



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



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

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LAS ZONAS DE PELIGRO MEDIO, ALTO
O MUY ALTO DE INUNDACIÓN**



INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	3
I.I	Objetivo	3
II.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA HIDROLÓGICO.....	4
III.	ACTIVIDADES REALIZADAS.....	8
III.1.	Generación del Modelo Digital de Elevación	8
IV.	ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO	15
IV.2.	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA	18
V.	ANALISIS ESTADISTICO PROPIO DE LOS DATOS DISPONIBLES, COMPARATIVA DE DISTRIBUCIONES Y SELECCION DE TORMENTA DE DISEÑO	25
V.1.	ANALISIS PROPIO DE DATOS DE PRECIPITACION HASTA EL 2008.....	25
V.2.	COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DISPONIBLES Y EL REGISTRO HISTÓRICO.....	35
IV.3	DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL TIEMPO PARA 24 HORAS	39
I.	MODELADO HIDROLOGICO	41
V.1.	RECONOCIMIENTO DE CAMPO DE LA CUENCA BARREAL	41
V.2.	ANALISIS DE LOS ESCURRIMIENTOS EN CONDICIONES ACTUALES	45
V.2.3	DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y DE RETRASO (DESFASE).....	51
VI.1.	SUBCUENCA PONIENTE	53
VI.2.	SUBCUENCA CENTRO	54
VI.3.	SUBCUENCA SURPONENTE	55
VI.5.	SUBCUENCA TRIÁNGULO.....	61
VI.6.	SUBCUENCA SUR.....	66
VIII.	CONCLUSIONES.....	78
VIII.1.	GENERALES.....	78
VIII.2.	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	79



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.

En esta memoria se detallan los trabajos realizados para determinar técnicamente las definiciones de cauces principales, Los aspectos técnicos del presente informe hidrológico incluyen:

I.I Objetivo

Ejecutar los estudios básicos de hidrología e hidráulica fluvial, para la elaboración del “Estudio hidrológico y simulación hidráulica bidimensional de la subcuenca definida por la intersección de las vialidades Miguel de la Madrid Hurtado-Talamas Camandari-Boulevard Independencia”, en la cuenca Zona VIII El Barreal a periodos de retorno correspondientes a lluvias de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Alcances

Realizar el modelado hidrológico a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años y la corrida hidrológica e hidráulica de las subcuencas correspondientes a la zona de la cuenca El Barreal.



II. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA HIDROLÓGICO

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 Hueco”, en la cuenca definida por el Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (PSMAP) Zona VIII - El Barreal. La cuenca se dividió en las siguientes subcuencas importantes:

II.1. Subcuencas Poniente

La subcuenca Poniente tiene como parteaguas dos principales avenidas, hacia el norte la Carretera Casas Grandes y hacia el este la Ave. Panamericana. Tiene una superficie de 21.527 km^2 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 II.1, polígono verde).

II.2. Subcuenca Centro

La subcuenca Centro está delimitada por la Carretera Casas Grandes, la Ave. Panamericana, y hacia el noreste el Bordo Miguel de la Madrid Hurtado. Se presenta una aglomeración de casas en su mayoría, en la parte noroeste de la subcuenca cerca de la Ave. Panamericana (Figura II.1, polígono morado).

II.3. Subcuenca Oriente



La subcuenca Oriente se encuentra delimitada hacia el oeste por la Ave. Panamericana y hacia el norte por la subcuenca Barreal Centro. En la microcuenca Barreal Sur-Oriente, la cual tiene una superficie de 45.907 km^2 , 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 II.1, polígono naranja).

II.4. Subcuenca Norte

La subcuenca Norte se encuentra delimitada por el Blvd. Manuel Talamás Camandarí hacia el norte hasta terminar los terrenos del Aeropuerto Internacional Abraham González, limita al oeste por la Ave. Oscar Flores y Panamericana. La subcuenca tiene una superficie de 14.95 km^2 , se observan varios arroyos principales y presenta una importante aglomeración de colonias habitacionales y de naves industriales (Figura II.1, polígono marrón).

II.5. Subcuenca Triángulo

La subcuenca Triangulo se encuentra delimitada por el Blvd. Manuel Talamás Camandarí hacia el norte, el Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (BMMH) hacia el oeste, y el Blvd. Independencia hacia el sur. La subcuenca tiene una superficie de 11.87 km^2 , se observan varios arroyos principales y presenta una importante aglomeración de colonias habitacionales en su mayoría, así como de naves industriales y tiendas comerciales (Figura II.1, polígono amarillo).

II.6. Subcuenca Sur

La subcuenca Sur se encuentra delimitada hacia el norte por el Blvd. Independencia, hacia oeste se encuentra la Ave. Miguel de la Madrid Hurtado, y hacia el este y sur, los límites de la cuenca El Barreal. La subcuenca tiene una superficie de 19.12 km², se observan varios arroyos principales y presenta una importante aglomeración de colonias habitacionales en su mayoría, así como de naves industriales una de las más conocidas la maquiladora Electrolux (Figura II.1, polígono magenta).

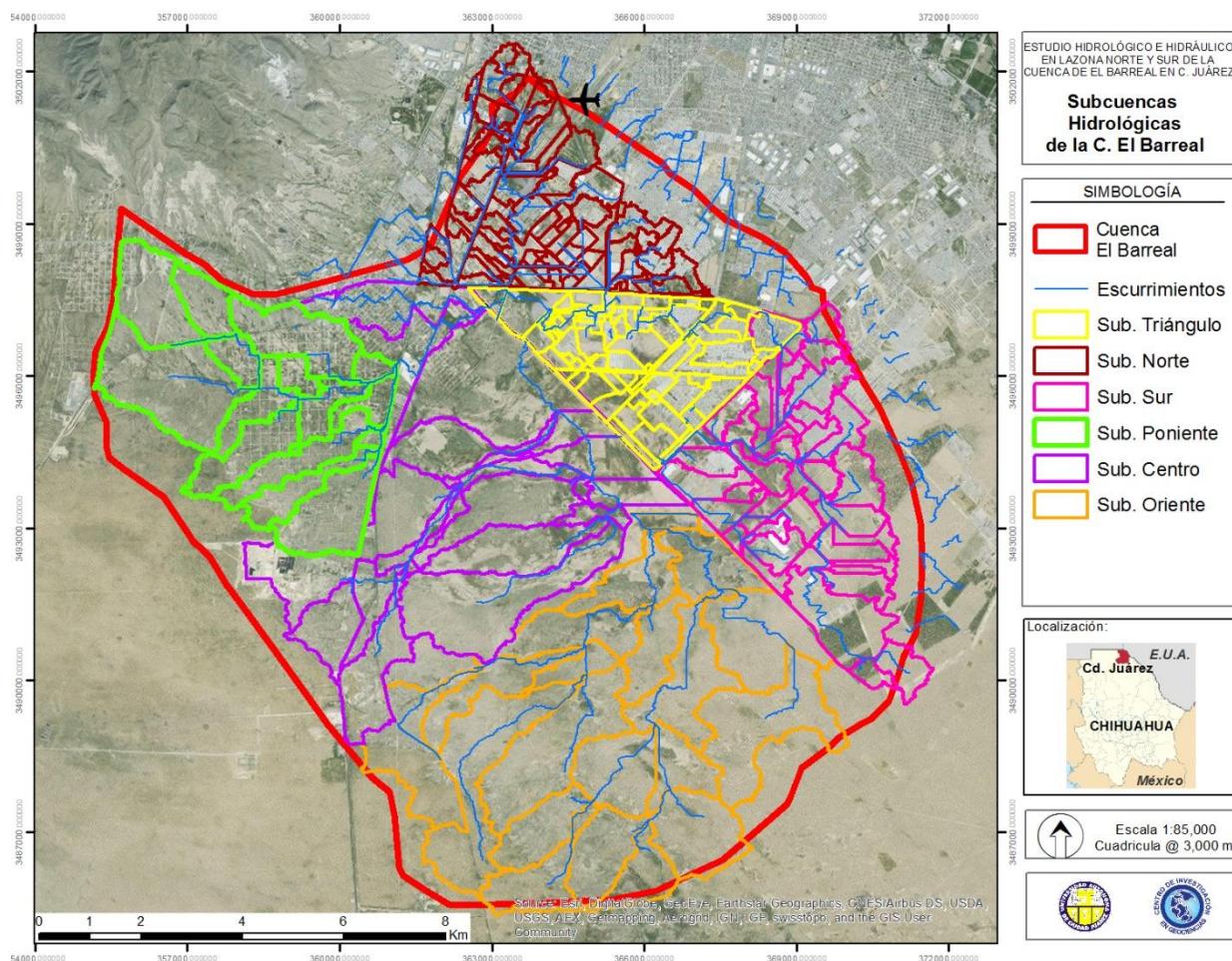


Figura II.1. Localización general de las subcuenca de la C. El Barreal en Cd. Juárez.



PROBLEMATICA

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.

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.

La problemática hidrológica de los desarrollos y colonias dentro de las subcuencas de estudio, 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 25 años. En cuanto a la capacidad de desalojo pluvial de las vialidades, estas deberán ser capaces de manejar y conducir hasta eventos de 100 años.

Bajo las condiciones mencionadas, el desarrollo urbano en la subcuenca Triangulo 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 esté operativo al cabo de 72 horas.

III. ACTIVIDADES REALIZADAS

III.1. Generación del Modelo Digital de Elevación

El desarrollo de los modelos hidrológicos e hidráulicos debe ser generado a partir de una plantilla topográfica de alta resolución. A este respecto, los Términos de Referencia que acotan los alcances del presente estudio, establecen la generación de un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) por métodos de restitución fotogramétrica con resolución espacial de 1mx1m cubriendo una superficie de 100 km² aproximadamente (Figura III.1.1, polígono morado) que acota propiamente el área de estudio. Aun y cuando la resolución vertical no se precisa, el tamaño de pixel de la ortofoto define o acota el diferencial en la coordenada Z. Por esta razón, la cotización original para este producto se solicitó a la empresa Merrick bajo estas especificaciones. La propuesta técnica y económica de Merrick fue entonces la elaboración de esta estudio topográfico por método de restitución fotogramétrica a través de plataforma satelital o suborbital para evitar el requerimiento de permisos de vuelo en zona aledaña al Aeropuerto, además de permisos con el gobierno Norteamericano por invasión de espacio aéreo durante la ejecución de las líneas de vuelo.

El producto ofrecido por este proveedor, que es un referente en sensores remotos, fue entonces un Modelo Digital de Terreno con resolución espacial en X y Y de

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

30cmx30cm y 30 cm en Z. Considerando que esta resolución vertical era suficiente para visualizar los tirantes mayores a 40 cm que especifican las funciones de daño para la tipología de casas de El Barreal, UACJ consideró que se cumplían las condiciones para el análisis requerido, tal y como está plasmado en los Términos de Referencia.

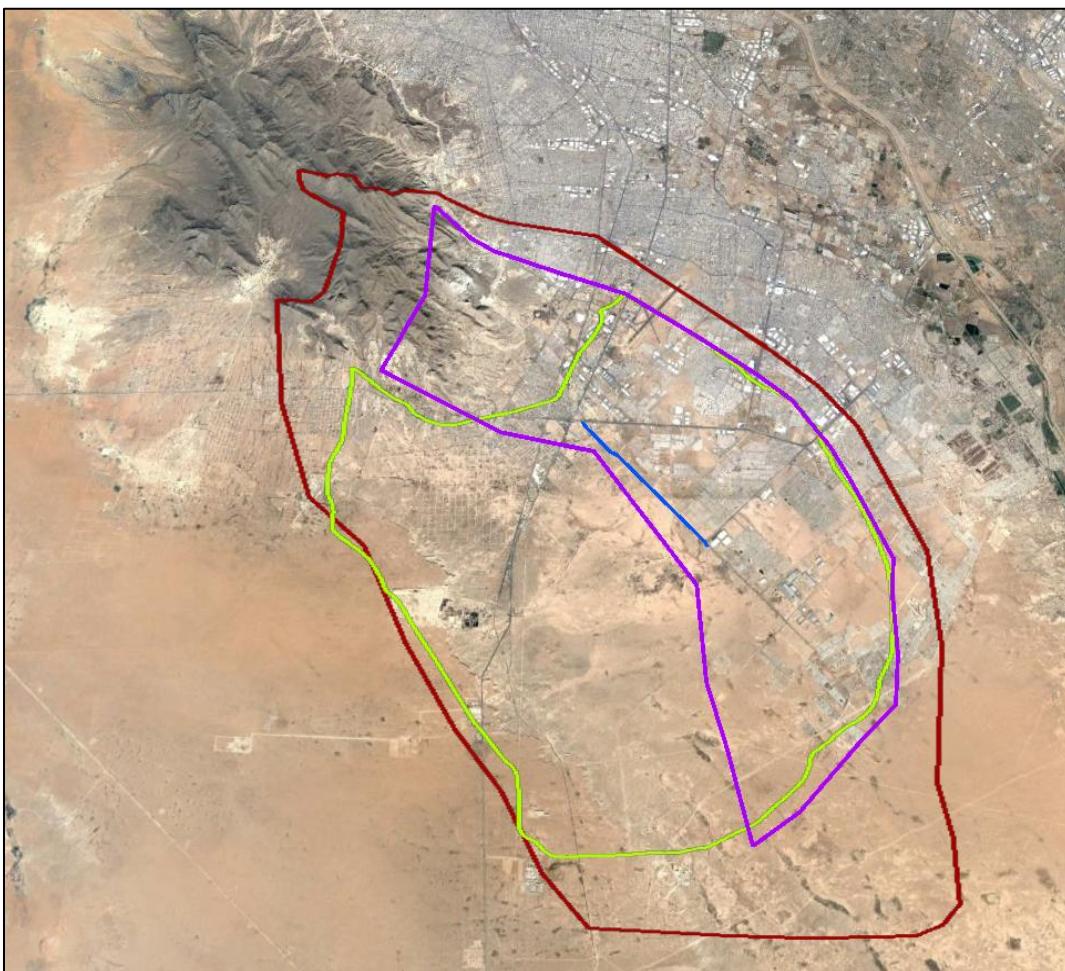


Figura III.1.1. Puntos de control realizados para la generación del DEM. En verde se muestra la cuenca de El Barreal, en morado el área de estudio y en marrón el área modelada.

Aun así, antes de ordenar la adquisición de los datos a Digi-globe a través de Merrick, se comentó el alcance de estas especificaciones con CENAPRED, siendo su



recomendación la de generar un modelo con resolución vertical no mayor a los 20 cm, y manteniendo la resolución espacial de 1m x 1m. A pesar de que esta precisión no está amparada en los Términos de Referencia, la UACJ acató plenamente la recomendación realizada por CENAPRED, que como autoridad en materia de desastres, presentó esta desviación metodológica para mejorar el producto final, aun y a costa del impacto económico que implicaba la generación del MDE con estas características (incremento del costo de un 33 % aproximadamente). Habiendo concordado con CENAPRED, se contrató un servicio de fotogrametría con drones con vuelo a baja altura, los cuales, sin embargo, no pueden ser volados en zonas aledañas a aeropuertos. Por esta razón, el vuelo con drones para la generación de la restitución fotogramétrica es de aproximadamente 68 km², evitando tanto las zonas aledañas al Aeropuerto de Ciudad Juárez, así como la ruta de aproximación de las aeronaves a la pista principal. Respecto de los km² restantes, en base a observaciones y apoyo del CENAPRED, se identificaron los desarrollos o fraccionamientos más recientes al vuelo LiDAR y MDE del 2008, que quedaron fuera de la cobertura de la fotogrametría (Figura III.1.2.). Este análisis comparativo del CENAPRED permitió identificar que un 7 % de la superficie de la zona urbana de El Barreal ha sido modificada por procesos de urbanización posteriores al 2008. De este 7 % construido posterior al 2008, solo un 1.5 km² quedaron fuera de la cobertura de la topografía actualizada por fotogrametría en el 2017. Para compensar la falta de datos en estas zonas, como consecuencia del incremento de resolución y por normatividad de la autoridad aeroportuaria, se procedió a realizar un levantamiento terrestre en estas zonas y así actualizar el MDE final dentro de los 100 Km², objeto de este estudio. En este mismo tenor, aun y cuando el área de estudio está plenamente acotada en los Términos de Referencia, se incluyeron 100 km² mas de cobertura, en las zonas poniente, sur poniente y estribaciones de la Sierra de Juárez (Figura III.1.2, polígono marrón), con el objetivo de evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca de manera integral.

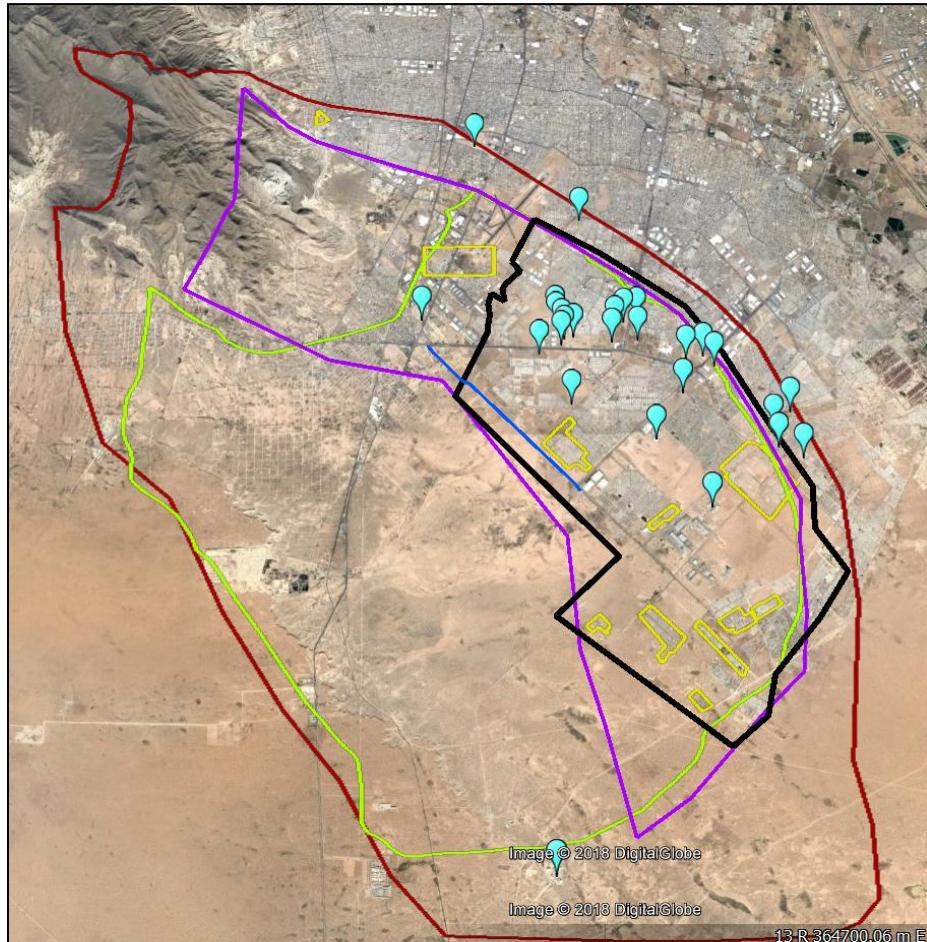


Figura III.1.2. Construcción del Modelo Digital de Elevación. En verde se muestra la cuenca de El Barreal, en negro la cobertura fotogramétrica, en morado el área de estudio de los TR y en marrón el área efectivamente modelada. Los polígonos amarillos y los globos azules representan zonas urbanizadas durante los últimos 9 años.

En resumen, el proceso de generación del Modelo Digital de Elevación (MDE) se generó mediante un vuelo fotogramétrico con DRONES para generar una nube de puntos para generar de ser necesario, un MDE con tamaño de celda de 10 cm x 10 cm capaz de restituir alturas no mayores a 20 cm. Sin embargo, esta tecnología, no pudo ser implementada en la zona noroeste, dada la presencia del Aeropuerto Internacional Abraham González, cuya administración no autorizó el vuelo de aeronaves no tripuladas en las zonas de aproximación de la aviación comercial en Ciudad Juárez. Sin

embargo, la zona fue actualizada con topografía de alta resolución con scanners LiDAR y sistemas RTK de doble frecuencia para generar una superficie con tamaño de celda o pixel de 1m x 1m y alturas no mayores a 20 cm, conforme al proceso de verificación por topografía terrestre que a la par se realizó con el levantamiento del nuevo DEM y el vuelo con Drones, tanto en la zona del Aeropuerto como en nuevos desarrollos de fraccionamiento, teniendo un total aproximado de 1000 puntos de control (Figura III.1.3),

Una vez que se generaron los mosaicos de 1 km² con resolución espacial en el terreno de 1m x 1m se procedió a realizar una validación de la resolución vertical del modelo, es decir, se verificó que las secciones del DEM fueran consistentes con lo observado con las secciones topográficas levantadas con GPS doble frecuencia utilizando las mismas estaciones de referencia o puntos de control (Fig III.1.3).

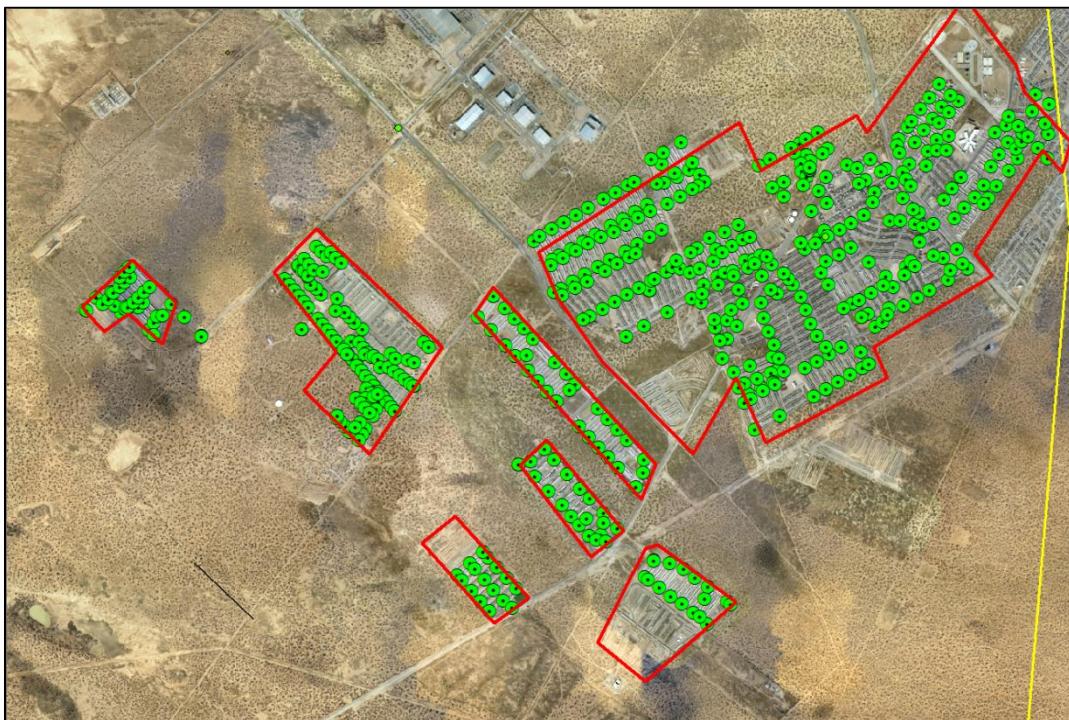


Figura III.1.3. Puntos de control realizados para la generación del DEM.

Finalmente, se dispone de un MDT híbrido de 200 km² para la modelación hidrológica e hidráulica, actualizado al 2017 por restitución fotogramétrica en la zona urbanizada y por topografía con sistema GPS de doble frecuencia en las zonas no cubiertas y LiDAR en las zonas sin cambio (Figura III.1.4). Este modelo presenta dos zonas de sutura, una al norte y otra al poniente, en los extremos de la fotogrametría, hay siempre distorsiones que se corrigieron con el empate con LiDAR, y con levantamiento terrestre. Esto es principalmente importante para estructuras hidráulicas localizadas en la frontera o límite del levantamiento fotogramétrico. En este caso, el Bordo MMH y los vasos al norte fueron introducidos a partir de polígonos Acad para asegurar la fidedigna representación del terreno en los bordes.

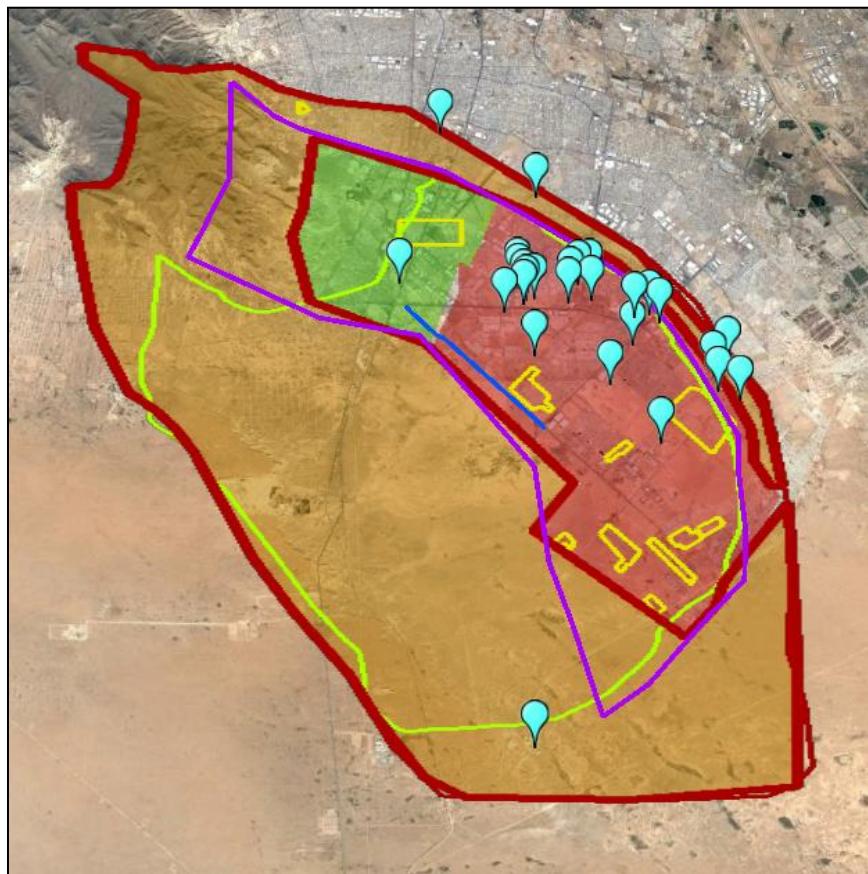


Figura III.1.4. Generación del DEM. El polígono sombreado marrón representa el área cubierta con LiDAR 2008, el morado el área de estudio, el verde al área actualizada con topografía con GPS doble frecuencia y el polígono rojo el área actualizada con fotogrametría 2017.



A partir de la topografía aérea de alta resolución vertical se procedió a generar el modelo digital de elevación de terreno dentro del área de estudio. Con información topográfica de alta precisión se desarrollaron los modelos digitales de elevación (DEM) requeridos, que conforme a los Términos de Referencia, son de 10 x 10 m en la zona no urbanizada, 5 x 5 m en la zona urbanizada y 1 m en la zona del bordo. Con los modelos de elevación se obtuvieron los diferentes parámetros físicos de la cuenca bajo estudio, mismos que serán aplicados durante el desarrollo de los modelos hidrológicos y simulaciones hidráulicas. Esto tipo de datos topográficos de alta precisión identifican depresiones en el terreno generando los modelos con gran apego a la realidad por su alta precisión.

Ya con la capa base de topografía a nivel de terreno, y mediante la extensión computacional HecGeo-HMS al paquete ARCMAP, se procedió a generar los parámetros fisiográficos de los diferentes elementos hidrológicos que conforman el sistema de drenaje pluvial del Área de Estudio. El parámetro más importante, que es propiamente el escurrimiento o arroyo se generó a partir del DEM, aplicando el flujo estándar de relleno o corte de celdas anómalas (outliers). Posteriormente, mediante las herramientas de dirección de flujo (flowdir), pendiente (slope) y acumulación de flujo (flowacc), basadas en el método matemático del descenso rápido o “steepest descent”, se generó un grid o raster con celdas de concentración de flujo, a partir del cual se obtuvo el archivo vectorial en formato shapefile tipo polilínea asociado con la red de drenaje. Una vez definida la red hidrológica, se generaron las vertientes para definir las áreas de aportación (watershed). Los centroides, pendientes al 10 % y 80 % del ramal principal o de orden mayor de la cuenca o subcuenca fueron también determinados. En resumen, 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 se obtuvieron a partir de los flujos de trabajo del HecGeo-HMS. Tanto la definición de vertiente como



la localización geográfica en el terreno fueron validados mediante caminamiento de campo para verificar la presencia de huellas de tirante de agua o arrastres, como elementos de consistencia entre el ramal de flujo identificado en el DEM con el arroyo intermitente en la zona de estudio.

El Modelo Hidrológico se realizó finalmente en el paquete computacional HMS, alimentando los parámetros requeridos a partir de los datos fisiográficos del sistema de drenaje localizado dentro de área de estudio.

IV. ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO

IV.1. ANÁLISIS GEOESPACEIAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La determinación las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas se realizo a partir de las estaciones localizadas en un radio de 40 Km del baricentro de la cuenca El Barreal (Figura IV.1.1). Conforme a este criterio se ubicaron 6 estaciones, las cuales están localizadas casi colinealmente respecto de la cuenca de interés. Las estaciones son:

Aeropuerto de El Paso Texas, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Chamizal, Comisión Internacional de Aguas y Límites (CILA) 8283, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 8213, CONAGUA (Distrito de Riego), Escuela Secundaria Juarez (8318), CILA 8290 y CONAGUA 8121. De estas estaciones, las estaciones 8121, 8290, 8318 están en desuso con registros truncos. En tanto que la estación CONAGUA Distrito de Riego esta en uso, pero fue desplazada geográficamente. La estación del Aeropuerto del Paso si dispone de registro continuos, en tanto que IIT y Chamizal están truncos. Aun así se llevo a cabo un análisis de areas de influencia aplicando el método de los polígonos de Thiessen, los cuales se basan en triangular las localizaciones de las EMAS y en base a la intersección de las bisectrices estimar el área de influencia de

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

cada estación.

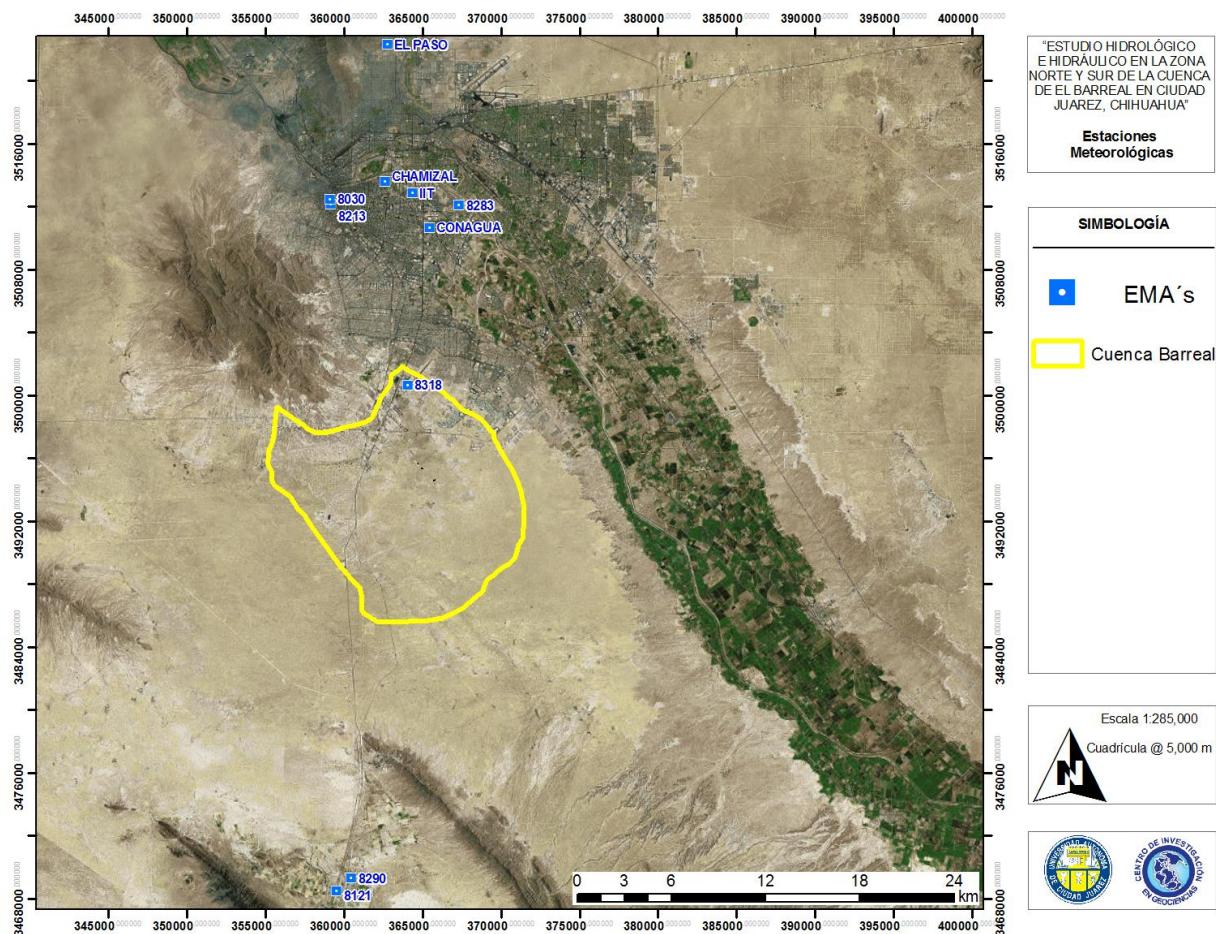


Figura IV.1.1. Localización de estaciones meteorológicas cercanas a la Cuenca El Barreal.

El resultado de los polígonos de Thiessen (Figura IV.1.2) muestra que la EMA que tiene una mayor correlación geoespacial con la cuenca El Barreal, es la estación 8318 (Esc. Sec. Juárez), localizada en la cercanía del Aeropuerto Internacional, pero desafortunadamente solo cuenta registros de 1978 a 1987.. El resto de las EMA's se encuentran muy lejanas a la Cuenca El Barreal, hasta una distancia de 25 km. En el caso de la EMA de CONAGUA, es la que cuenta con registros más actualizados de

2009 al 2017, pero de igual forma se encuentra a 15 km de distancia de la cuenca El Barreal. Ante la poca correlación de las EMA's con el área de estudio, se optó por considerar los valores máximos pluviométricos de cada una de las EMA's en base al análisis de los registros históricos de precipitación. El análisis pluviométrico e hidrométrico en base al evento Maximo Mas Probable permitió establecer el modelo lluvia-escurrimiento prevaleciente en la zona de estudio en base a los datos climatológicos disponibles de las EMA's.

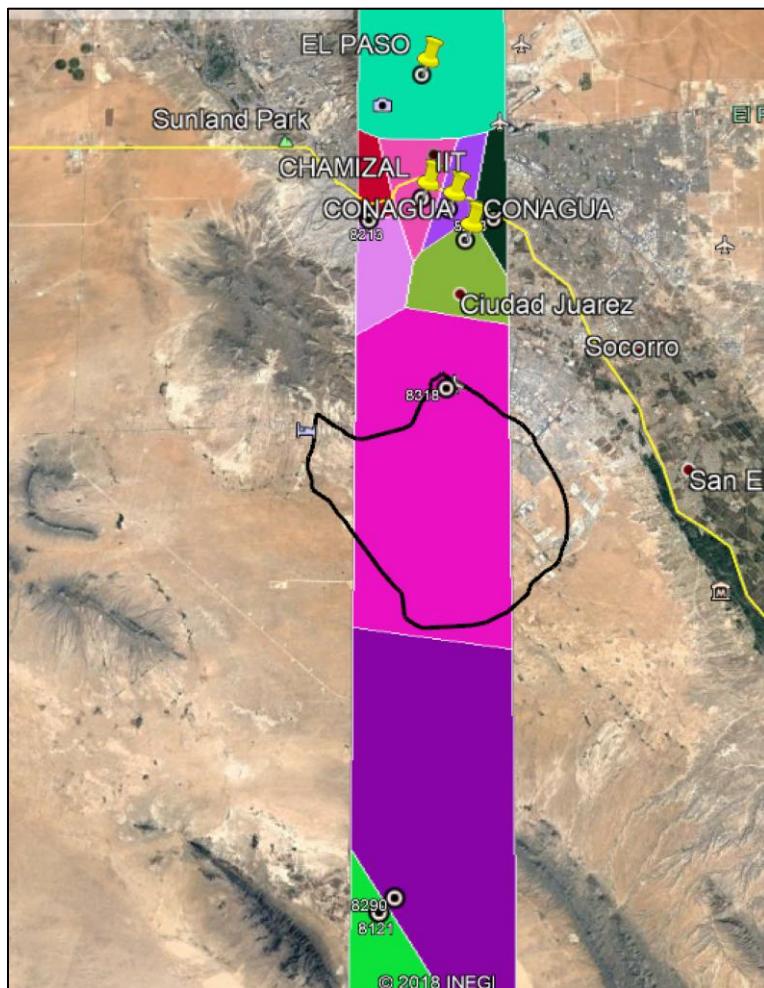


Figura IV.1.2. Mapa de polígonos de Thiessen.



IV.2. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

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).

IV.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA

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. Las fuentes de información de datos de precipitación son el compendio de lluvia del *Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial* (PSMAP) elaborado por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP), la base de datos de lluvia actualizada al 2008 en el *Estudio, Estrategias y Propuestas para el manejo y control de agua pluvial en las zonas su y oriente de Ciudad Juárez* elaborada por Gobierno del Estado en el 2009 después de las contingencias del 2008, que fue aprobada por CONAGUA en el 2014 al ser presentada por la UACJ como tormenta de diseño en la elaboración de los proyectos ejecutivos del Dren 2-A, finalmente también se incluyó la base de datos del compendio de lluvia de estaciones



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

(incluyendo la estación del radar de Santa Teresa en Nuevo México) utilizado para la elaboración del Atlas de Riesgo 2016 del de Ciudad Juárez elaborado por el IMIP en 2015.

PSMAP

En este documento se detalla metodológicamente las estaciones seleccionadas, el tiempo de registro de datos y las pruebas de independencia y bondad de los ajustes de las funciones de probabilidad a las que se ajusta la lluvia histórica (PSMAP, 2004). La distribución adoptada corresponde a una distribución exponencial avalada por la CONAGUA.

Tabla IV.1.1. Distribución de la precipitación exponencial del PSMAP.

TR	Plan Sectorial
2	41.3
5	54.0
10	66.8
20	
25	84.0
50	96.8
100	110.0
200	
500	140.0
1000	153.0
10000	196.0



ESTUDIOS Y ESTRATEGIA, UACJ 2010 (AVALADA POR CONAGUA 2014)

Esta es una lluvia de diseño modelada con datos hasta el 2008 y aprobada por la CONAGUA en el 2014 para generar un modelo de hidrología conciliada que ampara los gastos de diseño del Dren 2-A. La función de probabilidad adoptada corresponde a una distribución Lognormal.

La tormenta de diseño se obtuvo a partir, primeramente, de la asociación de los datos distribuidos o ajustados mediante las funciones Normal, Lognormal y Gumbel con el registro histórico de lluvia. La distribución de la precipitación en 39 años de registro histórico esta sesgada. Es decir, los datos de lluvia no se ajustan apegados a una distribución normal. El patrón de los datos sugiere entonces el uso de distribuciones con sesgo tales como la Lognormal o la Gumbel para eventos extremos.

Se asoció la lluvia máxima en 24 horas a varios períodos de retorno, utilizando la distribución Normal, Lognormal 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 se muestran los valores del Plan Sectorial, los resultados del análisis por los métodos señalados y las diferencias encontradas respecto al primero. En los resultados se observa que la distribución Normal se desplaza significativamente de los datos obtenidos en el Plan Sectorial, 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 períodos 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 períodos de retorno de 5 a 50 años quedando el resto con diferencias mínimas en relación a los valores del Plan Sectorial.



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

Tabla IV.1.2. Distribución de las precipitaciones por periodo de retorno (TR) para el 2008.

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%

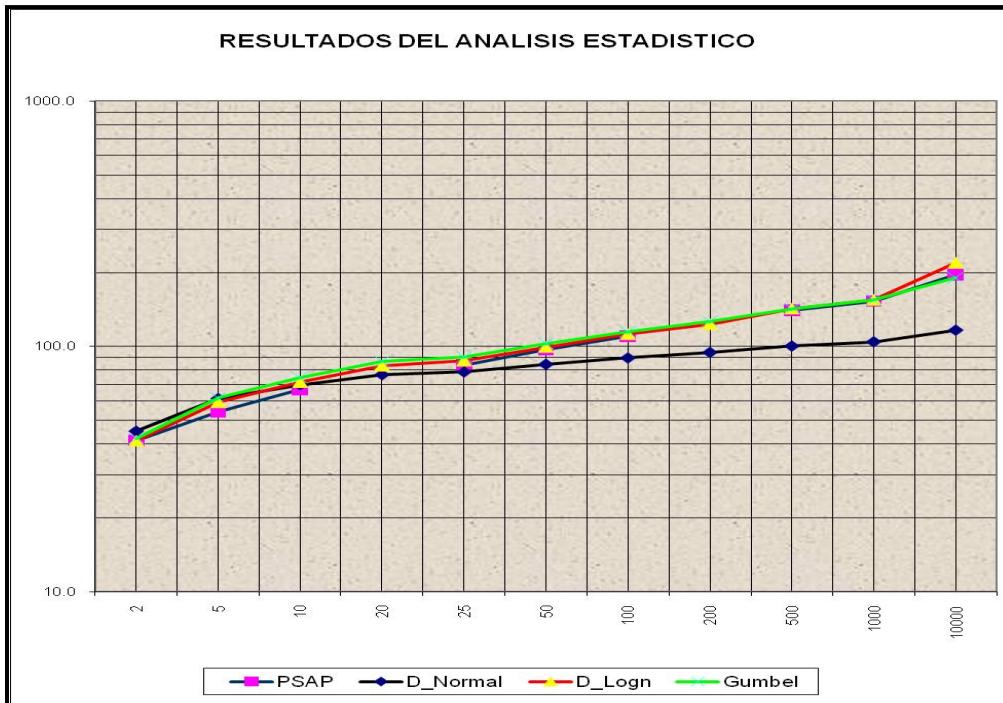


Figura IV.1.1. Resultados del análisis estadístico al 2008.

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

Tabla IV.1.3. Distribución Lognormal de la precipitación (CONAGUA 2014).

PERIODO DE RETORNO (Años)	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

ATLAS DE RIESGO 2016

El Atlas de Riesgo en su edición 2016, hace una recopilación de 4 estaciones hidrometeorológicos incluyendo la estación de Santa Teresa en Nuevo México. El registro histórico para 24 horas (Figura IV.1.2.), muestra la precipitación máxima en 24 horas, con una media de 40 mm. Los eventos pico son en 1937 y 1968, con registros de 100 mm y 113.45 mm respectivamente.

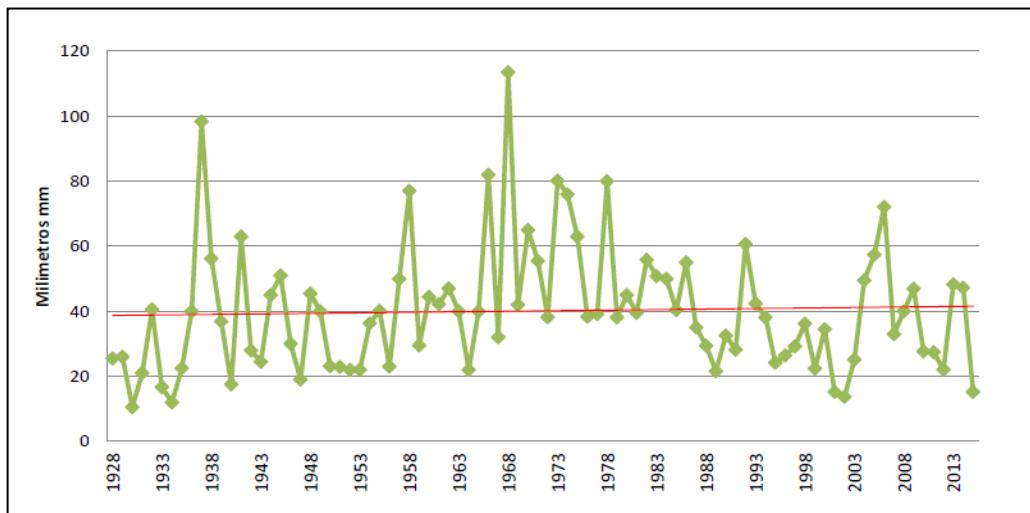


Figura IV.1.2. Resultados del análisis estadístico al 2008.



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

La selección de estaciones que hace el Atlas de Riesgo son estaciones de CONAGUA (8006, 8030, 802, 8213) y el Aeropuerto del Paso Texas, las cuales cumplen con el criterio de más de 30 años de registro. El análisis estadístico de esta base de datos de lluvia se realizó de manera individual a cada estación, y se adoptaron los máximos de cada distribución para generar la lluvia de diseño (Tabla IV).

Tabla IV. Tormenta de diseño del Atlas de riesgos (IMIP, 2016).

Método integración	Método seleccionado para períodos de retorno con menor error cuadrático					Valor Adoptado
	8006	8030	8121	8213	EL Paso, Tx.	
Normal	8.8	7.1	5.3	2	1.8	
Log-normal	6.4	5.8	3.5	2.1	3.9	
Log-normal Máxima	7.2	-	2.8	-	-	
Gumbel	7	3.9	3.4	1.7	3.2	
Gumbel Máxima	7.8	4.1	3.9	2	3.6	
Exponencial	15.6	8.7	16.8	1.9	18.7	
Gamma	6.2	4.3	3.4	1.8	2.9	
Método optado	Log-Normal	Gumbel	Log-Normal	Gumbel	Normal	
Periodos de retorno	Datos obtenidos(mm)					
Tr2	24.75	26.93	28.22	0.94	32.12	32.12
Tr5	38.21	48.96	44.53	3.45	44.68	48.96
Tr10	47.93	63.54	56.52	5.12	51.28	63.54
Tr20	57.82	77.53	68.82	6.71	56.74	77.53
Tr25	60.08	80.54	71.67	7.05	57.76	80.54
Tr50	71.41	95.63	85.9	8.77	62.88	95.63
Tr100	82.2	109.2	99.58	10.32	66.97	109.2
Tr200	93.49	122.72	114	11.86	70.71	122.72
Tr500	109.29	140.55	134.32	13.89	75.24	140.55
Tr1000	122.1	154.03	150.91	15.43	78.42	154.03
TR2000	135.59	167.51	168.46	16.97	81.42	168.46

La distribución adoptada por el Atlas de riesgos es entonces:

Tabla IV.1.4. Distribución Atlas de Riesgo.

PERIODO DE RETORNO (Años)	PRECIPITACIÓN (mm)
2	32.12
5	48.96
10	63.54
20	77.53

25	80.54
50	95.63
100	109.2
200	122.72
500	140.55
1000	154.03
10000	220.33

V. ANALISIS ESTADISTICO PROPIO DE LOS DATOS DISPONIBLES, COMPARATIVA DE DISTRIBUCIONES Y SELECCION DE TORMENTA DE DISEÑO

Aun y cuando la UACJ en 2010 (con datos hasta el 2008 y avalada por CONAGUA en 2014), y el Atlas de Riesgos 2016 presentan ya distribuciones de lluvia, en este estudio se procedió a realizar un Análisis Estadístico Propio de los datos disponibles del 2008 y 2016.

V.1. ANALISIS PROPIO DE DATOS DE PRECIPITACION HASTA EL 2008

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:



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

Tabla V.1.1. Registro de datos pluviales anuales.

AÑO	CILA	CD. JUÁREZ	CNA	CHAMIZA L Lat. 34°45' Long. 106°27'	EL PASO Lat. 31°49'43" Long. 106°26'56"	ACEQUIA MADRE	CILA NORT E	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
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



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

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 – El Paso, Texas, EE.UU. Se observa que las tormentas son muy variables en su intensidad de un sitio a otro, características principales de las lluvias en estas latitudes.

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 V.1.2. Precipitación máxima anual (2008).

AÑO	PRECIPITACIÓN MAX. EN 24 HRS (MM)
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

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

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

Primeramente, se generó una distribución de frecuencias (Figura V.1.1.1) de los registros disponibles hasta el 2008, en la cual se observa que los datos están sesgados como ya se había mencionado en la memoria del 2008, por lo que la distribución Normal no es la mejor aproximación.

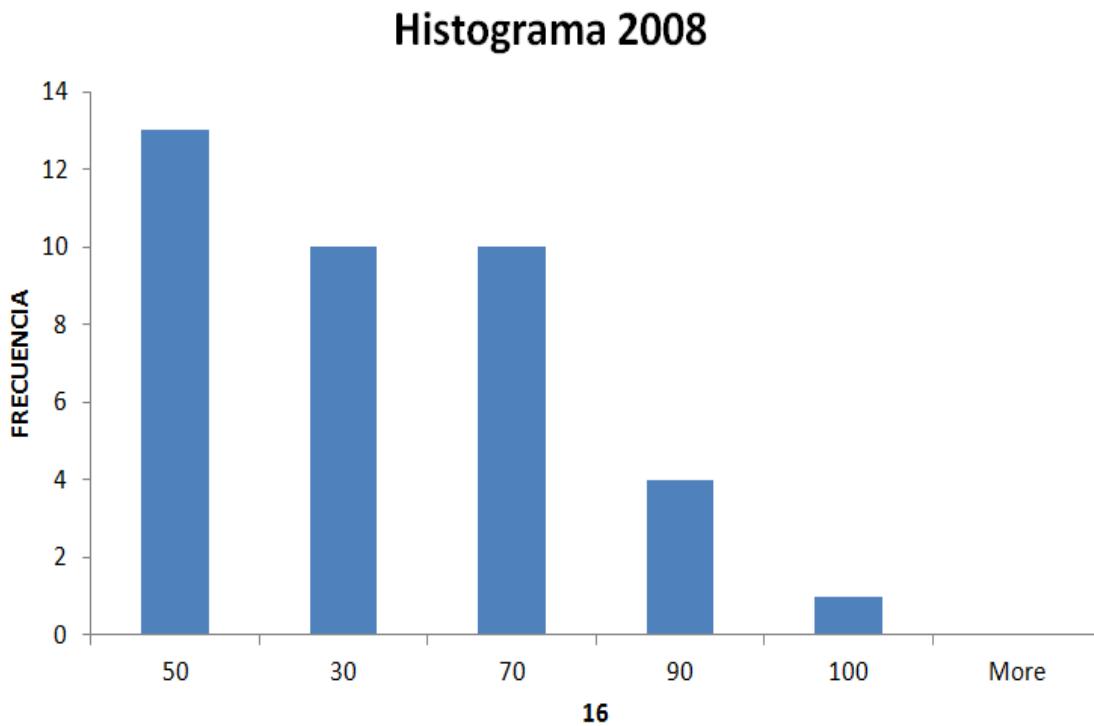


Figura V.1.1.1. Resultados del análisis estadístico al 2008.

Por ello en este análisis actualizado de la información hasta el 2008 se aplicaron solo las distribuciones de Gumbel y LogNormal. La distribución de Gumbel se calculó mediante una hoja de cálculo de Excel, en tanto que la LogNormal se realizó en EasyFit. El resultado de comparativo entre las funciones teóricas (Tabla I) los registros históricos hasta el 2008 con estas distribuciones (Figura V.1.1.2) muestran el ajuste entre los datos de las funciones probabilísticas analizadas y la curva empírica.



Tabla I. Análisis Estadístico propio (2008).

P(x)	TR (años)	Gumbel	PTLOGNORMAL 2008 A. PROPIO
0.01	10000	174.0037	207.44
0.1	1000	139.6507	157.61
0.2	500	129.304	143.68
0.5	200	115.6138	125.93
1	100	105.237	112.46
2	50	94.82217	100.32
4	25	84.3299	87.94
10	10	70.18665	71.74
20	5	58.99297	59.3
50	2	42.08631	41.3
70	1.428571429	33.85037	32.98
80	1.25	29.52076	28.82
90	1.111111111	24.17848	23.92
99	1.01010101	13.83921	15.47
99.9	1.001001001	7.79113	11.3



Las funciones de probabilidad calculada Lognormal y Gumbel se ajustan de manera favorable a los datos históricos. Es decir, son muy similares hasta períodos de retorno de hasta 100 años. Para eventos mayores, las funciones se despegan de manera importante, especialmente en los 10,000 años de TR, asociado a la seguridad hidrológica de presas de almacenamiento. En cuanto a este estudio, el CENAPRED solicitó en el 2016, el modelado hidráulico para el diseño del bordo Miguel de la Madrid Hurtado, para un evento hidrometeorológico extremo de 100 años de periodo de retorno con bordo libre a 500 años de periodo de retorno. En estos escenarios, la desviación entre los métodos Gumbel y Lognormal es de 13 mm y 10 mm, a 100 y 500 años de periodo de retorno respectivamente, por lo que en concordancia con el Análisis del 2009 y 2010 (avalado por CONAGUA), consideramos que la distribución Log Normal es la más adecuada para el modelado por considerar valores más extremos, aun y cuando la Gumbel presenta mejor ajuste hasta períodos de retorno de casi 50 años.

ANALISIS PROPIO DE DATOS DE PRECIPITACION HASTA EL 2015

Para el análisis de la información climatológica con registros hasta el 2015, se procedió a utilizar los máximos registros de lluvia compilados en el Atlas de Riesgo (Tabla II).

Tabla II. Precipitación máxima anual (2015).

AÑO	Precipitación
1928	27.2
1929	27.2
1930	11.4
1931	21.9
1932	40.5
1933	18.3
1934	13.8
1935	24.3



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

1936	40.9
1937	98.0
1938	56.3
1939	37.3
1940	18.3
1941	63.6
1942	29.2
1943	26.0
1944	46.2
1945	52.7
1946	30.8
1947	19.5
1948	46.2
1949	42.1
1950	23.9
1951	24.7
1952	23.9
1953	23.1
1954	37.7
1955	40.9
1956	24.3
1957	50.2
1958	77.4
1959	30.4
1960	45.8
1961	43.0
1962	47.8
1963	40.5
1964	22.7
1965	40.1
1966	82.2
1967	33.2
1968	112.6
1969	42.5
1970	65.2
1971	55.9
1972	38.9
1973	80.6
1974	76.1



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

1975	63.2
1976	39.3
1977	39.3
1978	79.8
1979	38.9
1980	45.8
1981	46.5
1982	56.3
1983	51.5
1984	58.4
1985	40.9
1986	55.5
1987	70.5
1988	35.6
1989	37.3
1990	62.0
1991	40.0
1992	61.2
1993	43.4
1994	39.3
1995	24.7
1996	27.2
1997	30.4
1998	37.3
1999	22.7
2000	66.8
2001	80.0
2002	26.6
2003	28.3
2004	74.0
2005	64.0
2006	91.7
2007	36.0
2008	45.0
2009	47.4
2010	28.0
2011	28.8
2012	23.9
2013	48.6
2014	47.8



2015 | 16.2

Nuevamente solo se analizaron los ajustes de las probabilidades teóricas de las funciones Gumbel y LogNormal. Al igual que en el análisis del 2008, la función Gumbel se calculó en una hoja de Excel y la LogNormal mediante un paquete estadístico. Los resultados de las funciones probabilísticas de predicción (Tabla III) muestran que la función LogNormal presenta valores más extremos en su función teórica de predicción que la de la probabilidad teórica de Gumbel. En cuanto a la comparación contra el registro histórico, se observa que para períodos de retorno de hasta 10 años, ambas funciones ajustan apropiadamente los datos, en tanto que para períodos de retorno mayores de hasta 100 años, la Lognormal ajusta mejor, además de presentar valores más extremos.

Tabla III. Análisis Estadístico propio (2015).

P(x)	TR (años)	P T Gumbel 2015 AP	PT LOGNORMAL 2015 AP
0.01	10000	180.305034	219.01
0.1	1000	143.954988	164.12
0.2	500	133.006771	148.91
0.5	200	118.520716	129.62
1	100	107.540694	115.6
2	50	96.5204601	102.01
4	25	85.4182496	88.76
5	20	81.814252	84.557
10	10	70.4528203	71.57
20	5	58.6084214	58.49
50	2	40.7189316	39.75
70	1.428571	32.0042136	31.25
80	1.25	27.4229116	27.02
90	1.111111	21.7700775	22.08
99	1.010101	10.8297622	13.67
99.9	1.001001	4.43008802	9.63



V.2. COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DISPONIBLES Y EL REGISTRO HISTÓRICO

Todas las diferentes distribuciones de lluvia disponibles se compendieron en una sola Tabla (Tabla IV), para mostrar las diferencias entre ellas. Las tendencias observadas se mantienen, es decir, para periodos de retorno de hasta 25 años, los datos calculados son muy similares. En tanto que para eventos hidrometeorológicos asociados con periodos de retorno mayores, las distribuciones teóricas ajustadas por la función LogNormal son las que prevalecen con los valores de altura de lluvia de mayor calado. Sin embargo, entre las Lognormales del 2008 y la de 2015 hay una diferencia de hasta 12 mm entre la Lognormal 2008 por Análisis Propio para eventos de seguridad hidrológica de presas de almacenamiento, y de 4 mm para TR 500. En TR 100, los valores son prácticamente iguales. La función Gumbel se despega a la baja para eventos mayores a TR 100, en tanto que la lluvia adoptada en el Atlas 2016, se mantiene al alza en eventos de 10, 000 años, pero se despega a la baja de las demás funciones para eventos ordinarios.

Tabla IV. Compendio de Distribuciones.

P(x)	TR (años)	PTLOGNORMAL 2008 PROPIO	PT LOGNORMAL 2008	PT LOGNORMAL 2015 PPROPIO	P. Gumbel 2015 AP	P MAX ATLAS 2016
0.01	10000	207.44	218.72	219.01	180.31	220.33
0.1	1000	157.61	154.63	164.12	143.95	154.03
0.2	500	143.68	142.56	148.91	133.01	140.55
0.5	200	125.93	123.25	129.62	118.52	122.72
1	100	112.46	112.17	115.6	107.54	109.2
2	50	100.32	99.49	102.01	96.52	95.63
4	25	87.94	87.51	88.76	85.42	80.54
5	20	83.66	83.48	84.557	81.81	77.53
10	10	71.74	71.56	71.57	70.45	63.54
20	5	59.3	59.28	58.49	58.61	48.96



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

50	2	41.3	41.37	39.75	40.72	32.12
70	1.428571	32.98	32.98	31.25	32.00	
80	1.25	28.82	28.82	27.02	27.42	
90	1.111111	23.92	23.92	22.08	21.77	
99	1.010101	15.47	15.47	13.67	10.83	
99.9	1.001001	11.3	11.3	9.63	4.43	

El grafico de comparación de las distribuciones disponibles (Figura V.2.1.) muestra que todas las distribuciones, excepto la del Atlas 2016, presentan un ajuste muy razonable con los registros históricos para periodos de retorno ordinarios. Para eventos entre 25 y 100 años de periodo de retorno, todas las distribuciones Log normales se apegan favorablemente a los datos históricos. En tanto que para TR 500, las diferencias entre las Lognormales del 2008 y la del 2015 por Análisis Propio, existe una diferencia de menos de 6 mm en TR 500 y menos de 3 mm en TR 100.

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

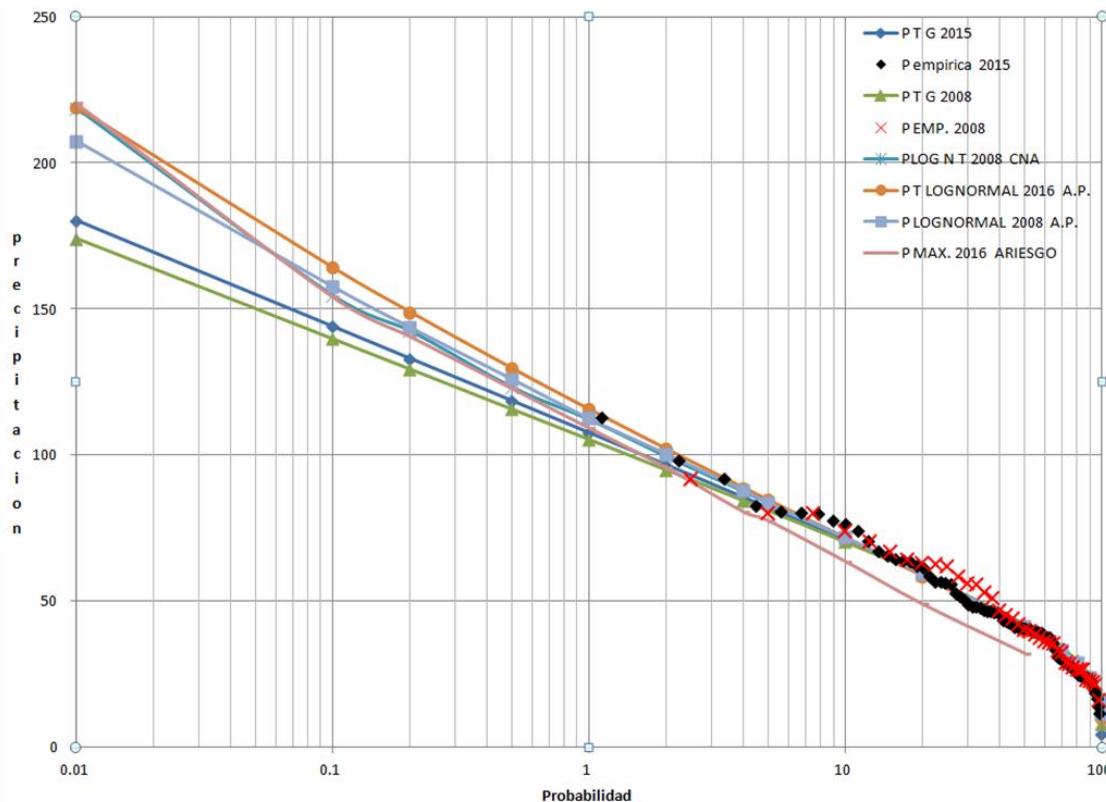


Figura V.2.1. Comparación de Resultados del análisis estadístico al 2016.

El criterio de selección de la lluvia de diseño, en base a los análisis comparativos realizados en las diferentes distribuciones disponibles, es el de utilizar una función Lognormal, ya que prácticamente todas estas distribuciones presentan consistencia prácticamente hasta TR 500. El sentido común indicaría, que debiera utilizarse la lluvia con registros hasta el 2015. Sin embargo, dado que el objetivo global de este proyecto es el de determinar, en primer instancia, cuales desarrollos del Registro Único de Vivienda (RUV) del INFONAVIT están afectados hidrológicamente ante una lluvia de diseño de 25 años, aunado al hecho de que el análisis de CENAPRED indica que solo el 7% se desarrolló urbanísticamente después del 2008, la UACJ propone que se adopte como lluvia de diseño la lluvia disponible el *Estudio, Estrategias y Propuestas para el Control y Manejo de Agua Pluvial en las Zonas Sur y Oriente de Ciudad Juárez*



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

(IMIP, 2009), la cual corresponde a la Tormenta de Diseño avalada por CONAGUA el 2014 para la UACJ.

En base a lo anterior, la tormenta de diseño propuesta para la modelación es la correspondiente a la Lognormal 2008.

Tabla V. Distribución de las precipitaciones por TR.

TR	Plan Sectorial	Distr. Normal 2008	Distr. Log Normal 2008	Gumbel 2008	ATLAS 2016	Dist. Lognomral 2008 A.P	Dist. Lognomral 2016 A.P	ADOPTADA
2	41.3	45.22	41.37	42.30	32.12	41.3	39.75	41.37
5	54.0	61.32	59.28	61.79	48.96	59.3	58.49	59.28
10	66.8	69.73	71.56	74.69	63.54	71.74	71.57	71.56
20		76.68	83.48	87.05	77.53	83.66	84.557	83.48
25	84.0	78.7	87.51	91.00	80.54	87.94	88.76	87.51
50	96.8	84.5	99.49	103.10	95.63	100.32	102.01	99.49
100	110.0	89.7	112.17	115.10	109.2	112.46	115.6	112.17
200		94.5	123.25	127.00	122.72	125.93	129.62	123.25
500	140.0	100.27	142.56	143.00	140.55	143.68	148.91	142.56
1000	153.0	104.32	154.63	155.00	154.03	157.61	164.12	154.63
10000	196.0	116.35	218.72	191.00	220.33	207.44	219.01	218.72



Por lo que la tormenta de diseño a distribuirse en 24 horas seria entonces a siguiente:

Tabla VI. 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

IV.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 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



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

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

I. MODELADO HIDROLOGICO

V.1. RECONOCIMIENTO DE CAMPO DE LA CUENCA BARREAL



Figura V.1.1. Levantamiento de puntos de control en las subcuencas.

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



Figura V.1.2. Visita a los diferentes vasos de captación.

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



Figura V.1.3. Visita a los fraccionamientos que cuentan con vasos de captación.

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



Figura V.1.4. Visita a los fraccionamientos que cuentan con vasos de captación.

V.2. ANALISIS DE LOS ESCURRIMIENTOS EN CONDICIONES ACTUALES

El análisis realizado en el paquete computacional Hec-GeoHMS reveló seis subcuencas definidas 100 vasos de captación e infiltración de escurrimientos (Figuras V.2.1 a la V.2.6). 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.

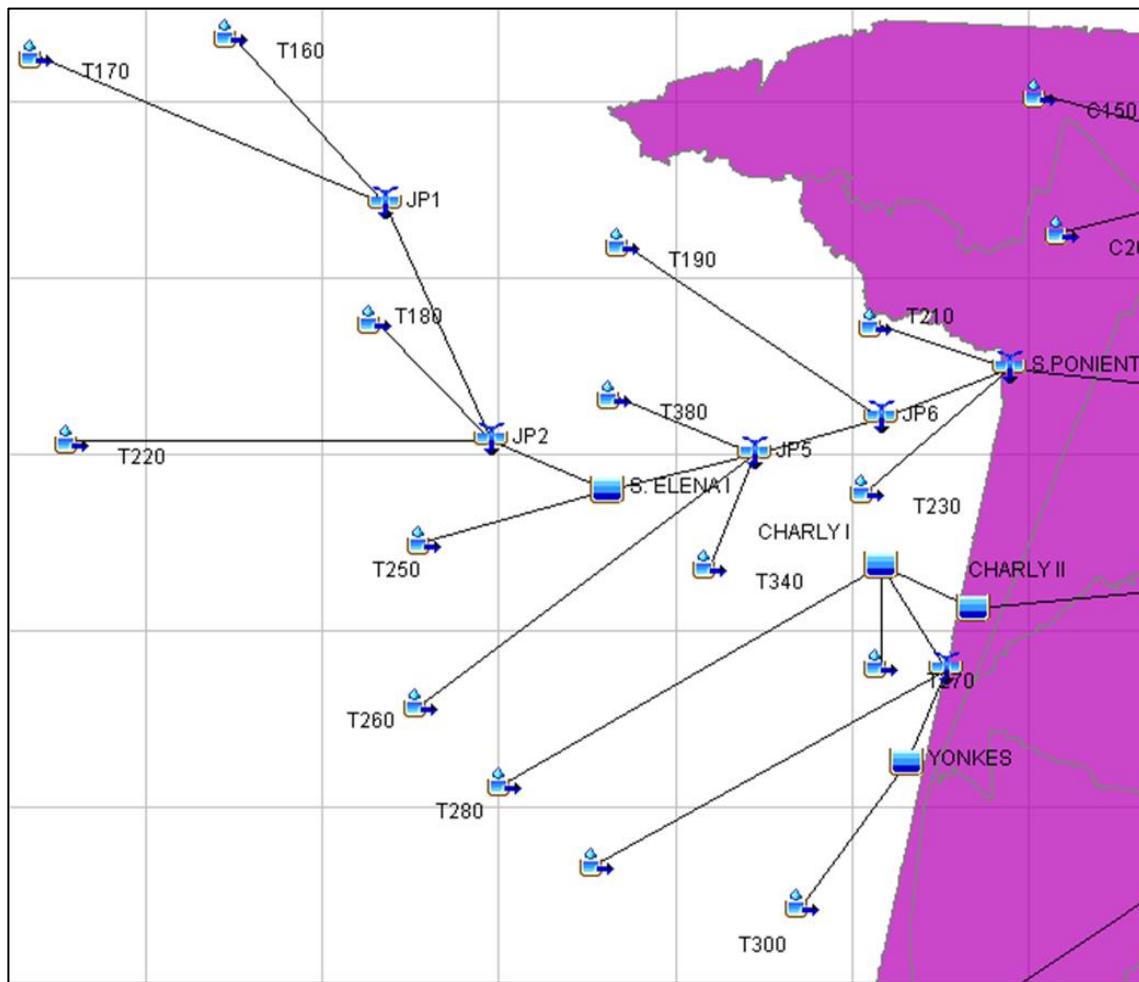


Figura V.II.1. Subcuenca Poniente con elementos hidrológicos y escurrimientos principales.

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

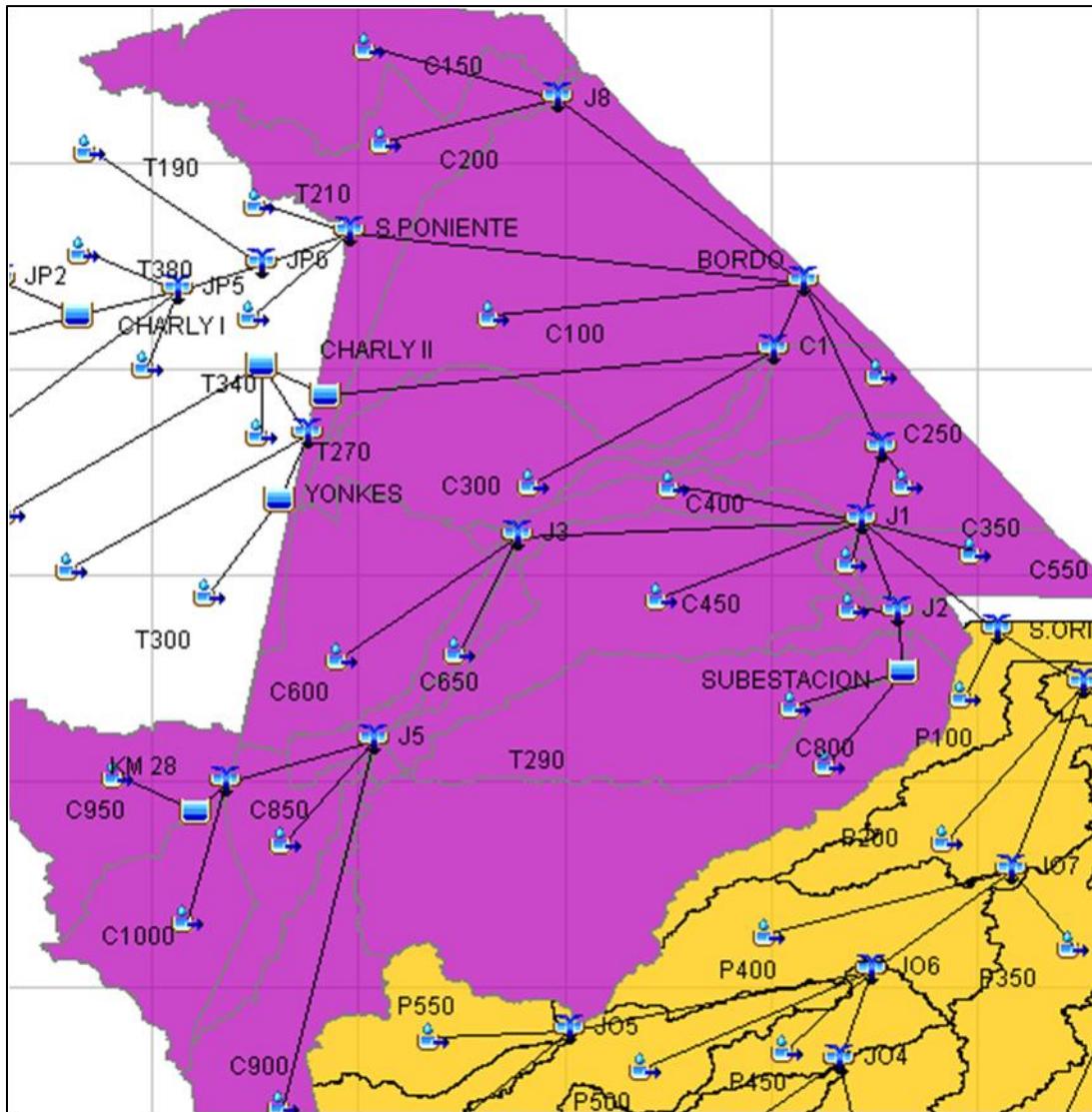


Figura V.2.2. Subcuenca Centro con elementos hidrológicos y escurrimientos principales.

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

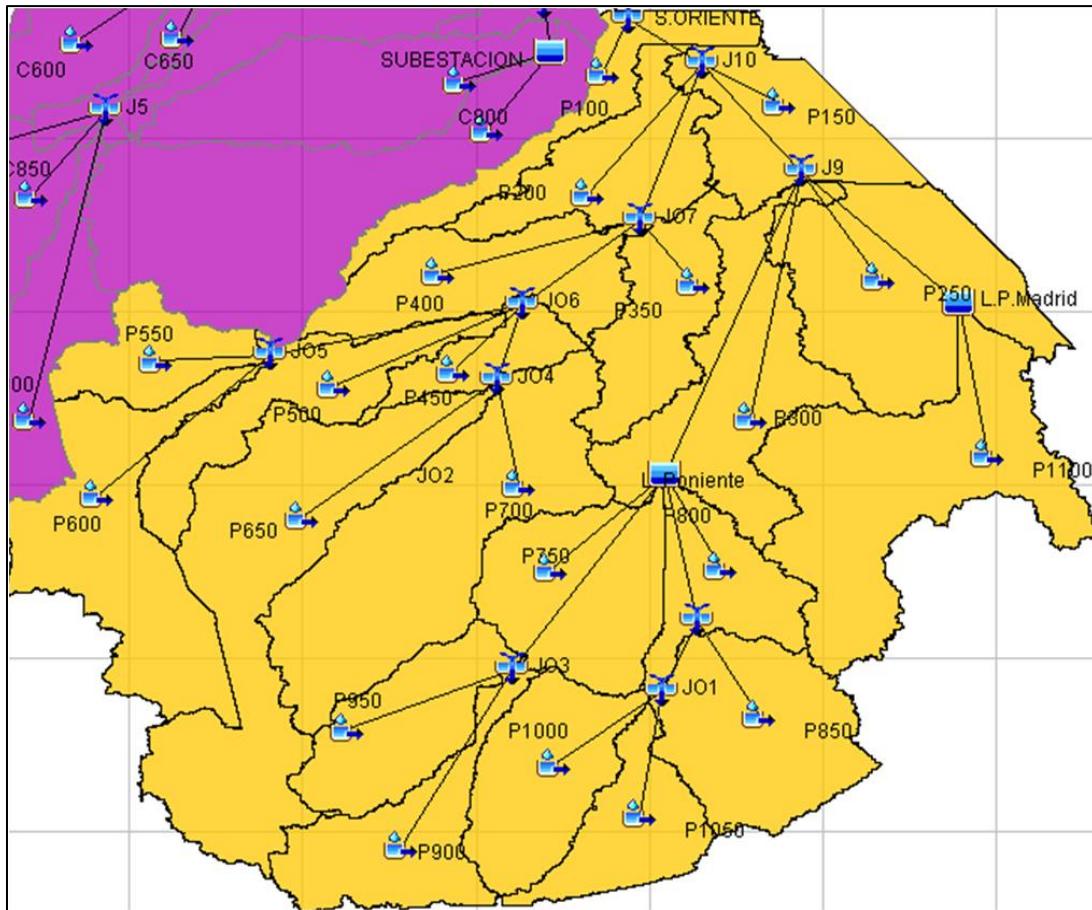


Figura V.2.3. Subcuenca Oriente con elementos hidrológicos y escurrimientos principales.

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

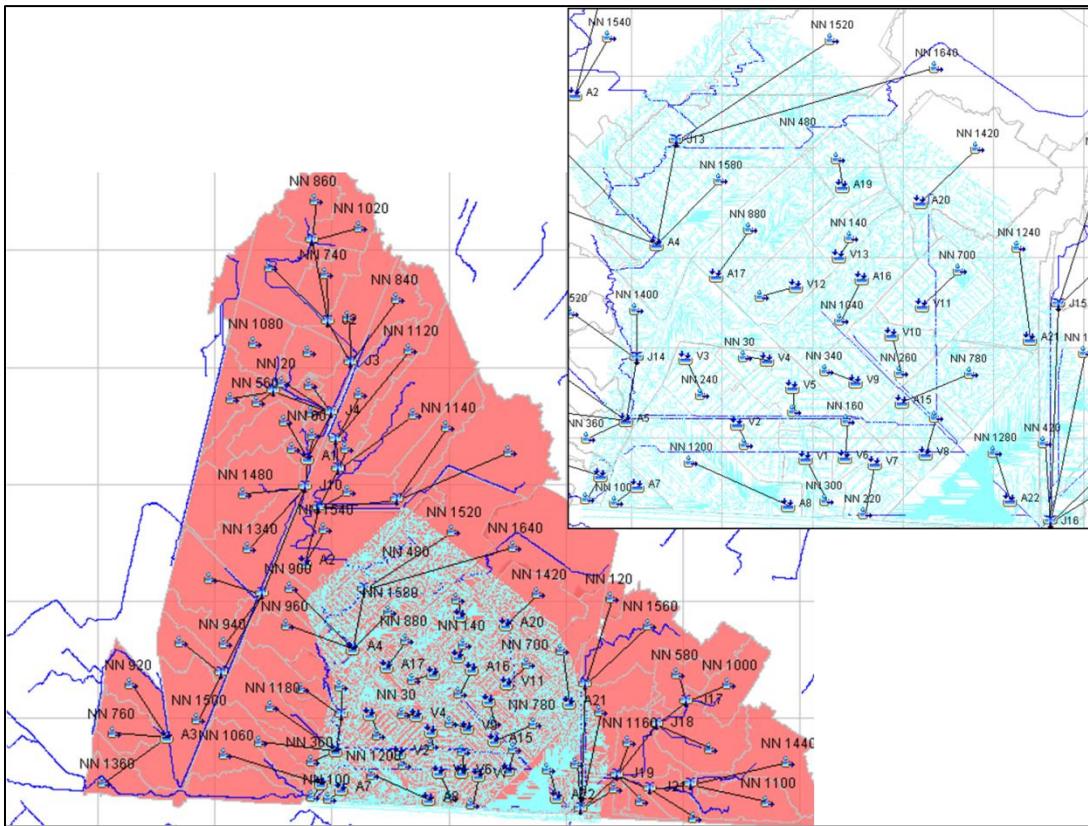


Figura V.2.4. Subcuenca Norte con elementos hidrológicos y escurrimientos principales.

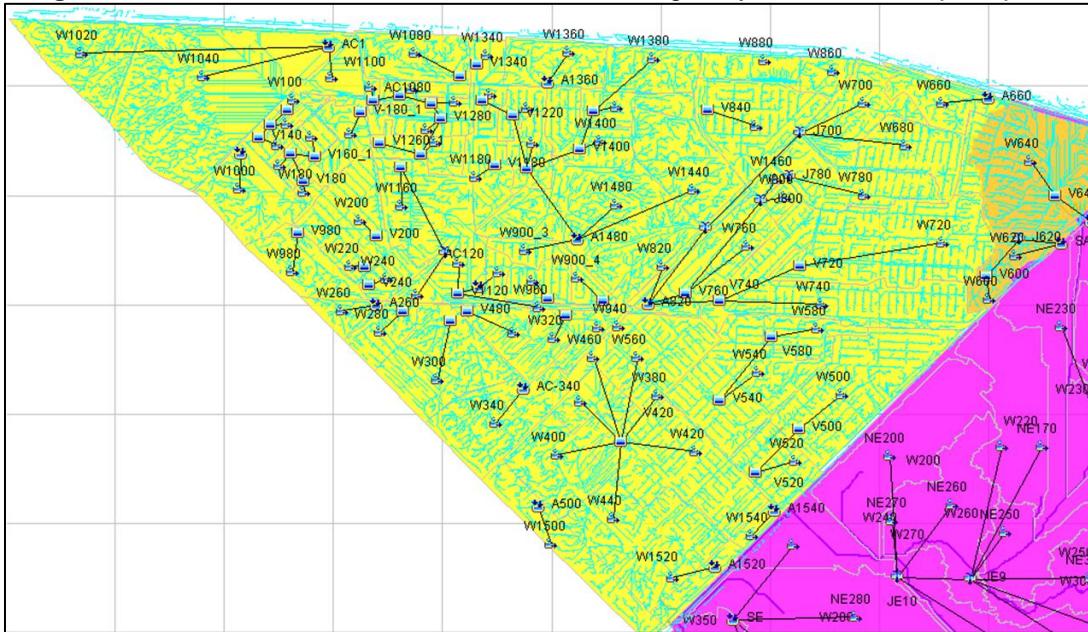


Figura V.2.5. Subcuenca Triangulo con elementos hidrológicos y escurrimientos principales.

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

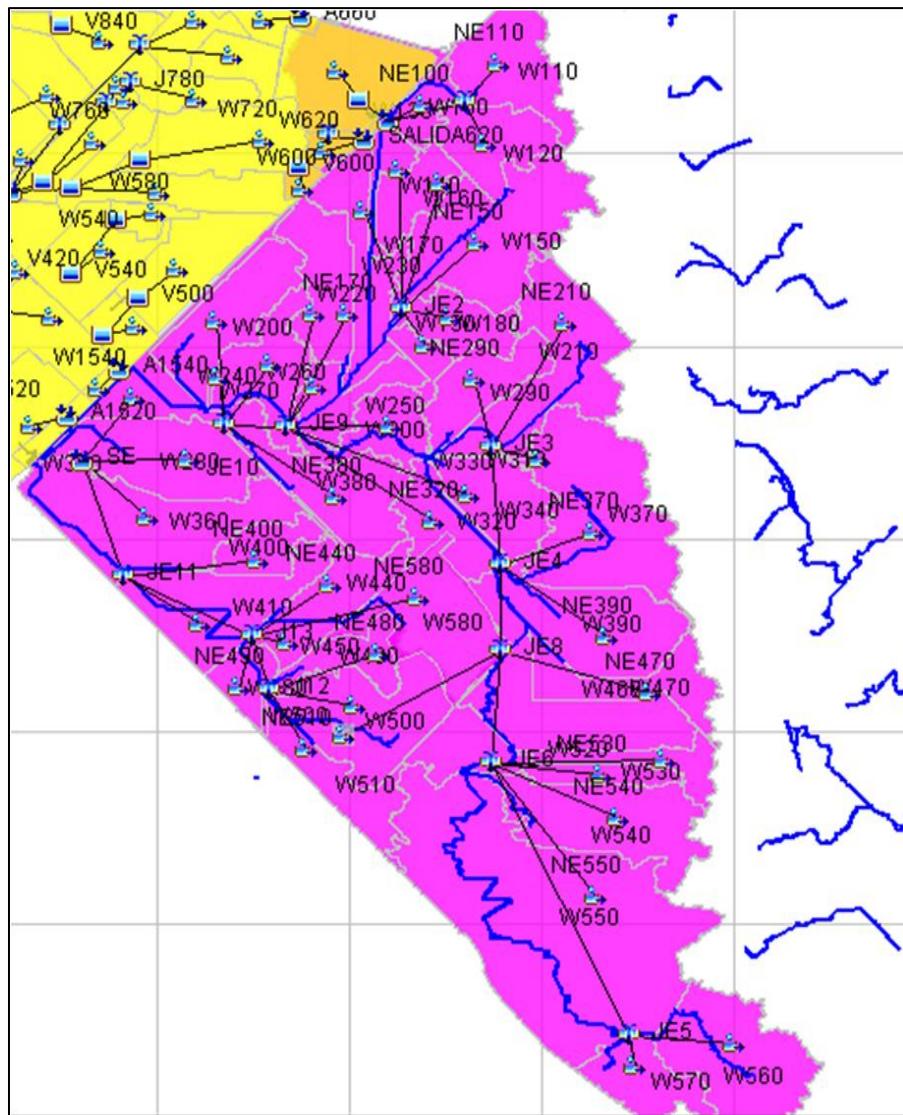


Figura V.2.6. Subcuenca Sur con elementos hidrológicos y escurrimientos principales.



V.2.1 GENERACIÓN DE NÚMERO DE ESCORRENTÍA (CN)

El número de escurrimiento, depende del tipo de superficie y uso de suelo, en este caso en general para la subcuenca se identifican diferentes números de curva y porcentajes de impervious, asociados con pavimentación, que reflejan la condición hidrológica del terreno (Tabla VIII). Aun y cuando predomina el proceso de urbanización, se identifican algunas áreas no urbanizadas así como parques y vasos de captación que contribuyen a mejorar la conversión lluvia escurrimiento, aunque que la mayoría de las microcuenca muestran altos porcentajes de terreno impermeabilizado.

Tabla VIII. Número de Curva y % de impervious de manera general utilizadas en la modelación hidrológica.

NUMERO DE CURVA	IMPERVIOUS	SITIO
69	0	Zona no urbana con suelo natural propio de la cuenca
65	10	Zona urbana en desarrollo, aún con suelo natural propio de la cuenca
77	62	Zona Urbana
80	65	Zona Urbana y parque industrial



V.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y DE RETRASO (DESFASE)

Se procedió a seleccionar y organizar la información, identificando los datos hidrológicos y recomendaciones pertinentes para las subcuenca y microcuenca, determinando los datos físicos de cada una de ellas tales como área, longitud de cauce, pendiente promedio, tipo de suelo y la infraestructura pluvial existente. Con esta información se adoptaron y calcularon los coeficientes de escurrimiento y los tiempos de concentración y retraso para sitios de interés previamente seleccionados.

Se utilizaron los datos de longitud de recorrido del agua y pendiente promedio del cauce para calcular los tiempos de concentración mediante la Ecuación de Kirpich, considerando el tiempo de retraso como el 60% del tiempo de concentración.

El tiempo de concentración fue calculado con la ecuación de Kirpich:

$$T_c = \frac{(0.000325 \times L^{0.77})}{(S^{0.385})}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (minutos).

L = Longitud máxima de salida (microcuenca) (metros)

S = Pendiente media (m/m)

El tiempo de retraso (T_r) fue calculado como el 60% del tiempo de concentración en horas:

$$T_r = 0.6 T_c$$



VI. RESULTADOS DE MODELO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES ACTUALES

Con los datos anteriores de las estructuras de regulación, las características de las cuencas hidrológicas y los datos calculados de precipitación para periodos de retorno, se elaboró el modelo de simulación hidrológico para los gastos máximos de un periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, incluyendo los resultados de la modelación de los hidrogramas de salida en cada subcuenca, la suma de los gastos del hidrograma en los puntos de cabecera de los tramos, el tránsito por los cauces definidos, la aportación del de cada microcuenca de salida para cada tramo y a la salida de la cuenca, así como un hidrograma de salida que define el caudal máximo de avenida para cada período de retorno considerado, tiempo en el que se produce dicho pico de caudal, y los volúmenes correspondientes de escorrentía producidas por la lluvia caída en la cuenca. Laja os resultados que a continuación se muestran, presentan a detalle la operación hidrológica e hidráulica del fraccionamiento Terranova (VI.1) y desarrollos circundantes, dado que el alcance de este estudio precisa que es en la zona más baja donde los estudios debían ser más precisos y detallados.

VI.1. SUBCUENCA PONIENTE

A continuación, se presenta el esquema de modelo hidrológico (Figura VI.1.1). Los resultados indican los gastos máximos y volúmenes que pasan por cada uno de los elementos que componen el modelo, como en la salida de uniones (Junction) y vasos de captación del modelo hidrológico de la subcuenca Poniente.

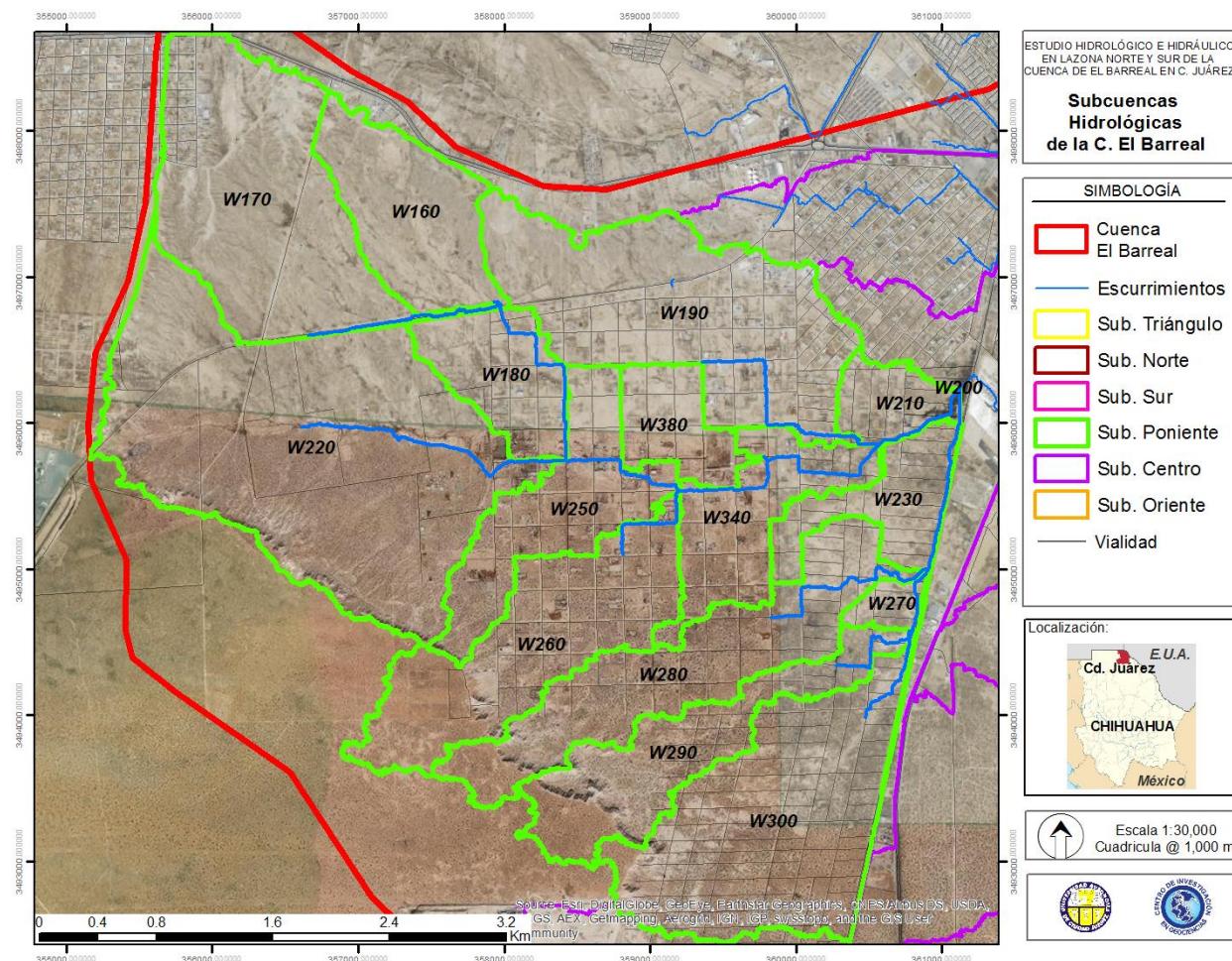


Figura VI.1. Escurrimientos y microcuenca hidrológicas de la sub. Poniente.

VI.2. SUBCUENCA CENTRO

A continuación, se presenta el esquema de modelo hidrológico (Figura VI.2.1). Los resultados indican los gastos máximos y volúmenes que pasan por cada uno de los elementos que componen el modelo, como en la salida de uniones (Junction) y vasos de captación del modelo hidrológico de la subcuenca Centro.

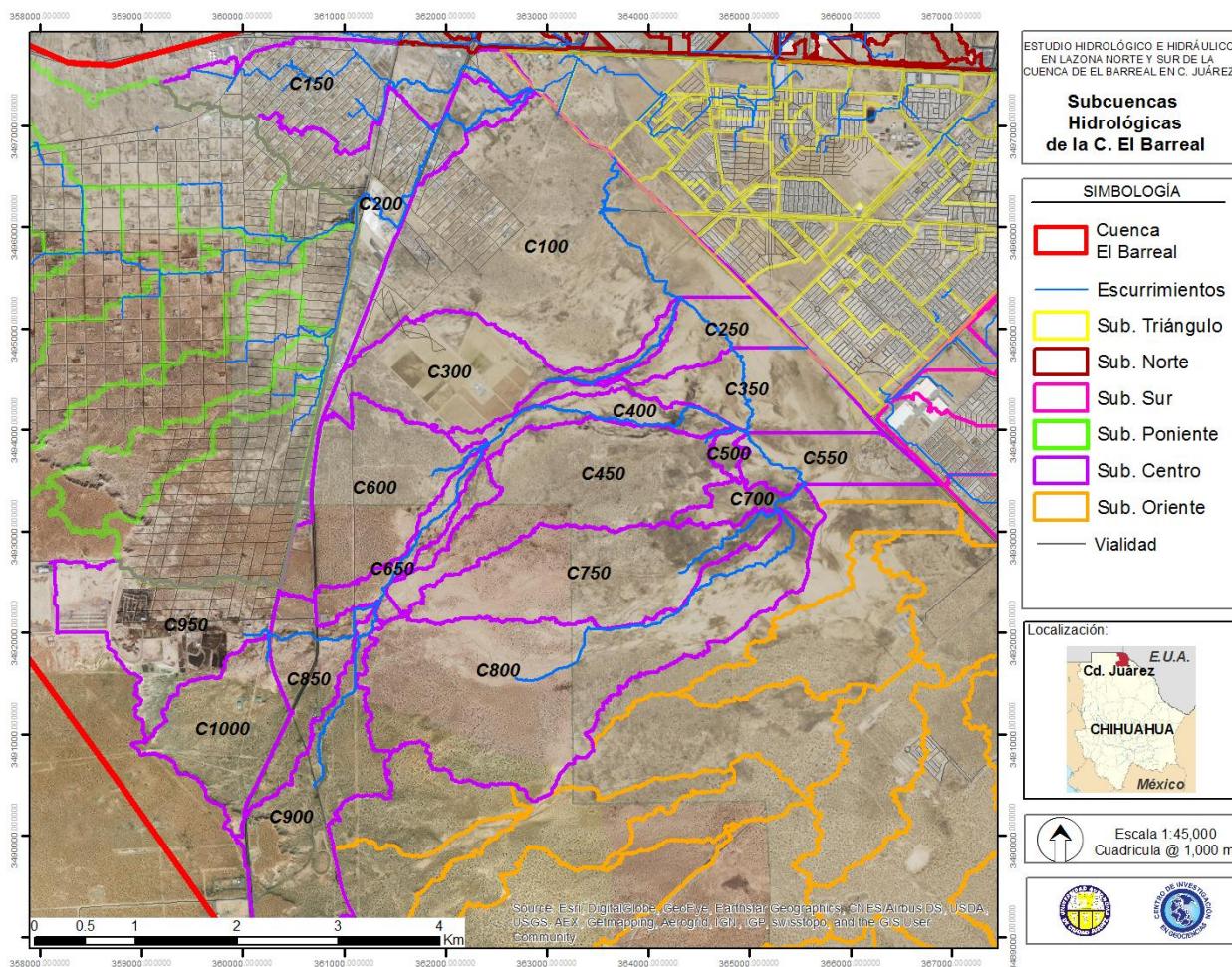


Figura VI.2.1. Escurrimientos y microcuenas hidrológicas de la sub. Centro.

VI.3. SUBCUENCA SURPONENTE

A continuación, se presenta el esquema de modelo hidrológico (Figura VI.3.1). Los resultados indican los gastos máximos y volúmenes que pasan por cada uno de los elementos que componen el modelo, como en la salida de uniones (Junction) y vasos de captación del modelo hidrológico de la subcuenca Oriente.

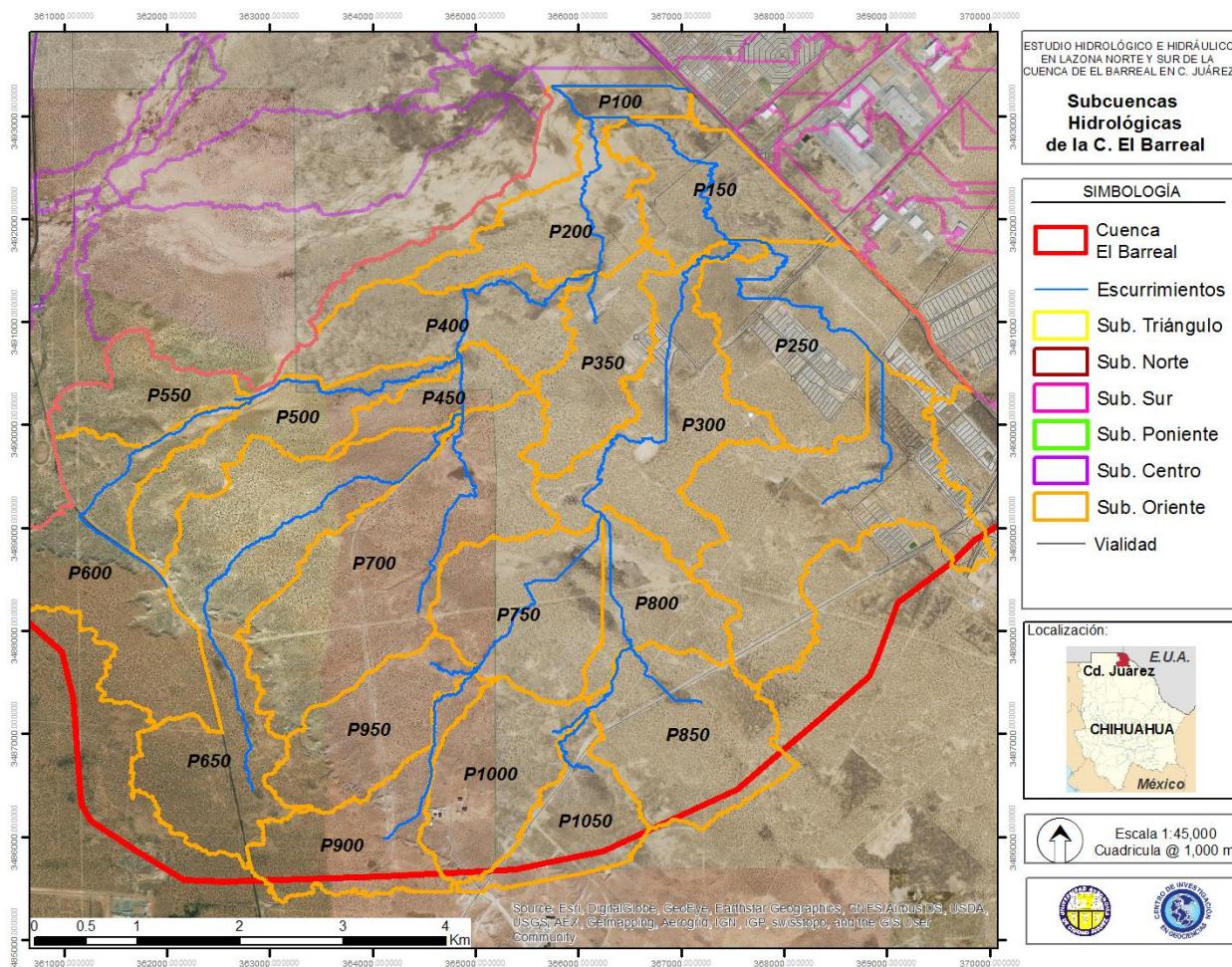


Figura VI.3.1. Escurrimientos y microcuenca hidrológicas de la sub. Oriente.

VI.4. SUBCUENCA NORTE

A continuación, se presenta el esquema de modelo hidrológico (Figura VI.4.1). Los resultados indican los gastos máximos y volúmenes que pasan por cada uno de los elementos que componen el modelo, como en la salida de uniones (Junction) y vasos de captación del modelo hidrológico de la subcuenca Norte.

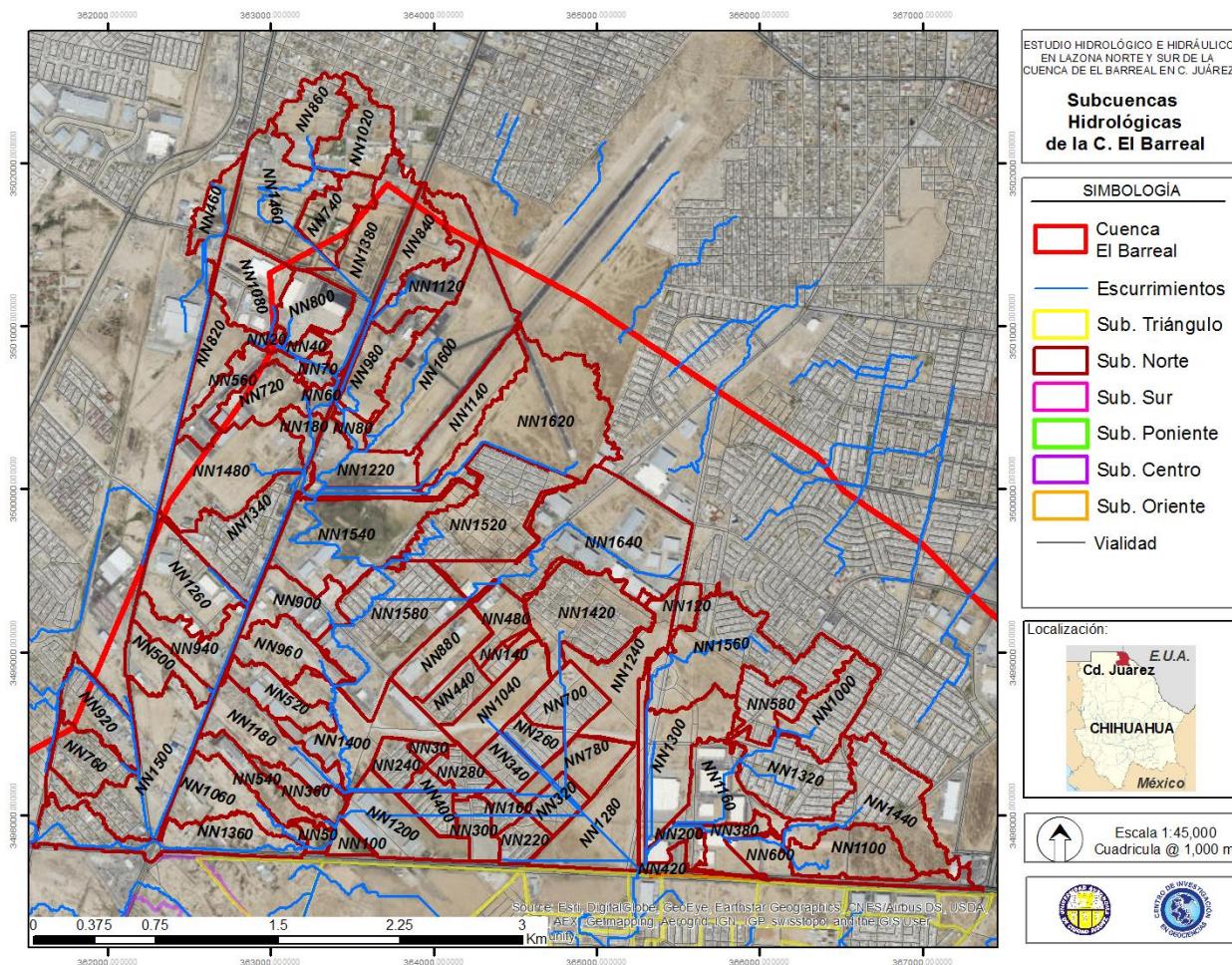


Figura VI.4.1. Escurrimientos y microcuenas hidrológicas de la sub. Norte.

Dado que cada desarrollo actúa prácticamente como una microcuenca cerrada, solo se muestran los resultados para la corrida de 100 años (Tabla VI.4.1.). Los demás

periodos de retronó están disponibles como anexos.

Tabla VI.4.1. Gastos máximos y volúmenes esperados periodo de retorno 100 años.

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
A1	2.14646	16.8	173.5
A15	0.14297	0.9	8.8
A16	0.18395	2.2	11.3
A17	0.15967	1.4	15.2
A19	0.10624	1.7	8.6
A2	2.28136	16.1	150.5
A20	0.33362	4.8	32.1
A21	0.23478	1.9	14.4
A22	0.26466	1.1	16.2
A3	0.60195	7.9	58.2
A4	1.84525	18	164.6
A5	0.86048	9	59.3
A6	0.22537	2.6	16.2
A7	0.03749	0.5	2.3
A8	0.22381	2.5	21.7
J1	0.34029	4.8	33.5
J10	1.5791	11.2	129
J11	0.92651	6.7	75.7
J12	0.51978	2.9	42
J13	1.06017	9.3	91.8
J14	0.43864	4.7	31.6
J15	0.49947	4.7	42.9
J16	2.4851	26.7	214.9
J17	0.30308	3.4	23.6
J18	0.58529	7.5	52.1
J19	1.55563	19	138.9
J2	0.82136	9.5	64.2
J20	0.53459	5.6	44.5
J21	0.67019	7.3	58.2
J3	1.27968	12.2	92.3
J4	0.34435	3.9	28.5
J5	0.26989	3.1	21.6
J6	0.36469	3.1	24.7
J7	0.89667	8.6	60.1



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

J8	0.71493	5.1	43.8
J9	1.83982	14.5	118
NN 100	0.03749	0.5	2.3
NN 1000	0.17574	1.5	10.8
NN 1020	0.18127	2.6	18.3
NN 1040	0.18395	2.2	11.3
NN 1060	0.1931	2.3	14.2
NN 1080	0.19387	2.9	19.6
NN 1100	0.19545	1.9	12
NN 1120	0.19756	1.5	13.2
NN 1140	0.2005	1.7	12.3
NN 1160	0.20849	3.1	21.1
NN 1180	0.21724	2.1	13.3
NN 120	0.04026	0.5	2.5
NN 1200	0.22381	2.5	21.7
NN 1220	0.22822	1.9	14
NN 1240	0.23478	1.9	14.4
NN 1260	0.24471	3.5	23.5
NN 1280	0.26466	1.1	16.2
NN 1300	0.26813	2	16.8
NN 1320	0.28221	4.2	28.5
NN 1340	0.28431	5.4	28.7
NN 1360	0.2978	4.1	29.2
NN 1380	0.31046	2.5	19
NN 140	0.04774	0.6	4.2
NN 1400	0.31749	3.3	21.8
NN 1420	0.33362	4.8	32.1
NN 1440	0.33914	3.7	32.6
NN 1460	0.34013	3.4	22.1
NN 1480	0.36828	1.2	24.7
NN 1500	0.3987	2.6	32.2
NN 1520	0.40191	4.5	37
NN 1540	0.44154	2.8	32.5
NN 1560	0.45921	4.5	40.5
NN 1580	0.46134	6.2	46.6
NN 160	0.04812	0.9	4.9
NN 1600	0.49548	6.5	33.2
NN 1620	0.51443	3.6	31.5
NN 1640	0.65826	5.1	54.8
NN 180	0.04928	0.3	3



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

NN 20	0.01189	0.2	1.2
NN 200	0.06608	1	6.7
NN 220	0.06666	1.1	6
NN 240	0.06981	1.3	7.1
NN 260	0.07349	1.4	7.4
NN 280	0.07731	1.4	7.8
NN 30	0.0225	0.4	2.3
NN 300	0.07888	1.5	8
NN 320	0.07918	1.2	8
NN 340	0.08095	1.5	8.2
NN 360	0.08296	0.8	5.1
NN 380	0.09166	1.1	7.4
NN 40	0.02744	0.4	2.2
NN 400	0.092	1.8	9.3
NN 420	0.09579	0.7	9.7
NN 440	0.09666	1.7	9.8
NN 480	0.10624	1.7	8.6
NN 50	0.03227	0.4	2
NN 500	0.12108	1.8	9.8
NN 520	0.12115	1.6	9.8
NN 540	0.12164	1.4	9.3
NN 560	0.12654	1.9	12.8
NN 580	0.12734	1.9	12.9
NN 60	0.03386	0.5	3.3
NN 600	0.1356	1.7	13.7
NN 70	0.03513	0.7	3.5
NN 700	0.13907	1.3	14
NN 720	0.13987	1.5	9.6
NN 740	0.14094	1.4	8.6
NN 760	0.14285	2.3	13.5
NN 780	0.14297	0.9	8.8
NN 80	0.0365	0.4	2.2
NN 800	0.14309	1.4	8.8
NN 820	0.14335	1.2	8.8
NN 840	0.14786	0.6	9.1
NN 860	0.15902	2.2	15.2
NN 880	0.15967	1.4	15.2
NN 900	0.16038	3.1	16.2
NN 920	0.1613	2	15.5
NN 940	0.16202	1	10.1



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

NN 960	0.16336	1.6	10
NN 980	0.16713	1.7	11.5
V1	0.07888	1.5	8
V10	0.07349	1.4	7.4
V11	0.13907	1.3	14
V12	0.09666	1.7	9.8
V13	0.04774	0.6	4.2
V2	0.092	1.8	9.3
V3	0.06981	1.3	7.1
V4	0.0225	0.4	2.3
V5	0.07731	1.4	7.8
V6	0.04812	0.9	4.9
V7	0.06666	1.1	6
V8	0.07918	1.2	8
V9	0.08095	1.5	8.2

VI.5. SUBCUENCA TRIÁNGULO

A continuación, se presenta el esquema de modelo hidrológico (Figura VI.5.1). Los resultados indican los gastos máximos y volúmenes que pasan por cada uno de los elementos que componen el modelo, como en la salida de uniones (Junction) y vasos de captación del modelo hidrológico de la subcuenca Triangulo.

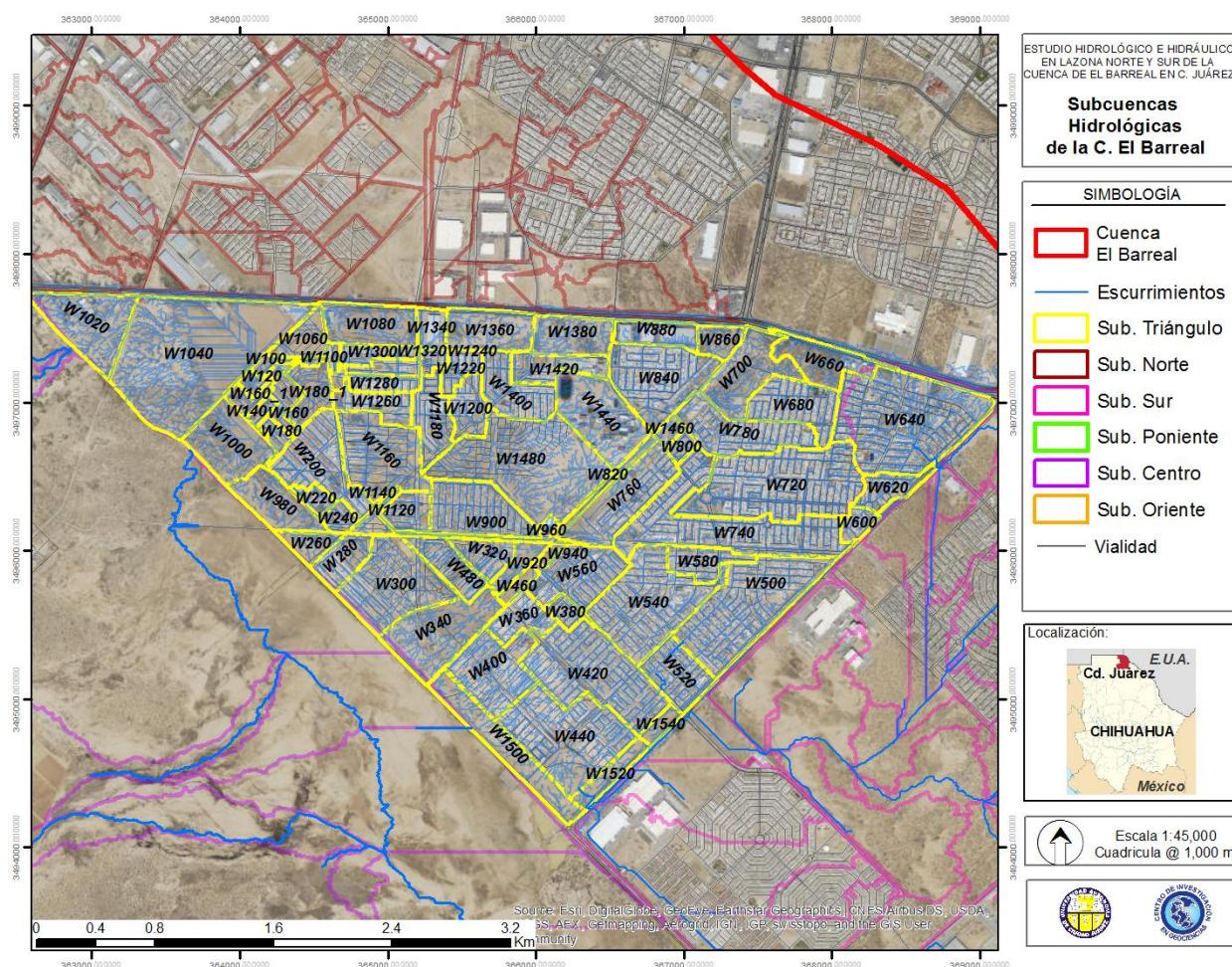


Figura VI.5.1. Escurrimientos y microcuencas hidrológicas para los fraccionamientos de la sub. Triángulo.

Dado que cada desarrollo actúa prácticamente como una microcuenca cerrada, solo se muestran los resultados para la corrida de 100 años (Tabla VI.5.1.). Los demás

periodos de retronó están disponibles como anexos.

Tabla VI.5.1. Gastos máximos y volúmenes esperados periodo de retorno 100 años.

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
AC-340	0.26	1.6	14.8
AC1	1.782	12.8	104.3
AC1080	0.171	2.4	17.9
AC120	0.1659	1.6	13.6
AC3	0.204	1.8	11.8
A1360	0.158	1.1	10.1
A1480	1.4167	12.6	98.4
A1520	0.071	0.6	4.4
A1540	0.032	0.2	2
A260	0.061	0.5	3.5
A500	0.203	1.4	12
A660	0.142	1.6	10.7
A820	1.645	12.9	145
J160	0.039	0.5	3.8
J620	0.042	0.6	2.9
J700	0.376	3.8	29.6
J780	0.215	2.9	21.2
J800	0.053	0.9	4.6
J820	0.376	3.8	29.6
SALIDA620	0.121	1.8	10.8
SALIDA640	1.472562	15.8	136.8
V-180_1	0.094	0	0
V100	0.022	0.4	2
V1100	0.026	0.4	2.5
V1120	0.129	1.1	9.9
V1160	0.307	3.2	11.1
V1180	0.127	2	8.9
V120	0.055	0.9	5
V1200	0.576	7	38.2
V1220	0.087	0.6	3.8
V1240	0.029	0.2	1
V1260_1	0.295	0.5	6
V1260_2	0.295	1.7	14.7
V1280	0.202	1.2	10.1



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

V1300	0.084	0.9	4.5
V1320	0.133	0.5	4.1
V1340	0.054	0.9	4.6
V140	0.092	1.4	7.4
V1400	0.398	5.6	27.3
V1420	0.246	2.9	15.9
V160	0.057	0.8	3.2
V160_1	0.112	1.5	6.7
V180	0.032	0.7	1.6
V200	0.226	3.3	16.2
V220	0.036	0	0
V240	0.036	1	2.1
V280	0.092	1.3	8.4
V300	0.298	3.5	13.6
V320	0.1033	1.3	6.1
V420	1.364	11.5	63
V480	0.0837	0.4	2.6
V500	0.41	7.5	24
V520	0.554	9	26.4
V540	0.466	2	16.7
V580	0.093	2.7	5.4
V600	0.042	0.6	2.9
V640	0.544	5.8	54
V720	0.49	6.8	43
V740	0.94	7.1	87.6
V760	0.281	3.9	24.9
V840	0.286	4	24.9
V900_1	0.0854	1.6	5.5
V900_2	0.0406	0.4	2.9
V980	0.154	0	0
W100	0.022	0.4	2.1
W1000	0.204	1.8	11.8
W1020	0.232	2.3	14.6
W1040	0.77	4.6	44.6
W1060	0.78	6.9	45.1
W1080	0.171	2.4	17.9
W1100	0.026	0.4	2.8
W1120	0.077	1	7.6
W1140	0.039	0.5	3.8
W1160	0.268	2.7	22



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

W1180	0.127	1.8	12.1
W120	0.033	0.5	3.3
W1200	0.091	1.6	8.6
W1220	0.058	1.1	5.8
W1240	0.029	0.5	2.9
W1260	0.093	0.9	8.9
W1280	0.069	1.3	6.8
W1300	0.058	1.2	6.4
W1320	0.049	0.7	5.3
W1340	0.054	0.9	5.9
W1360	0.158	1.1	10.1
W1380	0.139	1.3	8.7
W140	0.037	0.7	3.7
W1400	0.152	2.2	15.1
W1420	0.107	1.5	10.4
W1440	0.246	3.5	23.4
W1460	0.025	0.3	1.8
W1480	0.539	2.6	31.2
W1500	0.203	1.4	12
W1520	0.071	0.6	4.4
W1540	0.032	0.2	2
W160	0.025	0.5	2.5
W160_1	0.055	0.8	5.4
W180	0.032	0.5	2.4
W180_1	0.094	0.7	7
W200	0.226	3.3	22.7
W220	0.036	0.7	3.6
W240	0.036	0.8	3.6
W260	0.061	0.5	3.5
W280	0.092	1.3	8.6
W300	0.298	2.5	17.6
W320	0.1033	0.8	9.1
W340	0.26	1.6	14.8
W360	0.092	1.4	9.1
W380	0.037	0.7	3.7
W400	0.224	2.6	22.4
W420	0.397	4.9	39.9
W440	0.386	3.4	37.6
W460	0.029	0.3	2
W480	0.0837	0.9	8



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

W500	0.41	4.8	40.7
W520	0.144	2.1	14.5
W540	0.373	5.5	37
W560	0.199	3.2	19.9
W580	0.093	1.7	9.2
W600	0.042	0.6	4
W620	0.079	1.3	7.9
W640	0.544	7.1	54
W660	0.142	1.6	10.7
W680	0.176	2.4	17.7
W700	0.2	1.4	11.9
W720	0.49	6.8	49.2
W740	0.45	5.1	44.6
W760	0.228	3.3	22.2
W780	0.215	2.9	21.2
W800	0.028	0.5	2.8
W820	0.048	0.4	2.9
W840	0.286	4	28.4
W860	0.059	0.7	3.4
W880	0.092	1.7	10
W900_1	0.0854	1.2	8.6
W900_2	0.0369	0.5	3.7
W900_3	0.0557	0.8	5.6
W900_4	0.0406	0.4	4.1
W920	0.055	0.5	3.2
W940	0.015	0.2	1
W960	0.052	0.3	4.1
W980	0.154	1.1	8.9

VI.6. SUBCUENCA SUR

A continuación, se presenta el esquema de modelo hidrológico (Figura VI.6.1). Los resultados indican los gastos máximos y volúmenes que pasan por cada uno de los elementos que componen el modelo hidrológico para cada periodo de retorno de la subcuenca Sur.

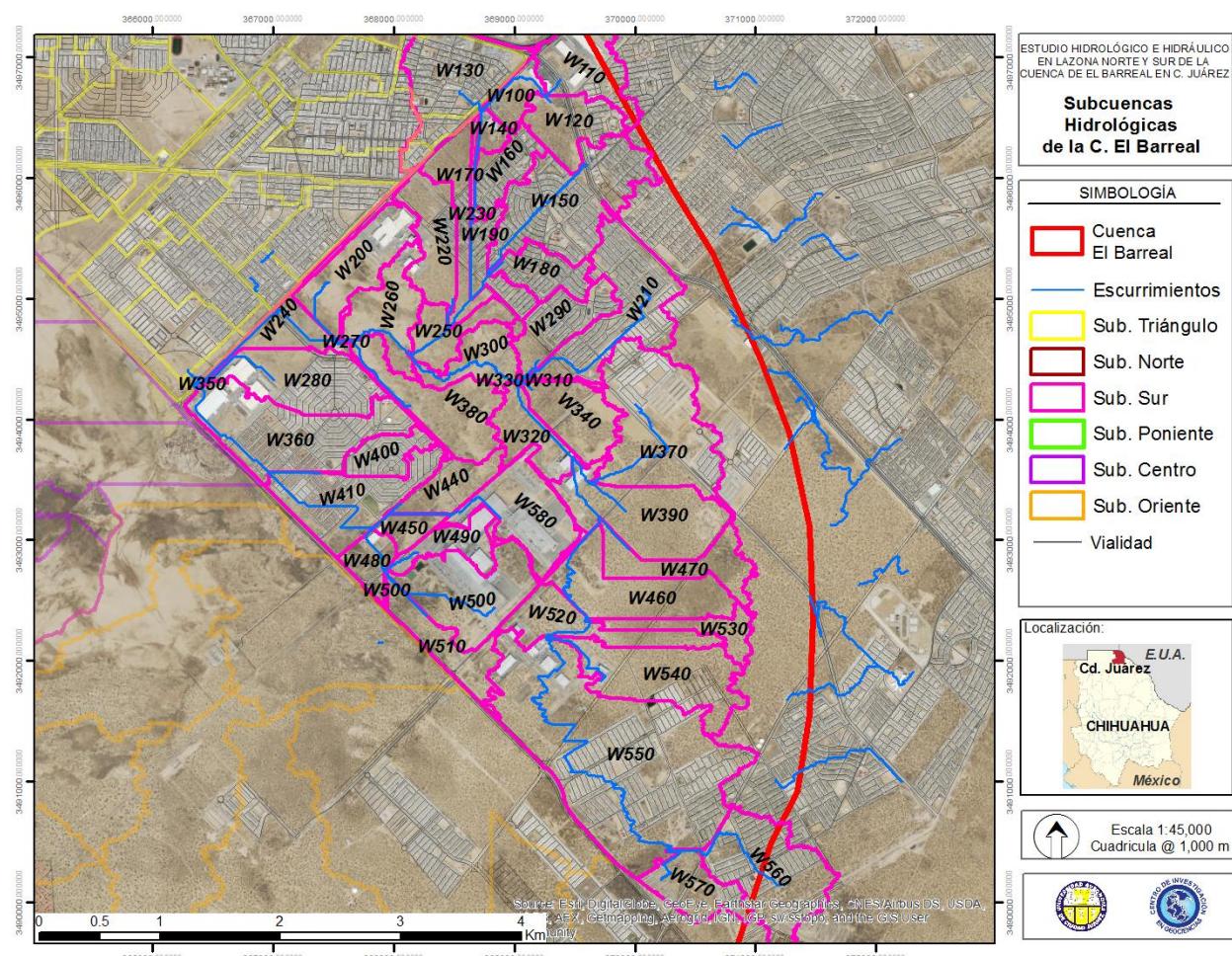


Figura VI.6.1. Escurrimientos y microcuencas hidrológicas para los fraccionamientos de la sub. Sur.

Dado que cada desarrollo actúa prácticamente como una microcuenca cerrada, solo

se muestran los resultados para la corrida de 100 años (Tabla VI.6.1). Los demás periodos de retorno están disponibles como anexos.

Tabla VI.6.1. Gastos máximos y volúmenes esperados periodo de retorno 100 años.

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
JE1	0.781727	10.1	74.5
JE10	2.944317	23.5	201.5
JE11	2.976818	32.5	283.8
JE2	1.890755	19.9	180.3
JE3	8.058333	70.3	683.4
JE4	7.01501	60.4	584.6
JE5	1.007179	7.6	96
JE6	4.481305	40.3	405
JE8	5.387701	46.4	456.5
JE9	1.586397	11.5	106.4
J12	1.084074	10.3	103.4
J13	2.216079	24.8	211.3
NE100	0.146835	1.2	8.3
NE110	0.446484	5.4	42.6
NE120	0.335243	4.7	32
NE140	0.071975	0.6	6.9
NE150	0.838779	9.7	80
NE160	0.224888	3.2	21.4
NE170	0.042511	0.3	4.1
NE180	0.237269	3.3	22.6
NE190	0.207902	2.6	19.8
NE200	0.455884	5.6	43.5
NE210	0.703661	6.5	67.1
NE220	0.381957	5.2	36.4
NE230	0.309942	1.7	29.5
NE240	0.319874	1.6	18.2
NE250	0.244481	1.8	13.9
NE260	0.380678	3.2	21.6
NE270	0.011539	0.2	1.1
NE280	0.555601	4	53
NE290	0.32175	4.2	30.7
NE300	0.275794	1.9	15.7



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

NE310	0.017912	0.2	1
NE320	0.286929	1.2	16.3
NE340	0.354396	2.3	20.1
NE360	0.811353	5.2	77.4
NE370	0.92784	10.6	88.5
NE380	0.509819	3.3	28.9
NE390	0.699469	6.1	39.7
NE400	0.195769	2	18.7
NE410	0.56497	6.1	53.9
NE440	0.247364	3.3	23.6
NE450	0.112732	0.9	10.7
NE460	0.571867	3.9	32.5
NE470	0.334529	2.2	19
NE480	0.156965	1.3	15
NE490	0.232829	3.2	22.2
NE500	0.618217	8.1	58.9
NE510	0.308892	2.3	29.4
NE520	0.381295	2.3	21.6
NE530	0.193928	1.7	11
NE540	0.642601	5.3	61.3
NE550	2.256302	24.3	215.1
NE560	0.709196	7	67.6
NE570	0.297983	1.4	28.4
NE580	0.53908	7.3	51.4
SE	4.663646	38.1	432.3



VII. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

La zona actualmente urbanizada requiere de una obra hidráulica de mitigación que contenga los escurrimientos que descienden de la cuenca, de forma que los desarrollos urbanos ya existentes regulen solamente los flujos generados por cuenca propia tal y como lo marca el PSMAP. Para ello, desde el 2016 se realizó un estudio de la operación hidráulica del BMMH en las condiciones imperantes en ese entonces. El modelo se realizó conforme a la tormenta de lluvia aprobada por la CONAGUA en la cual se aplica un esquema de ponderación de la lluvia ajustada por área de tormenta, de forma que se garantice que todo el volumen de la precipitación sea transformado de manera 100% efectiva a escurrimiento y perdidas por absorción.

El resultado de este análisis hidrológico (2016) se resume en las siguientes tablas:

TR100

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	325.8	4505.1

TR500

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	479	6376.4

Posteriormente, ya en este estudio (2017) se realizaron corridas hidrológicas con una

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

tormenta de diseño aplicada bajo un esquema de distribución de frecuencia. La discretización de este modelo hidrológico consiste en 3 subcuencas principales localizadas aguas arriba del bordo Miguel de la Madrid Hurtado:

Cuenca Poniente: Esta subcuenca (Figura VII.2.1. en color blanco) capta los escurrimientos de la zona de granjas de Sta Elena, y en ella se localizan los diques Sta. Elena I, Sta. Elena II, Fluorex, Charly I, Charly II y Yonkes.

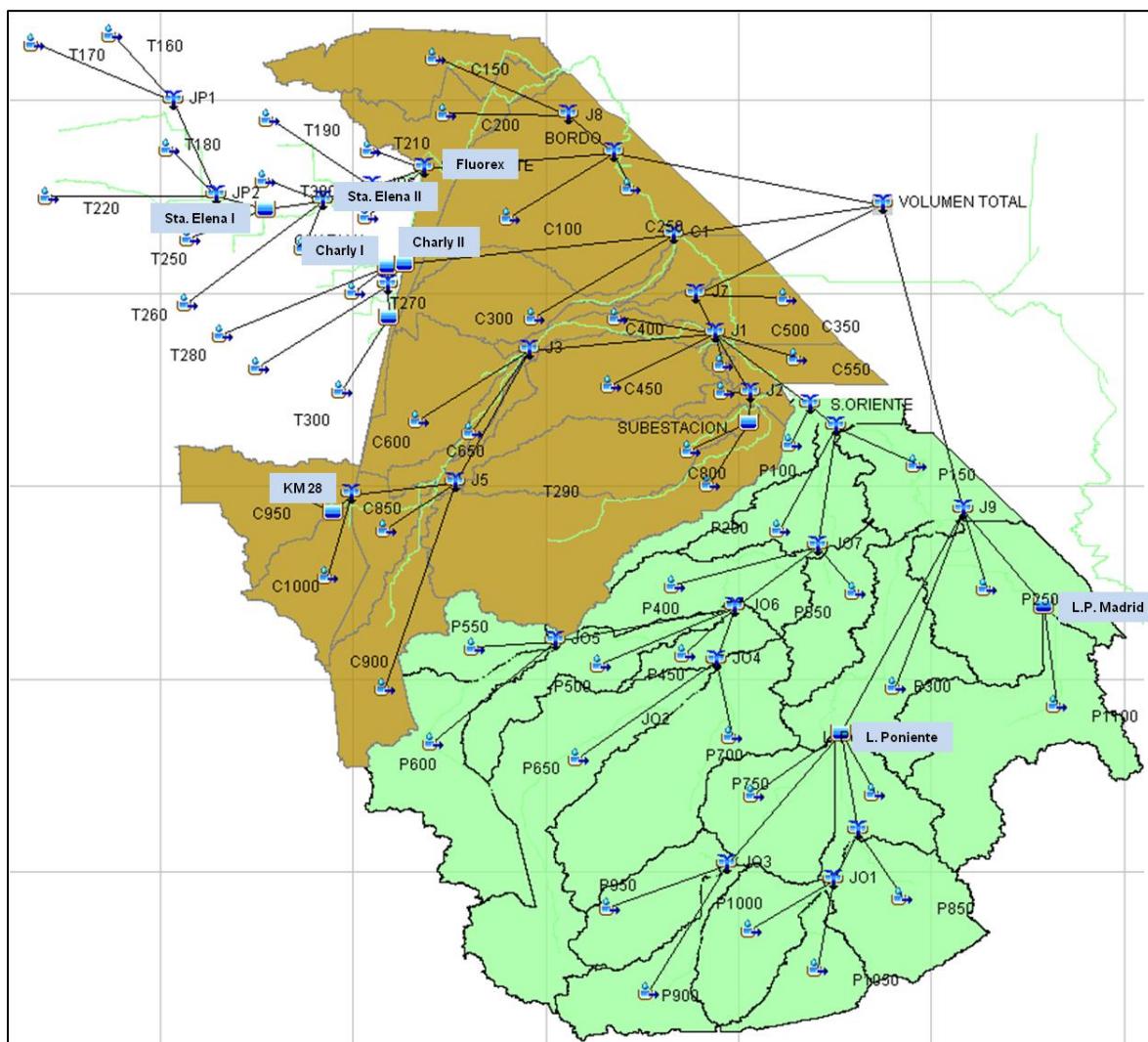


Figura VII.2.1. Localización de las obras hidráulicas de la zona poniente al Bordo MMH.

Cuenca Centro: Esta subcuenca (Figura VII.2.1. en color café) capta escurrimientos de la parte central de la cuenca el Barreal. En esta subcuenca se localiza el dique Km 28 y el dique Subestación o Herradura.

Cuenca Surponiente: Esta subcuenca capta un importante volumen de escurrimientos provenientes de la parte suroeste de la cuenca El Barreal. En esta subcuenca se localizan varias lagunas subsidiarias o secundarias que actúan como reservorios en caso de lluvia. Las más importantes se modelaron hidrológicamente como vasos de captación: Laguna Poniente y Laguna P. Madrid.

La curvas de almacenamiento descarga de las diferentes estructuras hidráulicas de las subcuencas mencionadas (Figuras VII.2.2 a la VII.2.9) muestra que para eventos hidrometeorológicos asociados con una tormenta con un periodo de retorno de 500 años, solo las lagunas subsidiarias son capaces de contener los volúmenes transportados aguas abajo.

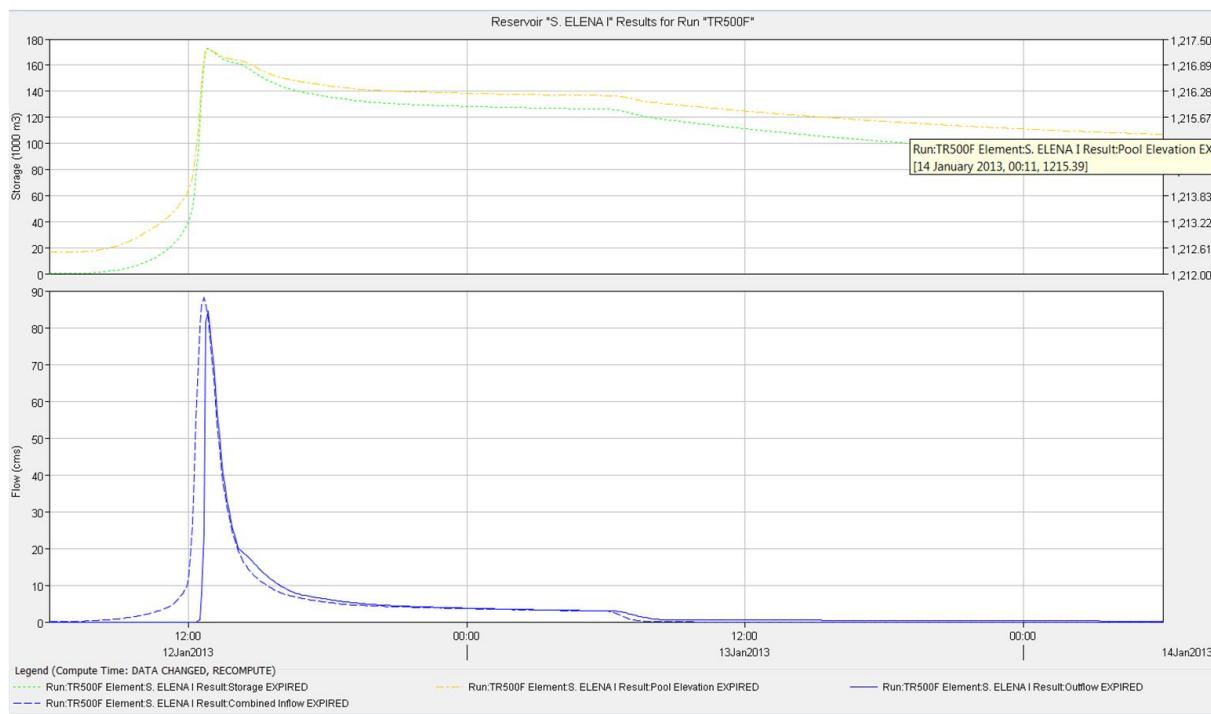


Figura VII.2.2. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Santa Elena I.

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

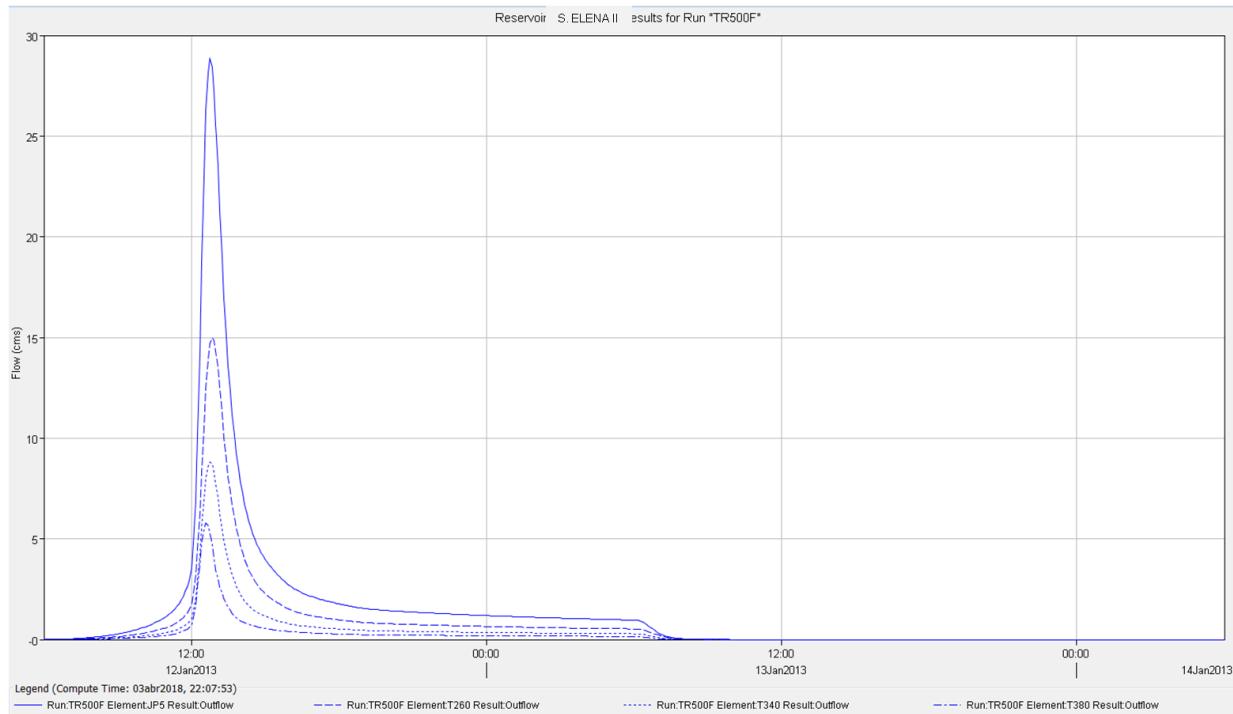


Figura VII.2.3. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Santa Elena II.

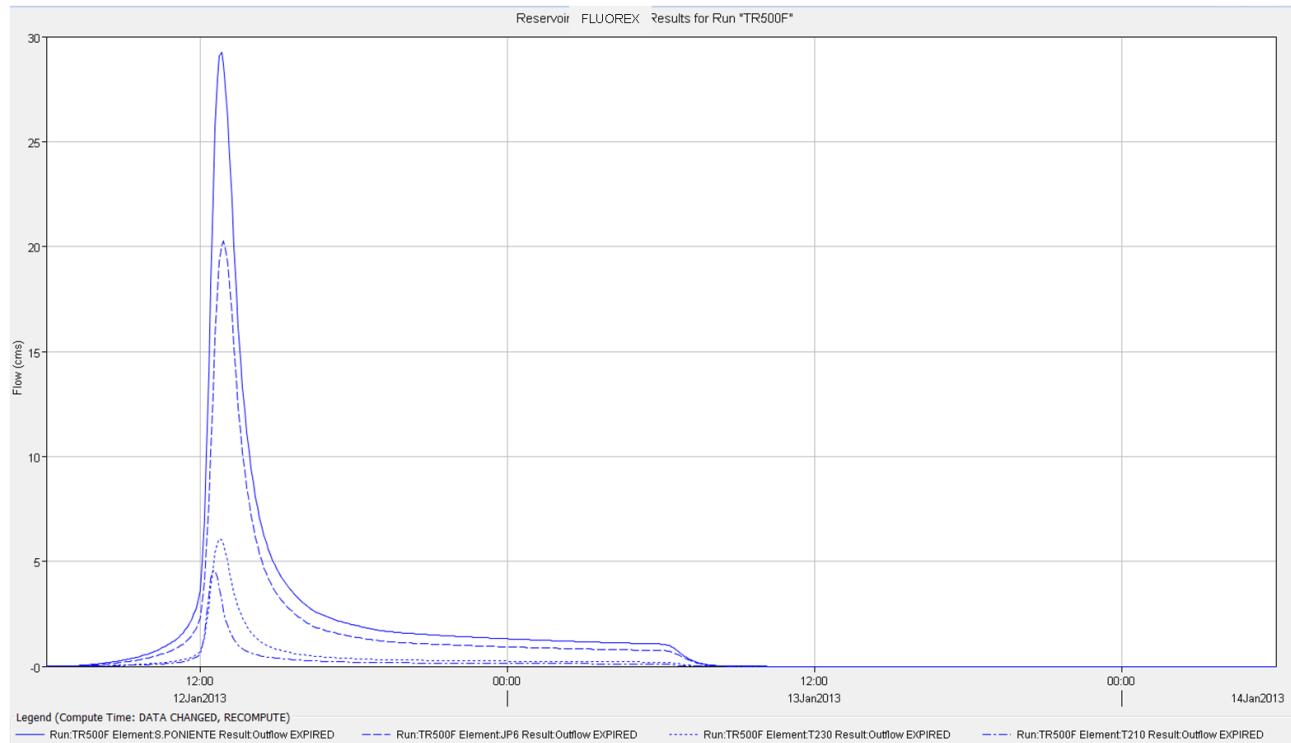


Figura VII.2.4. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Fluorex.

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

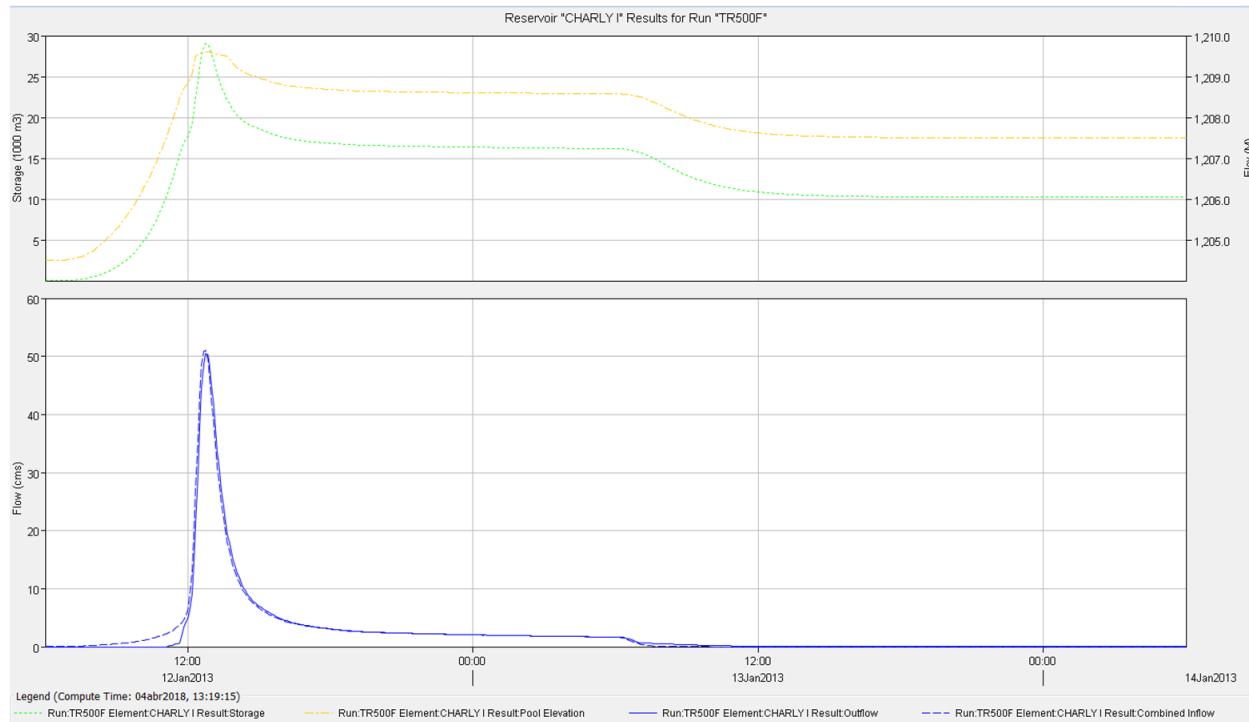


Figura VII.2.5. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Charly I.

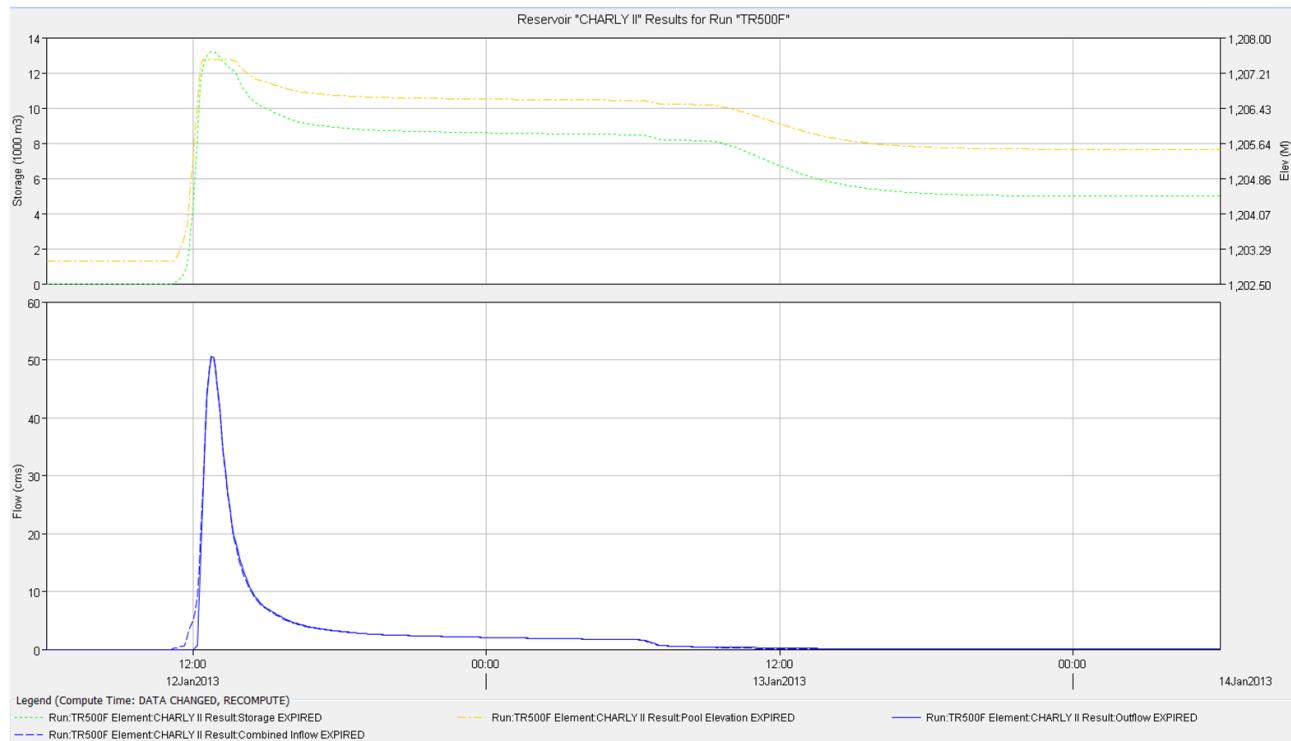


Figura VII.2.6. Volumen de agua almacenada en vasos de captación Charly II.

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

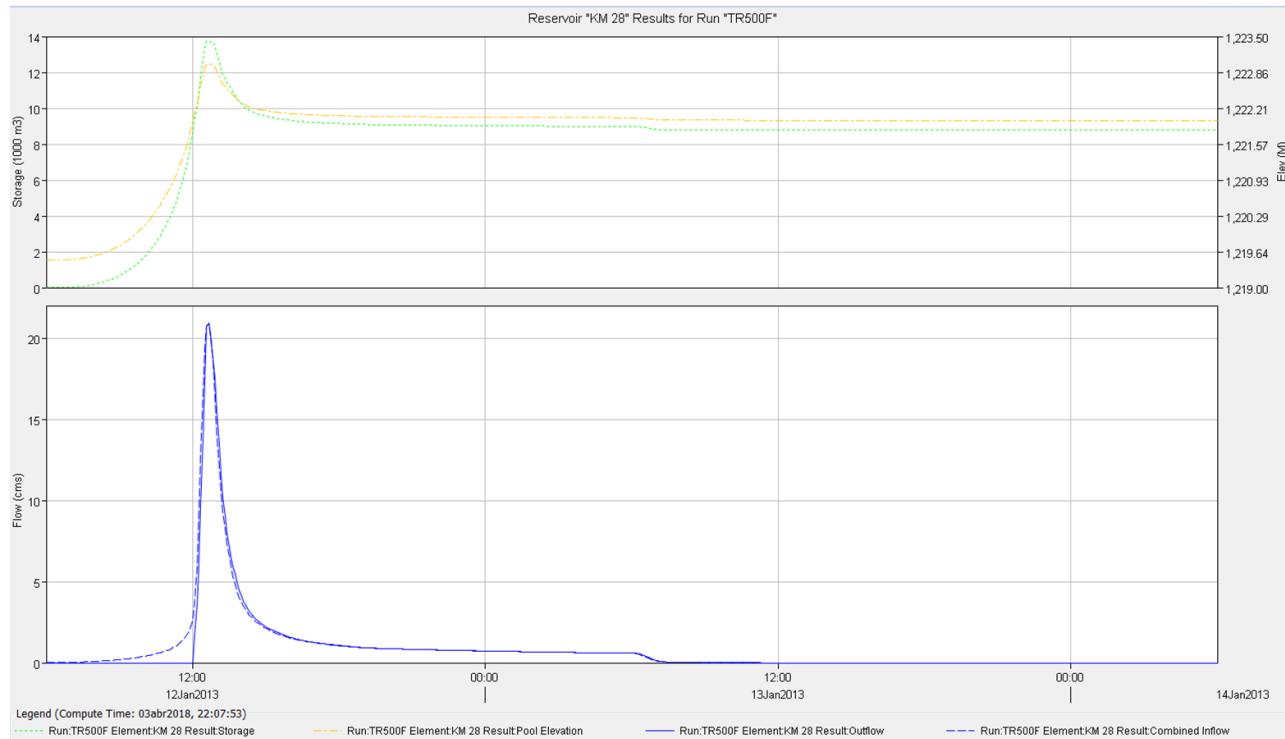


Figura VII.2.7. Volumen de agua almacenada en vasos de captación KM 28.

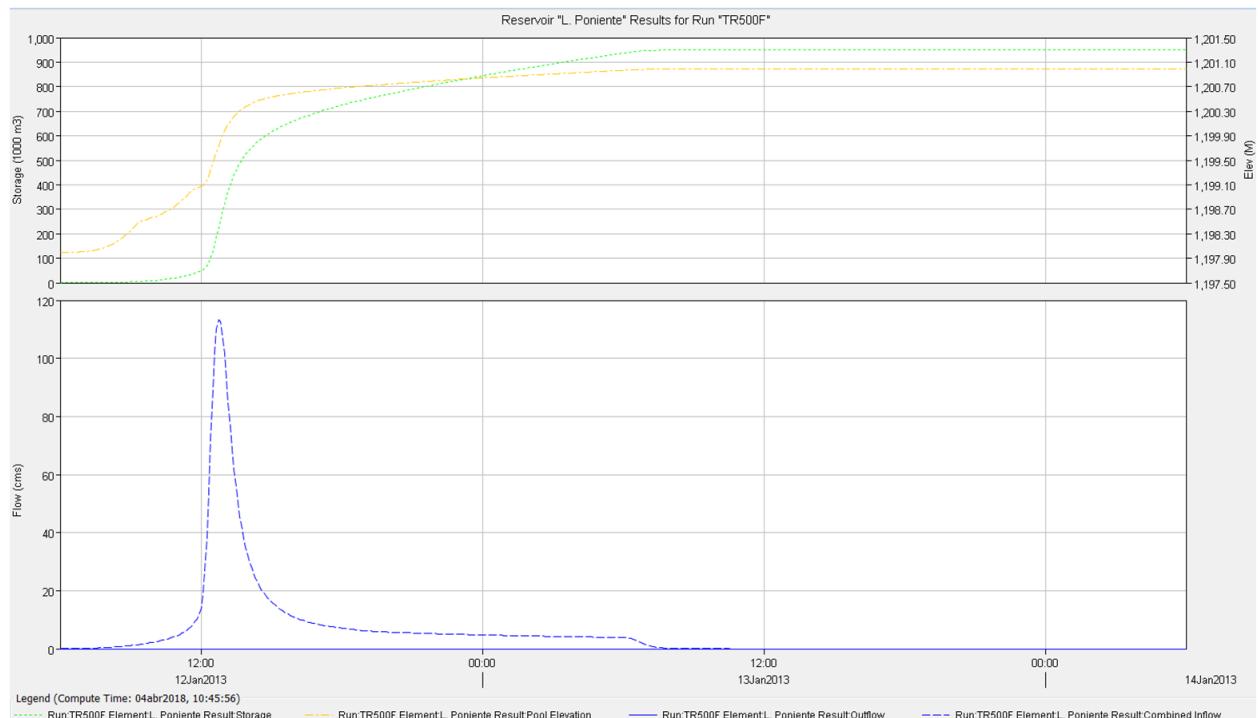


Figura VII.2.8. Volumen de agua almacenada en zona lagunar L. Poniente.

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

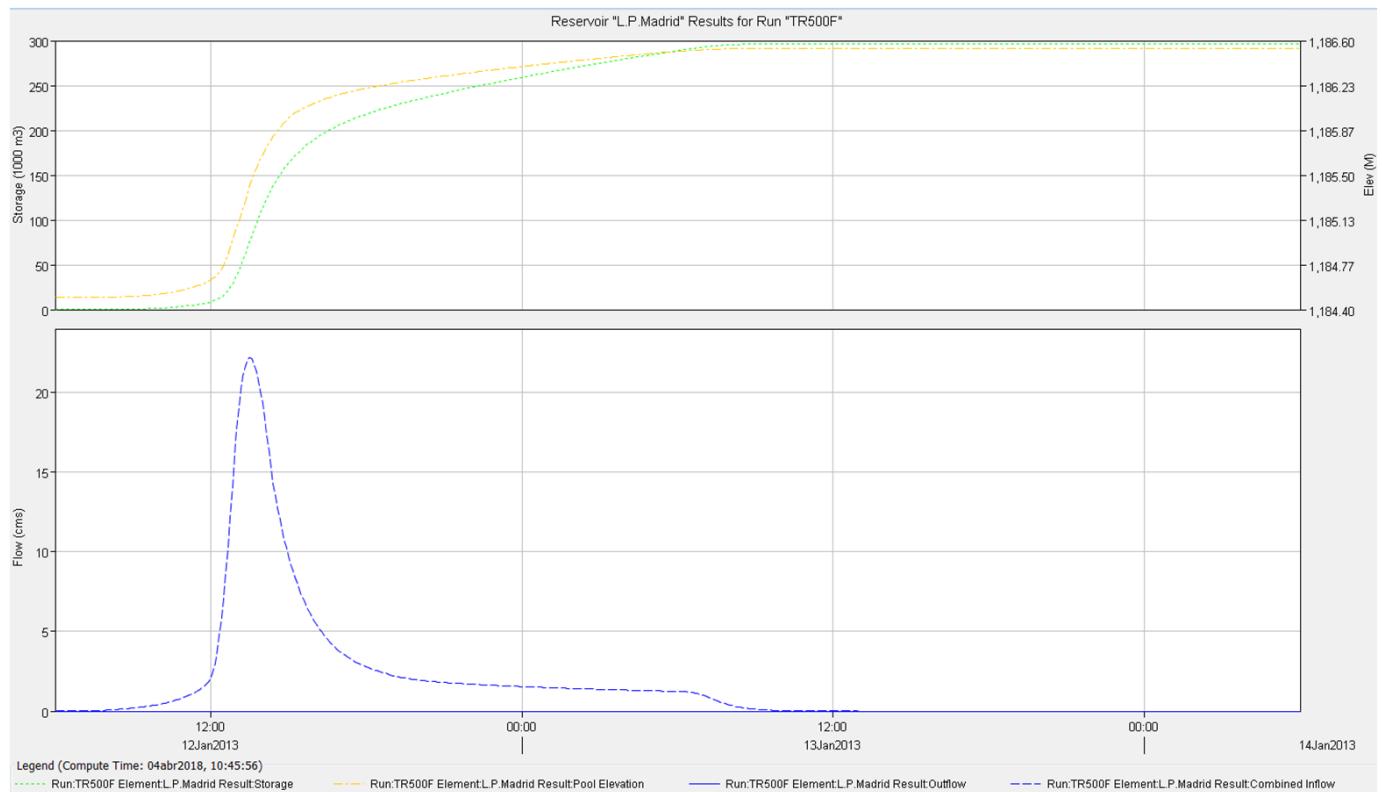


Figura VII.2.9. Volumen de agua almacenada en zona lagunar L. P. Madrid.



VII.2.1. OPERACIÓN HIDRAULICA DE DIQUES Y LAGUNAS SUBSIDIARIAS

La condición de almacenaje descarga para cada vaso o dique se resume en la siguiente tabla donde V.E. es Volumen Escurrido y V.D. es volumen de Descarga (Tabla VII.2.1.1).

Tabla VII.2.1.1. Volúmenes escurridos y de descarga.

ESTRUCTURA	TR5		TR10		TR20		TR50		TR100		TR500	
	V.E	V.D	V.E	V.D	V.E	V.R	V.E	V.D	V.E	V.D	V.E	V.D
STA ELENA I	183.4	94.7	249.8	161.0	319.9	230.9	420.9	331.7	505.5	416.3	721.1	631.8
STA ELENA II	155.2	155.2	243.5	243.5	336.5	336.5	470.6	470.6	583.1	583.1	869.7	869.7
FLUOREX	221.6	221.6	333.9	333.9	452.3	452.3	623.0	623.0	766.1	766.1	1130.8	1130.8
CHARLY 1	103.9	93.6	141.6	131.3	181.3	171.0	238.5	228.2	286.4	276.2	408.6	398.4
CHARLY 2	93.6	88.7	131.3	126.3	171.0	166.0	228.2	223.2	276.2	271.2	398.4	393.4
KM28	36.9	28.2	50.3	41.6	64.4	55.7	84.8	76.0	101.8	93.1	145.3	136.5
L. PONIENTE	241.5	0	329.0	0	421.2	0	554.2	0	665.6	0	949.6	0
L.P. MADRID	75.4	0	102.8	0	131.6	0	173.1	0	207.9	0	296.6	0

En tanto que la operación hidráulica, evaluada en términos de la capacidad de regulación, se muestra en la siguiente tabla, donde en rojo se agrupan los vasos o diques con poca o nula capacidad de regulación (rojo). Capacidad media de regulación (amarillo) y regulación satisfactoria (verde).



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

Tabla VII.2.1.2. Porcentaje regulado.

ESTRUCTURA	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR500
	% regulado					
STA ELENA I	48.36	35.55	27.82	21.19	17.65	12.38
STA ELENA II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FLUOREX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CHARLY 1	9.91	7.27	5.68	4.32	3.56	2.50
CHARLY 2	5.24	3.81	2.92	2.19	1.81	1.26
KM28	23.58	17.30	13.51	10.38	8.55	6.06
L. PONIENTE	100	100	100	100	100	100
L.P. MADRID	100	100	100	100	100	100

En cuanto a los gastos pico y volúmenes escurridos en la zona de restitución lagunar, localizadas aguas arriba del bordo Miguel de la Madrid, se muestra el resumen de los periodos de retorno críticos para la operación de esta estructura de contención.

El detalle de la operación para tormentas con periodo de retorno de 100 y 500 años se resume en las siguientes tablas:

TR100

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	351.2	4372.8



TR500

ELEMENTO HIDROLOGICO	ÁREA (Km ²)	DESCARGA PICO (m ³ /S)	VOLUMEN (X1000 m ³)
Total	96.0039	534.1	6321.3

VII. CONCLUSIONES

VIII.1. GENERALES

Los resultados de la corrida hidrológica por subcuenca de aportación del sistema hidrológico de la Cuenca el Barreal proporcionan un instrumento técnico con gastos y volúmenes hidráulicos, a un nivel de detalle de fraccionamiento, es decir, con estos resultados es ya posible dimensionar si las obras de mitigación existentes cuentan con la capacidad suficiente para contener la avenida hidrológica para un periodo de retorno de 25 años con bordo libre a 100 años como lo marca la normativa de la ciudad. De igual manera, el cálculo hidrológico del presente estudio permitirá el diseñar a nivel de dimensionamiento, las estrategias de mitigación requeridas para garantizar la operación hidráulica apropiada de cada desarrollo en la zona urbanizada del Barreal. En este mismo tenor, la hidrología permite, en función de los volúmenes calculados, el anticipar las estrategias regionales de solución, tales como diques, vasos de almacenamiento y bordos de contención requeridos para garantizar que cada desarrollo urbano o habitacional esté haciendo un manejo hidráulico a las aportaciones de cuenca propia. En base al presente estudio se puede concluir de manera muy general, ya que el análisis a detalle de las estrategias globales y locales de solución corresponden al Entregable F, que se requiere la continuación del Bordo Miguel de La



Madrid Hurtado en dirección sureste, que es necesario garantizar que las aportaciones del sistema hidrológico de la Cuenca Jarudo no se incorporen al Barreal mediante diques, tajos y canalizaciones efectivas, de manera que los desarrollos existentes en la zona urbana sean capaces de manejar de manera exitosa sus escurrimientos por cuenta propia. Aun así, en la etapa de Análisis de Estrategias de Solución, se deberán validar y dimensionar estas alternativas de solución global, además de establecer las soluciones a nivel local de cada desarrollo.

VIII.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

1. El volumen total al Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (BMMH) es de 6,376.4 ($\times 1000$) m³ (Millones de m³) para un Periodo de Retorno (TR) de 500 años, operando los diques existentes en condiciones actuales utilizando la tormenta de diseño de la CONAGUA.
2. El volumen total al Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (BMMH) es de 6,321.3 ($\times 1000$) m³ (Millones de m³) para un Periodo de Retorno (TR) de 500 años, operando los diques existentes en condiciones actuales utilizando la tormenta de diseño de la solicitada por CENAPRED.
3. Aunque los volúmenes son muy similares, si hay diferencia en los gastos de diseño. Es decir, los gastos calculados en base a la tormenta validada por CENAPRED son mayores, reflejando el hecho de que la tormenta está de hecho sesgada hacia la izquierda, concentrando la mayor cantidad de lluvia en la primera hora de la tormenta.
4. La operación hidráulica de los diques y vasos muestra que solo las lagunas subsidiarias operan satisfactoriamente como reservorios. Los demás diques y vasos son incluso rebasados, hidráulicamente hablando, incluso para períodos de retorno de



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

5 años.