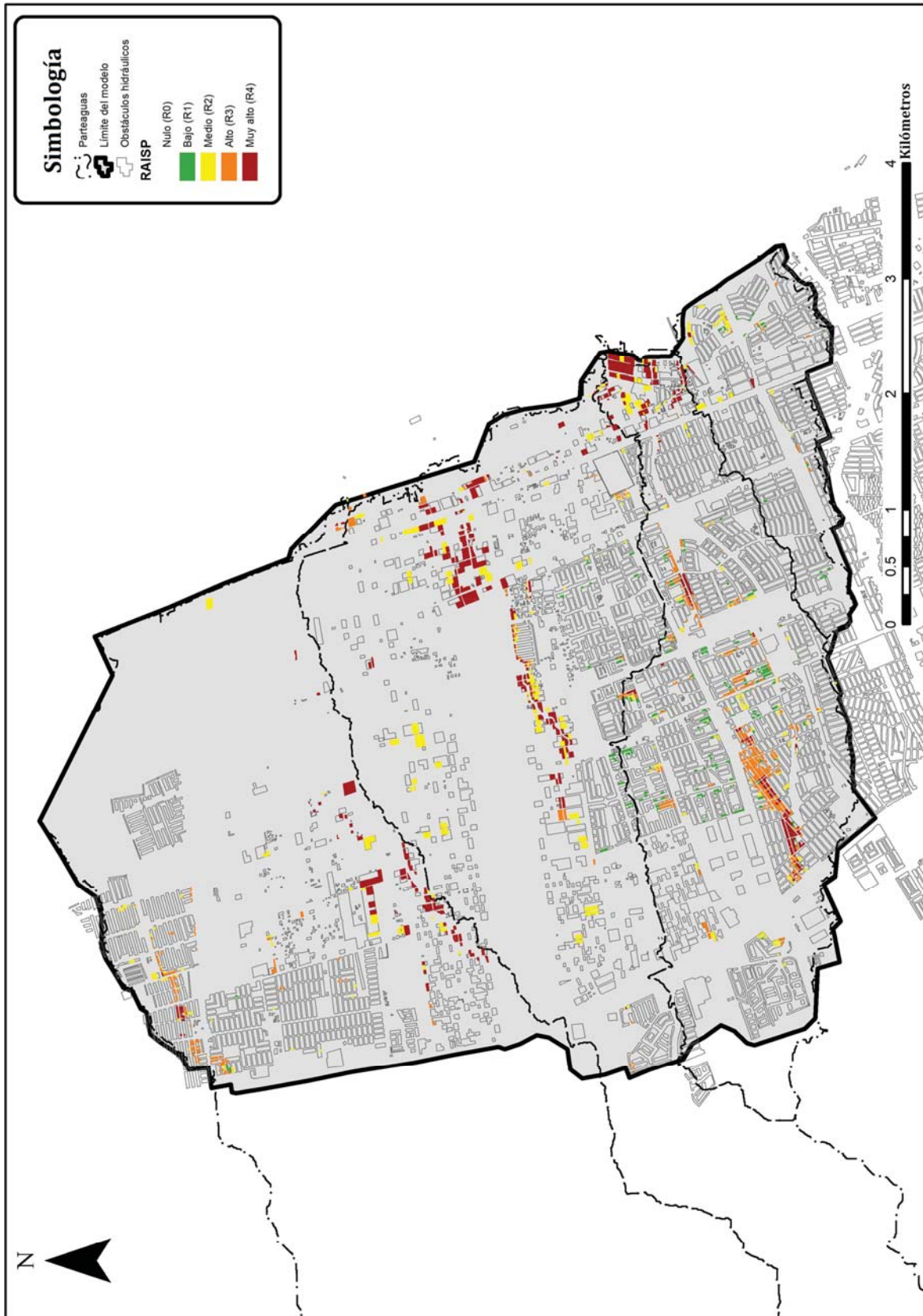


Figura 109.- Mapa de Riesgo Ante Inundaciones Simplificado Para Viviendas en modelo Los Arcos para periodo de retorno de 200 años.
Fuente: elaboración propia.



6.5.4 Mapas de costos de daños a bienes muebles e inmuebles

Previo al cálculo de costos de daños, a cada nivel de vulnerabilidad se asignó su costo de bienes muebles y bienes inmuebles. Para el valor de bienes inmuebles (valor de la construcción) se usaron los valores catastrales unitarios de suelo y construcciones para el ejercicio fiscal 2017 del municipio Chihuahua; valores catastrales-fiscales. Estos relacionan de manera unitaria el área de construcción con el valor de la misma para la asignación de contribuciones de propiedad en materia inmobiliaria; es decir, asignan a las construcciones un precio por metro cuadrado para determinar el cobro de impuestos.

En la tabla de valores catastrales-fiscales para el municipio de Chihuahua (Gobierno de Chihuahua, 2017), se manejan 6 niveles de calidad de construcción y cada uno se le asigna un valor diferente de precio de construcción por metro cuadrado: popular, económico, medio, bueno, lujo y super lujo. Se relacionaron los niveles de vulnerabilidad VAISPV con los niveles de calidad de construcción como se muestra en la **Tabla 31**:

Tabla 31.- Relación entre calidad de construcción para asignación de valores catastrales-fiscales y nivel de VAISPV. Fuente: elaboración propia con datos de (Gobierno de Chihuahua, 2017)

VAISPV	Calidad de construcción	[Costo bienes inmuebles] / m ²
Muy baja (I)	Super lujo	\$ 9,050.00
Baja (II)	Lujo	\$ 7,070.00
Media (III)	Buena	\$ 4,760.00
Alta (IV)	Media	\$ 3,100.00
Muy Alta (V)	Económica	\$ 2,200.00

Para poder obtener el costo de las viviendas se estimó su área de construcción relacionándola con el área del predio. Este valor es el Coeficiente de Ocupación del Suelo (COS). Según el reglamento de construcción de la ciudad de Chihuahua debe ser de 0.75 (Municipio de Chihuahua, 2011). Sin embargo, debido a que se consideró el área de los



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

polígonos del archivo *shape* de Inegi como área del predio, se ajustaron los valores del COS para cada nivel del VAISPV.

Por último, para la obtención del costo de los bienes muebles se consideró una relación entre el costo de los bienes inmuebles y estos. La variación de esta relación entre niveles de VAISPV se asignó considerando la relación entre la VAISPV y el NSE, asimismo, tomando en cuenta que a mayor NSE menor será dicha relación.

En la **Tabla 32** se muestran los valores de costo de los bienes inmuebles, COS, relación entre el costo de bienes inmuebles y muebles, adaptados para la zona de estudio. Esta **Tabla 32** es complemento de la **Tabla 8**, y contiene todos los valores necesarios para el cálculo del costo de los bienes expuestos, muebles e inmuebles.

Tabla 32.- Valores para asignación de costos de bienes muebles e inmuebles. Fuente: elaboración propia.

VAISPV	(Costo por daño estructural)/(Costo de la vivienda)	Tirante máximo para daño estructural (m)	[Costo bienes inmuebles] / m ²	COS	[Costo bienes inmuebles] / [Costo bienes muebles]
Muy baja (I)	0.10	1.559	\$ 9,050.00	0.53	0.15
Baja (II)	0.10	1.559	\$ 7,070.00	0.53	0.17
Media (III)	0.20	1.39	\$ 4,760.00	0.53	0.22
Alta (IV)	0.20	1.37	\$ 3,100.00	0.53	0.25
Muy Alta (V)	0.25	1.37	\$ 2,200.00	0.36	0.30

En la **Figura 110** se muestran los costos totales de bienes expuestos la zona de estudio; es decir, la suma de los costos los bienes muebles e inmuebles, y de la **Figura 111** a la **Figura 113** se muestran el costo de los daños totales por inundaciones aplicando los criterios de pérdida de bienes de la **Tabla 7** y **Tabla 32**, para un periodo de retorno de 200 años.

Es importante mencionar que en aquellas zonas con riesgo mayor al nulo se dividió el polígono de manzana del archivo *shape* de Inegi para obtener sus costos a nivel de vivienda.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

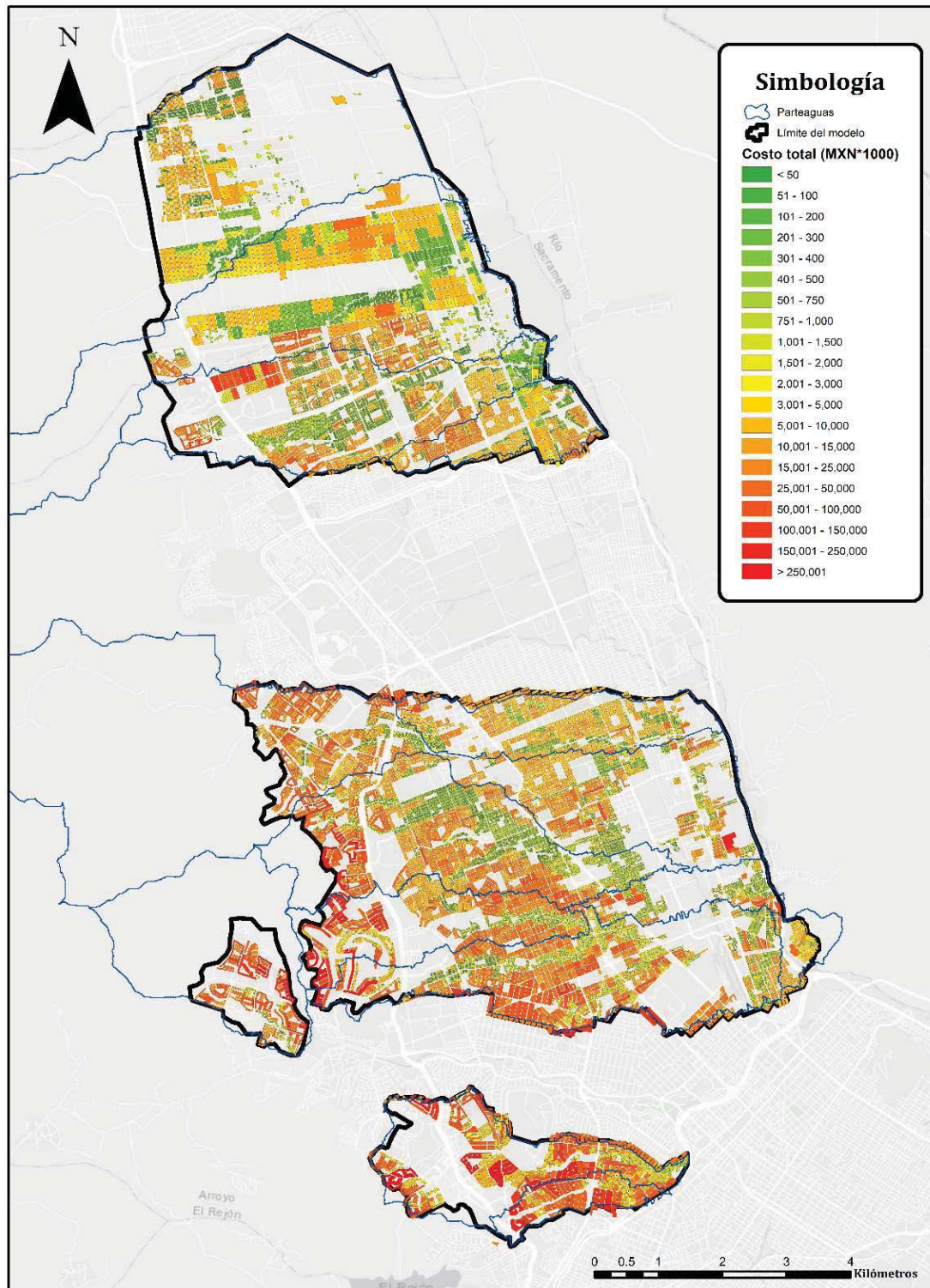


Figura 110.- Costos totales de bienes expuestos de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

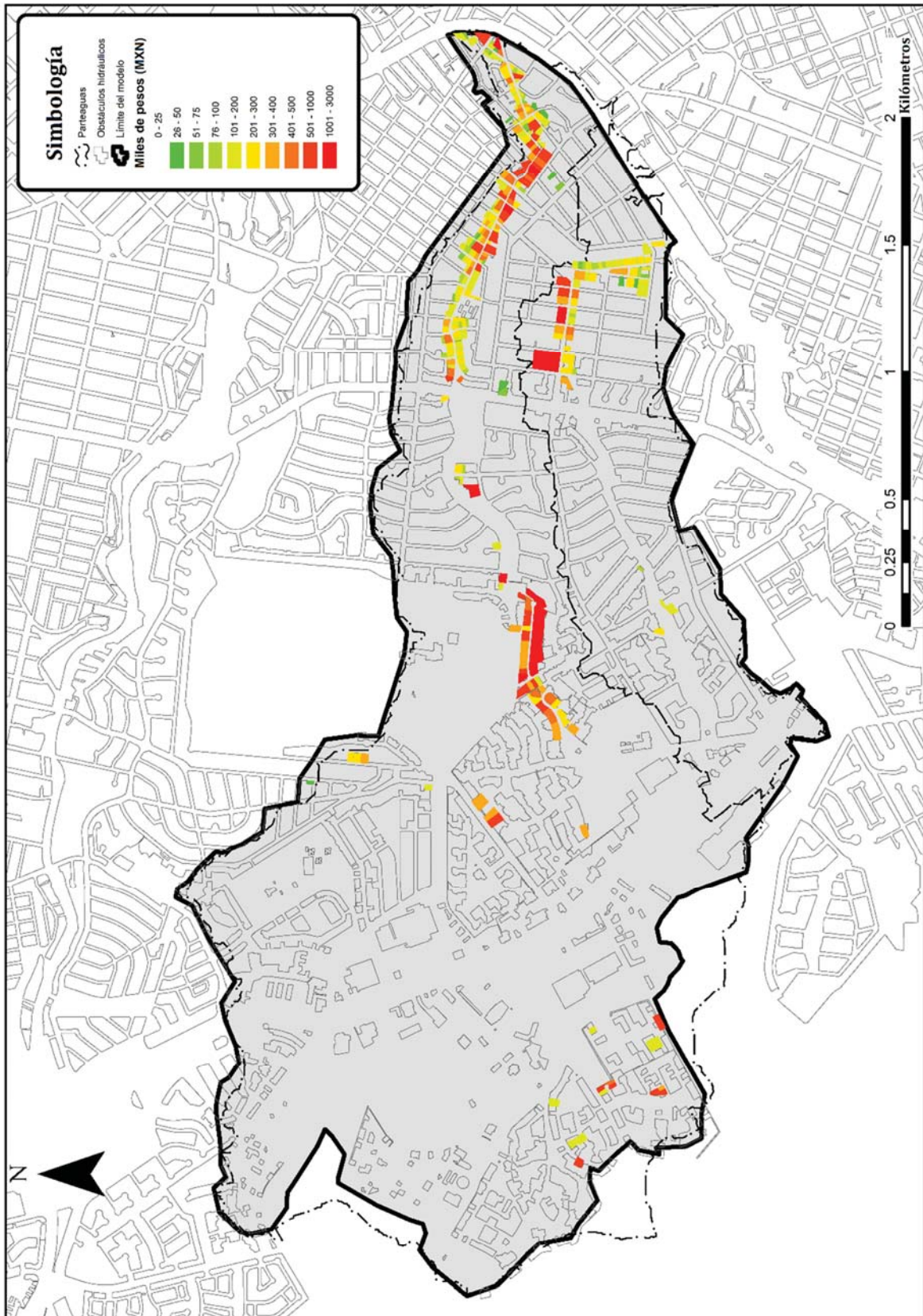


Figura 111.- Mapa de costos de daños directos tangibles para un periodo de retorno de 200 años en modelo Plaza de toros. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

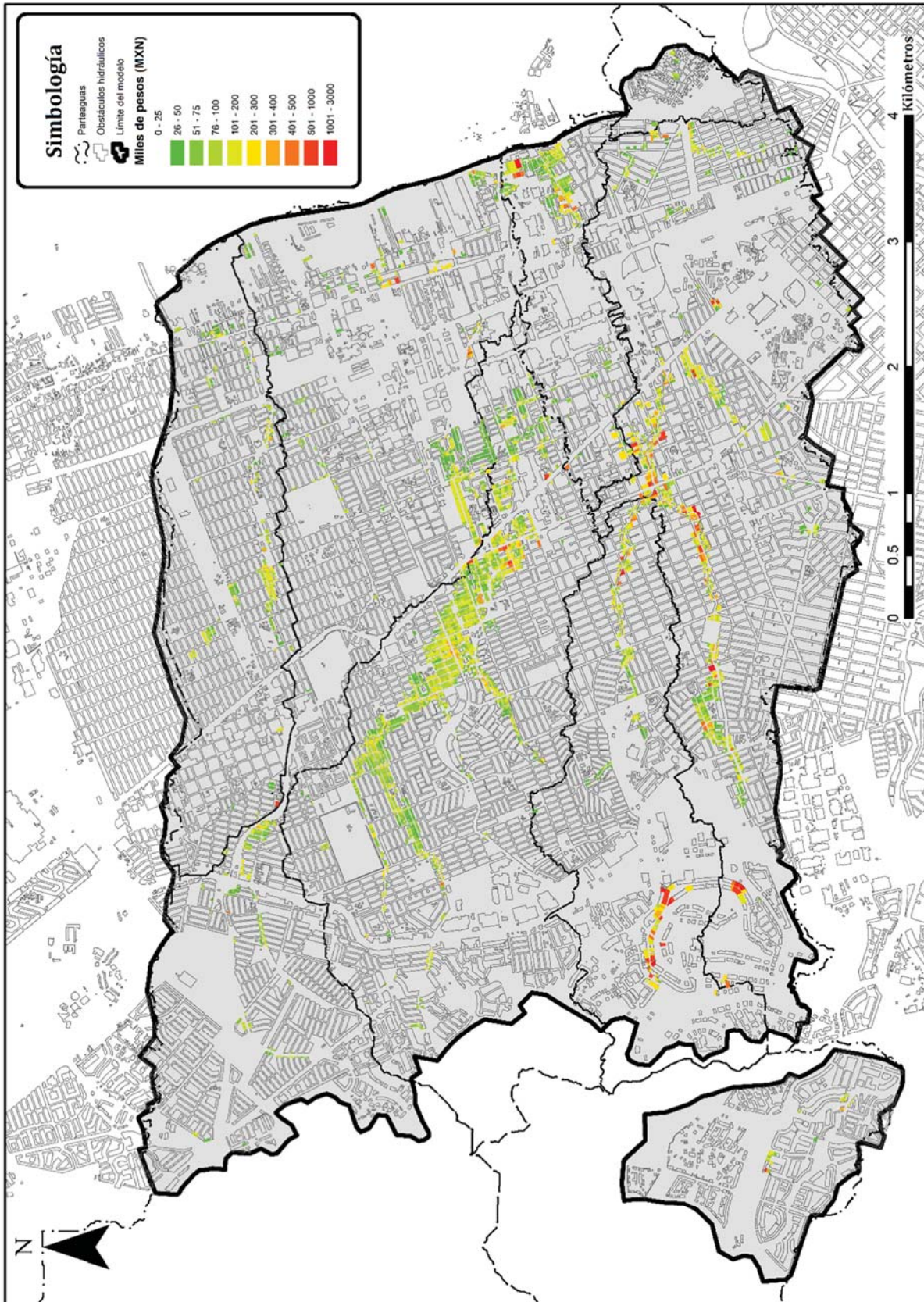


Figura 112.- Mapa de costos de daños directos tangibles para un periodo de retorno de 200 años en modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

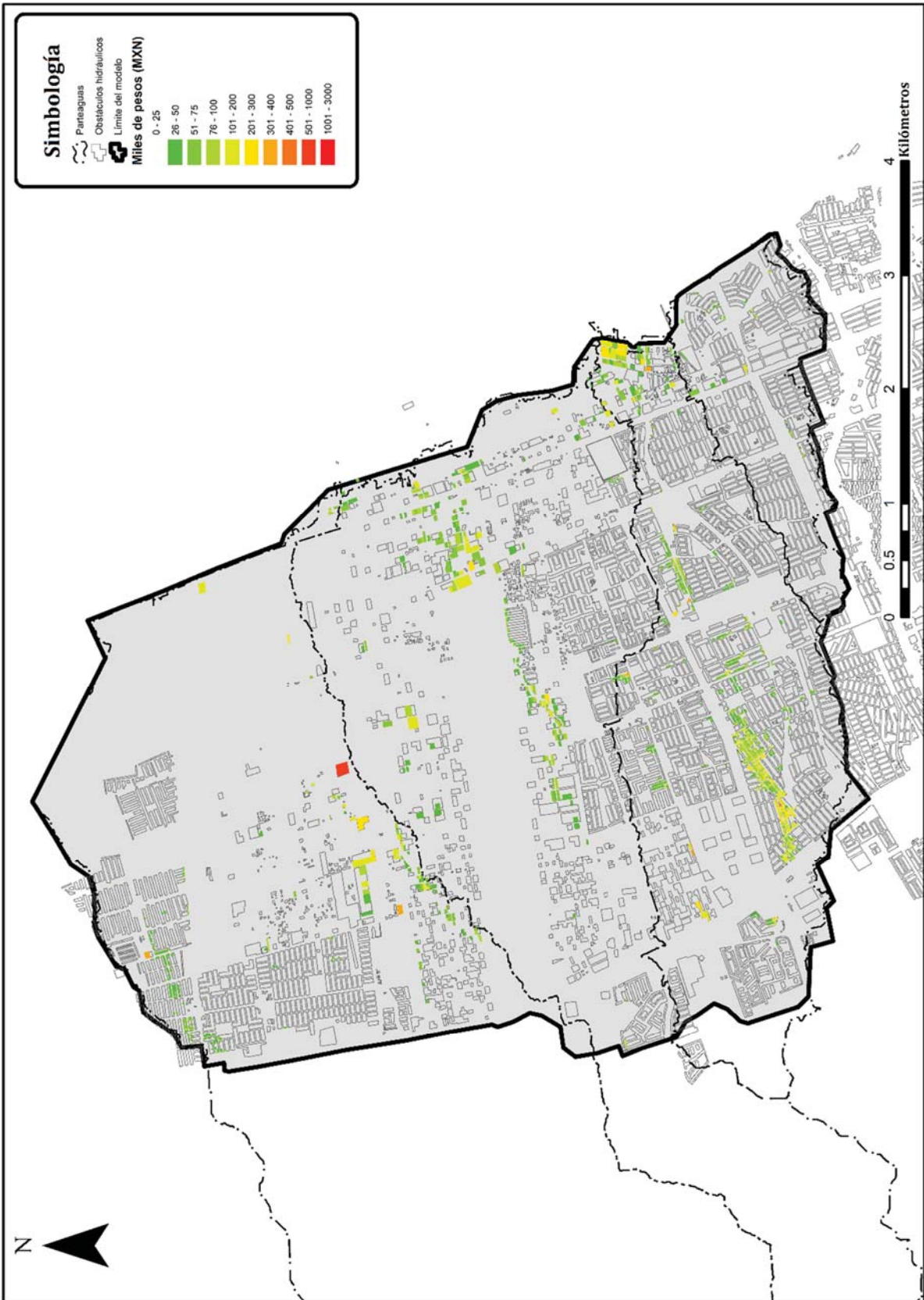


Figura 113.- Mapa de costos de daños directos tangibles para un periodo de retorno de 200 años en modelo Los Arcos Fuente: elaboración propia.



6.5.5 Mapas Costos de daños directos tangibles anual esperado ante inundaciones (DAE)

Con los mapas de costos de daños a bienes muebles e inmuebles se aplicó la **Ec. 6** a cada uno de los polígonos del archivo *shape*, obteniendo el daño anual esperado para cada polígono.

$$DAE_j = \sum_{i=1}^{\text{Núm. de Eventos}} E(P (\$)|\text{Evento } i)P_A(\text{Evento } i) \quad \text{Ec. 6}$$

De la **Figura 114** a la **Figura 116** se muestran los mapas de costos de daños directos tangibles anuales esperados por inundaciones para cada uno de los tres modelos.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

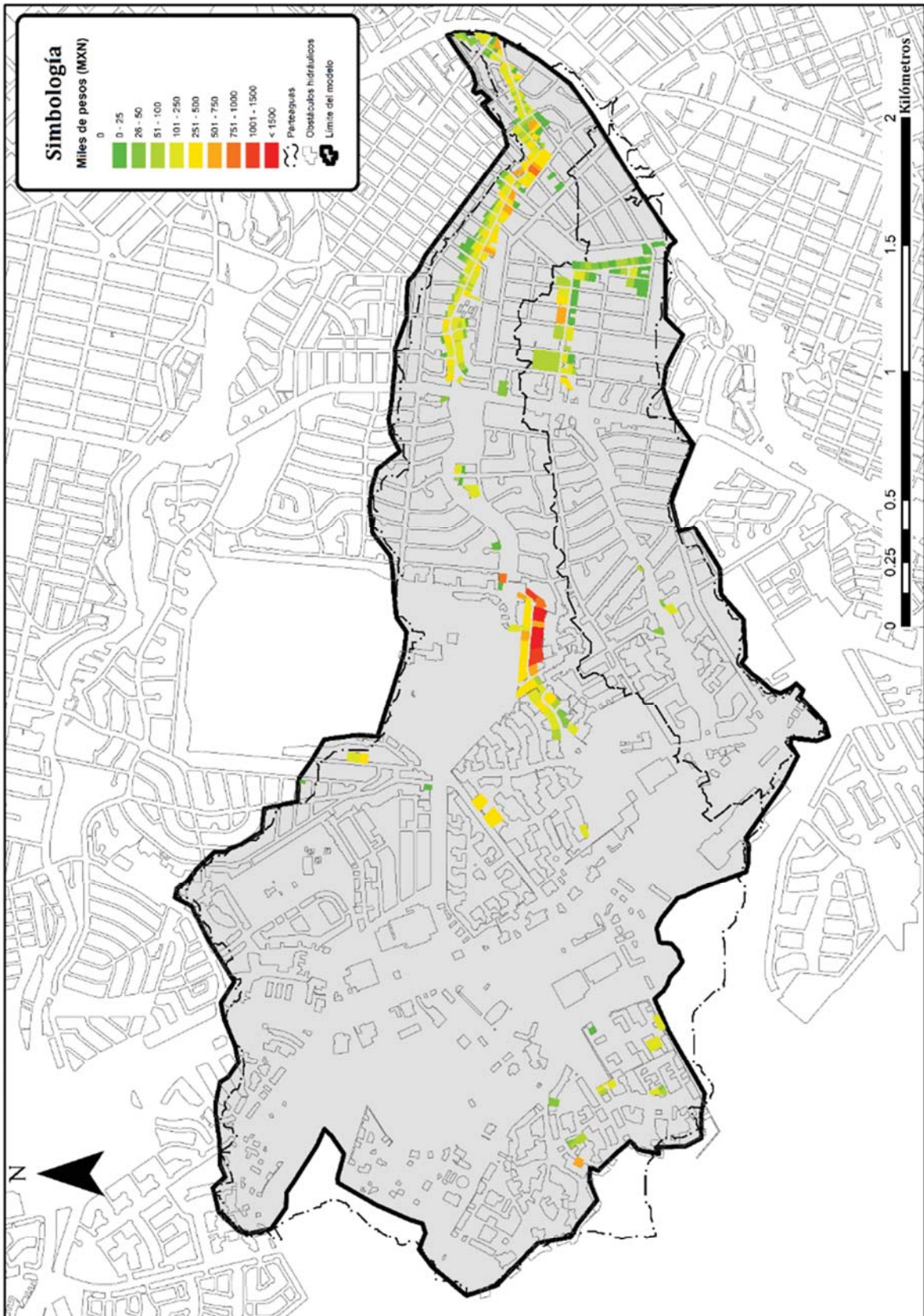


Figura 114.- Mapa daños directos tangibles a viviendas por inundaciones anuales esperados para el modelo Plaza de toros. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

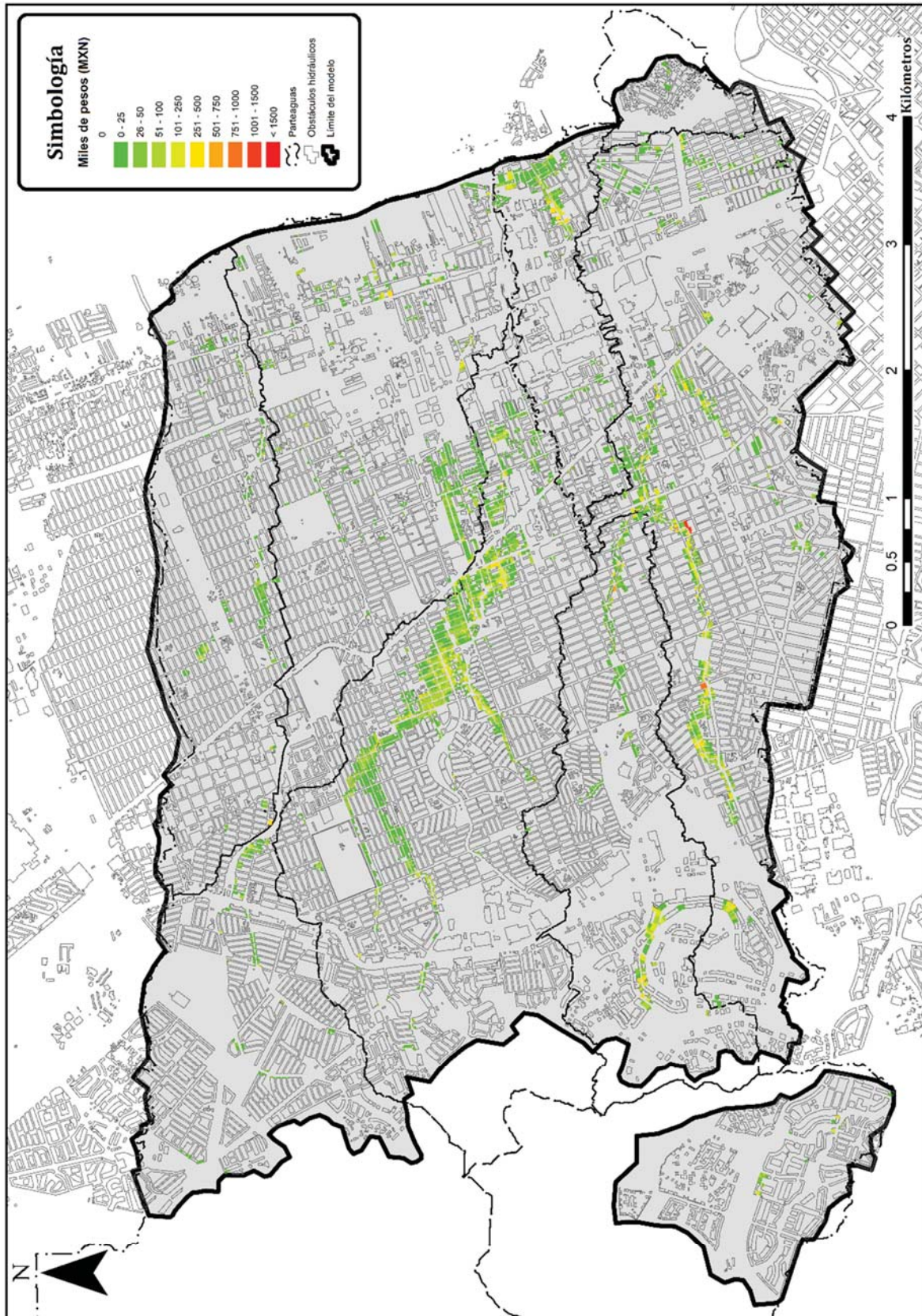


Figura 115.- Mapa daños directos tangibles a viviendas por inundaciones anuales esperados para el modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

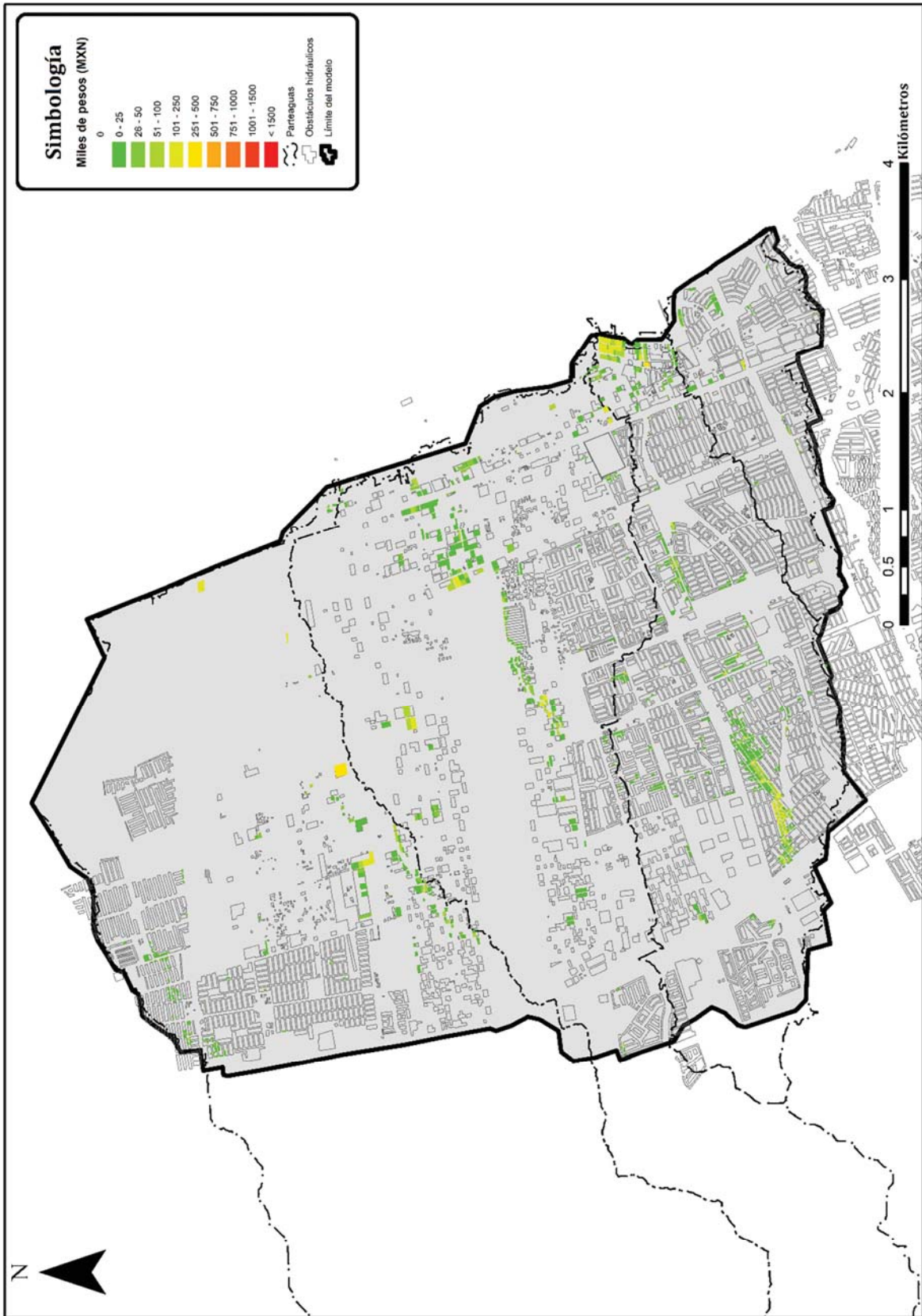


Figura 116.- Mapa daños directos tangibles a viviendas a inundaciones anuales esperados para el modelo Los Arcos. Fuente: elaboración propia.



6.5.6 Mapas Índice Pérdida-Poseción Anual Esperado ante inundaciones (IPPAE)

Con el mapa de daños directos tangibles anuales esperados por inundaciones de cada modelo (**Figura 114** a **Figura 116**), y el mapa de costos totales de las viviendas en la zona de estudio (**Figura 110**) se aplicó la **Ec. 14** a cada uno de los polígonos de estos mapas obteniendo la relación entre el costo de pérdida o daño anual esperado ante inundaciones (DAE) y el costo de la posesión o costo total de bienes expuesto (CTBE).

$$IPPAE(\%) = \frac{DAE (\$)}{CTBE (\$)} \quad \text{Ec. 14}$$

De la **Figura 117** a la **Figura 119** se muestran los mapas del Índice Pérdida-Poseción Anual Esperado ante inundaciones de la zona de estudio.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

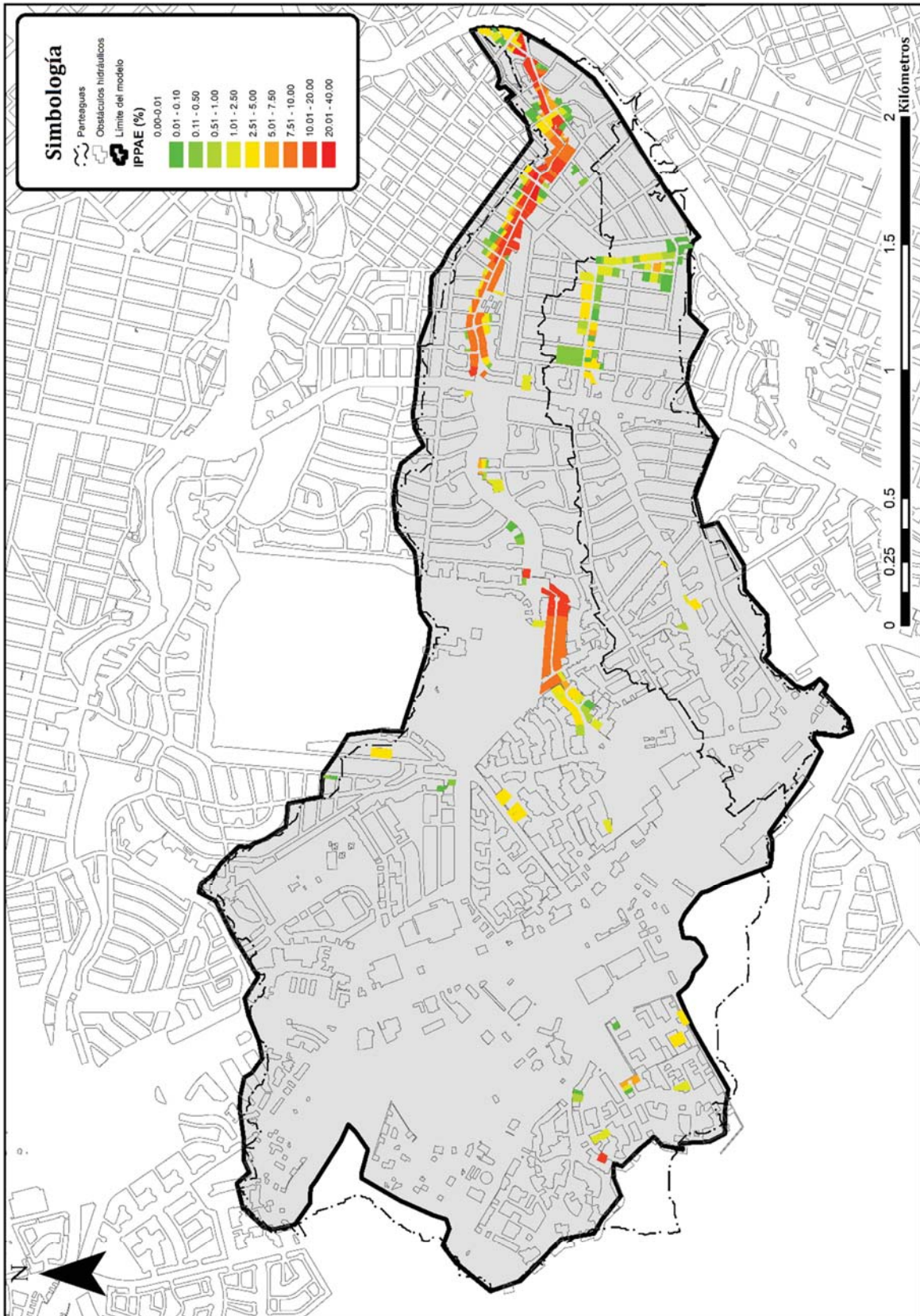


Figura 117.- Mapa Índice Pérdida-Poseción a viviendas por inundaciones anual esperada para el modelo Plaza de toros. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

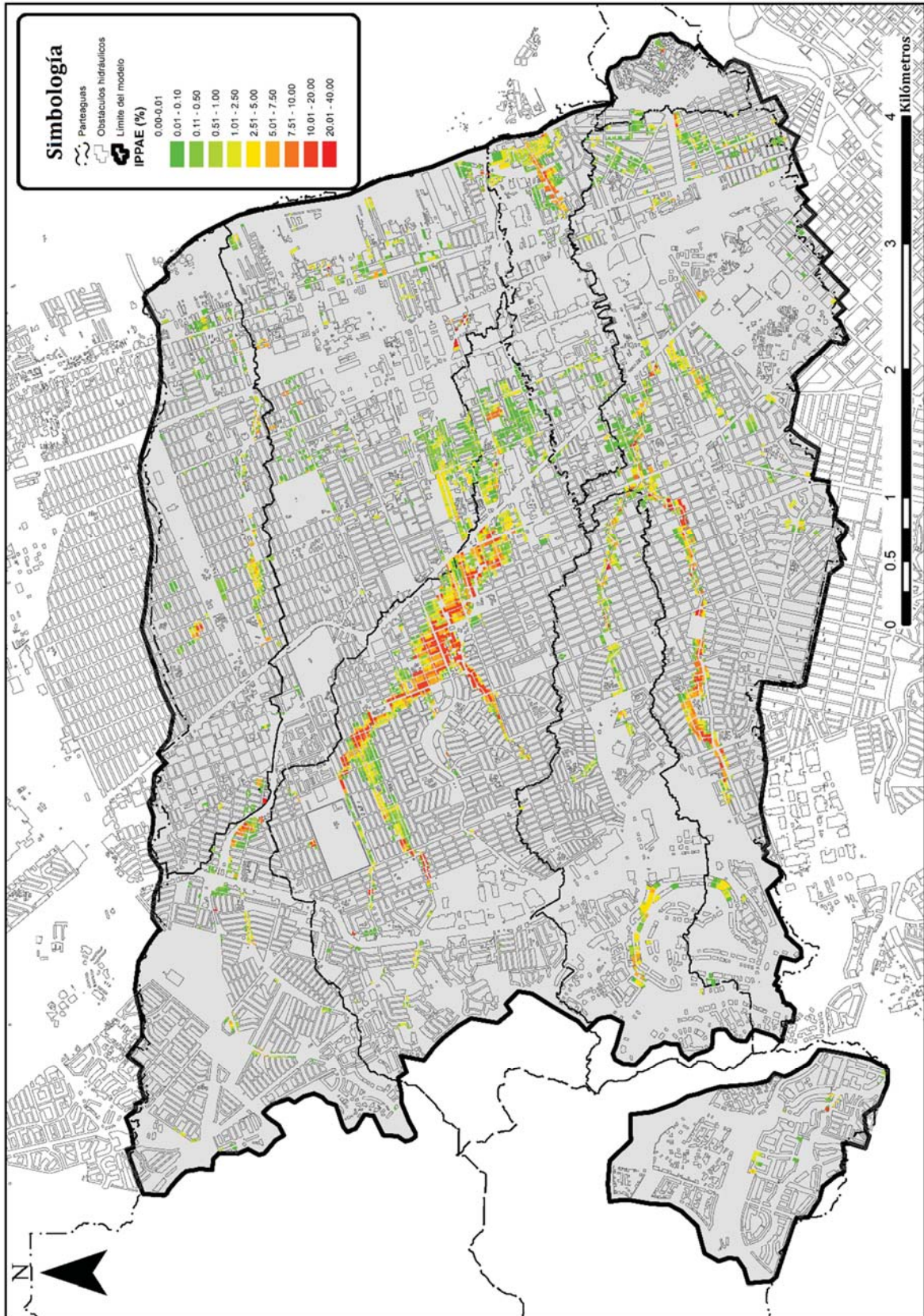


Figura 118.- Mapa Índice Pérdida-Posesión a viviendas por inundaciones anual esperada para el modelo Saucito. Fuente: elaboración propia.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

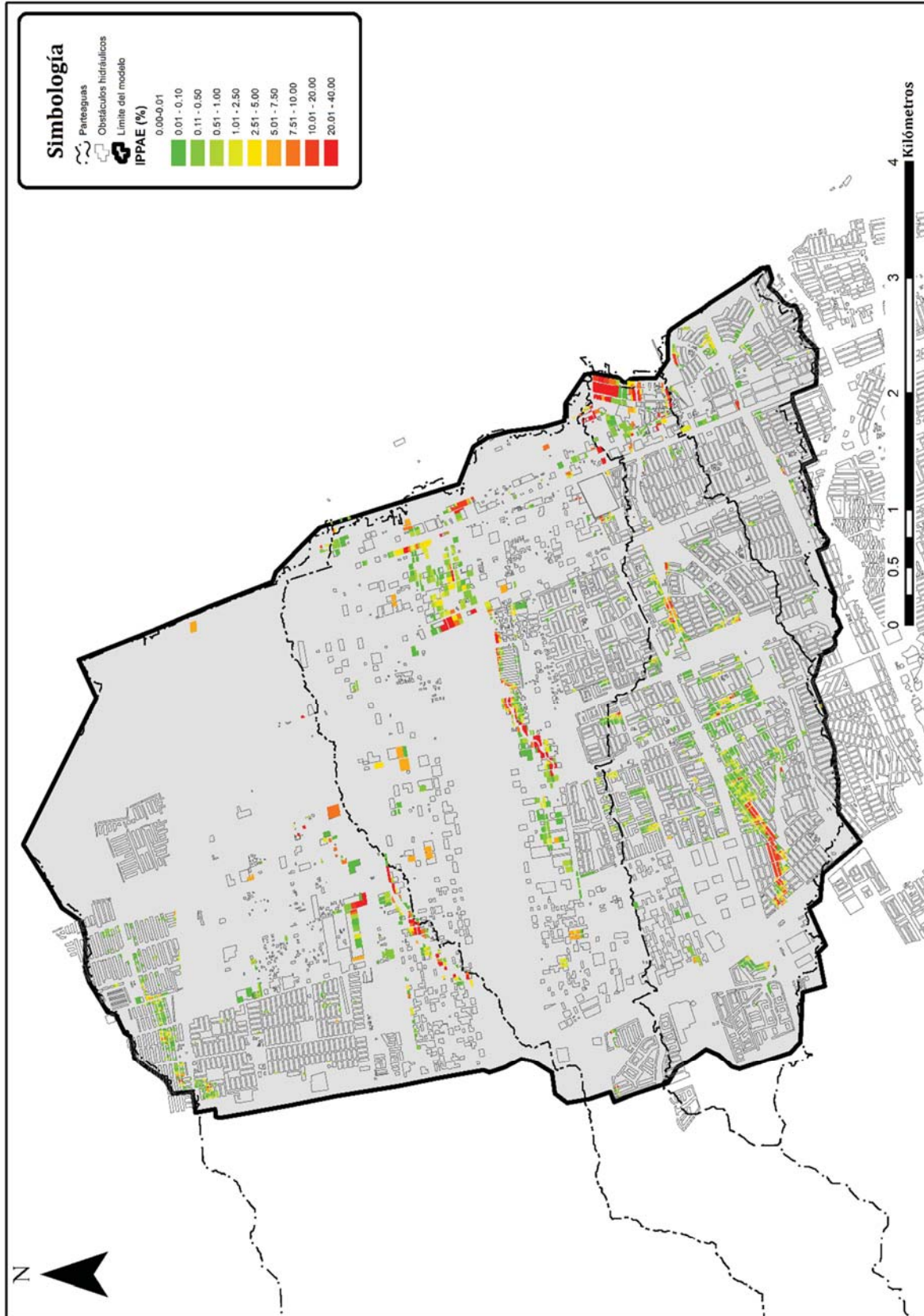


Figura 119.- Mapa Índice Pérdida-Poseción a viviendas por inundaciones anual esperada para el modelo Los Arcos. Fuente: elaboración propia.