



**INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PAR LOS  
TRABAJADORES  
INFONAVIT**



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR  
DE LA CUENCA DE  
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

**REPORTE**

**DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA ZONA NORTE Y SUR  
DE LA CUENCA EL BARREAL**



## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	3
II.	OBJETIVO.....	3
IV.	<b>UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA HIDROLÓGICO .....</b>	<b>4</b>
IV.1.	Ubicación de la zona del proyecto .....	4
V.	<b>JUSTIFICACION .....</b>	<b>5</b>
V.1.	Descripción de la problemática .....	6
VI.	<b>RECOPIACION DE INFORMACION .....</b>	<b>13</b>
VI.1.	NORMATIVIDAD .....	13
VII.	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA ....	14
VII.1.	<b>RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA ....</b>	<b>14</b>
VII.2.	ANALISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN .....	19
VII.3.	DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL TIEMPO PARA 24 HORAS.....	22
VIII.	ACTIVIDADES REALIZADAS .....	25
IX.	DIAGNOSTICO DE LOS ESCURRIMIENTOS EN CONDICIONES ACTUALES.....	26
IX.1.	<b>ZONA NORTE.....</b>	<b>26</b>
IX.2.	ZONA PONIENTE .....	30
X.2.1.	<i>Microcuenca Barreal Poniente.....</i>	<i>31</i>
IX.2.2.	<i>Microcuenca Barreal Sur .....</i>	<i>32</i>
IX.2.3.	<i>Microcuenca Barreal Sur-Oriente .....</i>	<i>33</i>
IX.3.	<b>ZONA CENTRO.....</b>	<b>34</b>
IX.4.	<b>ZONA SUR .....</b>	<b>35</b>
X.	<b>FUNCION DE RIESGO PRELIMINAR DE ACUERDO A LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA CUENCA.....</b>	<b>37</b>
XI.	<b>CONCLUSIONES DE LA CUENCA EN CONDICIONES ACTUALES .....</b>	<b>41</b>
XII.	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

En Ciudad Juárez, en el estado de Chihuahua, durante la temporada de lluvias se presentan situaciones de riesgo a causa de la intensidad con que se presenta la precipitación. El problema se genera aguas abajo de los principales arroyos y diques que desembocan hacia asentamientos urbanos, incrementando con esto los daños a la población y a la infraestructura urbana en general. Ante esta situación es imperativo llevar a cabo la actualización de los estudios hidrológicos requeridos para los diferentes periodos de retorno en las zonas con un marcado crecimiento urbano, de tal forma que podamos conocer a detalle las modificaciones que se han presentado en las cuencas, con el fin de diseñar las obras de control hidráulico requeridas para salvaguardar tanto la vida como de la propiedad en un ambiente de convivencia armónico y sustentable con el medio ambiente.

## **II. OBJETIVO**

Emitir un instrumento ejecutivo a nivel de diagnostico que sintetice las condiciones hidrológicas actuales de la subcuenca El Barreal.

## **III. ALCANCES**

Generar un documento que englobe la problemática general y condiciones de operación hidráulica actual de la subcuenca El Barreal ante eventos hidrometeorológicos.

## IV. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA HIDROLÓGICO

### IV.1. Ubicación de la zona del proyecto

El proyecto en cuestión se localiza en el municipio de Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua, en la Región Hidrológica “**Bolsón del Huevo**”, en la cuenca definida por el Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (PSMAP) Zona **VIII - El Barreal** al sur de la ciudad, tal como se puede ver en la Figura IV.1.1.

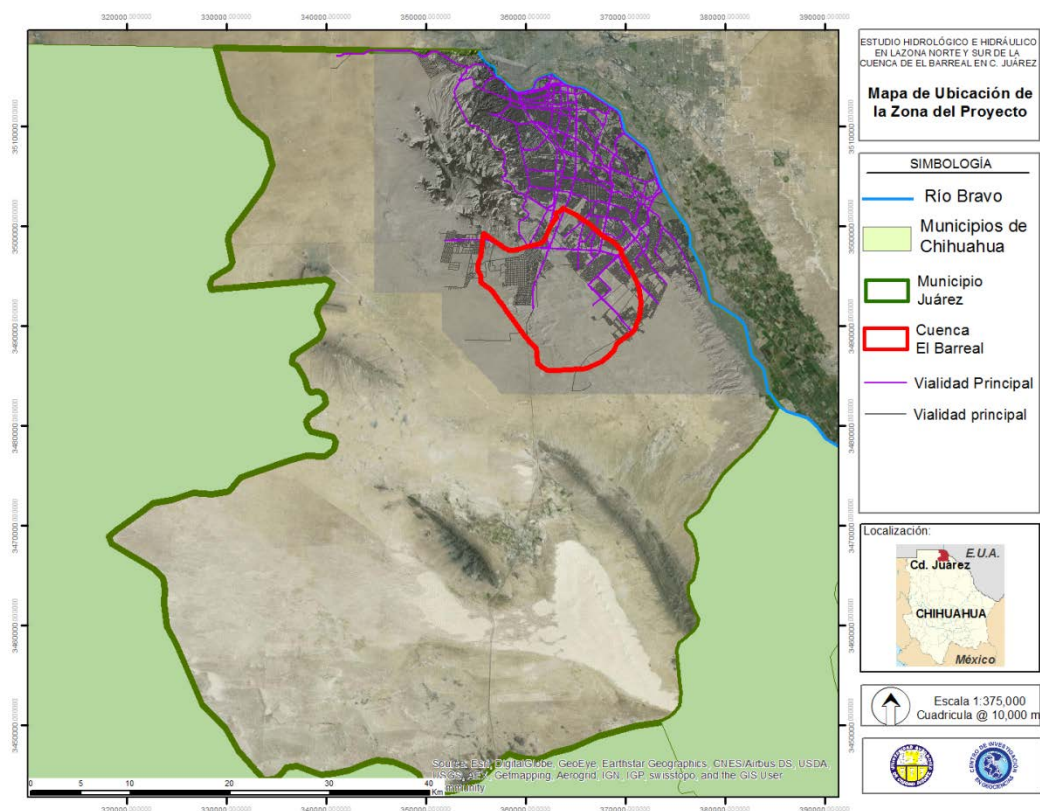
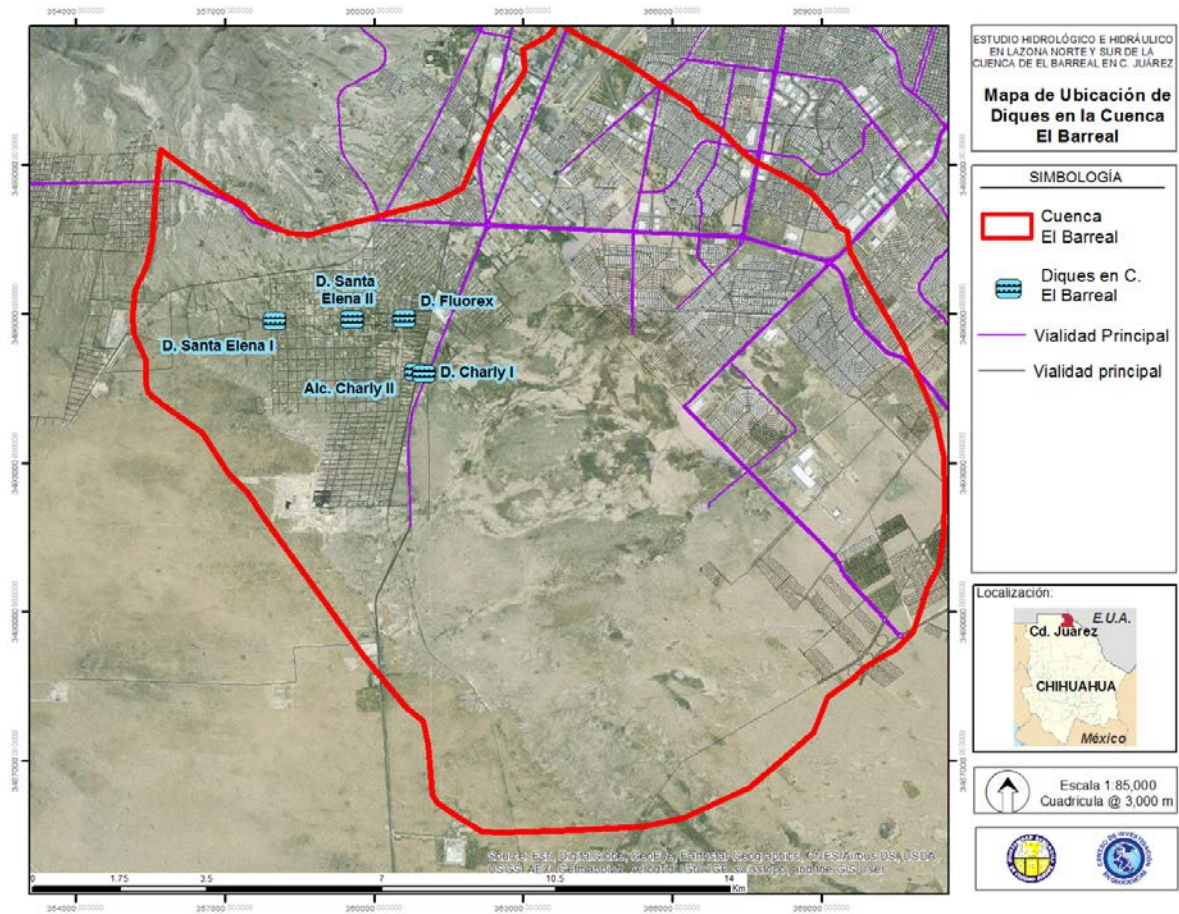


Figura IV.1.1. Localización general de la cuenca El Barreal en Cd. Juárez.

## V. JUSTIFICACION

La cuenca hidrológica del Barreal es una cuenca endorreica donde todos los escurrimientos de tipo intermitente convergen en una zona baja definida como laguna de patos. En esta laguna se han reportado recientemente (2006 y 2008) inundaciones ante eventos de lluvia de hasta 25 años de periodo de retorno. Las inundaciones registradas en esta zona obedecieron al efecto combinado de un tren de lluvias con periodo de retorno de 25 años y falla de estructuras aguas arriba tales como la ruptura de la Presa Santa Elena I, la falta de capacidad de los diques Charly y Santa Elena II, la carencia de una última barrera de blindaje hidráulico de la zona ya desarrollada, además de la colmatación de estructuras de infiltración en algunos de los vasos de contención de cada desarrollo o fraccionamiento localizados en la zona lagunar.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**



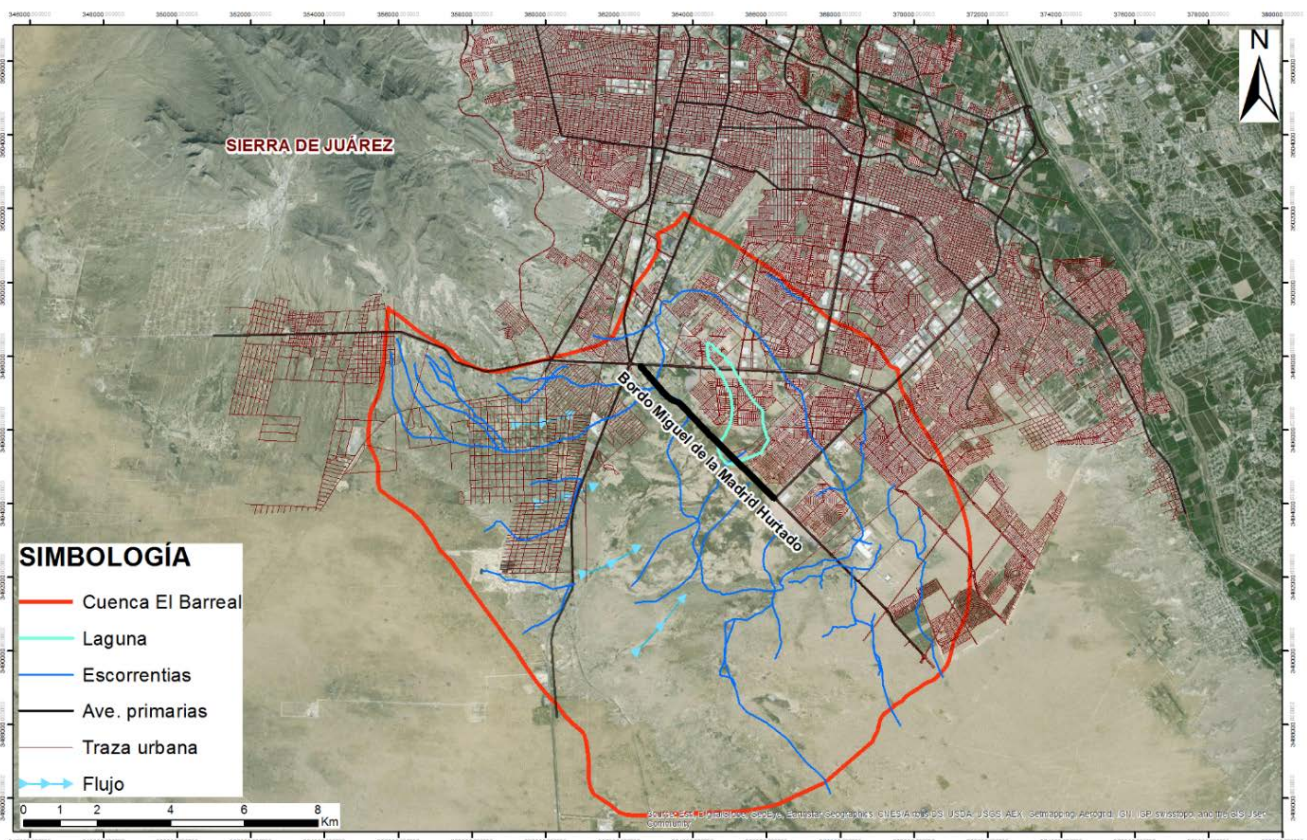
**Figura V.1.** Localización general de la cuenca El Barreal en Cd. Juárez.

## **V.1. Descripción de la problemática**

Los constantes embates de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, tales como lluvias extraordinarias en los últimos años han ocasionado pérdidas humanas y materiales cuantiosas, así como daños a la infraestructura urbana de la ciudad.



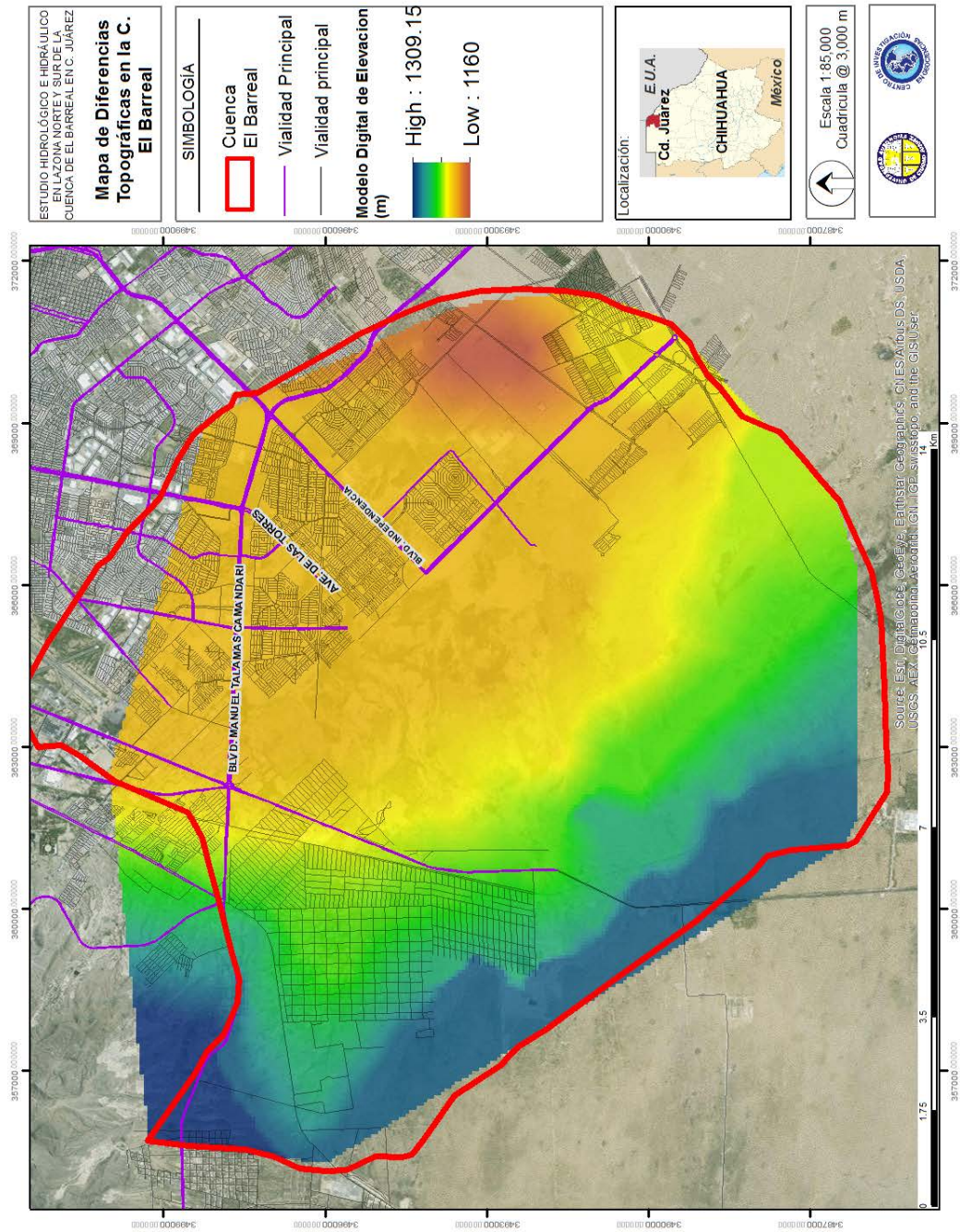
El Barreal es una cuenca cerrada que drena la zona sureste de la Sierra de Juárez (Figura V.1.1). El centro de la cuenca está ocupado por una llanura plana con una superficie de 2,3 km<sup>2</sup>. Existen 50 m de diferencia en elevación topográfica entre el punto más bajo en el centro de la cuenca y el punto más alto en la parte noroccidental de la cuenca más cercana a la Sierra de Juárez (Figura V.1.2), así como 15 m y 4 m de desnivel, respectivamente, a las terrazas occidental y oriental mas cercanas desde el centro de la cuenca o zona lagunar (Figura V.1.3). Los sedimentos acumulados en lo alto de la cuenca se definen por un tamaño de grano más grueso como arenas, mientras que van disminuyendo en tamaño de limos y arcillas hacia el centro de la cuenca.



**Figura V.1.1..** Localización y escurrimientos de la Cuenca Barreal y la subcuenca MMH-TC-BI.

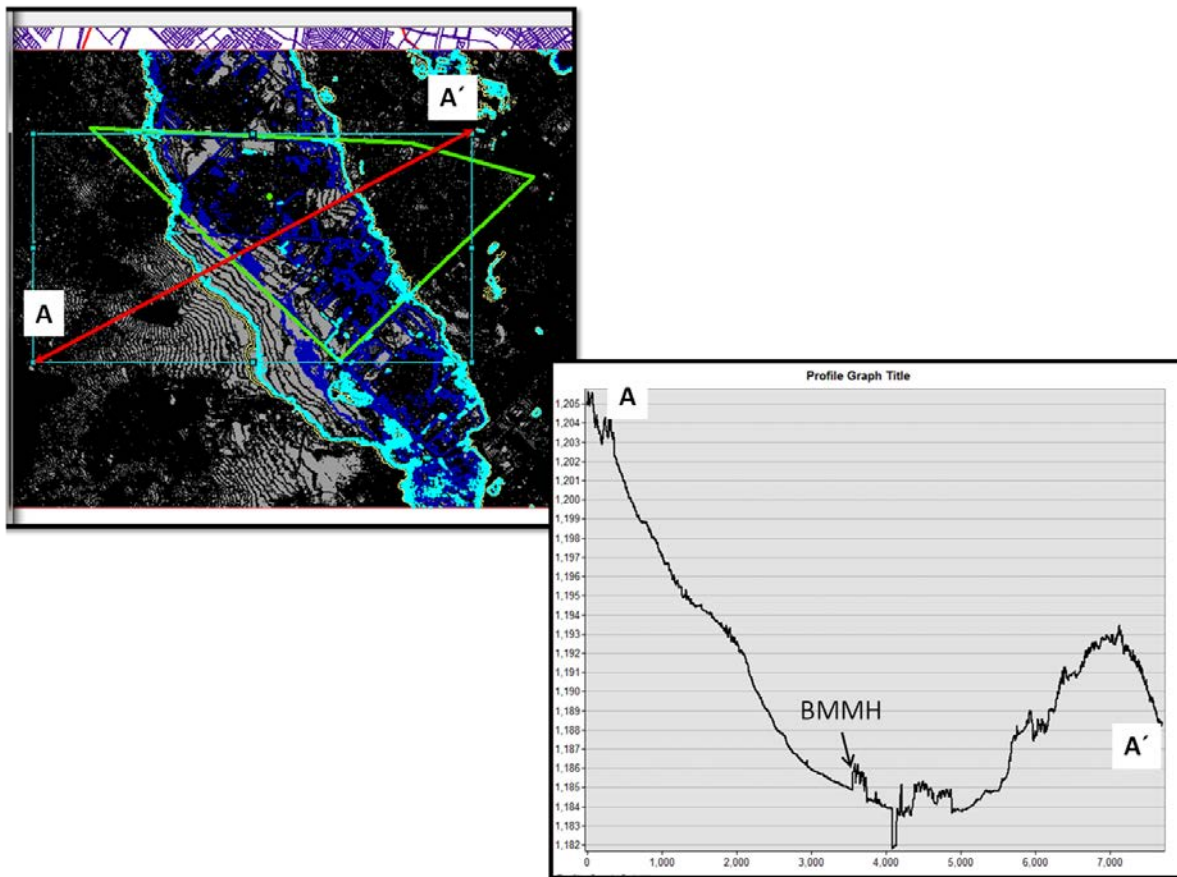


**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**



**Figura V.1.2.** Diferencia de elevación entre las vertientes y centro de la subcuenca Barreal.





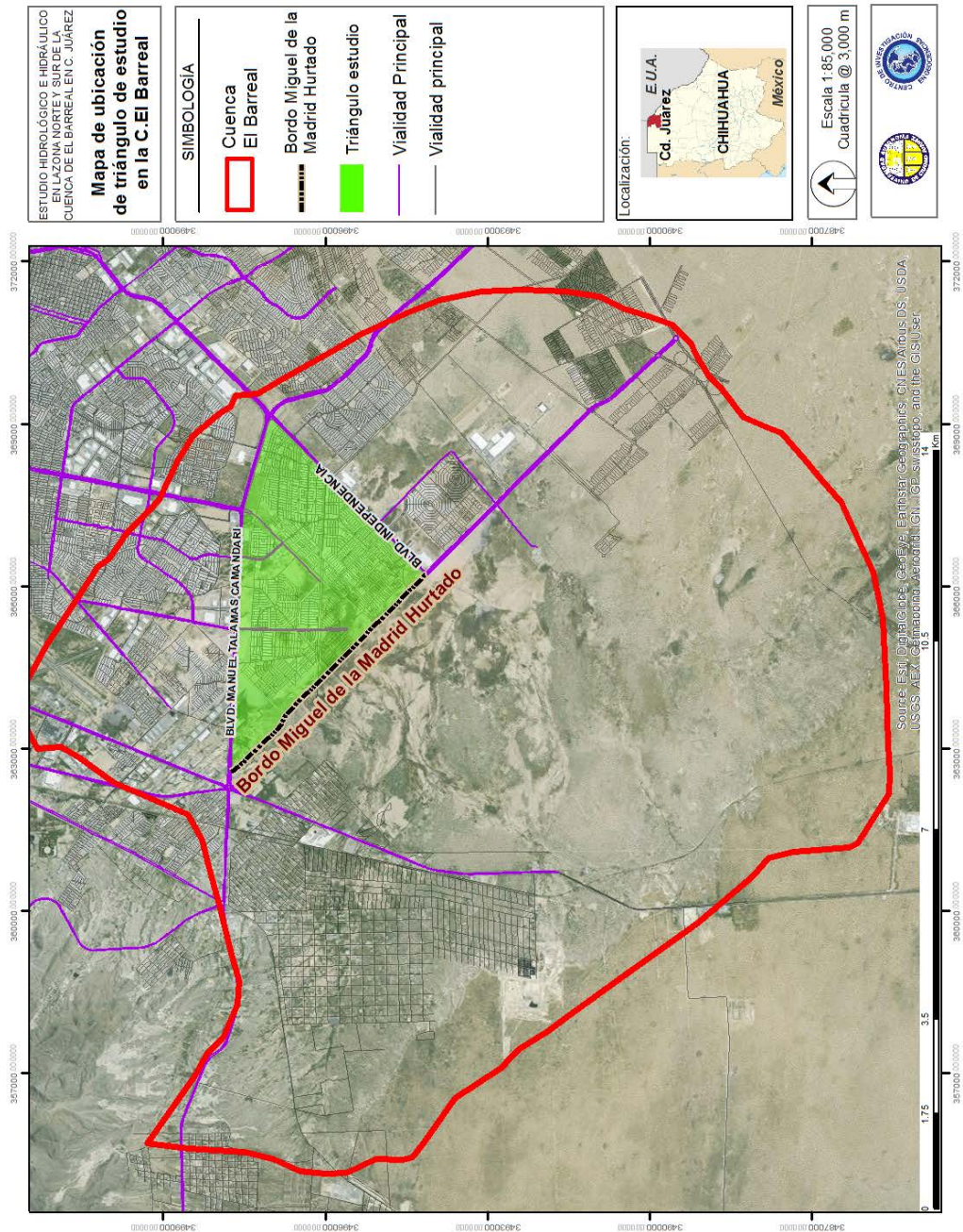
**Figura V.1.3.** Diferencia de elevación entre las terrazas y centro de la subcuenca Barreal. En verde se muestra el triángulo conformado por las vialidades Miguel de la Madrid, Boulevard Independencia y Talamas Camandari como referencia.

La cuenca de El Barreal cubre aproximadamente  $164.114 \text{ km}^2$  (IMIP, 2004b), obteniéndose un volumen aproximado de  $1,318.37 \text{ m}^3$  (IMIP, 2004), para una precipitación media anual de 300 mm (ACCV, 2007) esto con datos muy antiguos (sin datos LiDAR) sin tomar en cuenta los modelos digitales de elevación más actuales, los bordos existentes, y respecto de solo dos estaciones hidrometeorológicas, por lo que es necesario una actualización al estudio. Dicha masa relativamente grande de agua es transportada por varias corrientes o arroyos intermitentes de primer y segundo orden que drenan el

agua a un área más baja definido por la curva de nivel de elevación 1,160 m, lo que define el límite histórico de la Laguna de los Patos (El Barreal) (IMIP, 2004b). Sin embargo, se espera un área de inundación de hasta 6 km<sup>2</sup> si no se contiene o no existen instalaciones hidráulicas para contener la escorrentía (IMIP, 2004b).

Actualmente, la antigua zona lagunar, o parte más baja de este sistema endorreico, está protegida por un bordo con capacidad de contención de eventos hidrometeorológicos extremos de periodo de retorno de 100 años con bordo libre a 500 años. Esta zona está definida por el polígono (casi un triángulo) delimitado por la vialidad Miguel de la Madrid Hurtado (MMH) al oeste que constituye el bordo en sí, por la vialidad Manuel Talamas Camandari (TC) al norte, y por el Boulevard Independencia (BI) al Este (Figura V.1.4).

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**



**Figura V.1.4.** Diferencia de elevación entre las vertientes y centro de la subcuenca Barreal.

La problemática hidrológica de los desarrollos dentro del Triángulo MMH-TC-BI es compleja y requiere no solo el remontarse a la propuesta original del

Plan Sectorial de Manejo de Aguas Pluviales sino a la propia Constitución de los Estados Unidos Mexicanos que en su artículo 27 establece que solo serán aguas nacionales aquellas que desemboquen a ríos que desemboquen al mar o bien lagunas que desemboquen a conducciones que eventualmente desemboquen al océano. Este artículo automáticamente excluye a la zona lagunar del barreal de la categoría de aguas nacionales pues su drenaje es de tipo endorreico, correspondiendo entonces **a la autoridad local el regular su desarrollo.**

A este respecto, el PSMAP, establece que la cuenca El Barreal requiere de diques de regulación aguas arriba en las cuencas Norte y Poniente a fin de garantizar el flujo de escurrimientos regulados a la zona lagunar, además, este plan propone que cada desarrollo urbano se “blinde” hidrológicamente mediante estrategias de manejo pluvial que le permita a cada desarrollo o fraccionamiento el captar, conducir e infiltrar, en un plazo no mayor a 72 horas, los escurrimientos por cuenca propia de aportación, siendo obligatoria que las obras de captación e infiltración almacenen volúmenes correspondientes a eventos ordinarios asociados con lluvias de periodo de retorno a 25 años. En cuanto a la capacidad de desalojo pluvial de las vialidades, estas deberán ser capaces de manejar y conducir hasta eventos con periodo de retorno de 100 años.

Bajo las condiciones mencionadas, el desarrollo urbano en la subcuenca Triangulo MMH-TC-BI debe estar en primer lugar protegido de los volúmenes que escurren de la parte norponiente de la cuenca. Esta protección está garantizada con la presencia del Bordo Miguel de la Madrid Hurtado cuyas dimensiones actuales soportan lluvias de 100 años de periodo de retorno con bordo libre a 500 años. En cuanto, a los escurrimientos por cuenca propia, cada microcuenca deberá contener sus volúmenes, conducirlos a vasos de



captación de capacidad suficiente para eventos de 25 años e infiltrarlos al acuífero, de manera que el vaso este operativo al cabo de 72 horas.

## VI. RECOPIACION DE INFORMACION

1. Revisión del **“Estudio, estrategias y propuestas para el control y manejo de agua pluvial en las zonas sur y oriente de Ciudad Juárez, Chih.”**, elaborado en 2009 por el Gobierno del Estado de Chihuahua, y en el que se diseña la estrategia general, a nivel conceptual del manejo hidrológico de la Cuenca El Barreal.
2. Revisión del **“Análisis de las obras de mitigación ante inundaciones en la cuenca El Barreal, Ciudad Juárez, Chihuahua”**, elaborado en mayo del 2016 por el CENAPRED.
3. Revisión del **“Estudio hidrológico y simulación hidráulica del Bordo Miguel de la Madrid Hurtado”**, elaborado en agosto del 2016, por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
4. Revisión del **“Estudio hidrológico de la subcuenca del triángulo MMH-TC-BI en la cuenca El Barreal”**, elaborado en abril del 2017, por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

### VI.1. NORMATIVIDAD

Al ser El Barreal una cuenca de tipo cerrado o endorreico, sin drenaje a ninguna corriente que desemboque al mar, los escurrimientos y cuerpos de agua de esta cuenca no se consideran como aguas nacionales conforme a la definición de este concepto en el artículo 27 de la Constitución de los Estados

Unidos Mexicanos, por lo que el manejo y regulación de este sistema hídrico no se somete a la ley de Aguas Nacionales ni a la jurisdicción de la Comisión Nacional del Agua.

Es entonces la autoridad local quien define la estrategia de manejo de escurrimientos en esta zona. Los instrumentos de ordenamiento territorial en cuanto a escurrimientos disponibles al momento son el *Plan Sectorial de Manejo de Aguas Pluviales* publicado por el IMIP en el 2004 y el *Estudio, Estrategias y Propuestas para el Control y Manejo de agua Pluvial en las zonas Sur y Oriente de Ciudad Juárez, Chih.*, publicado por el Gobierno del Estado de Chihuahua en el 2009.

## **VII. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA**

El régimen pluviométrico e hidrométrico se determinó en base al análisis de los registros históricos de precipitación y escurrimiento normal. El análisis pluviométrico e hidrométrico permitió establecer el modelo lluvia-escurrimiento prevaleciente en la zona de estudio en base a los datos climatológicos disponibles.

La información requerida para generar la lluvia de diseño a ser empleada en el estudio hidrológico consistió en recabar la mayor información pluviométrica disponible para la zona de estudio.

### **VII.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA**

En este análisis se incluye el cálculo de los gastos y volúmenes esperados para tormentas de 24 horas en base a los cuales se dimensionan los vasos

reguladores proponiendo su rehabilitación o de ser necesario, la construcción de nuevas estructuras de control de avenidas.

De acuerdo a las recomendaciones de los manuales del modelo de simulación hidrológica HEC-HMS, para grandes ciudades es recomendable diseñar las estructuras pluviales para tormentas cuya duración sea de un día o 24 horas. Además la Comisión Nacional del Agua establece que para localidades cuya población sea mayor de 1 millón de habitantes se obtengan los gastos máximos y volúmenes para un periodo de retorno de 100 a 500 años.

Para Ciudad Juárez, se ha establecido el criterio de utilizar tormentas de 24 horas y periodo de retorno de 100 años considerando que con el bordo libre puede ser desalojado el gasto máximo para un periodo de retorno de 500 años. Dichos criterios se encuentran aprobados en el Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (PSMAP) para Ciudad Juárez el cual ha sido aprobado por la CONAGUA (IMIP, 2004).

Para este análisis, se recopiló la información disponible de precipitación para un día, encontrando que históricamente se han tomado datos en diferentes estaciones climatológicas. De estos datos, se han tomado los máximos registrados para cada año, resultando lo que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla I. Registro de datos pluviales anuales.**

AÑO	CILA	CD. JUÁREZ	CNA	CHAMIZAL Lat. 34°45' Long. 106°27'	EL PASO Lat. 31°49'43" Long. 106°26'56"	ACEQUIA MADRE	CILA NORTE	IIT/UACJ Lat. 31°44'36" Long. 106°25'54"	MONTADA Lat. 31°43'30" Long. 106°25'54"	ADOPTADO
1969	22.80			19.50						22.80
1970	36.20			36.20						36.20
1971	55.50			55.50						55.50
1972	38.20			38.20	41.90					41.90

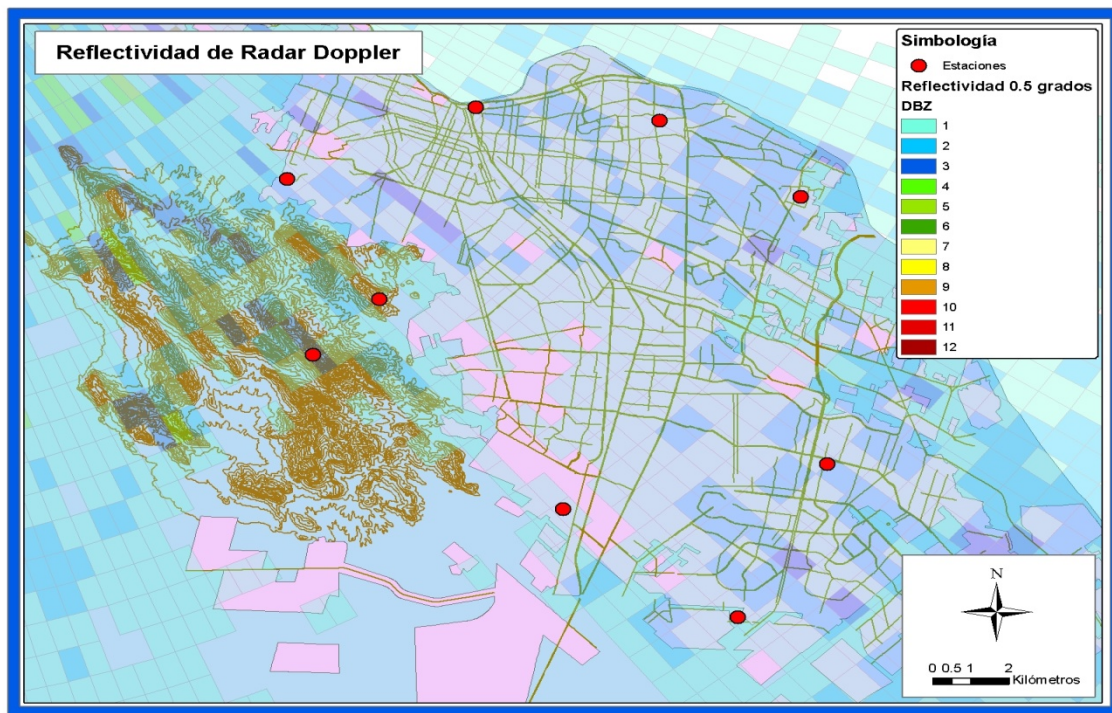


**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE  
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**

1973	80.20			80.20	45.00					80.20
1974	52.70			52.70	42.40					52.70
1975	63.00			63.00	62.00					63.00
1976	28.10			28.10	51.10					51.10
1977	28.70			28.70						28.70
1978	62.50			62.50	39.10					62.50
1979	26.50			26.50						26.50
1980	31.90			31.90	33.00					33.00
1981	30.90	24.00		30.90	46.50					46.50
1982	53.90	51.00		53.90	56.10					56.10
1983	38.70	23.00		30.00	24.90					38.70
1984	31.20	50.00		38.70	58.40					58.40
1985	30.50	25.70		32.20	26.90					32.20
1986	30.00	24.00		30.50	39.60					39.60
1987	28.30	70.50		33.50	44.70					70.50
1988	28.30	35.60		28.30	32.50					35.60
1989	23.00	24.30		23.00	37.30					37.30
1990	29.40	34.90		29.40	62.00					62.00
1991		40.00								40.00
1992		44.00								44.00
1993		27.40								27.40
1994										0.00
1995					21.34					21.34
1996			24.00		26.42					26.42
1997			19.00		22.86					22.86
1998			16.00		12.70					16.00
1999			22.00		22.35					22.35
2000			50.00		34.54	35.00	66.80	17.30		66.80
2001			19.00		15.24	80.00		5.00		80.00
2002			18.50		13.71			26.60	19.40	26.60
2003			25.00		15.14			28.30	26.20	28.30
2004			28.00		34.79			32.00	74.00	74.00
2005			32.00		57.40			35.20	64.00	64.00
2006			59.00		72.13			46.20	91.70	91.70
2007			36.00		33.00			25.50	23.80	36.00
2008			40.00		44.90			45.00	34.80	45.00



Todas estas estaciones meteorológicas están localizadas dentro de la zona urbana Cd. Juárez (Figura VII.1.1(puntos rojos)) y El Paso, Texas, EE.UU. Se observa que las tormentas son muy variables en su intensidad de un sitio a otro ((Figura VII.1.1(reflectividad doppler)), características principales de las lluvias en estas latitudes.



**Figura VII.1.1.** Localización de estaciones de lluvia y reflectividad Doppler (Laboratorio de Climatología y Calidad del Aire, UACJ).

La columna de lluvia adoptada, recoge la máxima precipitación registrada por todas las estaciones en el área, considerándola como la más crítica de la zona de estudio, y la que traería por consecuencia el mayor gasto y volumen escurrido, considerando como válido que la precipitación máxima se puede presentar en cualquier parte de la ciudad. Se observa que en el año 1994 no

se cuenta con información, por lo cual queda eliminado como parte del análisis. Con el criterio anterior, para el análisis estadístico se adopta la siguiente información:

**Tabla II.** Precipitación máxima anual.

<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACIÓN MAX. EN 24 HRS (MM)</b>
1969	22.80
1970	36.20
1971	55.50
1972	41.90
1973	80.20
1974	52.70
1975	63.00
1976	51.10
1977	28.70
1978	62.50
1979	26.50
1980	33.00
1981	46.50
1982	56.10
1983	38.70
1984	58.40
1985	32.20
1986	39.60
1987	70.50
1988	35.60
1989	37.30
1990	62.00
1991	40.00

1992	44.00
1993	27.40
1995	21.34
1996	26.42
1997	22.86
1998	16.00
1999	22.35
2000	66.80
2001	80.00
2002	26.60
2003	28.30
2004	74.00
2005	64.00
2006	91.70
2007	36.00
2008	45.00

## VII.2. ANALISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN

Se asoció la lluvia máxima en 24 horas a varios periodos de retorno, utilizando la distribución normal, Log Normal y Gumbel, los resultados fueron comparados con los datos de precipitación calculados en el Plan Sectorial en donde el periodo de retorno es 15 años menor al que aquí se desarrolla.

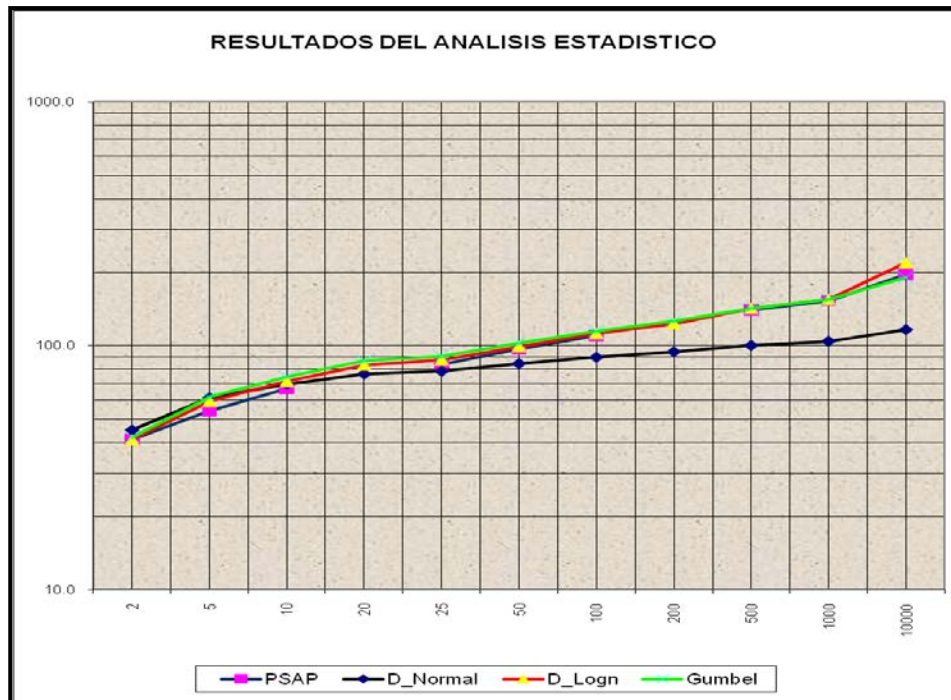
En la Tabla III se muestran los valores del PSMAP, los resultados del análisis por los métodos señalados y las diferencias encontradas respecto al primero. En los resultados del análisis estadístico (Figura VII.2.1) se observa que la distribución normal se desplaza significativamente de los datos obtenidos en el PSMAP, y por los cálculos de los métodos Log-normal y Gumbel, por lo que este método se descarta.

Los métodos Log-Normal y Gumbel muestran que las precipitaciones obtenidas para diferentes periodos de retorno se incrementan en un promedio de 5%, principalmente por el efecto de las intensas tormentas registradas en los años 2004, 2005 y 2006. Los incrementos en los datos de precipitación se observan principalmente para los periodos de retorno de 5 a 50 años quedando el resto con diferencias mínimas en relación a los valores del PSMAP.

**Tabla III. Distribución de las precipitaciones por TR.**

TR	Plan Sectorial	Distr. Normal	Diferencia en %	Distr. Log Normal	Diferencia en %	Gumbel	Diferencia en %
2	41.3	45.22	109.49%	41.37	100.17%	42.30	102.42%
5	54.0	61.32	113.56%	59.28	109.78%	61.79	114.43%
10	66.8	69.73	104.39%	71.56	107.13%	74.69	111.81%
20		76.68		83.48		87.05	
25	84.0	78.7	93.69%	87.51	104.18%	91.00	108.33%
50	96.8	84.5	87.29%	99.49	102.78%	103.10	106.51%
100	110.0	89.7	81.55%	112.17	101.97%	115.10	104.64%
200		94.5		123.25		127.00	
500	140.0	100.27	71.62%	142.56	101.83%	143.00	102.14%
1000	153.0	104.32	68.18%	154.63	101.07%	155.00	101.31%
10000	196.0	116.35	59.36%	218.72	111.59%	191.00	97.45%
			87.68%		104.50%		105.45%





**Figura VII.2.1.** Resultados del análisis estadístico.

Por lo anterior, se propone que los próximos estudios hidrológicos tomen como base los datos de precipitación obtenidos por el método Log-normal con los siguientes valores:

**Tabla IV.** Distribución de la precipitación en Log-Normal.

TR	PRECIPITACIÓN ( mm )
2	41.37
5	59.28
10	71.56
20	83.48
25	87.51
50	99.49
100	112.17
200	123.25
500	142.56

1000	154.63
10000	218.72

### VII.3. DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL TIEMPO PARA 24 HORAS

La distribución de la lluvia durante una tormenta de 24 horas, utilizada en el PSMAP se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla V. Periodos de retorno para una lluvia de 24 horas.**

HORA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)								
	2	5	10	25	50	100	500	1000	10000
5 minutos	8.30	10.90	12.80	15.30	17.30	20.05	24.40	26.70	34.20
15 minutos	16.50	21.60	25.40	30.40	34.40	39.86	48.50	53.00	67.90
1 hora	20.70	27.00	33.40	42.00	48.40	56.09	70.00	76.50	98.10
2 horas	24.00	31.40	38.90	48.90	56.29	65.23	81.40	88.90	114.10
3 horas	26.20	34.30	42.50	53.40	61.49	71.25	88.90	97.20	124.70
6 horas	30.50	39.90	49.40	62.10	71.52	82.88	103.50	113.10	145.00
12 horas	35.50	46.40	57.40	72.20	83.18	96.39	120.30	131.50	168.70
24 horas	41.30	54.00	66.80	84.00	96.80	112.17	140.00	153.00	196.20
% PARA 1 HR	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%

Para revisar la distribución a esta fecha, es necesario contar con información histórica de la precipitación máxima, en una hora similar a la que se utilizó para el análisis correspondiente a 24 horas. Actualmente no se cuenta con esta información, por lo cual se propone que se continúe con el criterio establecido originalmente en PSMAP, es decir tomar los datos anteriores ajustándolo únicamente para los nuevos valores resultantes de la actualización presentada previamente para 24 horas.

La distribución aproximada utilizada en el Plan Sectorial y adoptada para este caso es la siguiente:

**Tabla VI. Porcentaje de precipitación por tiempo.**

HORA	% DE PRECIPITACIÓN
5 minutos	20%
15 minutos	40%
1 hora	50%
2 horas	58%
3 horas	63%
6 horas	74%
12 horas	86%
24 horas	100%

Con lo anterior, la distribución de la precipitación de la lluvia para 24 horas, propuesta para los estudios hidrológicos es la siguiente:

**Tabla VII. Distribución pluvial para una lluvia de 24 horas.**

HORA	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS										
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000	10000
5 minutos	8.27	11.86	14.31	16.70	17.50	19.90	22.43	24.65	28.51	30.93	43.74
15 minutos	16.55	23.71	28.62	33.39	35.00	39.80	44.87	49.30	57.02	61.85	87.49
1 hora	20.69	29.64	35.78	41.74	43.76	49.75	56.09	61.63	71.28	77.32	109.36
2 horas	23.99	34.38	41.50	48.42	50.76	57.70	65.06	71.49	82.68	89.69	126.86
3 horas	26.06	37.35	45.08	52.59	55.13	62.68	70.67	77.65	89.81	97.42	137.79
6 horas	30.61	43.87	52.95	61.78	64.76	73.62	83.01	91.21	105.49	114.43	161.85
12 horas	35.58	50.98	61.54	71.79	75.26	85.56	96.47	106.00	122.60	132.98	188.10
24 horas	41.37	59.28	71.56	83.48	87.51	99.49	112.17	123.25	142.56	154.63	218.72

Lo conveniente es analizar información de precipitación máxima para una hora registrada en estaciones climatológicas de la región. Es probable contar con este tipo de datos en registros climatológicos en zonas similares a Cd. Juárez como puede ser la Cd. de Chihuahua o ciudades de Nuevo México y Texas en E.U.A.

De contar con esta información por un periodo similar al de los registros de 24 horas, entonces será posible llevar a cabo el análisis estadístico completo que puede ser aplicado a los modelos hidrológicos.



## VIII. ACTIVIDADES REALIZADAS

Se realizó un análisis y diagnóstico de microcuencas y escurrimientos generados a través de Modelos Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) apoyados con topografía de gran precisión obtenida con la tecnología LIDAR (Laser Imaging Detection And Range). Esta tecnología maneja ‘nubes de puntos’ con una densidad de hasta 12 puntos a través de los cuales se calcula la elevación mediante el análisis de los tiempos dobles de retorno del pulso EM emitido por la aeronave y reflejado por el terreno, las diferencias en tiempo de viaje de la onda EM son proporcionales a la elevación del terreno. Posteriormente la señal es filtrada mediante el paquete computacional MARS (Merrick’s Advanced Remote Sensing) para clasificar los arribos del pulso como Terreno Natural, vegetación o superestructuras tales como construcciones o cableado eléctrico. Como resultado se generan coberturas a nivel de terreno en curvas de nivel de hasta 50 cm y modelos de elevación de terreno con tamaños de píxel de 1 m, aproximadamente. Estos datos topográficos de alta precisión identifican hasta las depresiones mínimas en el terreno generando los modelos con gran apego a la realidad por su alta precisión. A través de la capa base de topografía a nivel de terreno, se obtienen los datos requeridos para la realización del análisis hidrológico, tales como: como definición de subcuencas y/o microcuencas, escurrimientos, pendientes, longitud máxima de cauces, tiempos de retardo, tiempos de concentración, definición de los cauces principales y tiempo de respuesta para alimentar el Sistema del Modelo Hidrológico (HMS, por sus siglas en inglés).

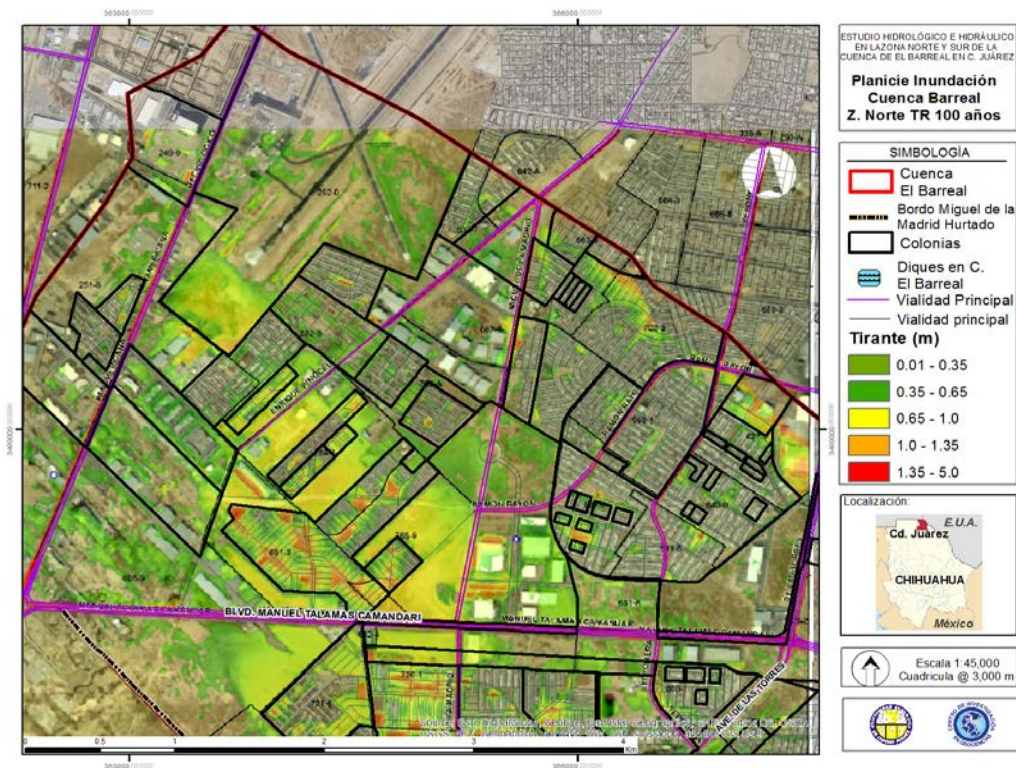
## **IX. DIAGNOSTICO DE LOS ESCURRIMIENTOS EN CONDICIONES ACTUALES**

### **IX.1. ZONA NORTE**

A la fecha, la única información disponible de la capacidad de respuesta hidrológica de la cuenca norte Barreal, ubicada al norte de la zona lagunar, corresponde a los resultados de la simulación hidráulica disponible en el Atlas de Riesgo 2016 (Figura IX.1.1). Esta modelación, generada para un periodo de retorno de 100 años, muestra que en la microcuenca Barreal norte se registran tirantes desde los 0.65 m hasta más de 1 m de altura en los puntos más críticos.

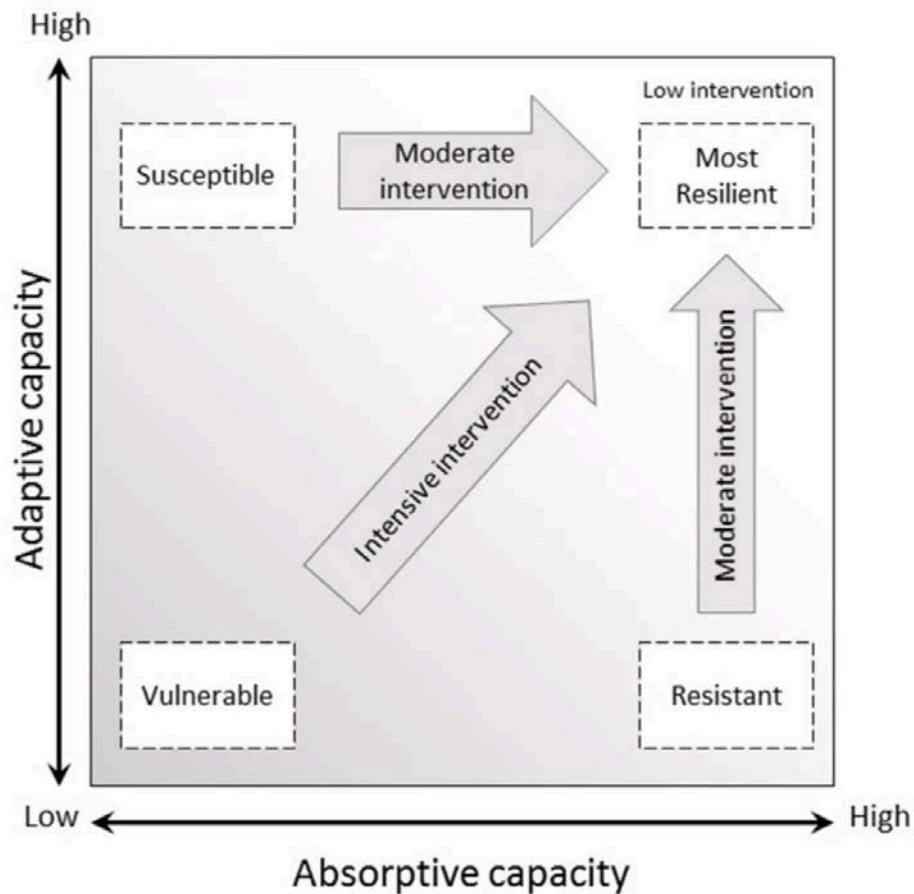
Respecto del modelado, es importante recalcar que estos modelos son con un mallado correspondiente a un tamaño de celda de 10 m x 10 m, lo que implica que estos modelos adolecen de falta de resolución espacial para localizar de manera precisa, es decir, a nivel de calle, que casas están situación de vulnerabilidad alta.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**



**Figura IX.1.1.** Diagnostico de la situación actual en Zona Norte de la Cuenca El Barreal en base a los resultados mostrados en el Atlas de Riesgos.

Estas zonas deben ser consideradas como vulnerables hidrológicamente o con poca capacidad de resiliencia hidrológica. En este documento, nos apegamos a la definición de resiliencia hidrológica dada por Mao et. Al. (2016), (FIGURA IX.1.2.) en la cual la se considera a un elemento, en este caso la subcuenca, como resiliente, si su vulnerabilidad ante el evento ha disminuido por causa de la capacidad de absorción, o de adaptación. En este caso, la capacidad de absorción es mínima, dado que las condición hidrológica de la cuenca es “pobre” como consecuencia del porcentaje de superficie impermeable como consecuencia de la urbanización.

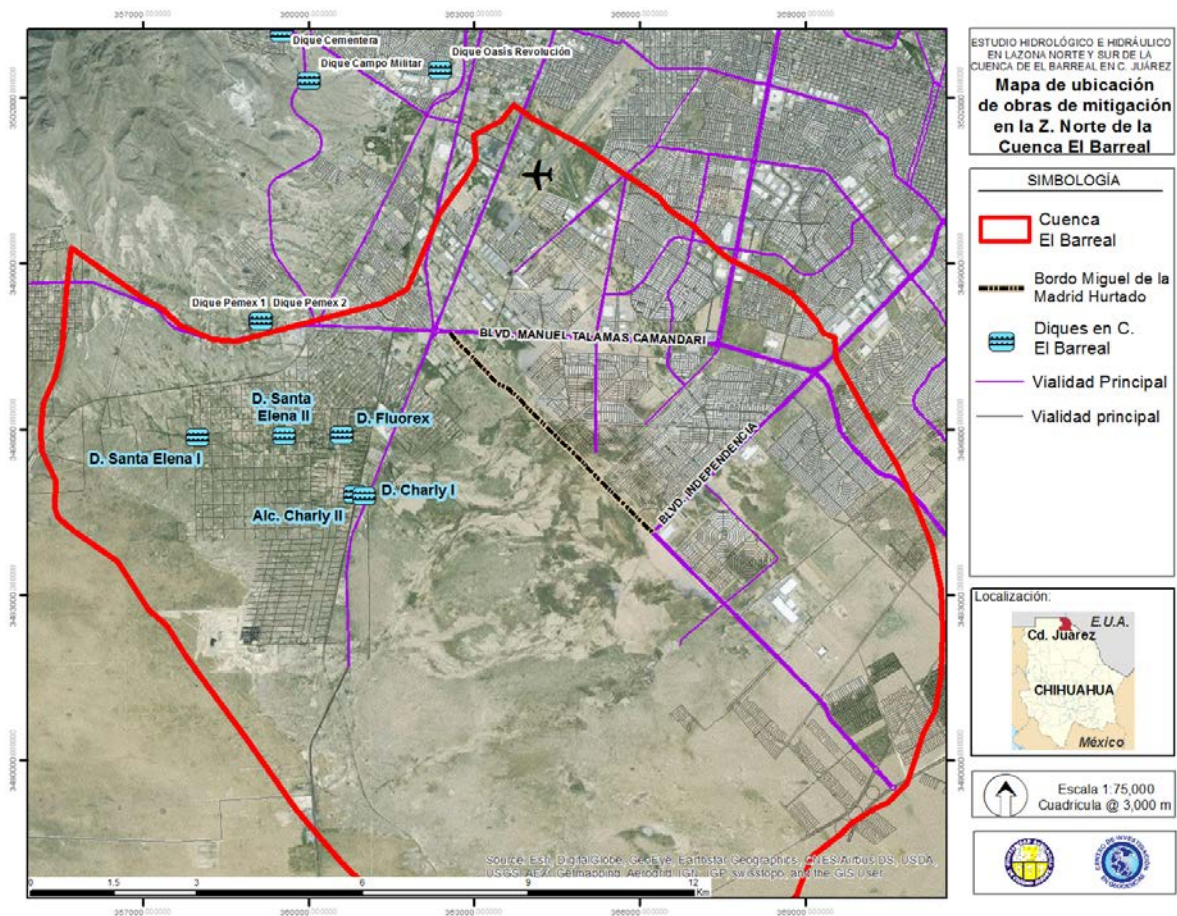


**Figura IX.1.2.** Definición de Resiliencia hidrológica (Mao et. Al., 2016) .

En cuanto a la capacidad de adaptación, es decir, las acciones referentes a la presencia de infraestructura que disminuya la vulnerabilidad, se observa que las estructuras de mitigación existentes en la subcuenca Jarudo (Figura IX.1.3), colindante al Noroeste con la subcuenca Barreal, son insuficientes para contener avenidas hidrológicas, ya que el dique Pemex está inutilizado y los diques Campo Militar, Cementera y Oasis Revolución están localizados a una considerable distancia en dirección Norte, por lo que el drenaje de la parte sur de estas estructuras se aporta hacia la parte Norte de la subcuenca Barreal, causando afectaciones. Es decir, el Barreal norte, actualmente no



solo recibe aportaciones por cuenta propia, sino que recibe aportaciones de la parte Sur de la subcuenta Jarudo.



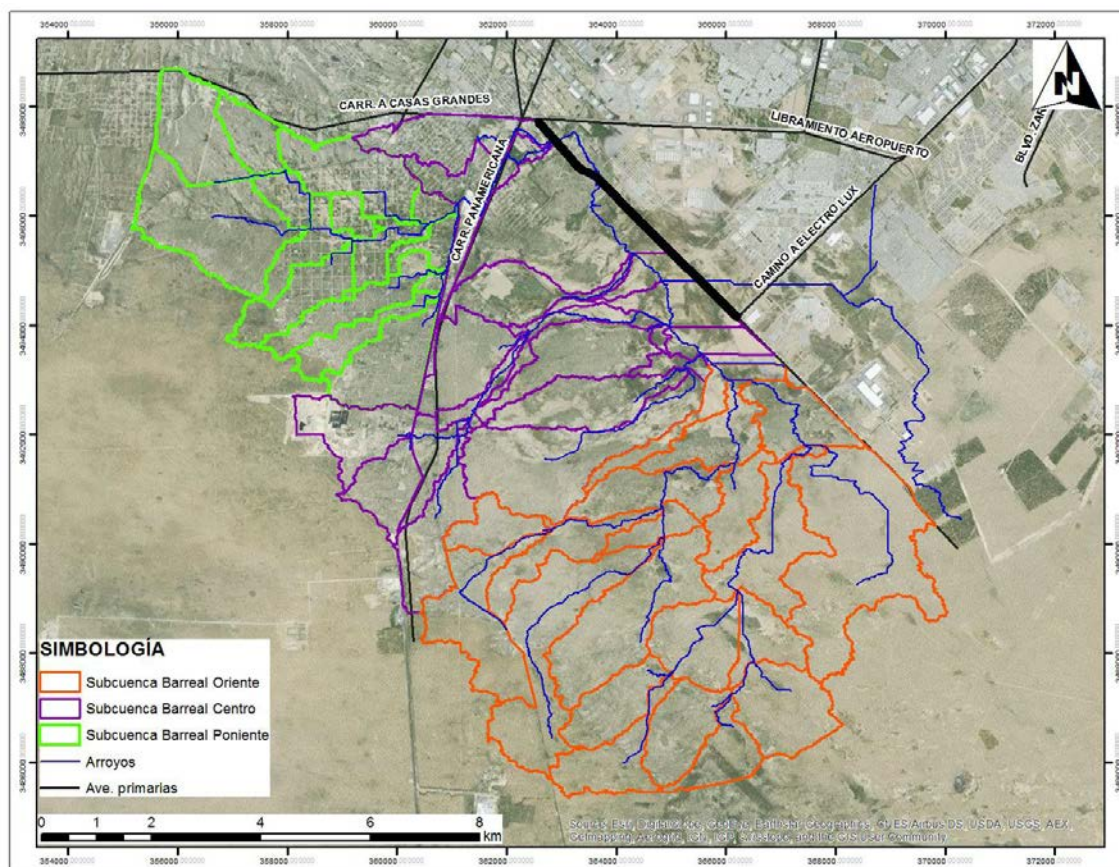
**Figura IX.1.2. Carencia de estructuras de mitigación que afectan la Zona norte Barreal.**



## IX.2. ZONA PONIENTE

En esta zona se identifican tres subcuencas principales: Barreal Poniente, Barreal Sur-Centro y Barreal Sur-Oriente.

La primera subcuenca Barreal Poniente tiene como parteaguas dos principales avenidas, hacia el norte la Carretera Casas Grandes y hacia el este la Ave. Panamericana. La segunda subcuenca Barreal Sur-Centro está delimitada por la Carretera Casas Grandes, la Ave. Panamericana, y hacia el noreste el Bordo Miguel de la Madrid Hurtado. La tercera subcuenca Barreal Sur-Oriente se encuentra delimitada hacia el oeste por la Ave. Panamericana y hacia el norte por la subcuenca Barreal Centro (Figura IX.2.1).



**Figura IX.2.1.** Ubicación de las subcuencas de aportación al bordo MMH

### X.2.1. Microcuenca Barreal Poniente

La microcuenca Barreal Poniente tiene una superficie de 21.527 km<sup>2</sup> en la cual se observan dos arroyos principales con cinco arroyos tributarios. Se presentan pequeñas aglomeraciones de casas en su mayoría, en la parte noroeste y centro de la subcuenca (Figura IX.2.1.1).

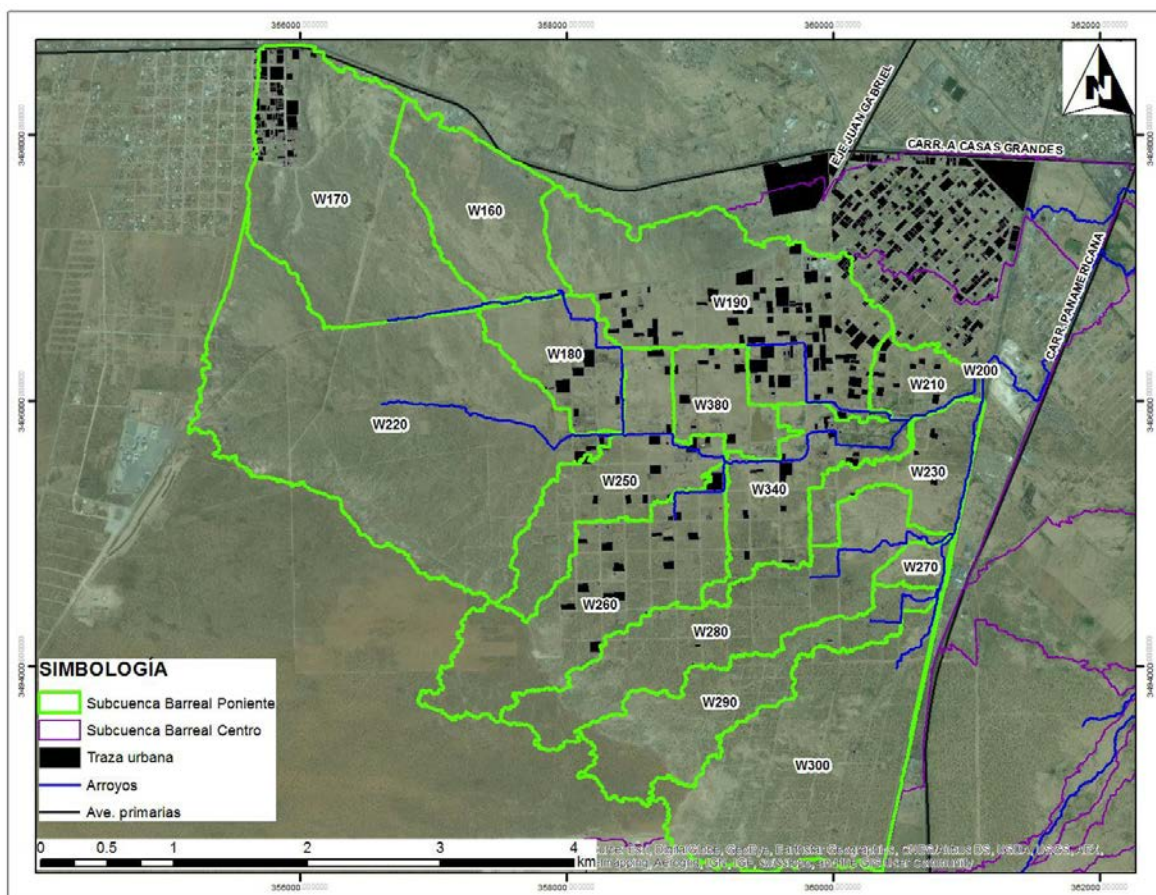


Figura IX.2.1.1. Subcuenca y escurrimientos principales Barreal Poniente.



## IX.2.2. Microcuenca Barreal Sur

La microcuenca Barreal Sur-Centro tiene una superficie de 35.047 km<sup>2</sup> en la cual se observan 3 arroyos principales. Se presenta una aglomeración de casas en su mayoría, en la parte noroeste de la subcuenca cerca de la Ave. Panamericana, y hacia el este del bordo Miguel de la Madrid Hurtado, el cual delimita la subcuenca en su parte este (Figura IX.2.2.1).

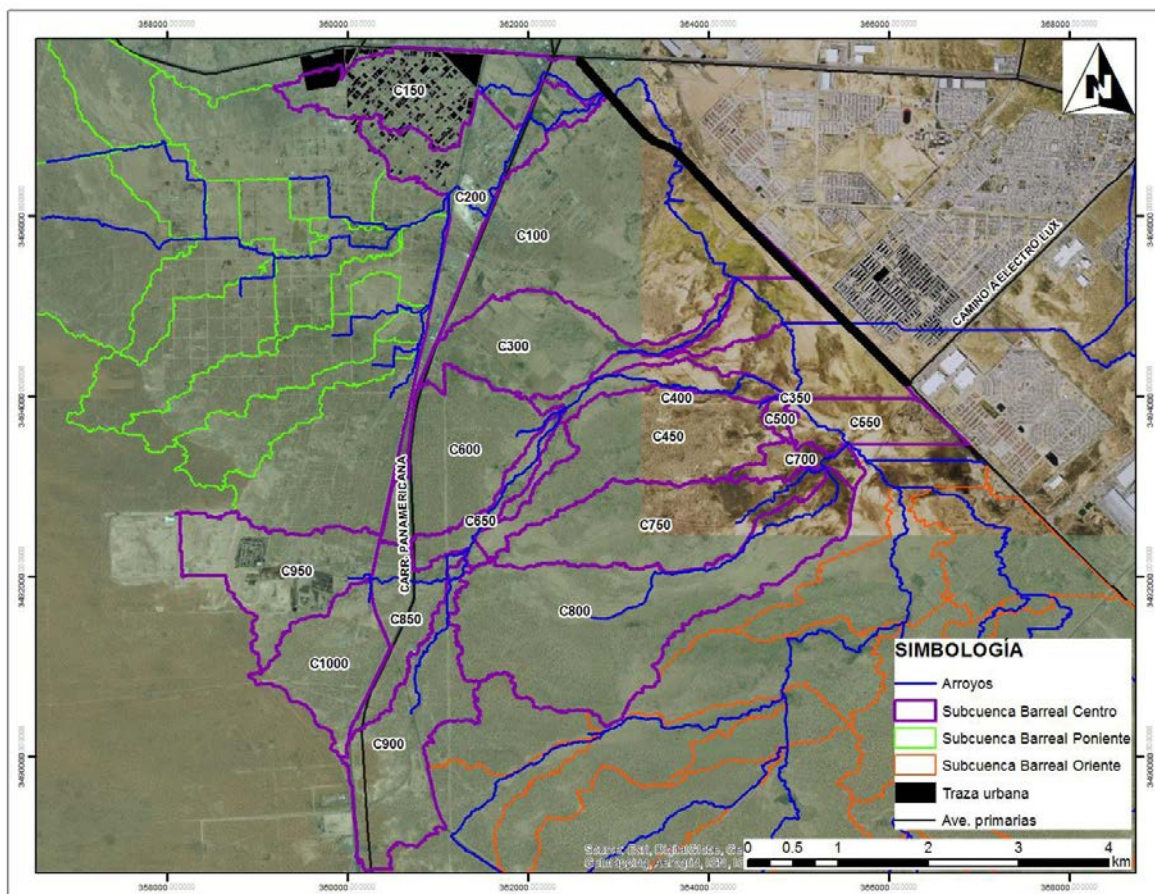
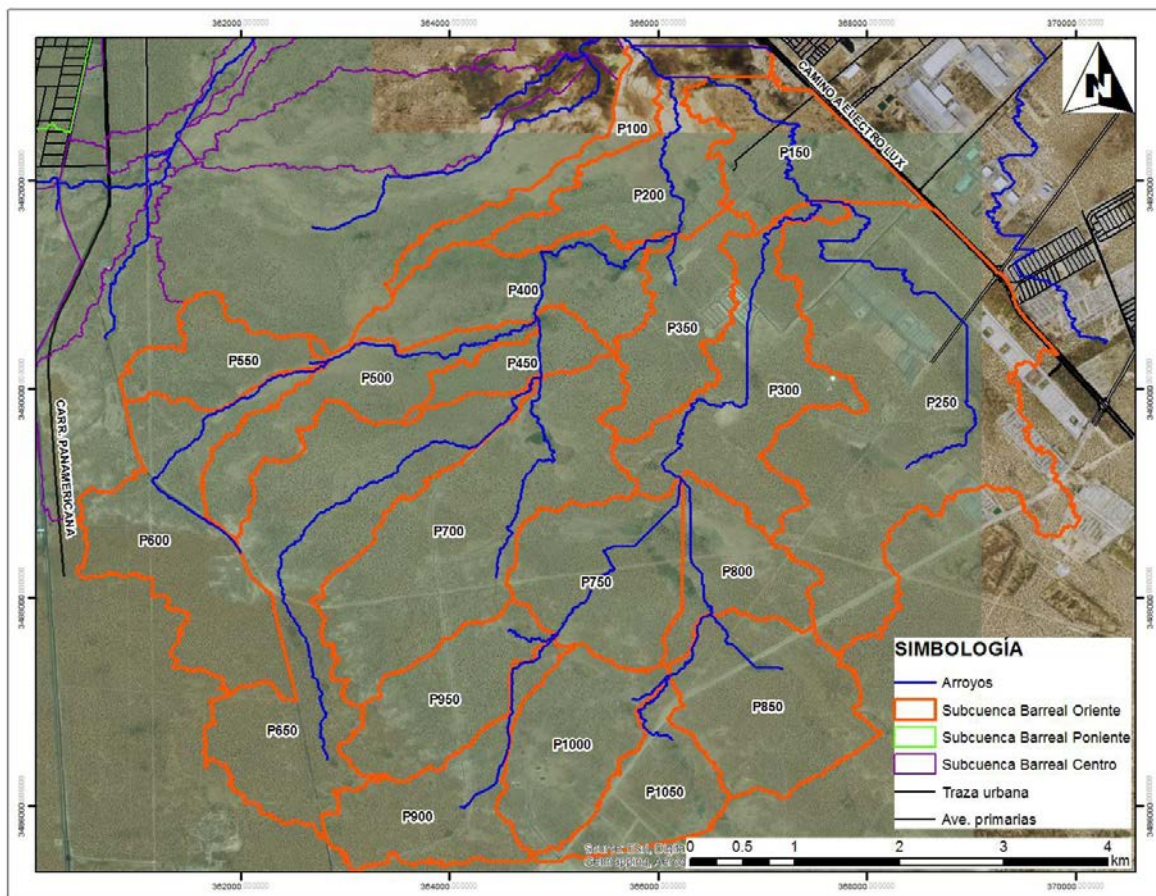


Figura IX.2.2.1. Subcuenca y escurrimientos principales Barreal Sur-Centro.

### IX.2.3. Microcuenca Barreal Sur-Oriente

En la microcuenca Barreal Sur-Oriente, la cual tiene una superficie de 45.907 km<sup>2</sup>, se observan tres arroyos principales y solo presenta una aglomeración de casas en la parte sureste, y hacia el este, naves industriales localizadas sobre la calle Camino a Electrolux (Figura IX.2.3.1).



**Figura IX.2.3.1.** Subcuenca y escurrimientos principales Barreal Sur-Oriente.



### IX.3. ZONA CENTRO

La subcuenca definida por el triángulo MMH-TC-BI presenta un área total de 12.47 km<sup>2</sup> con un total de 75 microcuencas y 65 vasos de captación e infiltración de escurrimientos (Figura IX.3.1). Los escurrimientos fluyen a través del bombeo de las calles en dirección a los vasos de captación principalmente, aunque en algunos casos, una microcuenca determinada drena sus excedentes de volumen a las cuencas que le circundan.

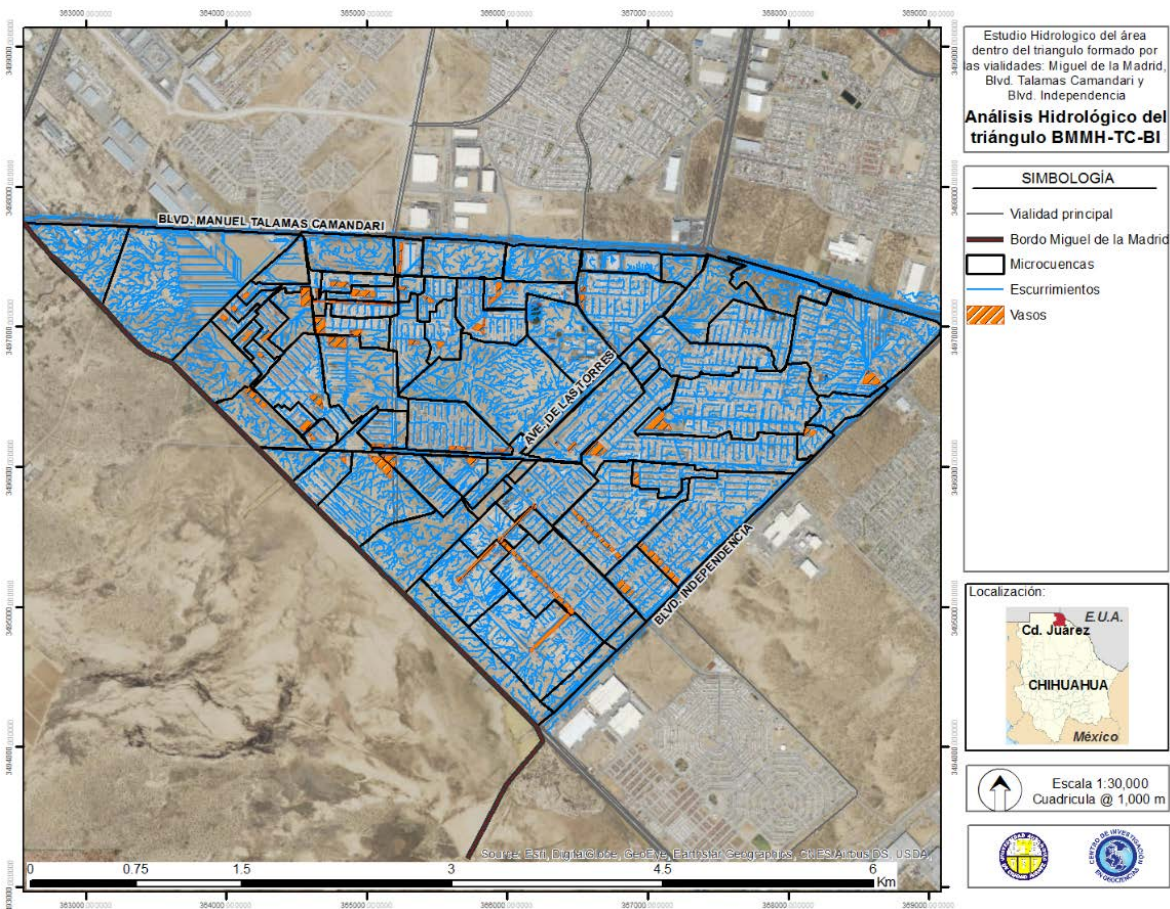


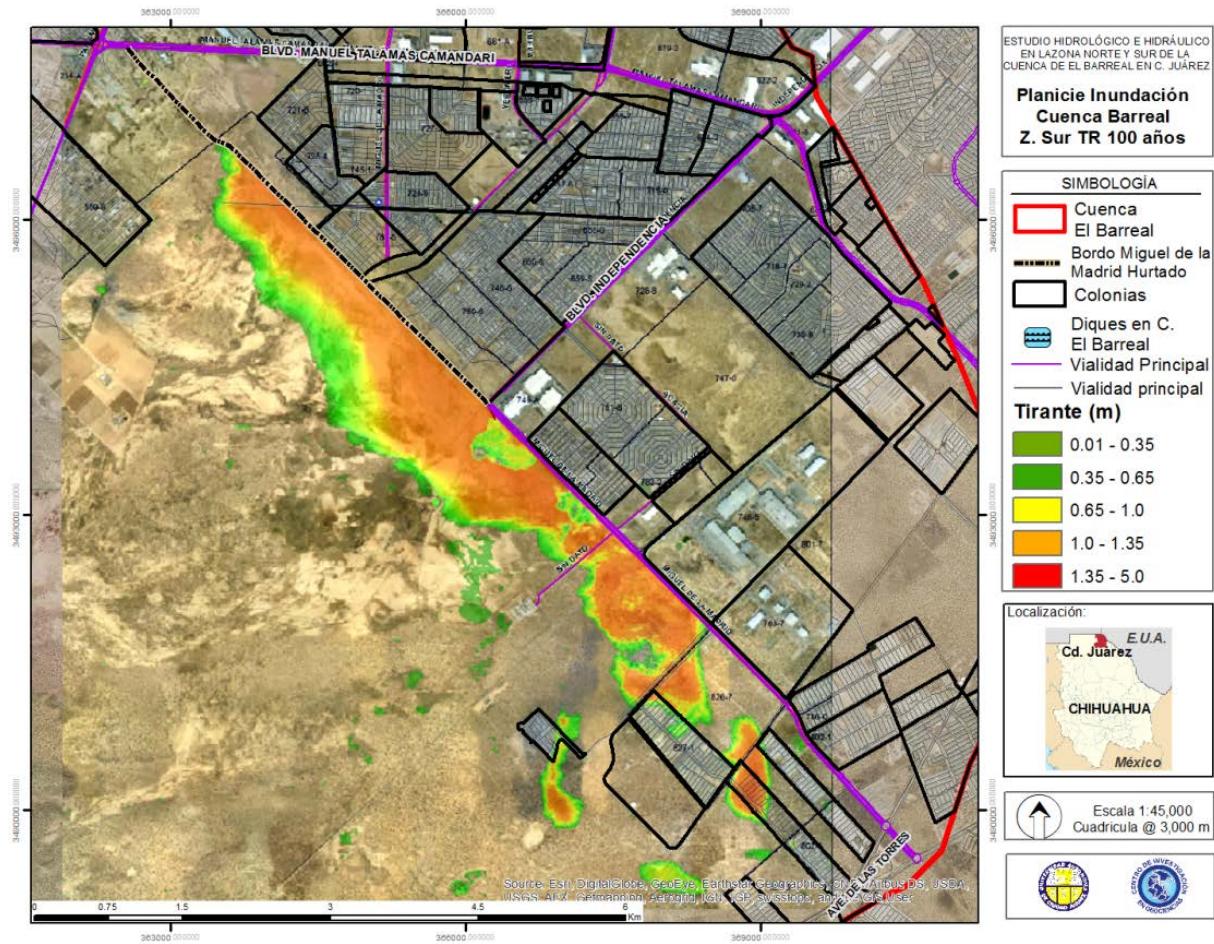
Figura IX.3.1. Subcuenca Triángulo MMH-TC-BI con elementos hidrológicos y escurrimientos.



#### **IX.4. ZONA SUR**

Respecto del modelo de la cuenca Barreal Sur, la información o resultados presentados por el IMIP en s Altas de Riesgo, deben ser interpretados con extrema prudencia, dado que el modelo presentado asume que existe un bordo longitudinal desde la Avenida Talamas Camandari hasta el sur de la Planta Electrolux, por lo que no se observa afectación hidrológica en esta subcuenca. Sin embargo, dado que el bordo solo existe hasta la Avenida Boulevard Independencia, debe considerarse que esta zona sur sí presenta problemas importantes de inundación, requiriéndose una actualización de la plantilla topográfica de la zona (Figura IX.4.1).

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**



**Figura IX.4.1. Subcuenca y escurrimientos principales Zona Sur.**

## **X. FUNCION DE RIESGO PRELIMINAR DE ACUERDO A LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA CUENCA**

CENAPRED (2016) reporta en su informe “Análisis Técnico del Barreal” del 31 de Mayo del 2016, que Protección Civil Chihuahua reporta 4 decesos en el Barreal durante los eventos de lluvia extrema. No precisa si es solo 2006 o hasta el 2010.

- a. En reportes de prensa se reporta que dos niños se meten a nadar a un dique entre las calles Desierto de Siria y Custodia de la Republica en el fraccionamiento Parajes de Oriente (*larednoticias.com, 29 Julio 2013*), precisando que uno de ellos murió ahogado.
- b. El 2013 no corresponde a ninguna declaratoria de emergencia por lluvia extrema o inundación en el Barreal.
- c. Una mujer también es reportada de haber perdido la vida al caer, después de ser impactado su vehículo, a el interior de un vaso de captación en fraccionamiento Praderas del Sol en la zona del Barreal. Sus hijos si fueron rescatados, pero ella murió ahogada (*Diario de Juárez digital, 19 setiembre 2014*)
- d. Un hombre murió ahogado en el dique de Parajes del sur después de que su cunado lo lanzó al dique por una disputa familiar (*Diario Digital, 2017*).
- e. Las declaratorias de emergencia en el Barreal son: 2006 (2), 2008, 2014.

- f. De estas declaratorias se asocian con fallecimientos, solo la del 2014.
- g. Sin embargo en ningún caso se reporta que los fallecidos hayan sido sorprendidos por un evento de inundación repentina con tirantes elevados de agua y velocidades de flujo turbulentas.
- h. Los decesos obedecen más bien a eventos accidentales u homicidio.
- i. Esto es consistente con el resultado del modelo actual de la simulación hidráulica bidimensional de los desarrollos localizados dentro del Triangulo MMH-TC-BI donde las velocidades de flujo son muy bajas.
- j. El modelo hidráulico de la UACJ es consistente con los Tiempos de Concentración y gastos hidráulicos del CENAPRED que establecen un máximo de  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  para el desarrollo Gómez Morín, el cual está también considerado como con problemática de seguridad hidrológica por la UACJ.
- k. El informe de UACJ establece zonas específicas como con problemática de seguridad hidrológica por cuenca propia en algunos desarrollos específicos a nivel de calle, los cuales requieren de un proyecto ejecutivo de manejo pluvial que evite los tirantes mayores a 40 cm a nivel de calle.
- l. En términos de Riesgo, la función de riesgo puede ser especificada en términos de pérdidas humanas o materiales (o ambas) para un periodo de retorno de 25 años.

- m. Con tal función de riesgo, la Probabilidad de Excedencia (PE) para un TR 25 es de  $1/25$ , o equivalente a un 4%. Considerando que este evento ya ocurrió en el 2006, el porcentaje subiría a  $1/13$ , equivalente a un 8 %. Este es el termino estocástico o de probabilidad de ocurrencia de tal evento.
- n. Si se considera además que los decesos asociados con lluvias en el Barreal han obedecido a circunstancias no asociadas propiamente con el evento de lluvia como accidentes u homicidios, y que la velocidad de flujo por cuenca propia dentro del triangulo es muy baja para contemplar un escenario de inundación repentina, entonces no se dispone de valor de umbral de ocurrencia y el Riesgo por pérdida de vidas sería muy bajo, considerando que el blindaje hidrológico del Bordo MMH esté garantizado.
- o. En cuanto a pérdidas materiales, el IMIP, en su mapa de Riesgo por vulnerabilidad por tipo de vivienda ubica la zona del Barreal como de riesgo Bajo.





## **XI. CONCLUSIONES DE LA CUENCA EN CONDICIONES ACTUALES**

Para el diagnóstico de las condiciones actuales de la zona ya urbanizada del Barreal y su vulnerabilidad hidrológica se consideró como eje total las recomendaciones emitidas por el esquema de solución planteado por la Estrategia planteada por Gobierno del Estado en 2009 y las observaciones emitidas por el CENAPRED en su memo *H00-DG/1792/2016*, los cuales de manera conjunta pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1) Todos los escurrimientos deberán contenerse por cuenca propia (*Estrategia*).
- 2) La cantidad de lluvia total será considerada como transformada a escurrimiento asumiendo que en condiciones futuras la cuenca será totalmente urbanizada (*Estrategia*).
- 3) La zona desarrollada actualmente debe ser protegida por un bordo de protección capaz de contener los escurrimientos de 100 años en condiciones totalmente urbanizadas (*Estrategia*).
- 4) El bordo Miguel de la Madrid Hurtado deberá ser capaz de contener los escurrimientos correspondientes a un evento hidrometeorológico extremo asociado a una tormenta de diseño de 100 años con bordo libre a 500 en condiciones actuales. (CENAPRED).
- 5) Los desarrollos existentes en la zona lagunar deberán ser capaces de contener los escurrimientos correspondientes a 25 años en las condiciones actuales de urbanización (CENAPRED).



En cuanto a pérdidas humanas por eventos hidrometeorológicos:

- 6) CENAPRED (2016) reporta en su informe “Análisis Técnico del Barreal” del 31 de Mayo del 2016, que Protección Civil Chihuahua reporta 4 decesos en el Barreal durante los eventos de lluvia extrema. No precisa si es solo 2006 o hasta el 2010.
- 7) En reportes de prensa se reporta que dos niños se meten a nadar a un dique entre las calles Desierto de Siria y Custodia de la Republica en el fraccionamiento Parajes de Oriente (*larednoticias.com 29 Julio 2013*), precisando que uno de ellos murió ahogado.
- 8) El 2013 no corresponde a ninguna declaratoria de emergencia por lluvia extrema o inundación en el Barreal.
- 9) Una mujer también es reportada de haber perdido la vida al caer, después de ser impactado su vehículo, a el interior de un vaso de captación en fraccionamiento Praderas del Sol en la zona del Barreal. Sus hijos si fueron rescatados, pero ella murió ahogada. (*Diario de Juárez digital, 19 septiembre 2014*).
- 10) Un hombre murió ahogado en el dique de Parajes del sur después de que su cuñado lo lanzó al dique por una disputa familiar (*Diario Digital, 2017*).



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE  
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

---

- 11) Las declaratorias de emergencia en el Barreal son: 2006 (2), 2008, 2014.
- 12) De estas declaratorias se asocian con fallecimientos, solo la del 2014.
- 13) Sin embargo en ningún caso se reporta que los fallecidos hayan sido sorprendidos por un evento de inundación repentina con tirantes elevados de agua y velocidades de flujo turbulentas.
- 14) Los decesos obedecen más bien a eventos accidentales u homicidio.

## **XII. RECOMENDACIONES**

1. Generar un modelo hidráulico bidimensional con una plantilla topográfica actualizada con tamaño de celda de 5x5 m en la zona urbanizada y 10x10 en la zona no urbanizada.
2. Para la tormenta de diseño correspondiente, deberá utilizarse no solo la distribución normal del Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial, la cual distribuye la lluvia de manera más extrema respecto de la distribución de eventos extremos de Gumbel. Sino que, y esto es de suma importancia, la tormenta deberá ser distribuida a 24 horas con balance de masa efectivo. Es decir, en esta lluvia se asume que toda el agua de precipitación es efectivamente captada por la cuenca, y que hay un balance efectivo de masas donde toda el agua que cae debe ser igual al agua que escurre más las retenciones y perdidas por condición hidrológica del terreno. En este escenario critico de lluvia, al no haber ponderación por tamaño de área de tormenta, el volumen escurrido aumenta notablemente, reflejando un escenario de tormenta aún más extremo. Este método es el propuso la GASIR de CONAGUA para las cuencas de Ciudad Juárez en el 2014.
3. Elevar el Bordo MMH a una cota mínima de 1,187 m.s.n.m.m. para un TR de 500 años hasta la vialidad San Isidro o entrada a ElectroLux.
4. En los tramos en que el bordo MMH registre elevaciones mayores a 1,187 m (1,190 m en la parte noreste), dejarlo en su cota natural.
5. Evaluar por métodos indirectos y de exploración directa la integridad estructural del bordo Miguel de La Madrid Hurtado.