



**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”**

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



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

INDICE

I.	INTRODUCCION.....	3
II.	METODOLOGÍA DE MODELACIÓN.....	4
III.	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE SUBCUENCAS ...	20
IV.	CONCLUSIONES	48



I. INTRODUCCION

La modelación hidráulica es el elemento clave en la consecución del objetivo global del presente estudio: definición de las zonas inundables dentro del área de estudio. El resultado de la modelación matemática bidimensional consiste entonces en la generación de mapas de área inundable, también conocidos como mapas de peligrosidad, el cual ya es un concepto asociado a la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un evento hidrometeorológico. Es decir, no solo se calcula la extensión geoespacial de la zona de inundación, sino que además se asocia está a una probabilidad de excedencia o tiempo de retorno, por lo que la tormenta de diseño para un periodo de retorno determinado es un insumo fundamental en la fase de modelación hidráulica bidimensional.

En términos más técnicos, la zona de inundación está definida por los tirantes o profundidades de inundación correspondiente a tormentas o lluvias de diseño asociada a probabilidades de excedencia. El software o paquete computacional utilizado en este estudio es el IBER, cuya metodología basada en elementos de volumen, le permite simular regímenes de flujo turbulento, laminar o a superficie libre. Este software es un estándar en la modelación y se aplica en hidrodinámica fluvial, definición de zonas inundables, transporte de sedimentos y rotura de presas entre otros.

Para este caso se utilizó el modulo hidrodinámico, trabajando con una malla no estructurada de elementos de volumen finitos (no elementos finitos) conformada por elementos triangulares.

Matemáticamente este paquete resuelve las ecuaciones de St. Venant en 2 dimensiones, asumiendo distribución uniforme de velocidades y de presión hidrostática.

II. METODOLOGÍA DE MODELACIÓN

El proceso de modelación 2D consiste en la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) y el software iBER. El diagrama de flujo (Figura II.1) muestra las etapas que metodológicamente se siguen en estudios de modelación hidráulica.

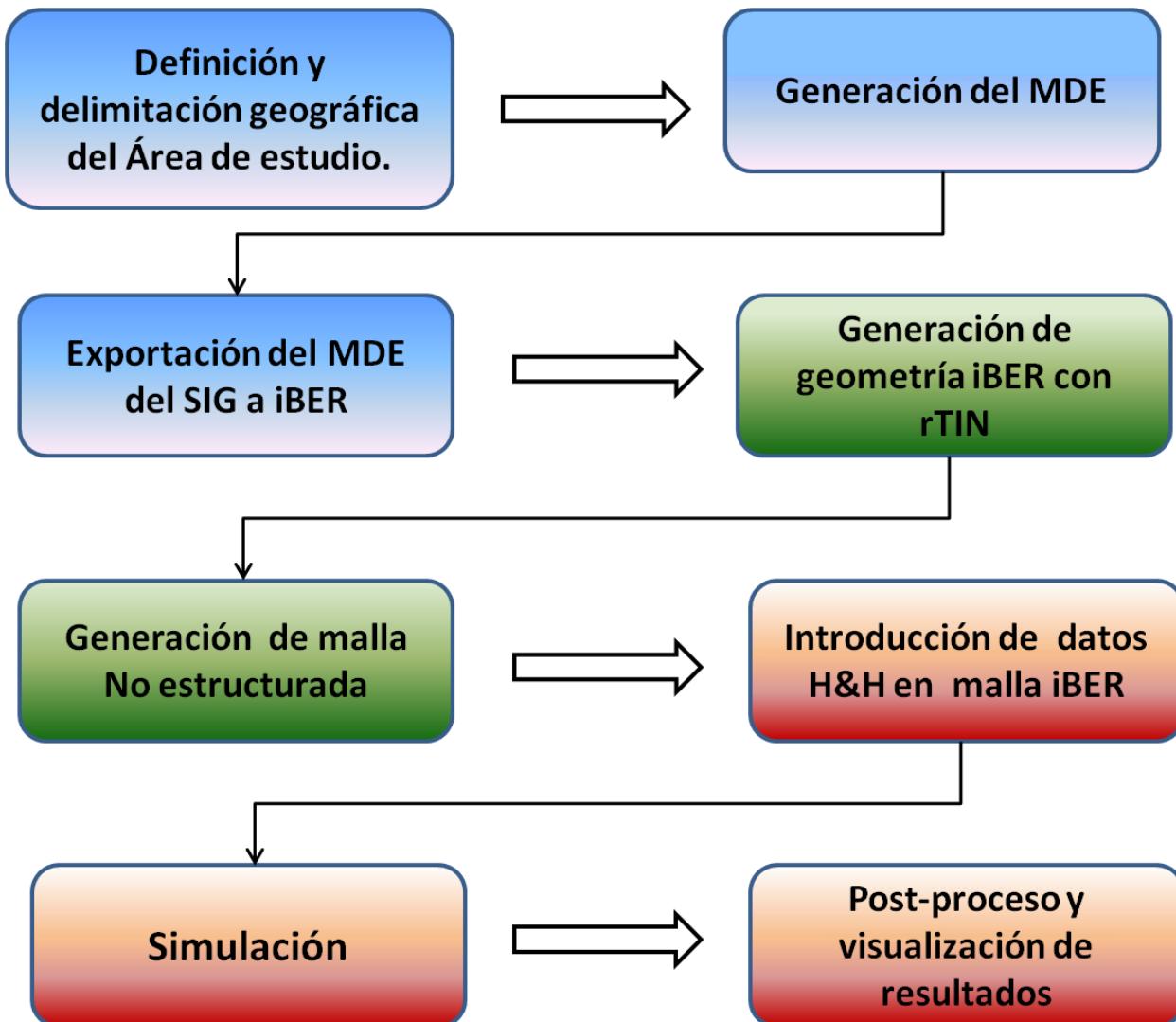


Figura II.1 Diagrama de flujo del procesamiento y resultados.

i. Definición del Área de Estudio

En la plataforma de SIG, se delimita el área de estudio para dar lugar a la generación del modelo Digital de Elevación (MDE) con datos topográficos. En este estudio el área de estudio es un polígono de 100 Km² que cubre la zona urbanizada de la cuenca del Barreal (Figura II.i.1).

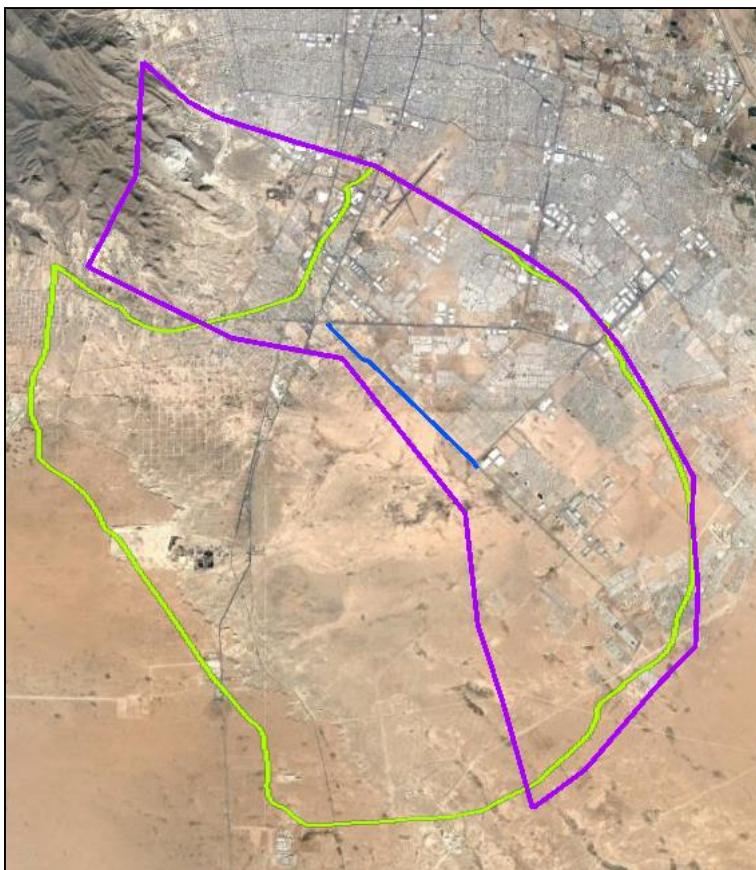


Figura II.i.1 Polígono de estudio.

Esta cobertura deja fuera del presente estudio un área de aproximadamente 95 Km² de la porción este de la cuenca. La razón de esta exclusión es que el presente estudio está enfocado a evaluar la peligrosidad hidrológica en la zona urbana, además de que en el 2016 se realizó un estudio de la parte este del barreal para calcular el volumen escurrió y tirantes de inundación con el objetivo de presentar un diseño geométrico para la sobre-elevación del Bordo Miguel de la Madrid Hurtado para un periodo de retorno de 100 años con bordo libre a 500 años. Este estudio fue solicitado por el CENAPRED en el 2016 al municipio de Ciudad Juárez y los resultados se entregaron a CENAPRED en Marzo del



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

2017. Es decir, ya existía una cobertura de casi 100 km² modelados, incluyendo el bordo MMH. Por lo que se decidió en conjunto con CENAPRED acotar el presente estudio a solo la parte urbanizada de la cuenca.

ii. Generación del DEM

Aun y cuando el área de estudio era de solo 100 km² conforme a los Términos de Referencia, se generó de un DEM híbrido de 200 km², con tamaño de celda de 1mx 1m y resolución vertical menor a los 20 cm. El CENAPRED solicito esta adecuación metodológica con el objetivo de generar un DEM más resolutivo. Este producto se utilizó tanto para la modelación hidrológica como hidráulica, y consiste de datos actualizados 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 la zona no urbana o sin cambio en el desarrollo urbano (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 localizada 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.

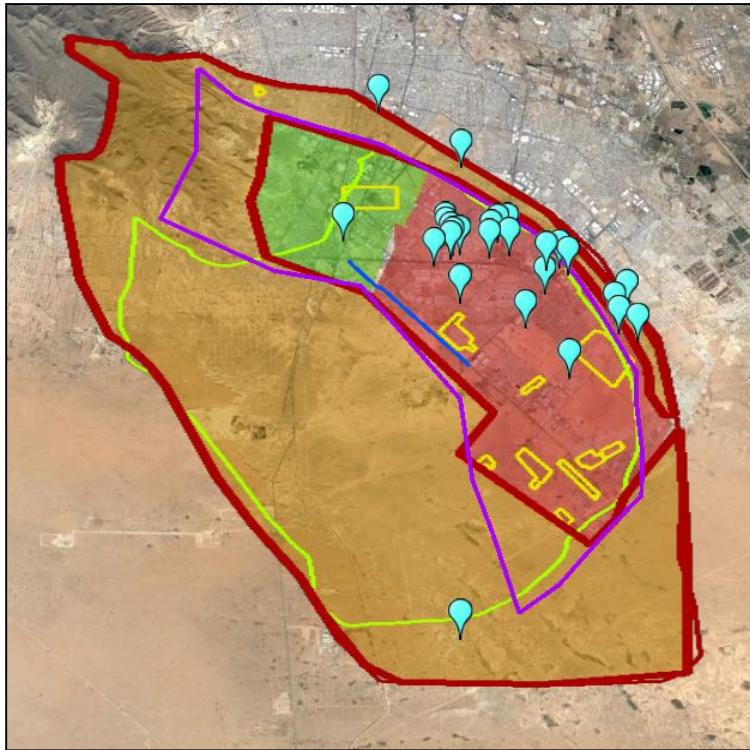


Figura III.1.4. Generación del DEM. El polígono sombreado marrón representa el área cubierta con LIDAR 2008, el púrpura el área de estudio, el verde al área actualizada con topografía con GPS doble frecuencia y el polígono rojo el área actualizada con fotogrametría 2017.

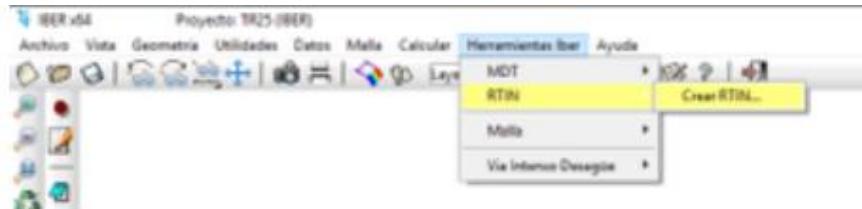
iii. DEM a iBER

El DEM se exporta en formato ASCII por medio de herramientas SIG. Posteriormente, ya en IBER se lee el DEM en formato ASCII para proceder a la fase de generación de la geometría o malla de volúmenes finitos.

iv. Generación de geometría con RTIN

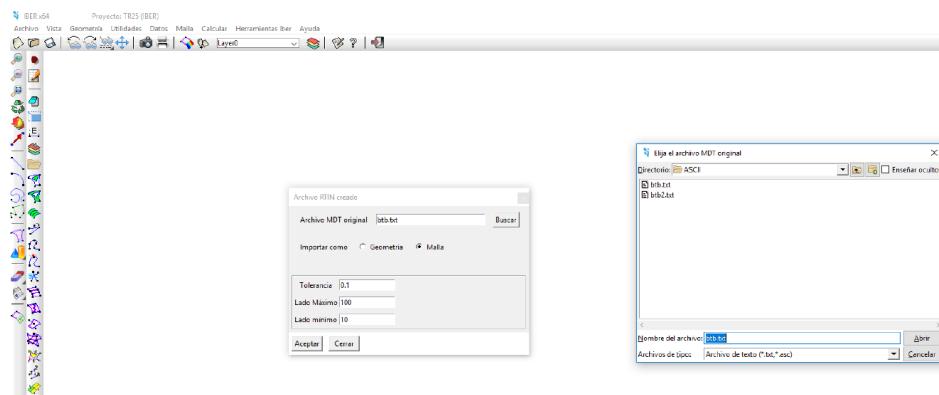
Dada la alta densidad de información (200 millones de celdas), se procedió a generar la geometría de las componentes espaciales X y Y utilizando la herramienta RTIN que determina el tamaño de los elementos de modelo en función de los cambios de pendiente observados en el terreno. Este método de aproximación cordal observa los gradientes topográficos en el terreno y aproxima a este linealmente restringiéndose a los límites de tamaño y error que el usuario imponga. Este método permite optimizar el mallado ya que

genera elementos de mayor tamaño en grandes planicies, como es el caso de El Barreal en su parte lagunar no urbanizada.

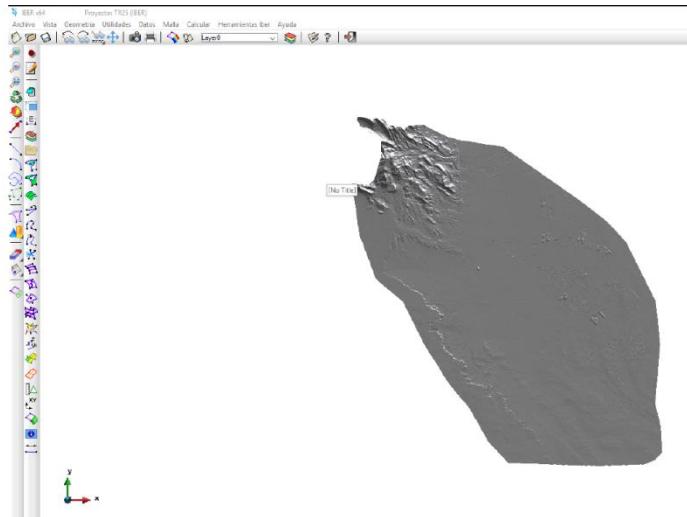


v. Generación de malla no estructurada

Una vez que el arreglo geoespacial XY fue generado, se procedió a asignar elevaciones a cada elemento o celda a partir de los valores del DEM. De esta manera se generaron los elementos de volumen triangular para la modelación hidráulica.



El paso anterior puede tardar minutos e incluso horas (llegando en casos a días), pero al final se debe de observar una malla con la elevación impactada en ella siendo esta entonces la geometría de trabajo.



vi. Introducción de datos H&H

En esta etapa se introducen los datos hidrológicos e hidráulicos. Hidrológicamente, los parámetros a ingresar son Hidrogramas, Hietogramas y modelos de pérdidas. En este caso se aplicó el modelo de lluvia de la lluvia de diseño adoptada en el estudio hidrológico. La conversión Precipitación-Intensidad (Tabla I) muestra la conversión de mm a mm/hora para un evento asociado a un determinado periodo de retorno de la lluvia de diseño.



Tabla I. Tabla de conversión.

TIEMPO T	PRECIPITACION P Milímetros acumulados en el tiempo de columna tiempo	T_HORAS TH Tiempo en Horas	T_segundos TS Tiempo en Segundos $TS=(TH)*3600$	DELTA DE TIEMPO DT Incremento de tiempo en horas $DT=(DTN)-(DTN-1)$	Intensidad I Intensidad en milímetros por hora
0 minutos	0	0	0	0	
5 minutos	22.43	0.083333333	300	0.083333333	269.16
15 minutos	44.87	0.25	900	0.166666667	269.22
1 hora	56.09	1	3600	0.75	74.78666667
2 horas	65.06	2	7200	1	65.06
3 horas	70.67	3	10800	1	70.67
6 horas	83.01	6	21600	3	27.67
12 horas	96.47	12	43200	6	16.07833333
24 horas	112.17	24	86400	12	9.3475

En este modelo se usó una lluvia más extrema la cual es una distribución Lognormal, el cual el 50% de la precipitación cae en la primera hora y el resto distribuida en las siguientes 23 horas.

Los hietogramas específicos para cada corrida hidráulica (Figuras X a Y) muestran el formato requerido por el paquete computacional IBER para llevar a cabo las modelaciones correspondientes a cada periodo de retorno (TR2, TR5, TR10, TR20, TR25, TR50, TR100, TR250 y TR500). El eje de las abscisas representa el periodo de tiempo en segundos y el eje de las ordenadas la intensidad en mm/hora. Los gráficos muestran también, la lluvia distribuida en 24 horas, a la cual le corresponde un total de 86401 segundos y la cantidad de mm por hora para cada probabilidad de excedencia o periodo de retorno.

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

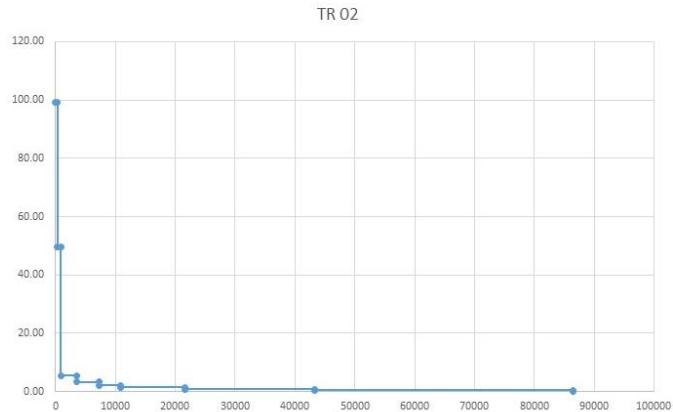


Figura vi.1 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 2 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)



Figura vi.2 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 5 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

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

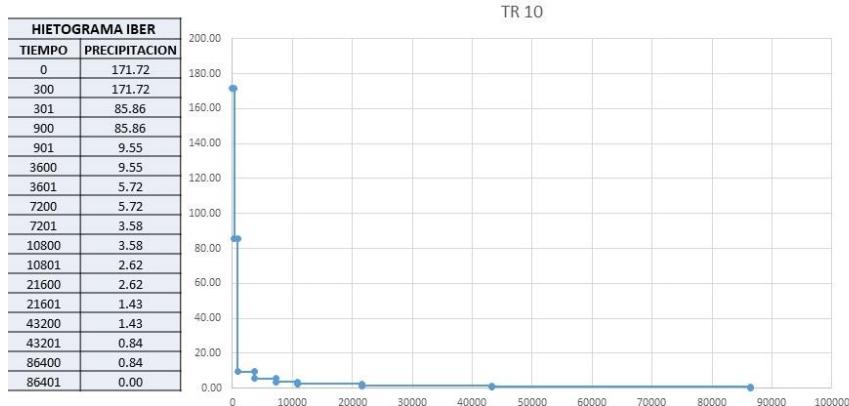


Figura vi.3 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 5 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

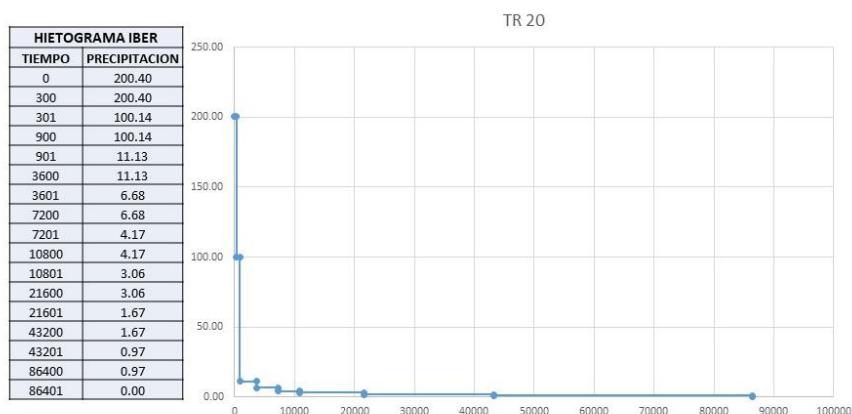


Figura vi.4 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 10 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

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

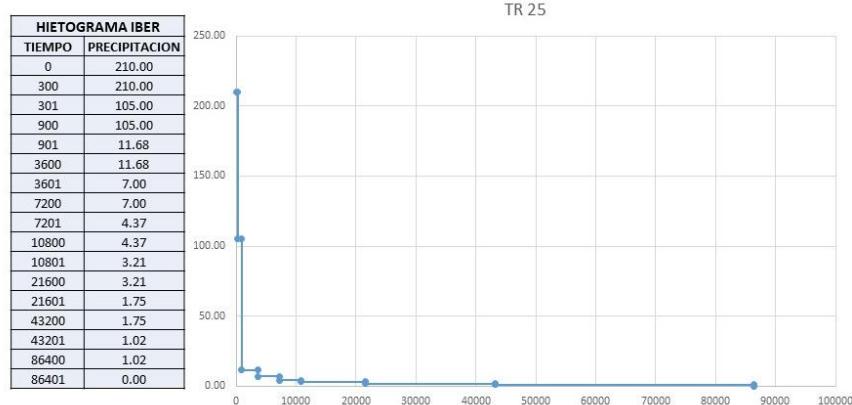


Figura vi.5 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 25 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)



Figura vi.6 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 50 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

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

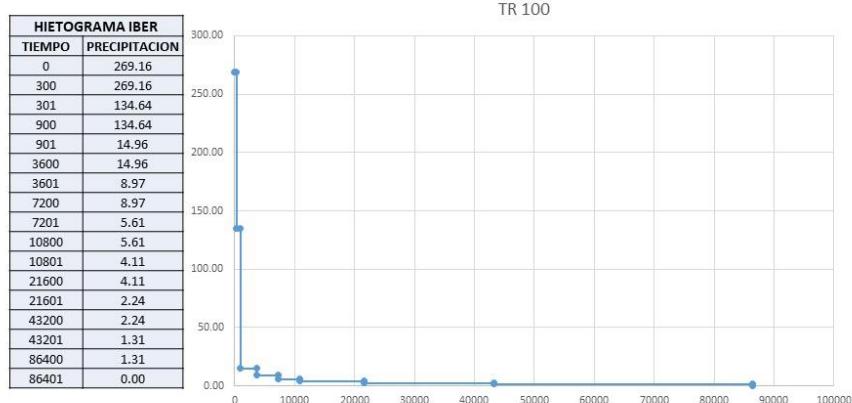


Figura vi.7 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 100 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

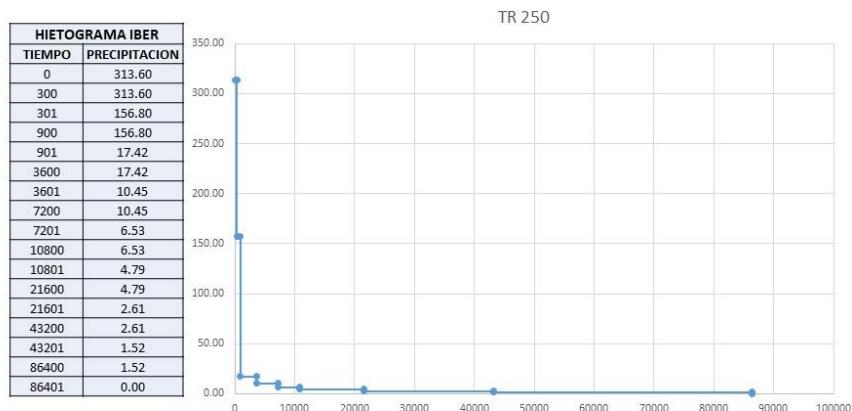


Figura vi.8 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 250 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

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



Figura vi.9 Hietograma y distribución de lluvia para 24 horas correspondiente al periodo de retorno de 500 años. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

El acceso de los datos a iber (Figura vi.10) muestra cómo se introduce el hietograma a al software para llevar a cabo la modelación.

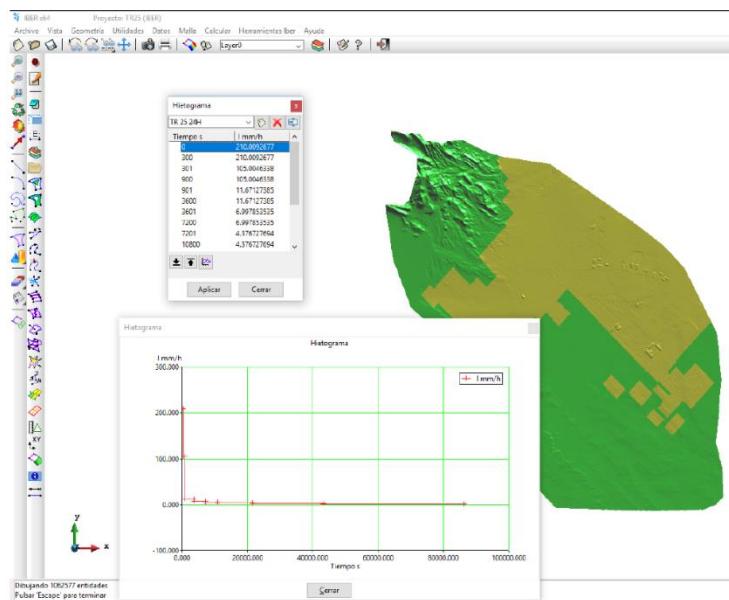
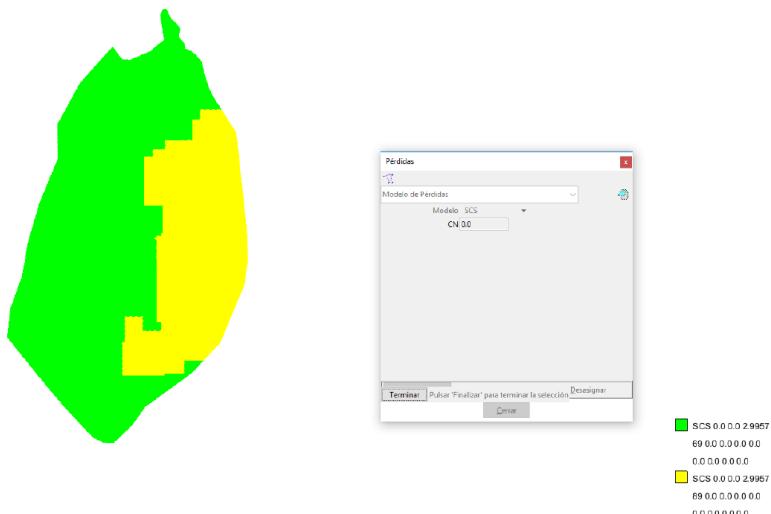


Figura vi.9 Ingreso del hietograma a IBER. (El tiempo (eje de las abscisas) en segundos, y la intensidad (eje de las ordenadas) en mm/hora)

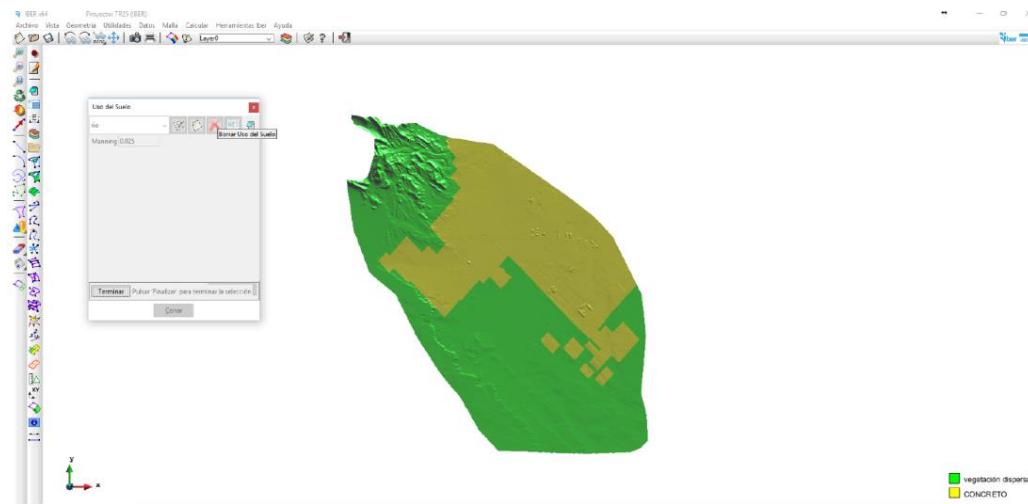
“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

El modelo de pérdidas de este estudio está basado en el método del número de curva, el cual asigna un valor en función de la condición hidrológica de la cuenca a modelar. En este caso se aplicó número de curva 69 para zona no urbana y 89 para la zona urbana.



En cuanto a la hidráulica se asignaron las condiciones de rugosidad o número de Manning para las zonas a estudiar; para la zona urbana se aplicó concreto y para la zona no urbana vegetación dispersa.

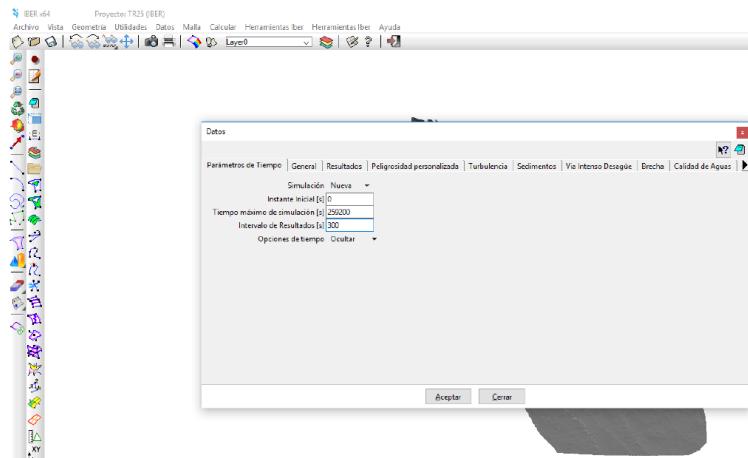
“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”



vii. Simulación

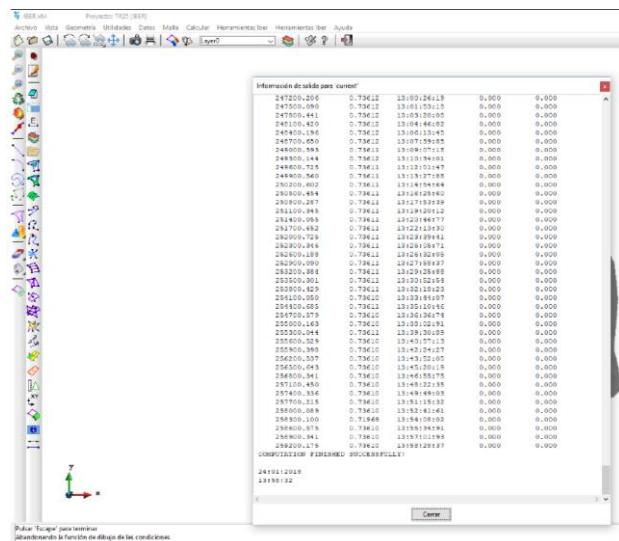
En esta etapa se introdujo la secuencia temporal o control del proceso de simulación. En este estudio se aplicó un tamaño de paso de 300 s con una duración en tiempo máquina de 622 000 segundos. Es decir, 3 días de simulación con intervalos de cálculo cada 5 min. Este tiempo permite ver la relajación hidrológica de la cuenca.

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



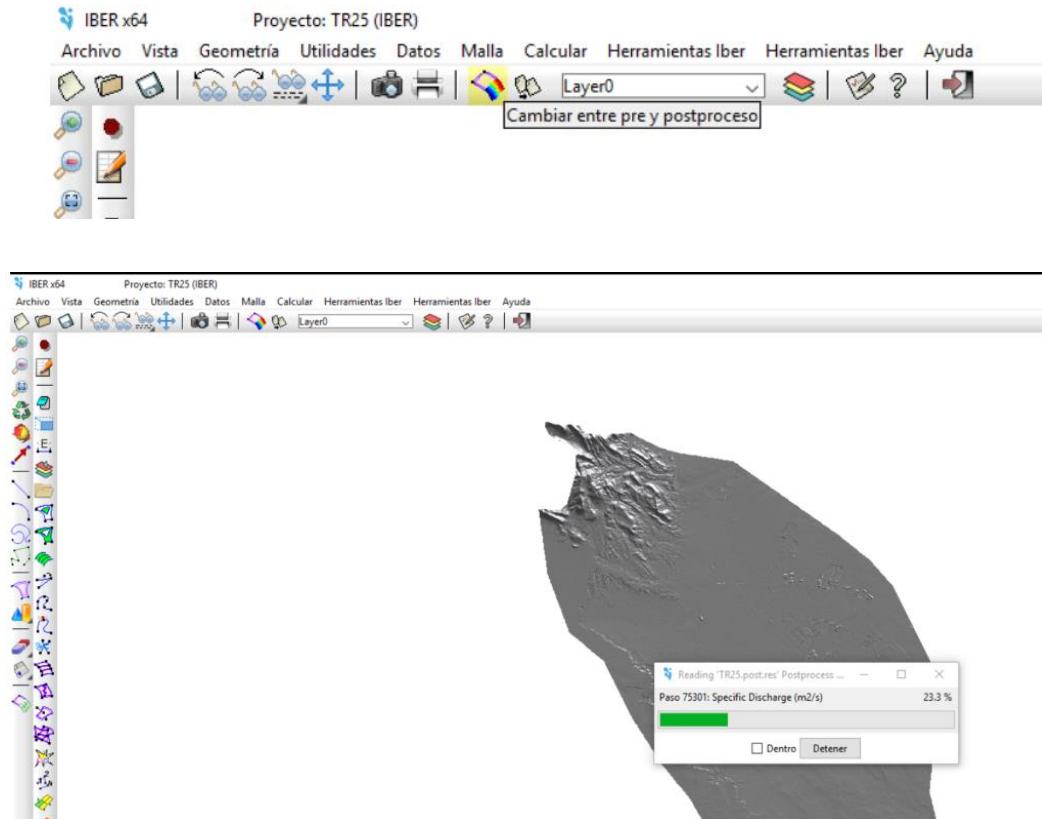
viii. Post-Proceso y visualización.

La corrida concluye una vez realizados todos los pasos o intervalos de modelación.

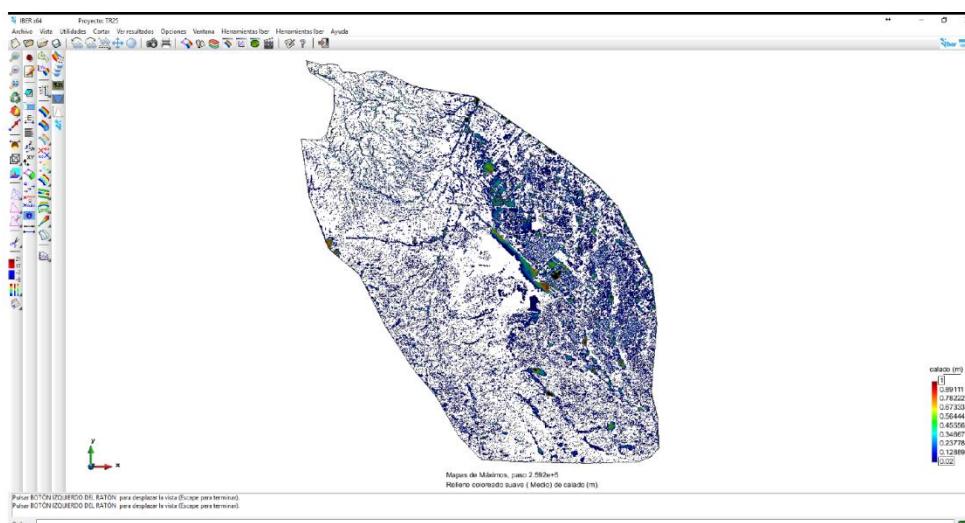


“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

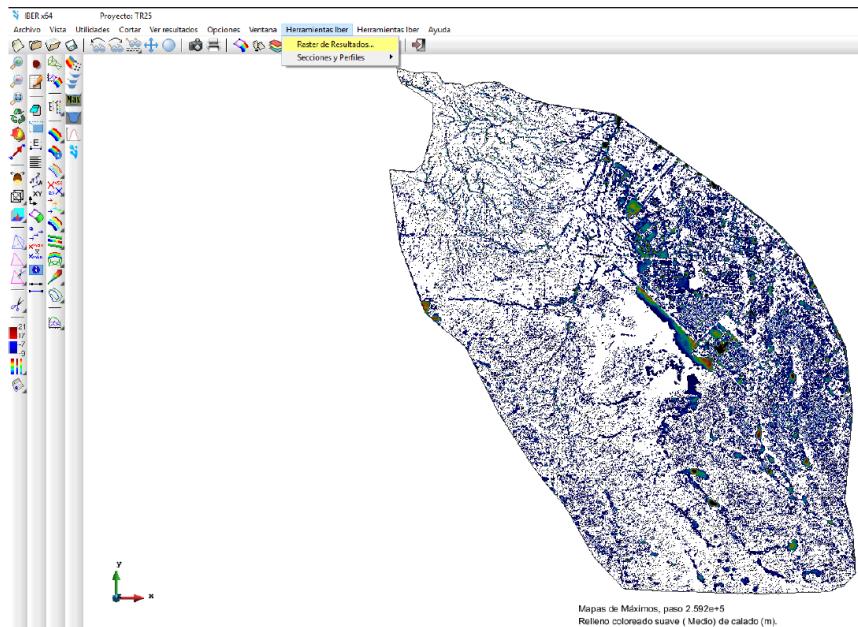
Se procede a analizar los resultados en la parte de Post proceso.



Se analiza la información del modelo resultante.



Se exportan los resultados para poderlos gestionar en diversos softwares de información geográfica.



III. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE SUBCUENCAS

El análisis hidráulico del volumen total se calculó para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500. Posteriormente se re proyectaron a Lambert Cónica Conformal (LCC) y se clasificaron conforme al esquema de colores proporcionado por el CENAPRED:

Los resultados de este análisis muestran los tirantes máximos, velocidades máximas y severidad correspondientes a la peligrosidad asociada con cada periodo de retorno.

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

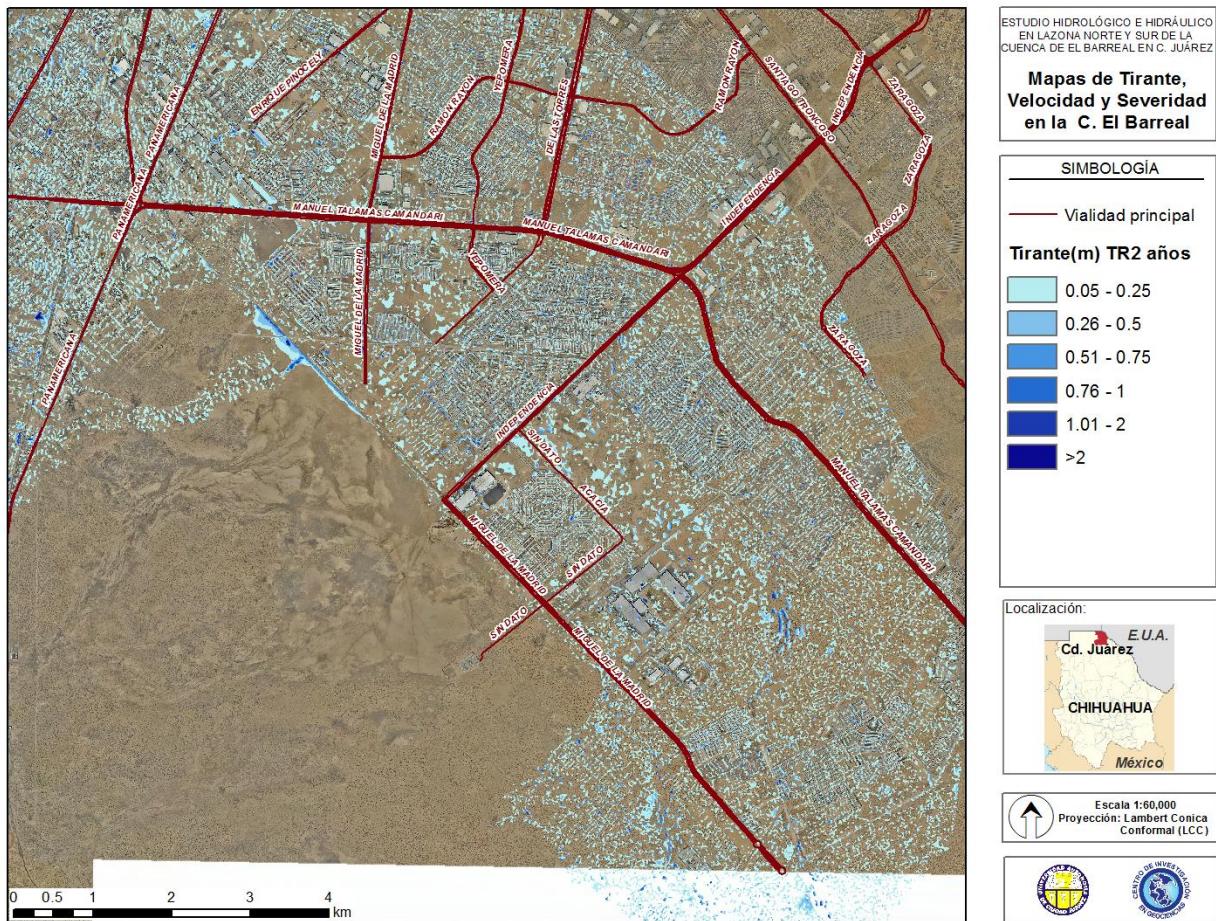


Figura III.1.1. Tirante a TR de 2 años.

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

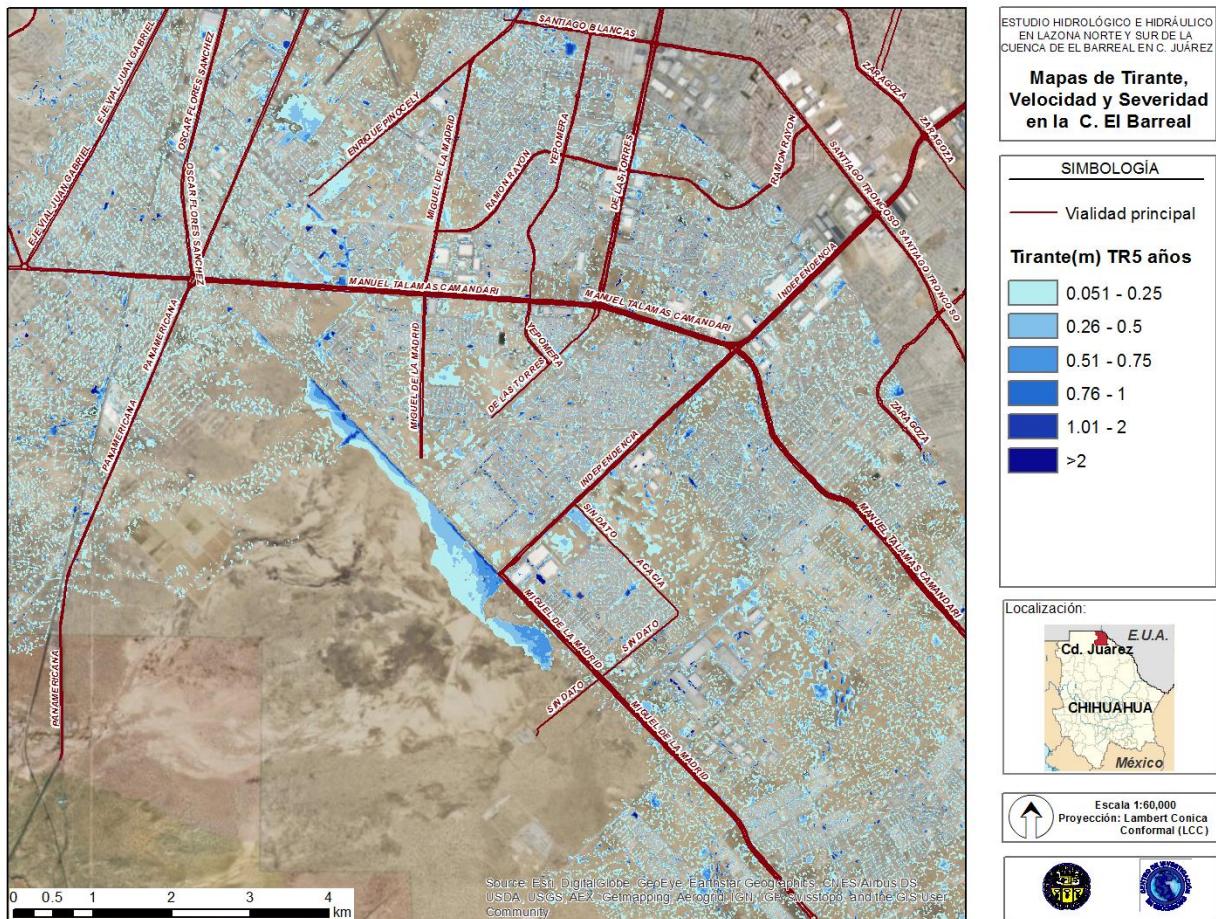


Figura III.1.2. Tirante a TR de 5 años.

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

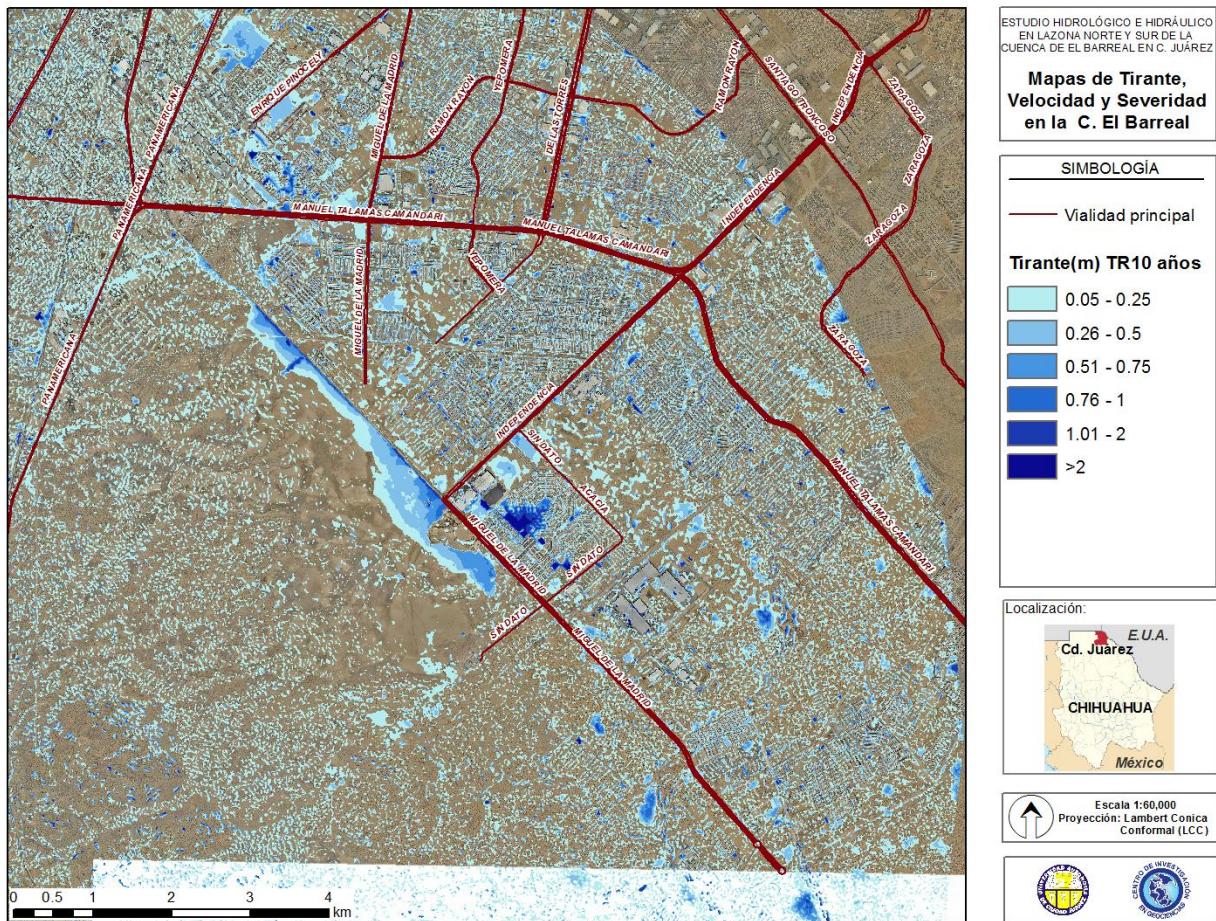


Figura III.1.3. Tirante a TR de 10 años.

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

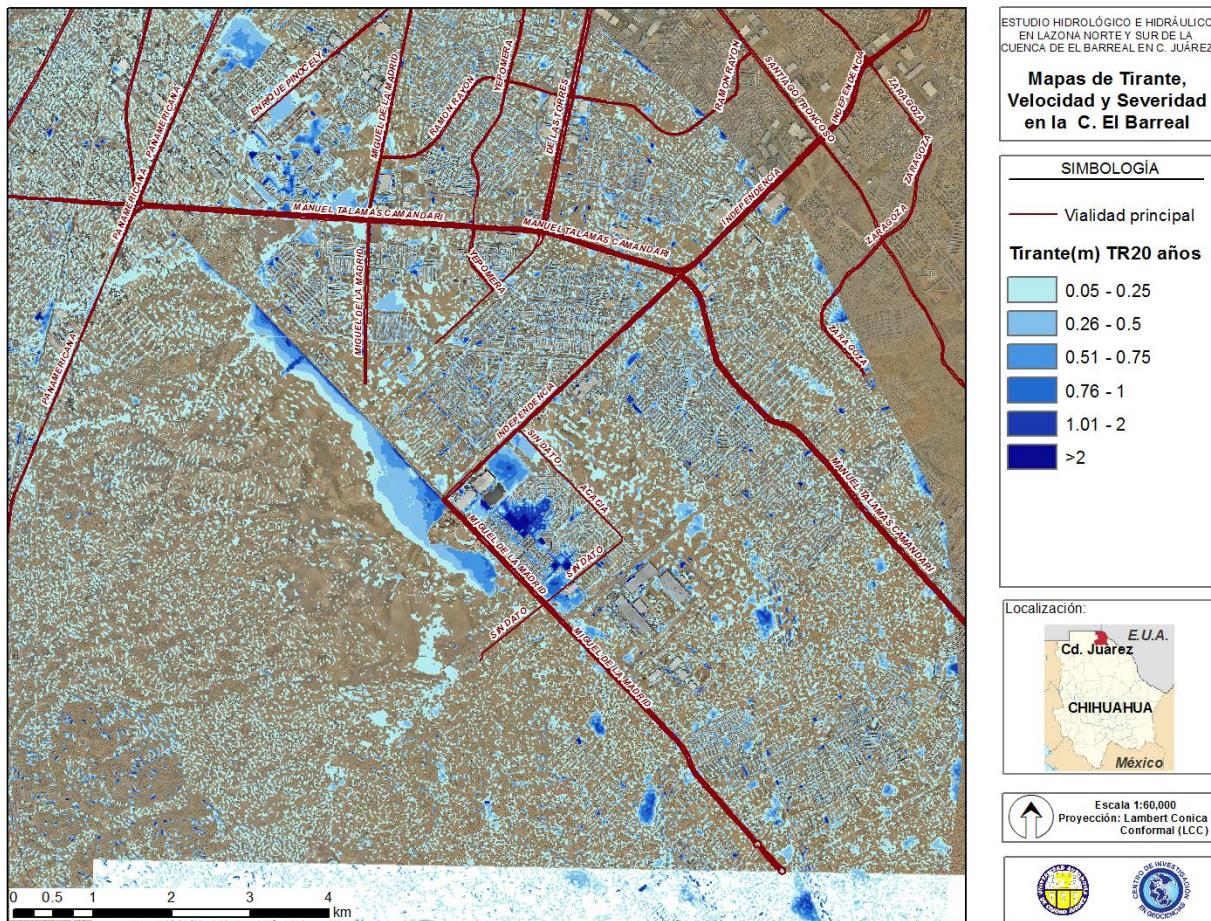


Figura III.1.4. Tirante a TR de 20 años.

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

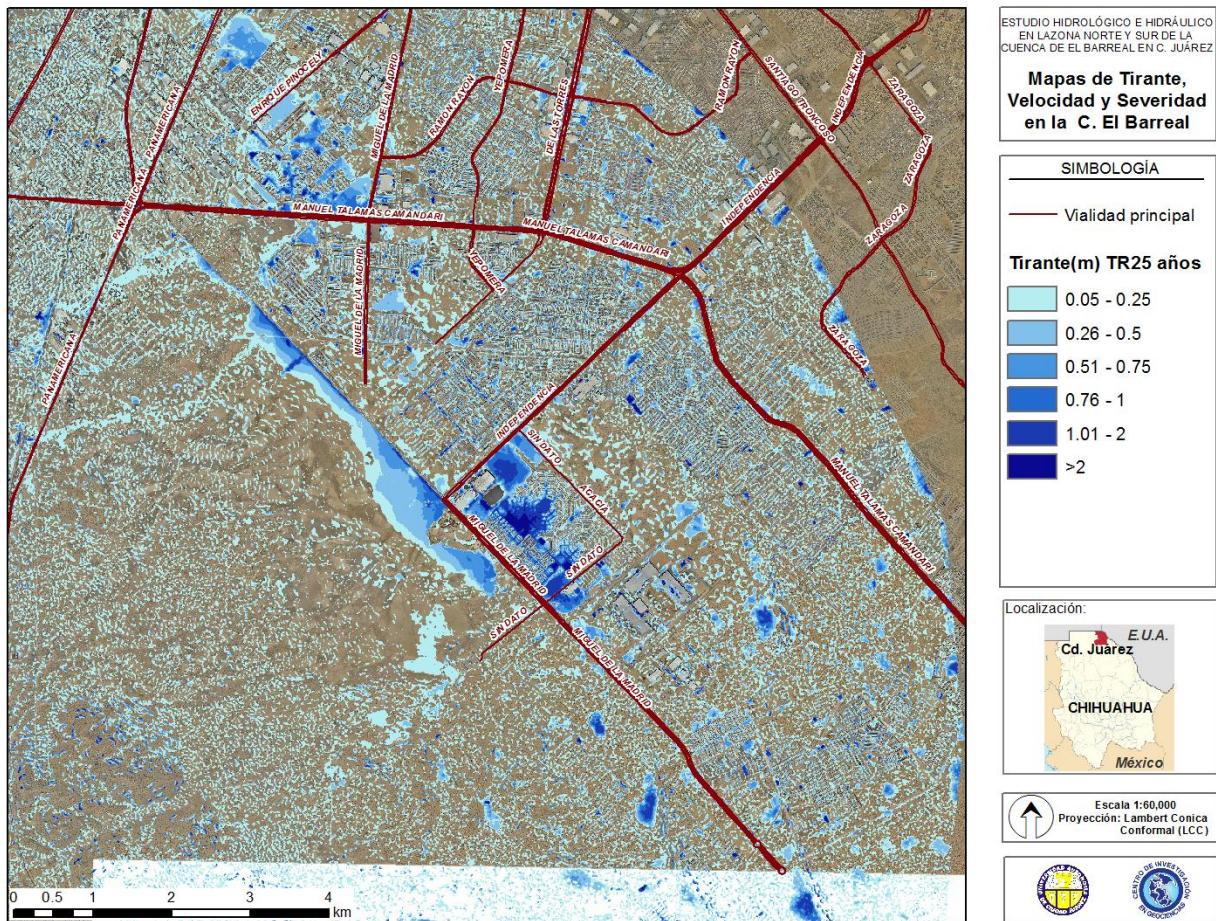


Figura III.1.4. Tirante a TR de 25 años.

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

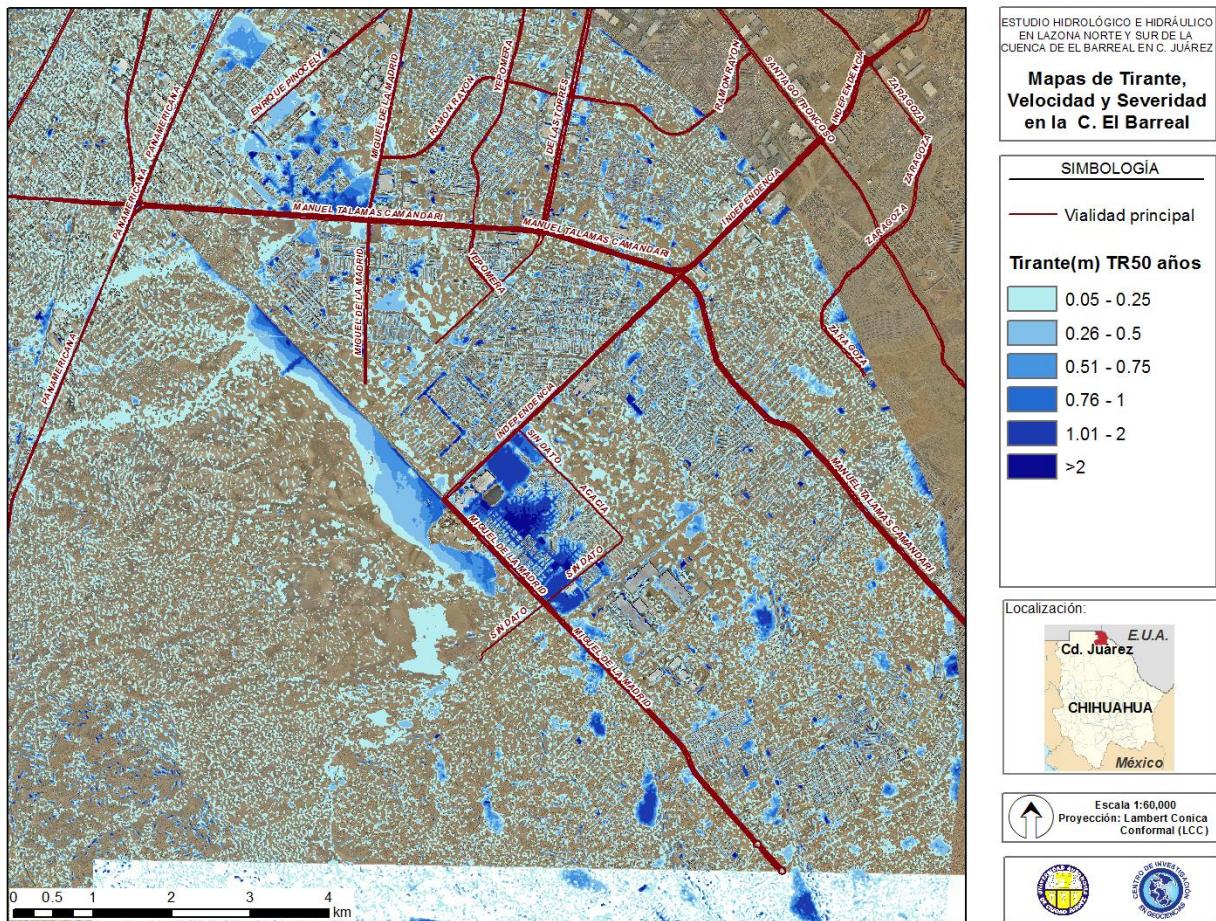


Figura III.1.5. Tirante a TR de 50 años.

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

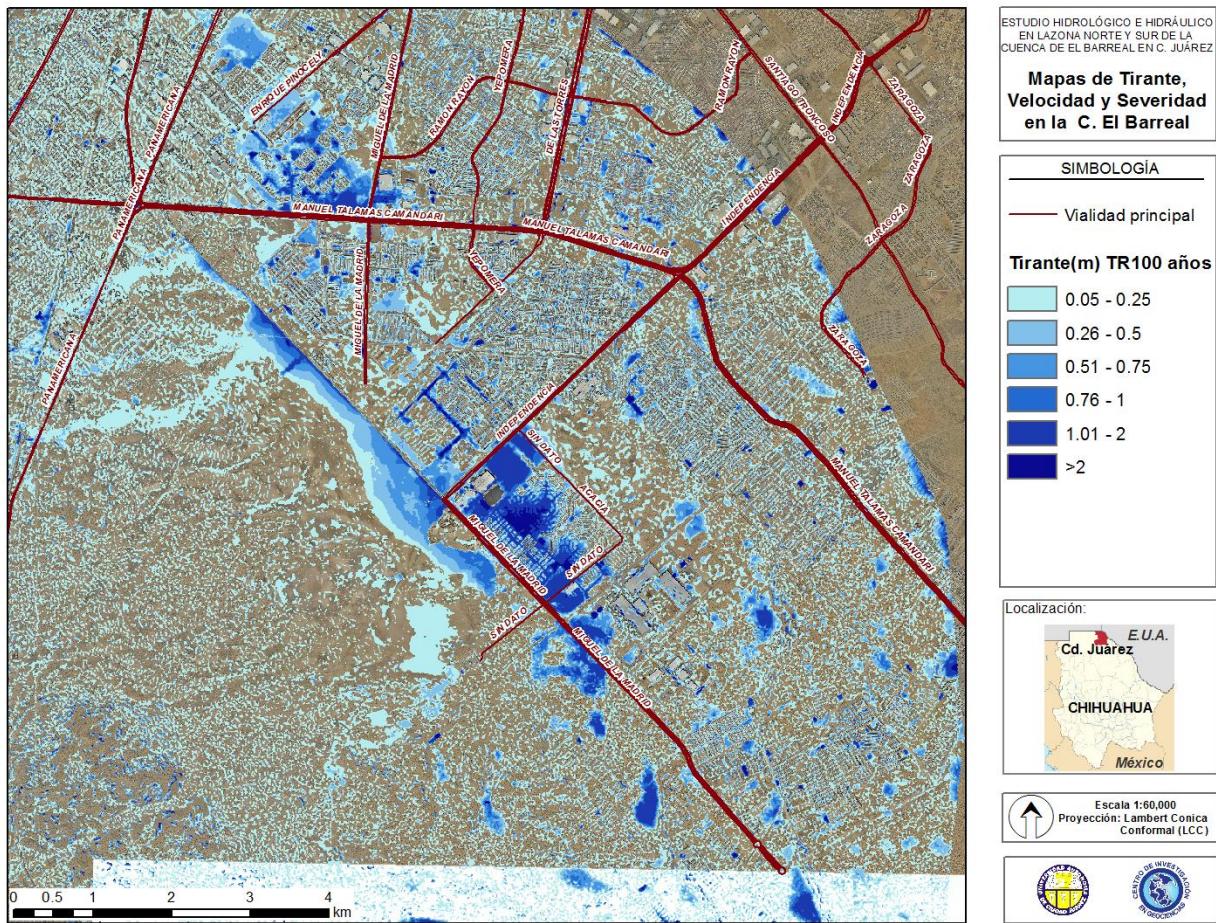


Figura III.1.6. Tirante a TR de 100 años.

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

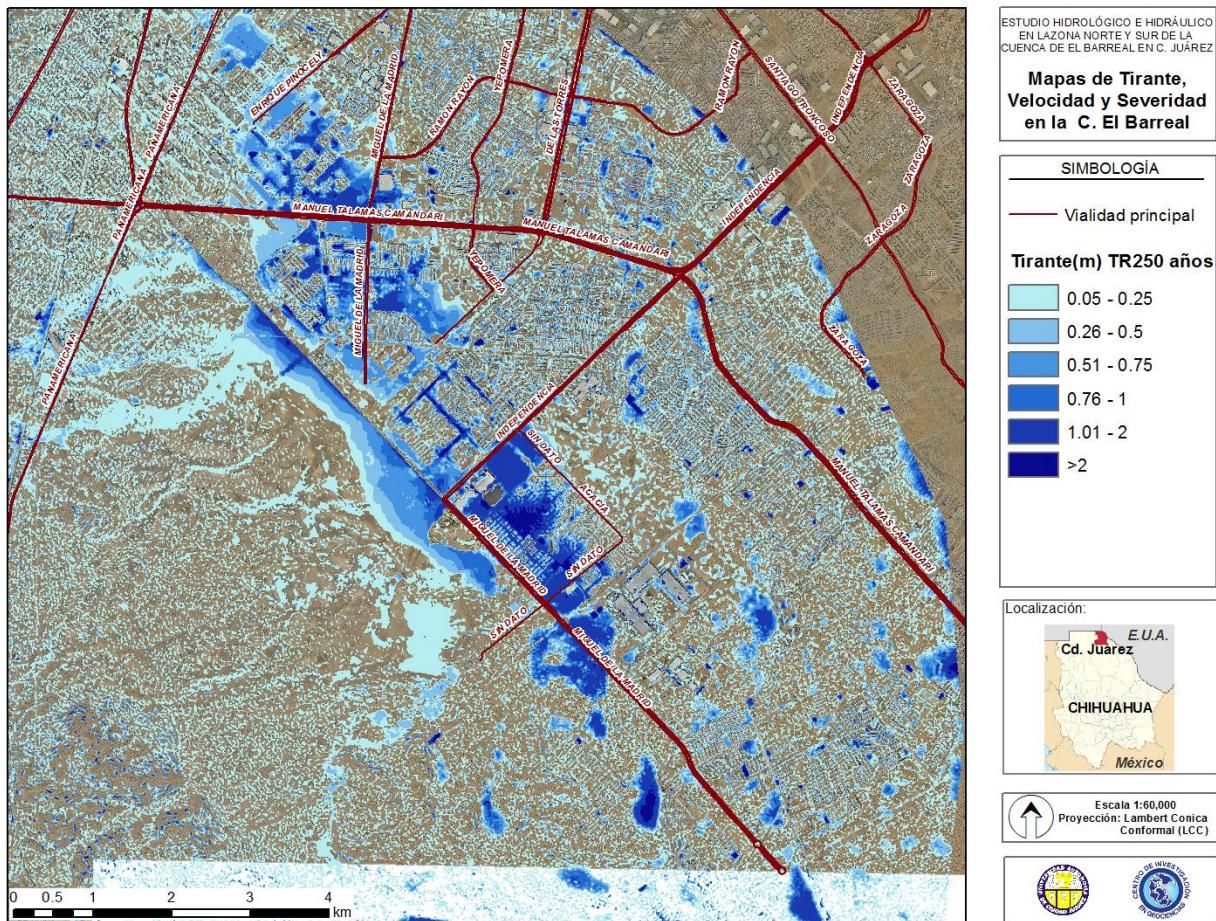


Figura III.1.7. Tirante a TR de 250 años.

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

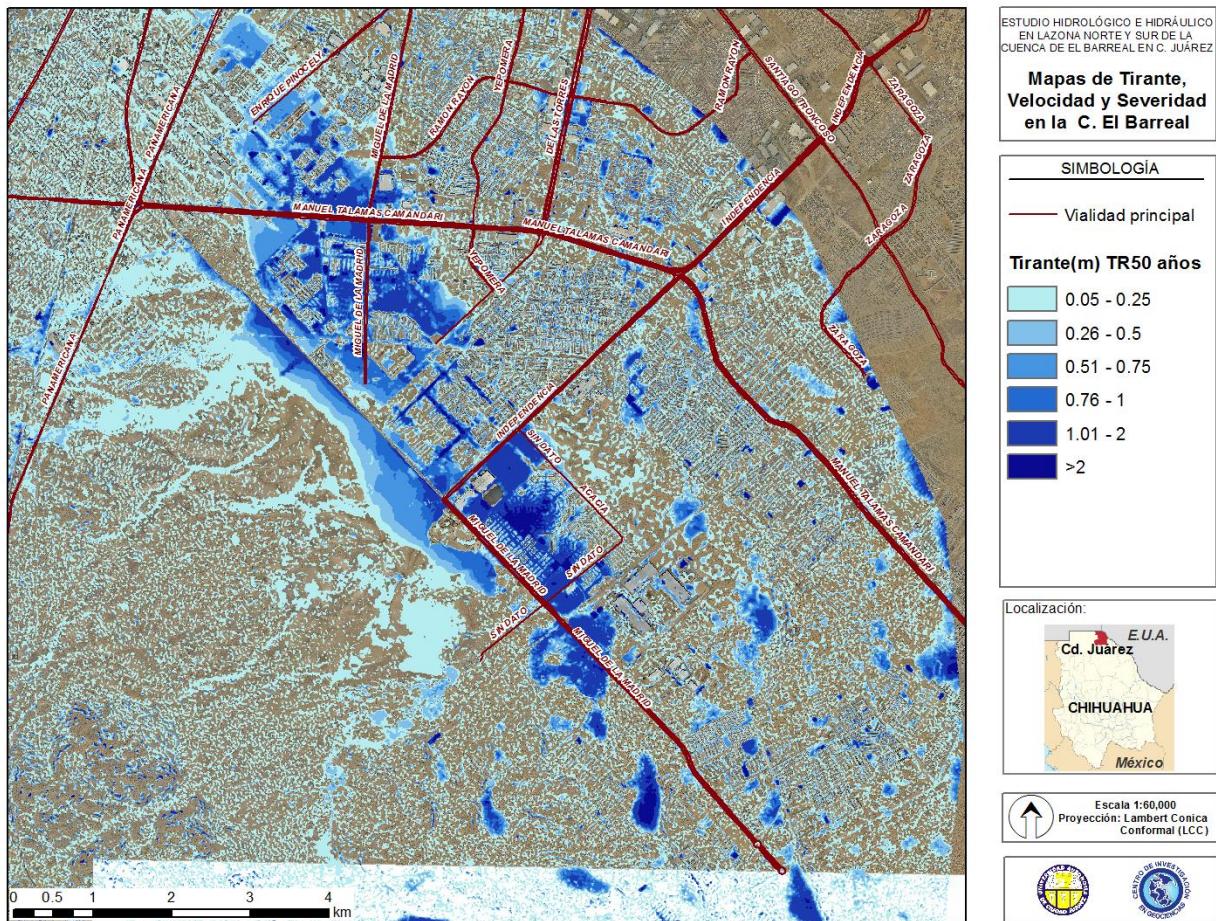


Figura III.1.7. Tirante a TR de 500 años.

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

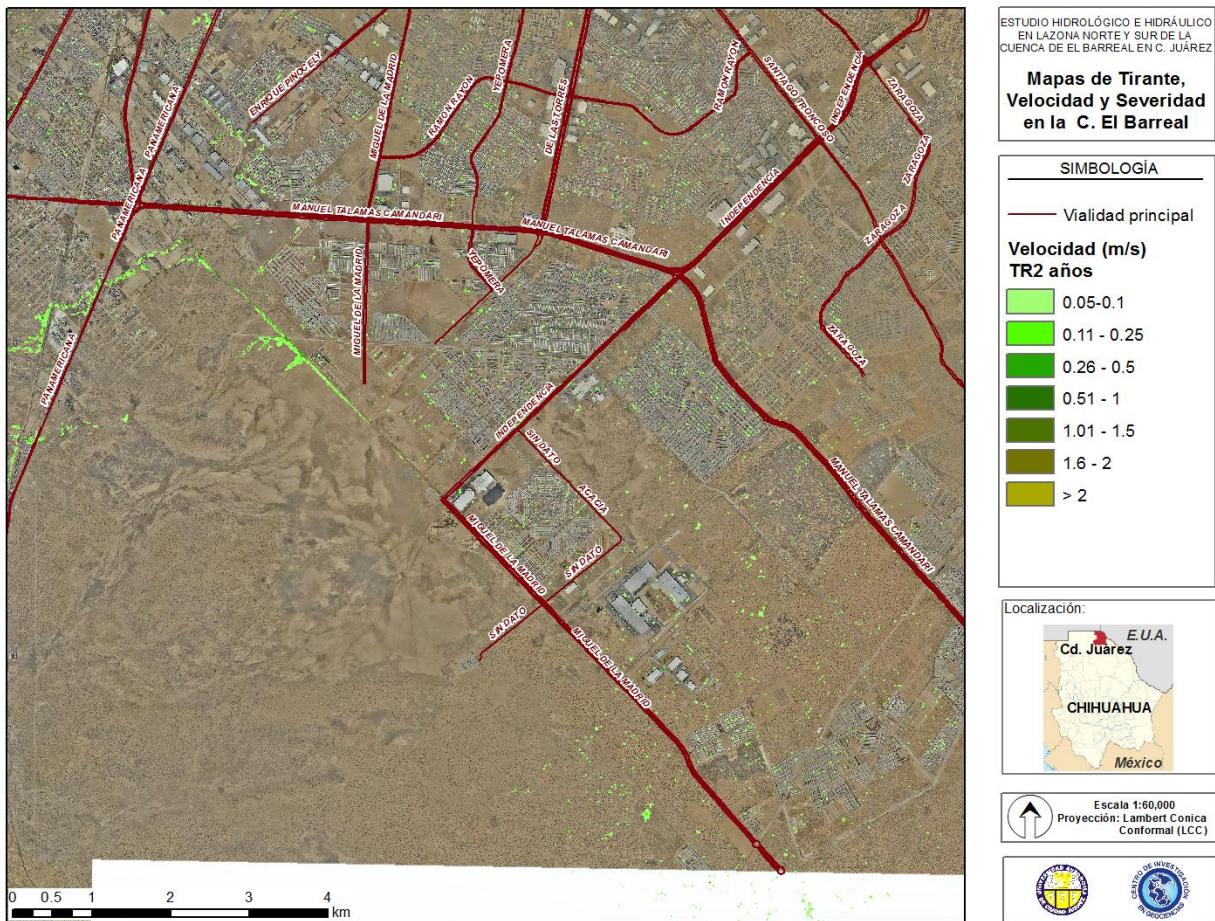


Figura III.1.8. Velocidad máxima a TR de 2 años.

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

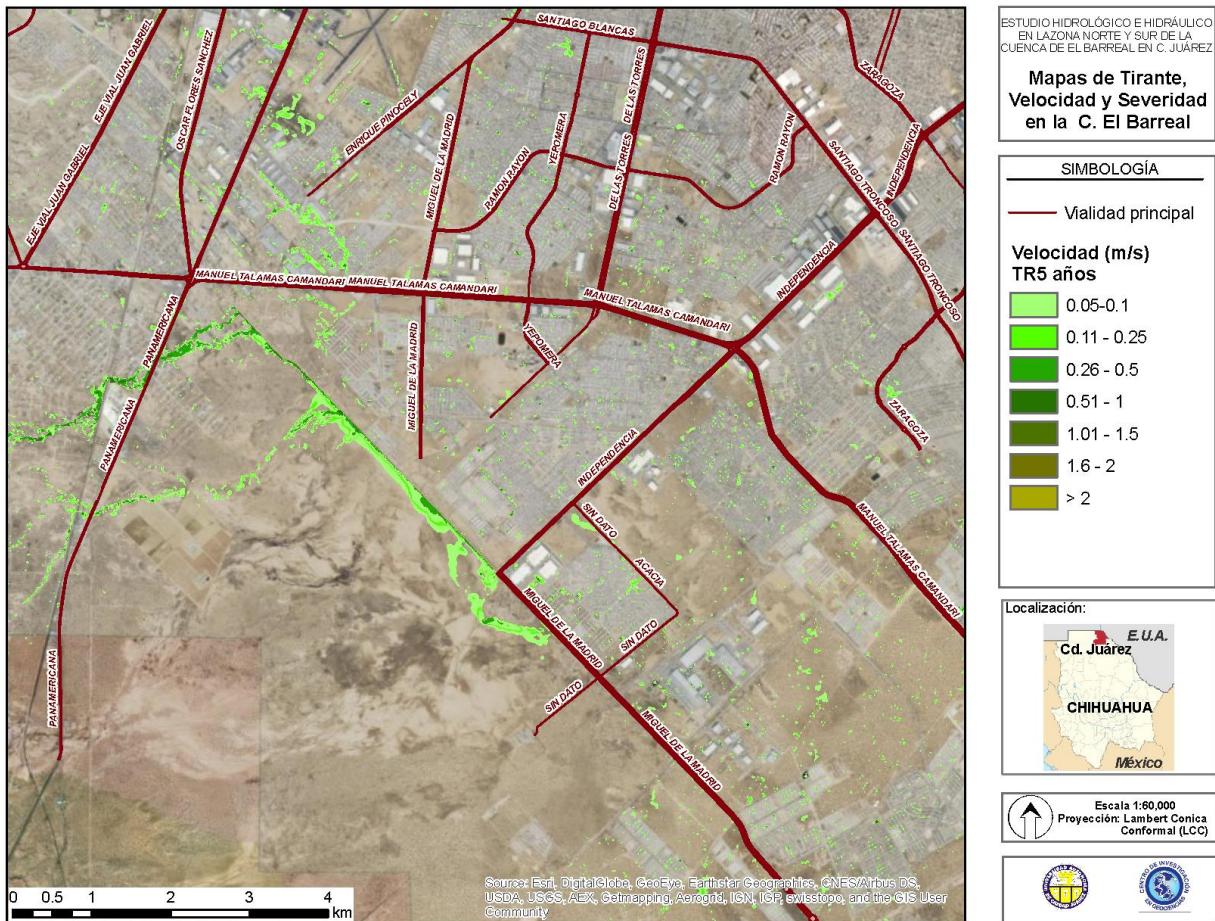


Figura III.1.9. Velocidad máxima a TR de 5 años.

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

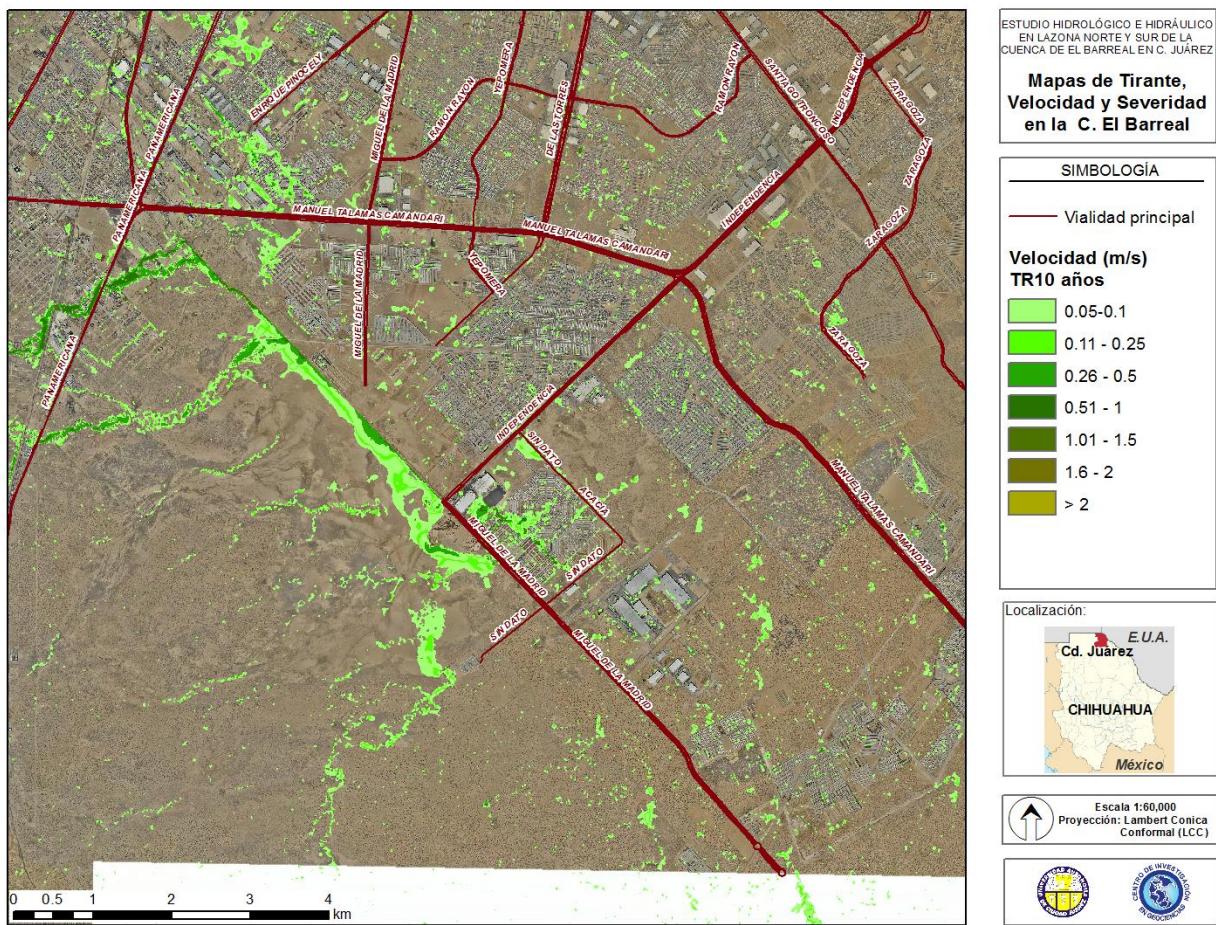


Figura III.1.10. Velocidad máxima a TR de 10 años.

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

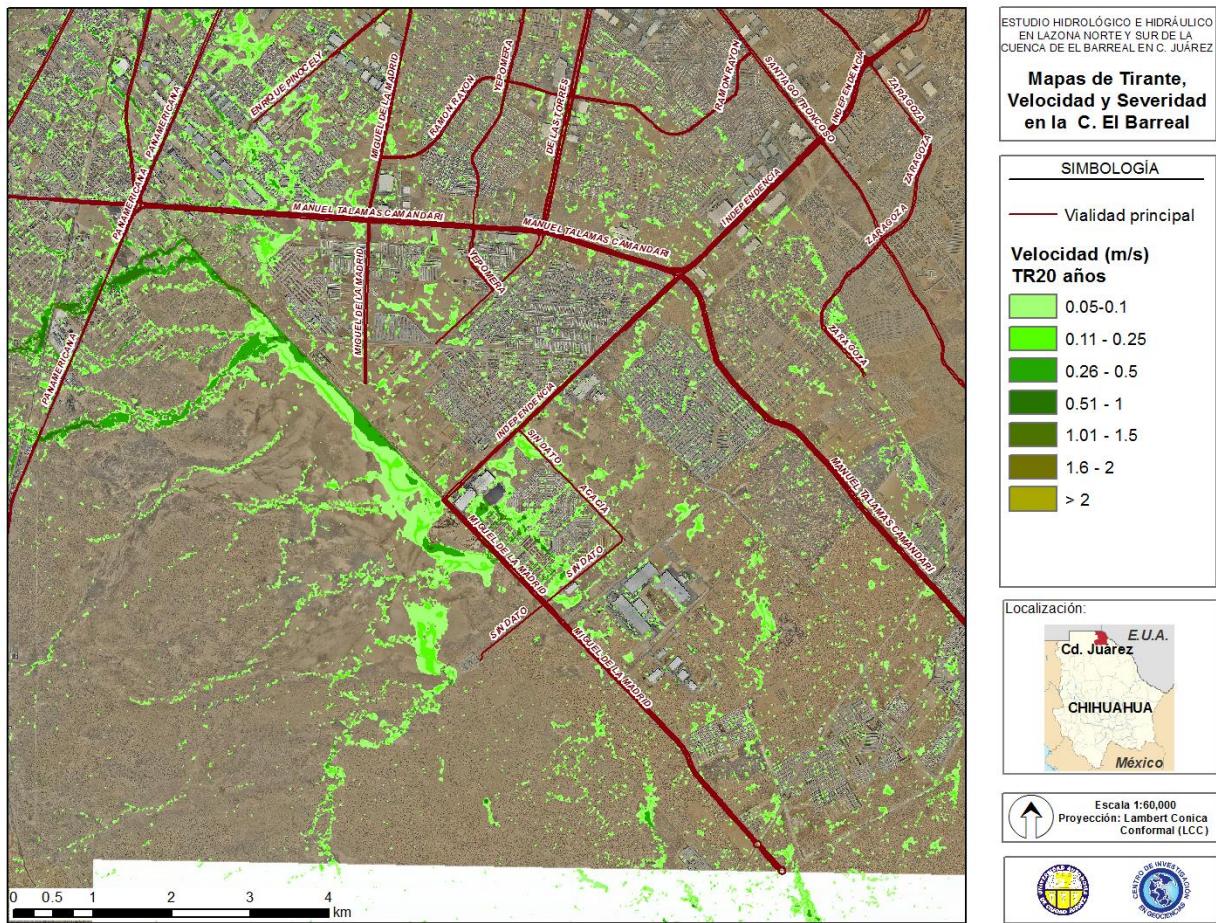


Figura III.1.11. Velocidad máxima a TR de 20 años.

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

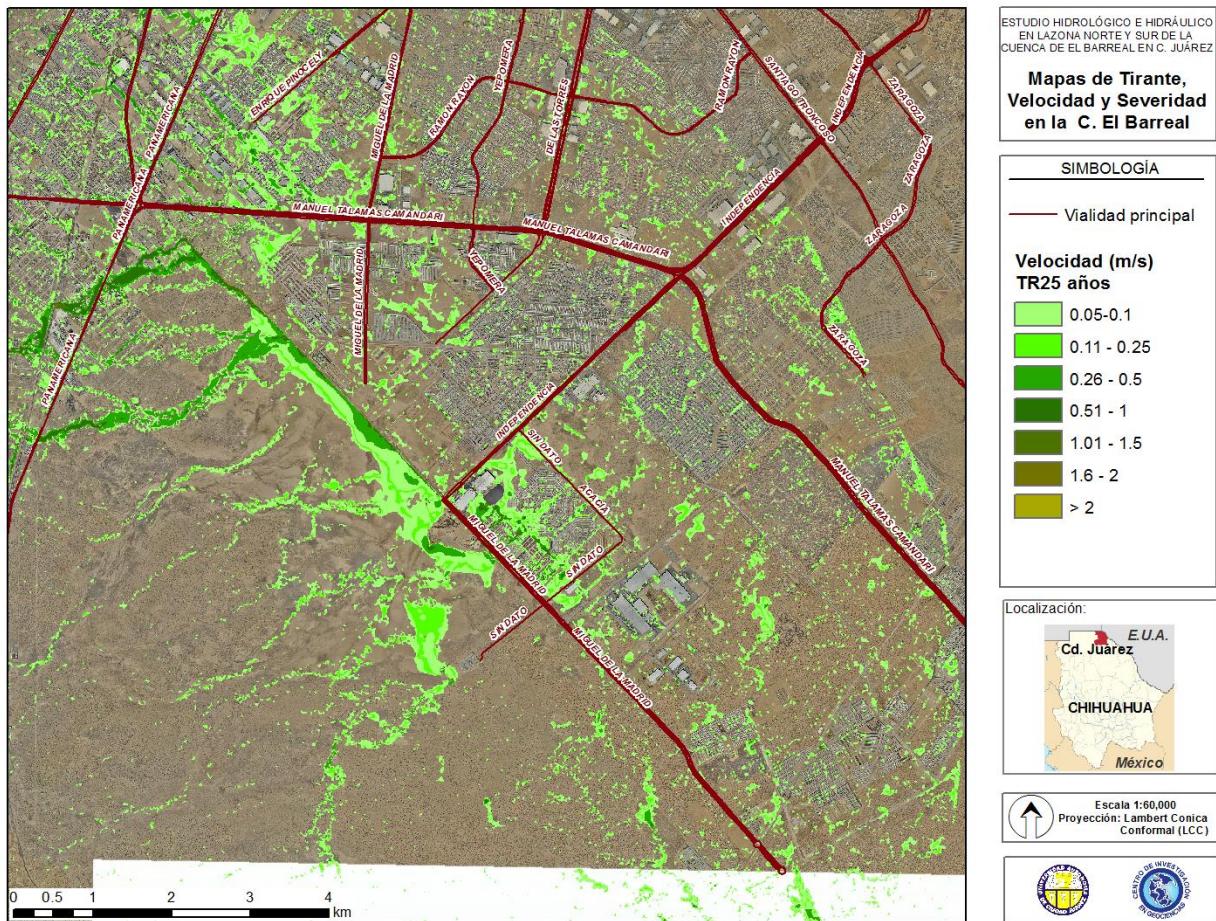


Figura III.1.11. Velocidad máxima a TR de 25 años.

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

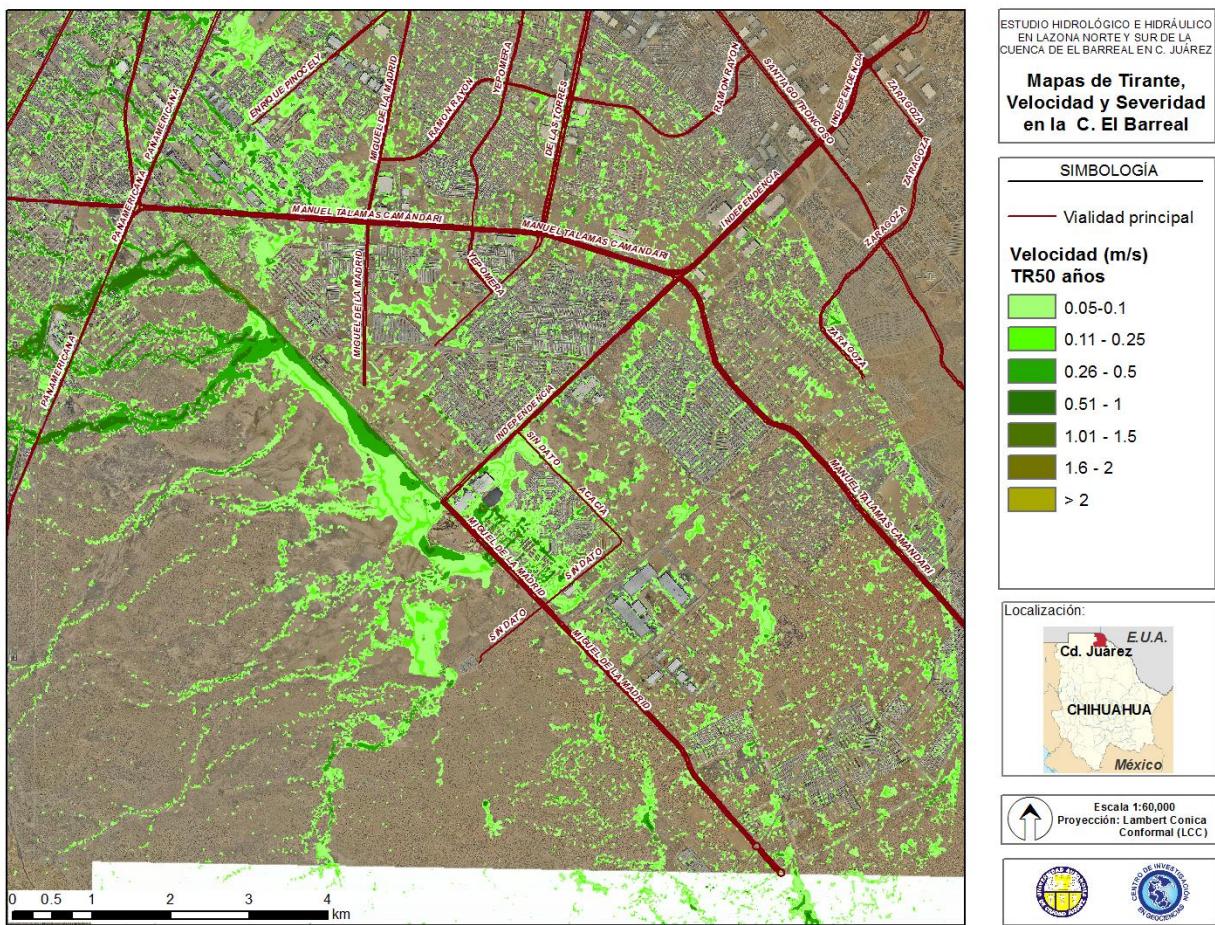


Figura III.1.12. Velocidad máxima a TR de 50 años.

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

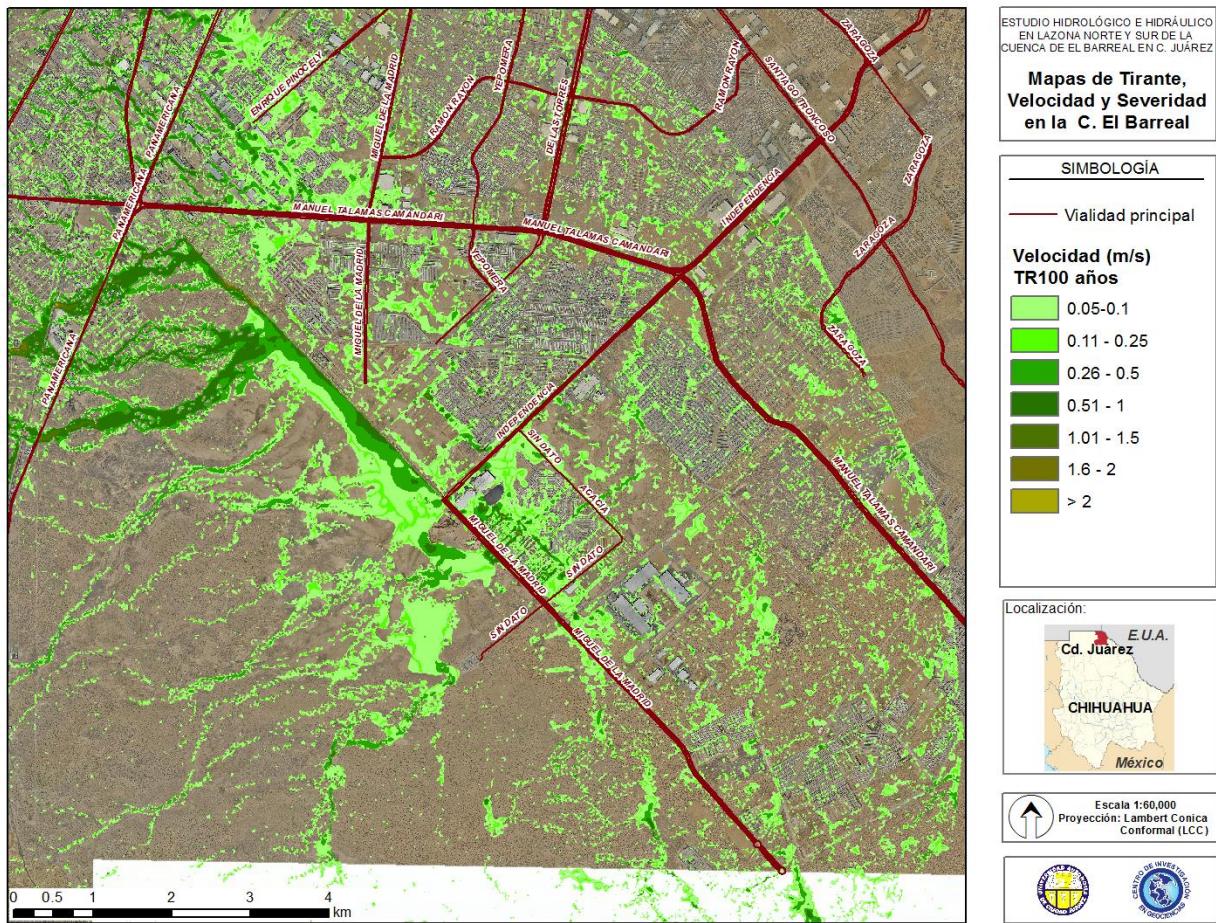


Figura III.1.13. Velocidad máxima a TR de 100 años.

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

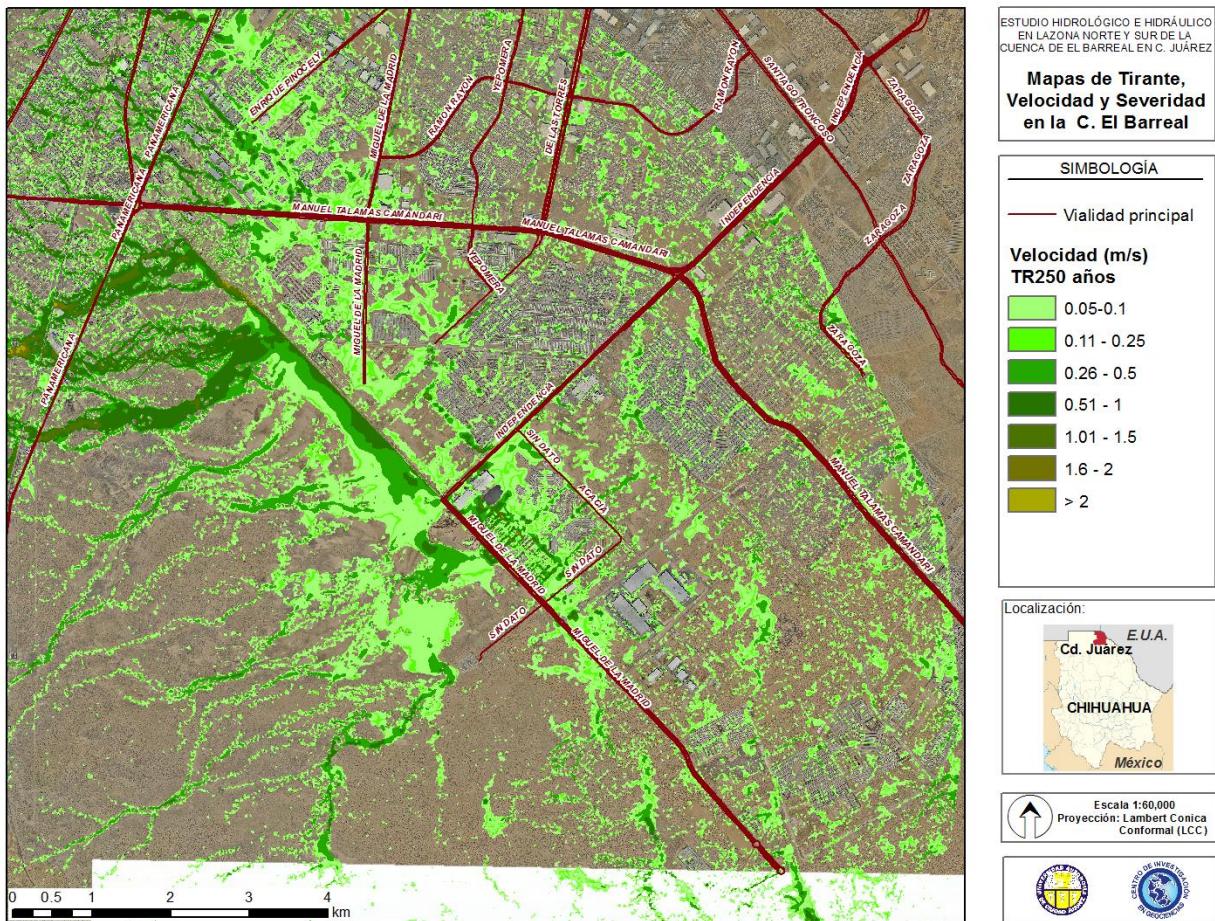


Figura III.1.14. Velocidad máxima a TR de 250 años.

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

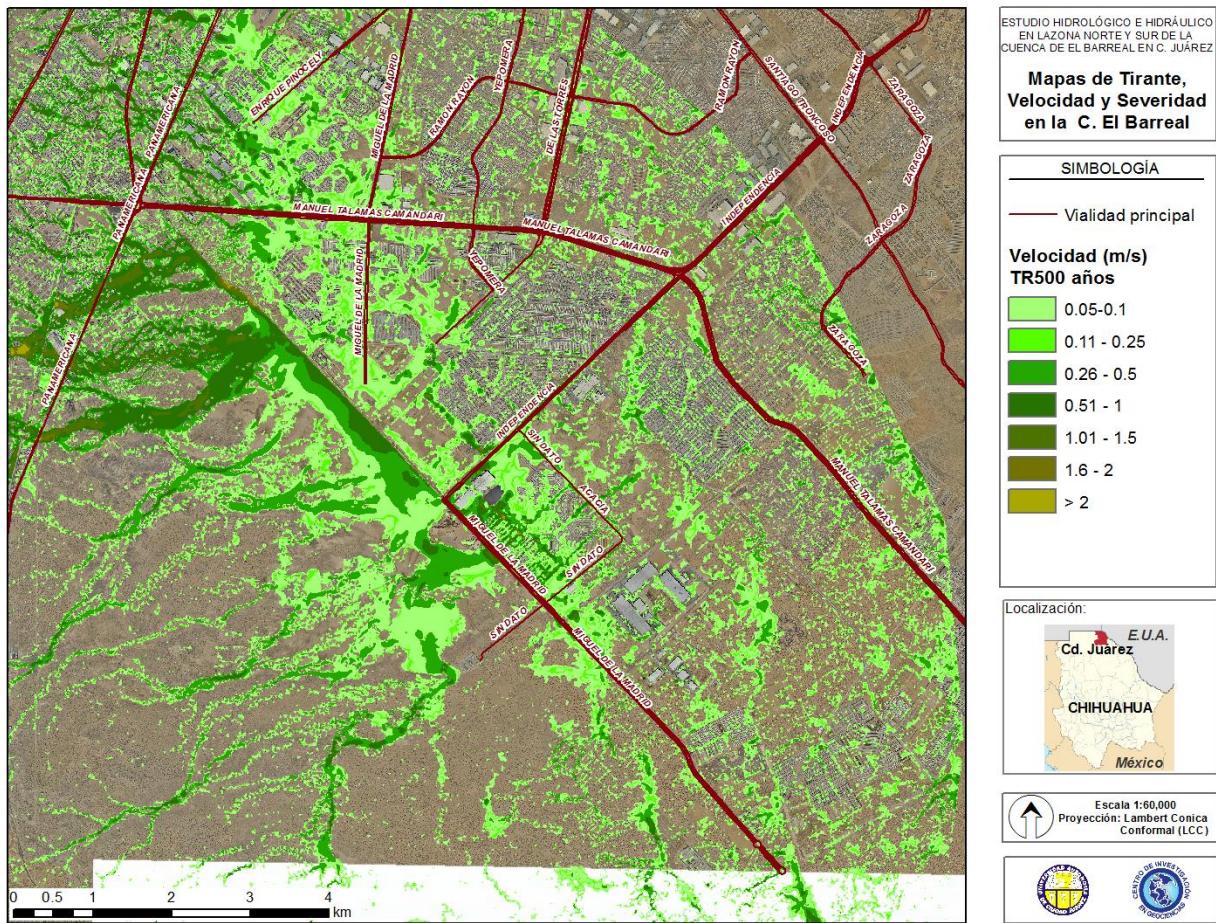


Figura III.1.14. Velocidad máxima a TR de 500 años

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

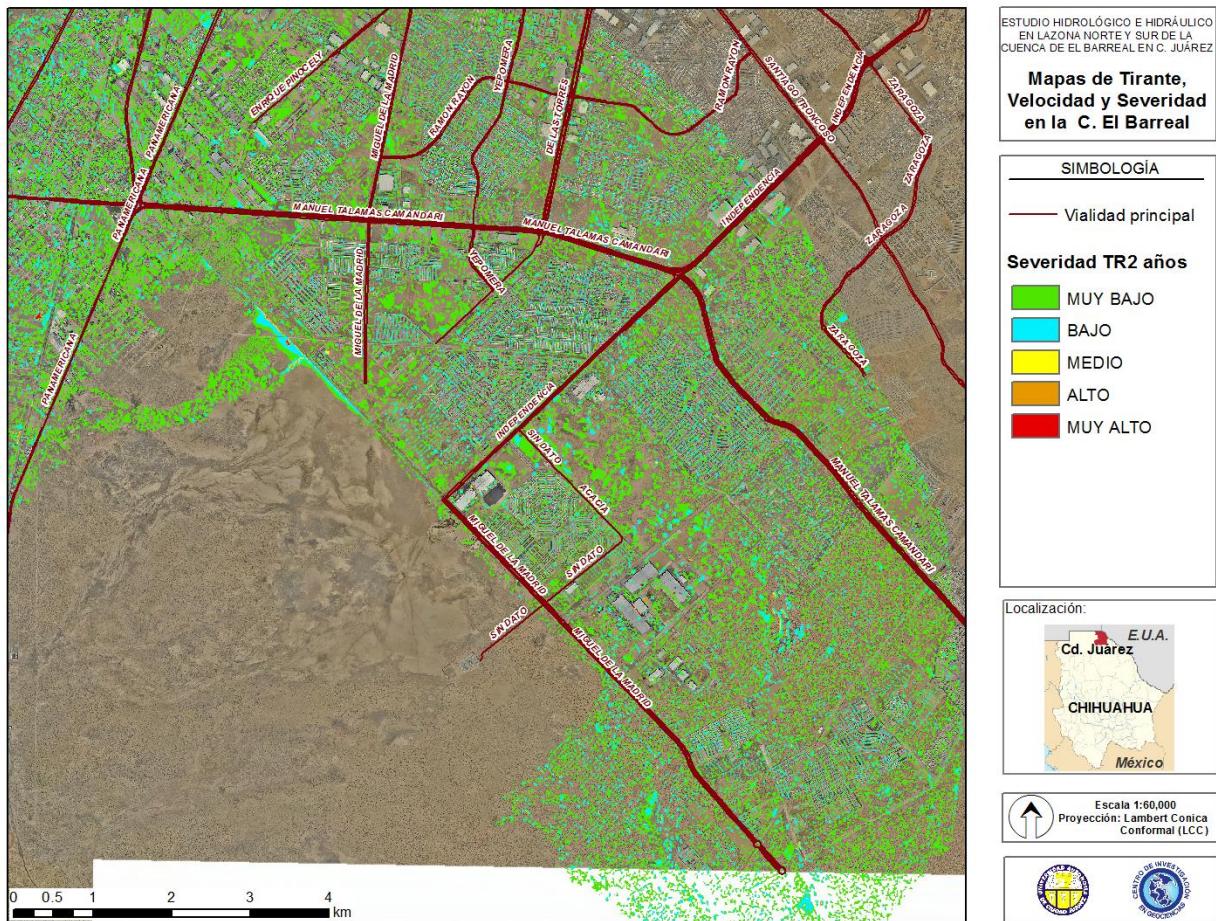


Figura III.1.15. Mapa de Severidad a TR de 2 años.

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

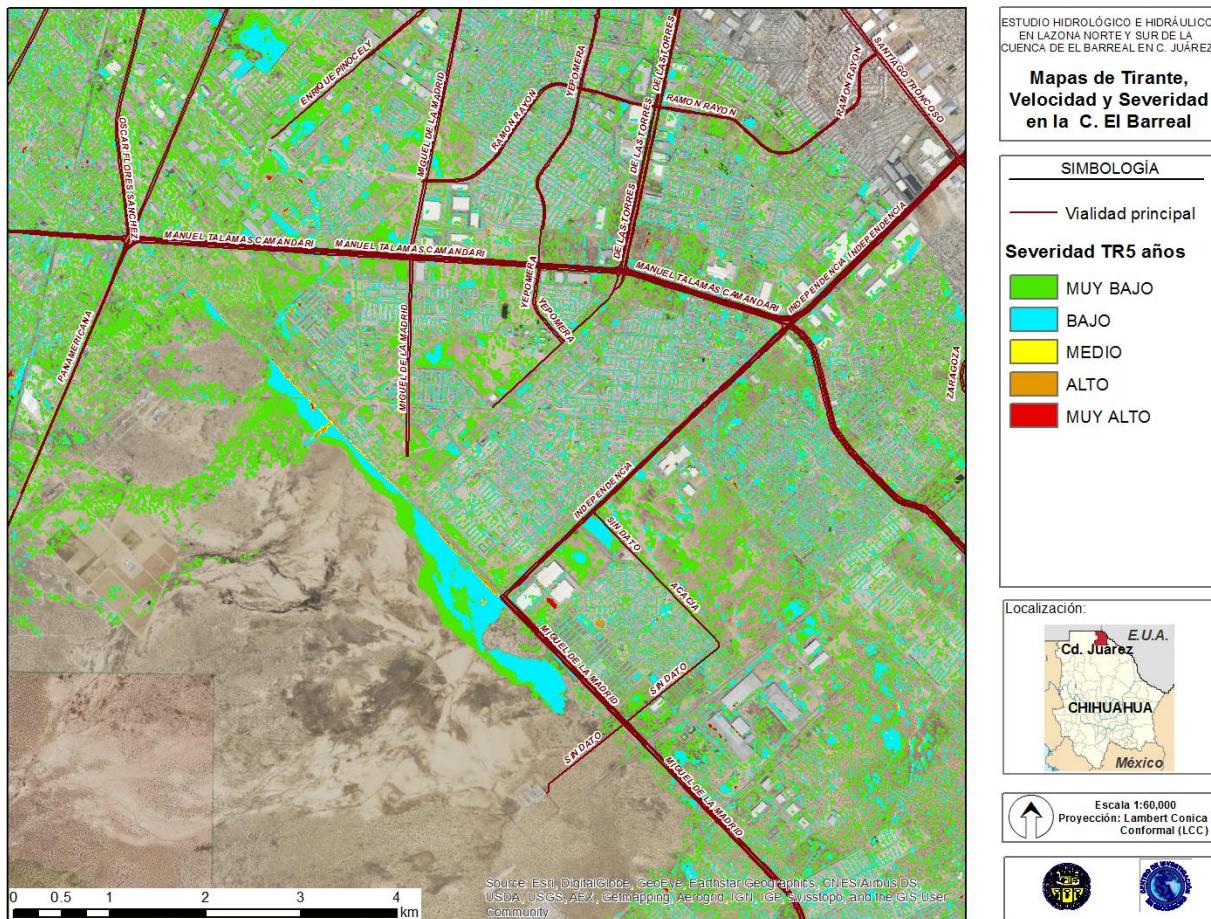


Figura III.1.16. Mapa de Severidad a TR de 5 años.

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

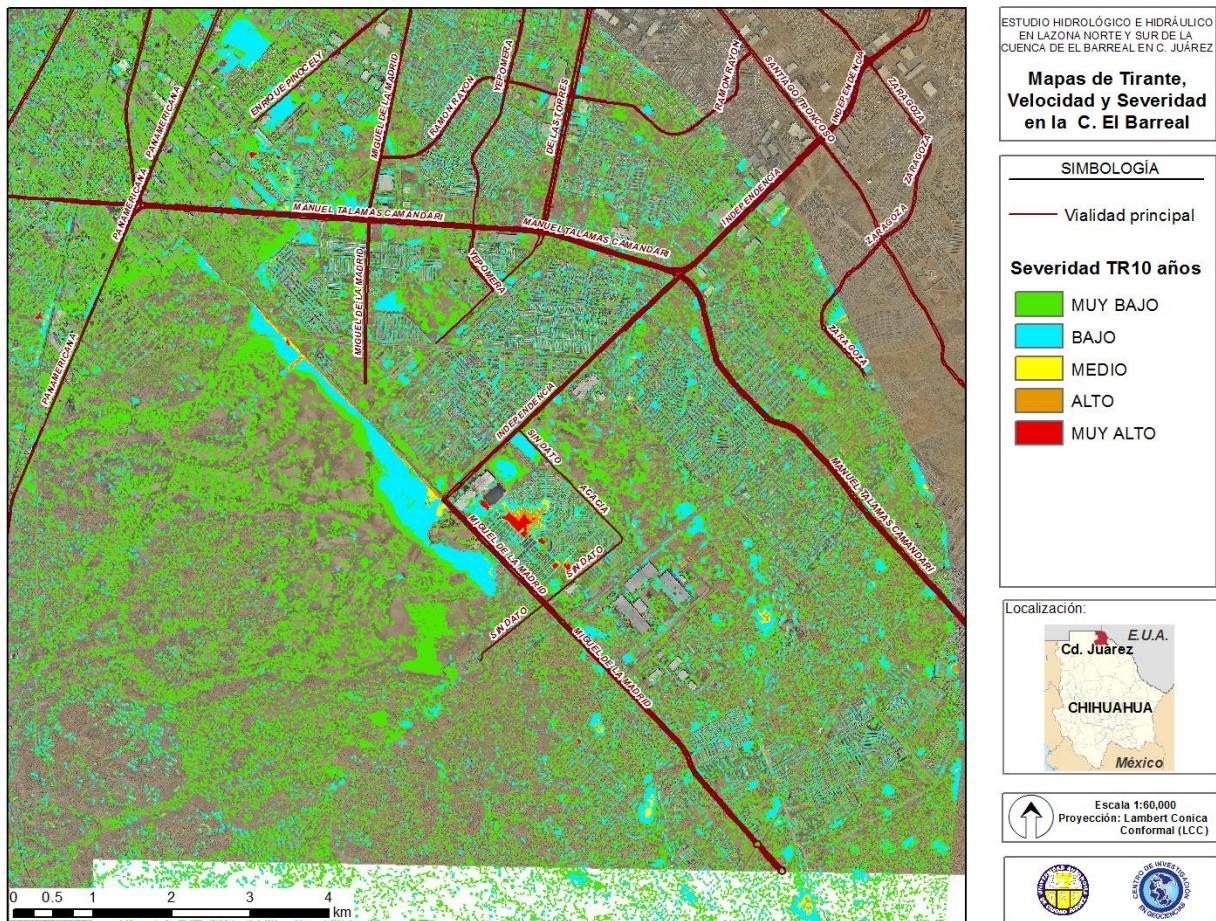


Figura III.1.17. Mapa de Severidad a TR de 10 años.

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

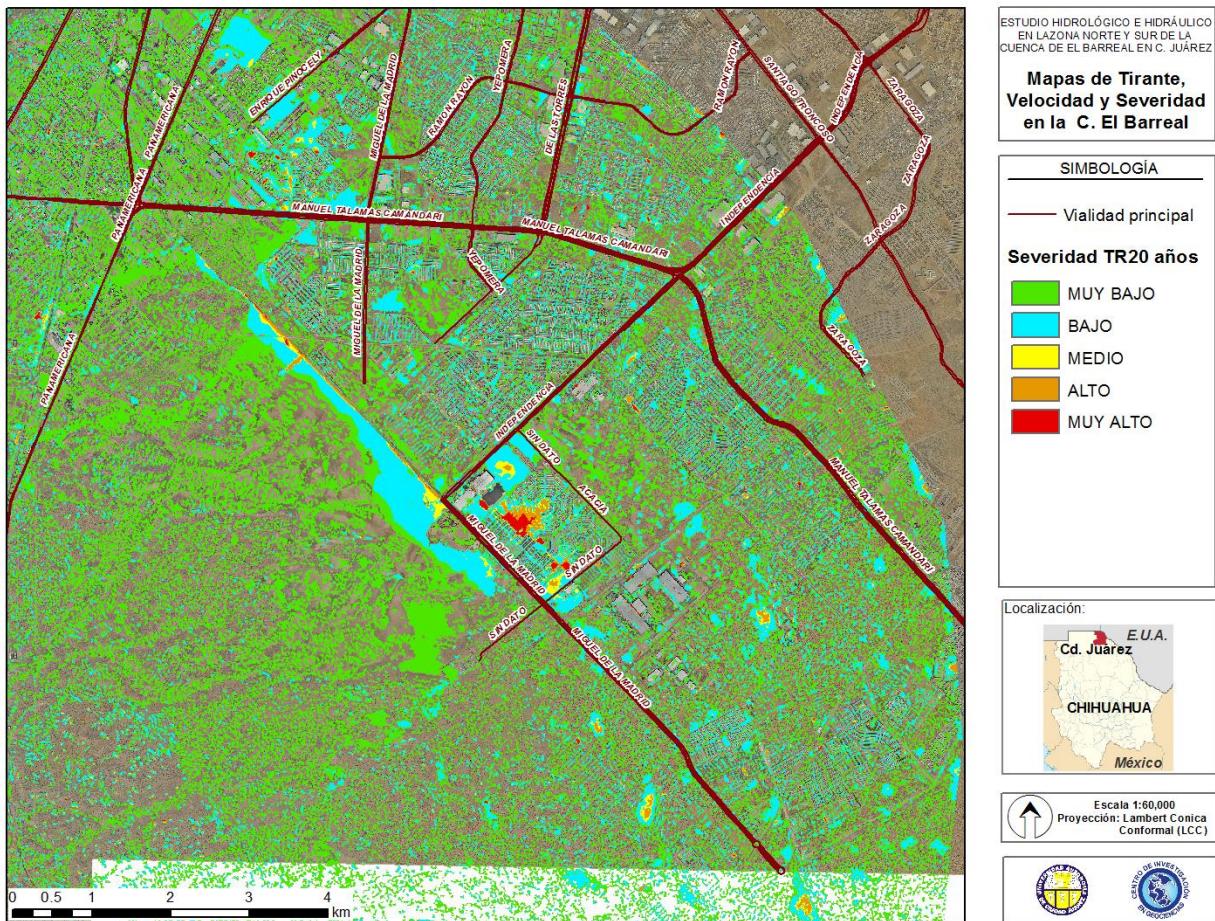


Figura III.1.18. Mapa de Severidad a TR de 20 años.

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

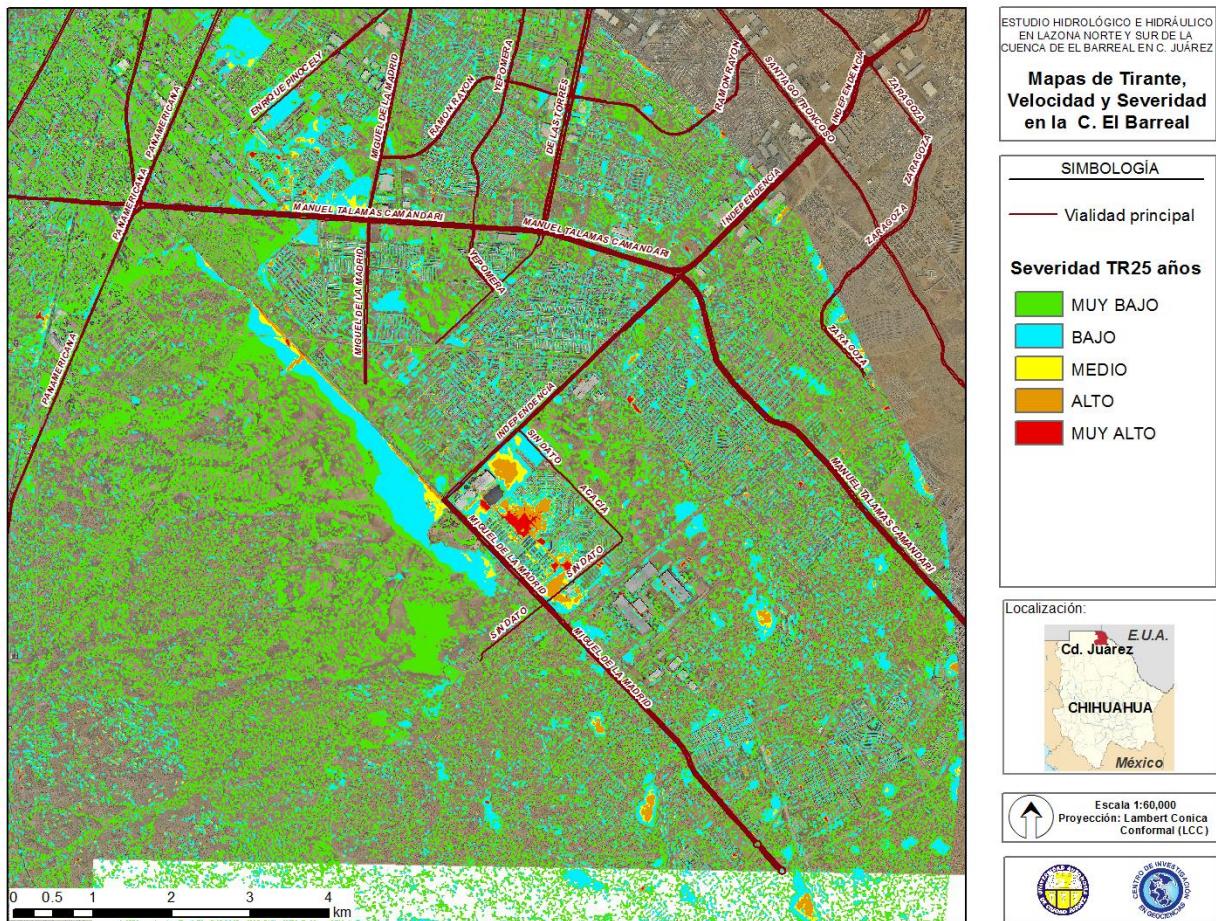


Figura III.1.18. Mapa de Severidad a TR de 25 años.

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

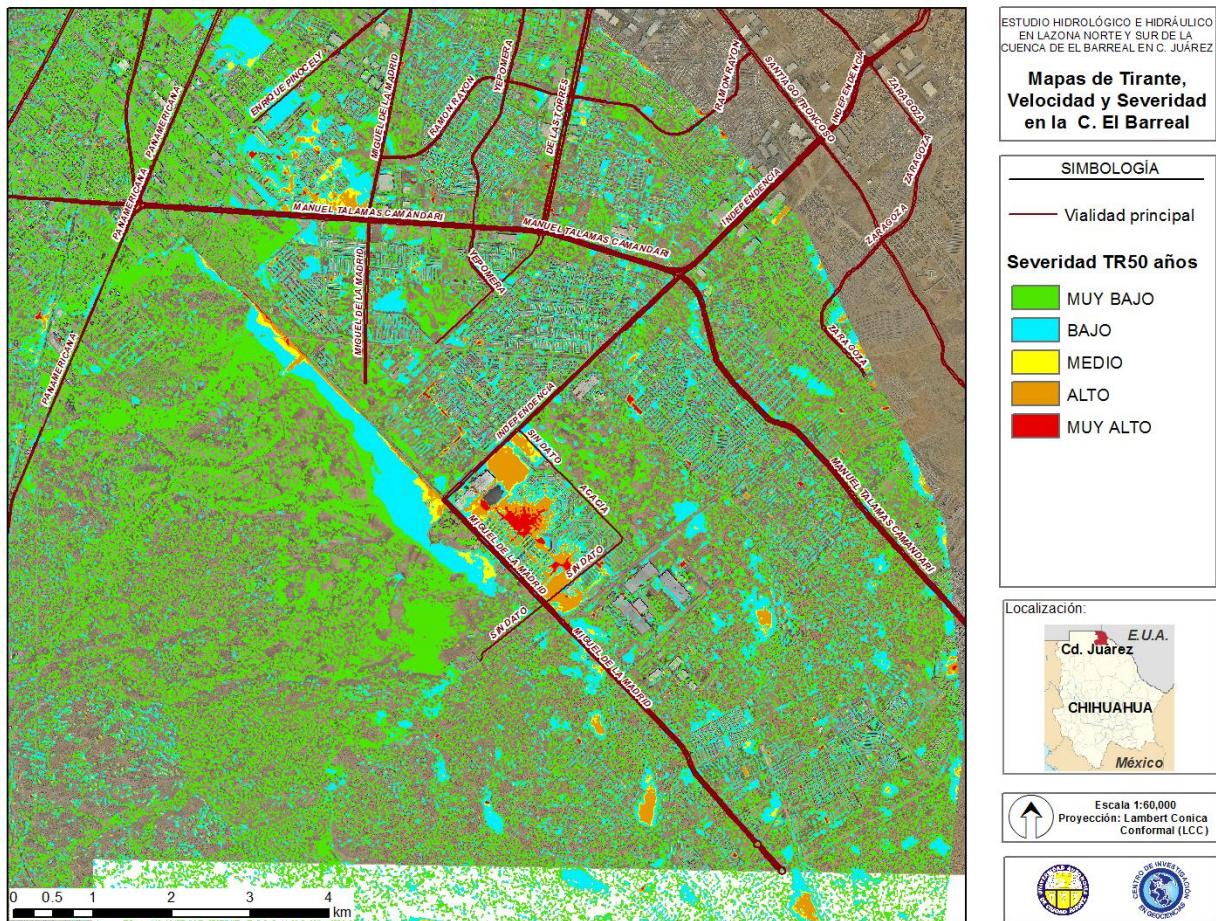


Figura III.1.19. Mapa de Severidad a TR de 50 años.

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

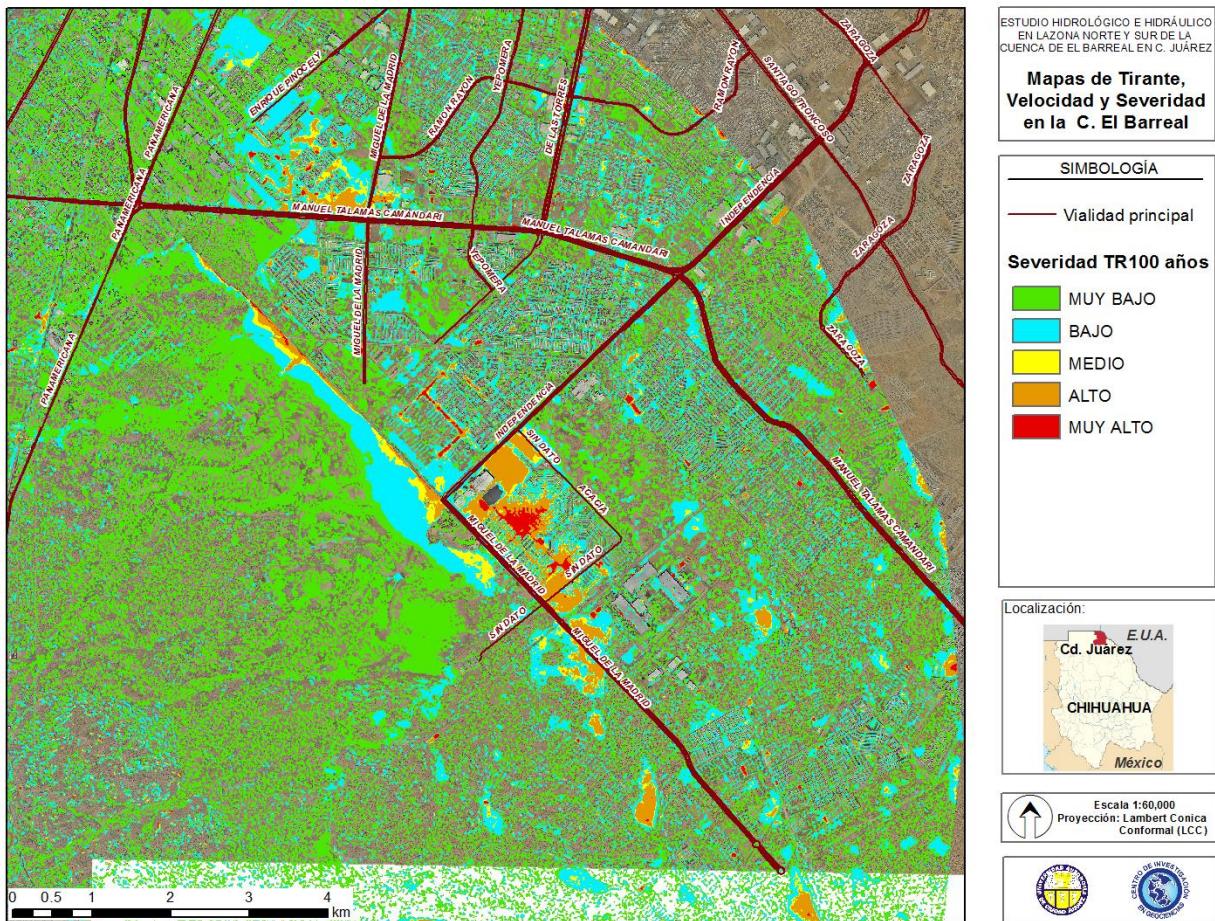


Figura III.1.20. Mapa de Severidad a TR de 100 años.

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

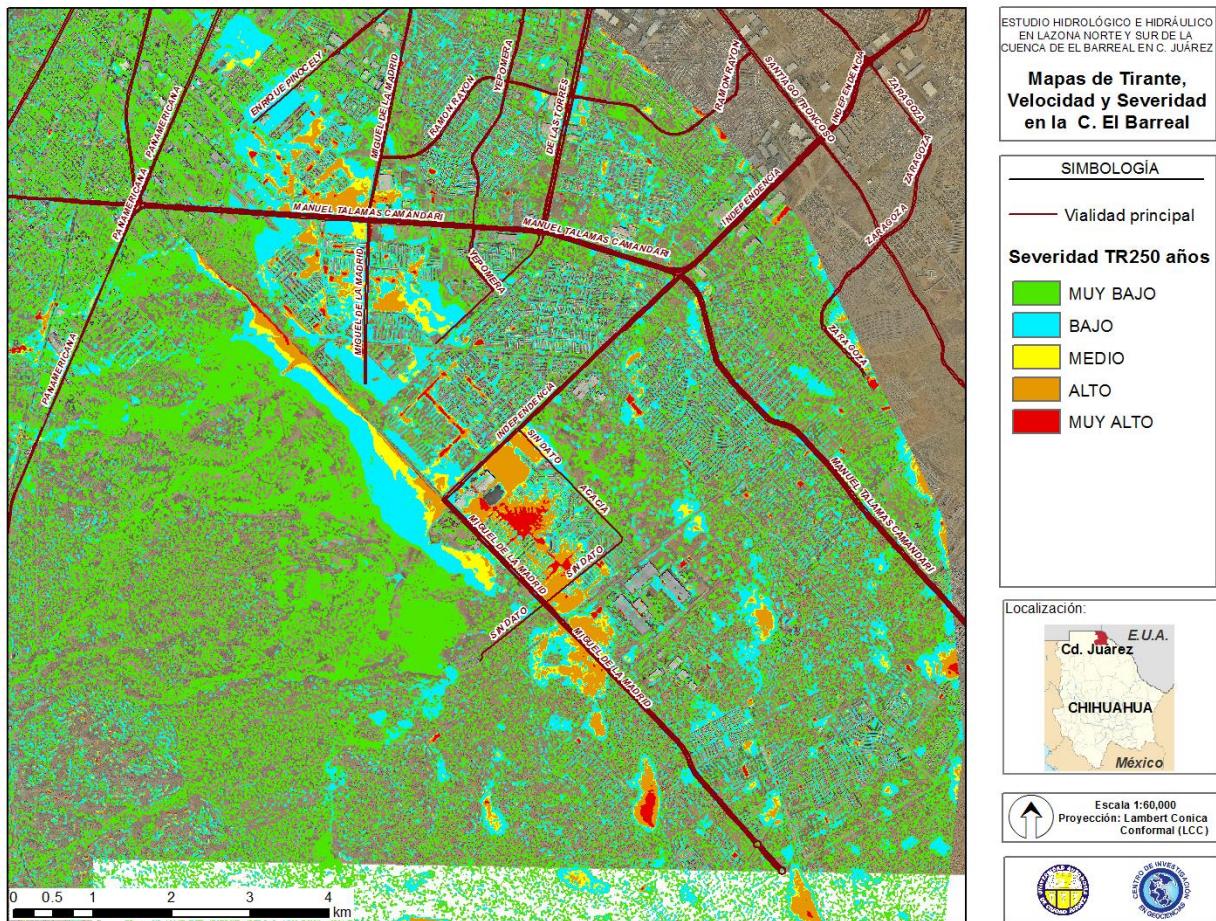


Figura III.1.20. Mapa de Severidad a TR de 250 años.

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

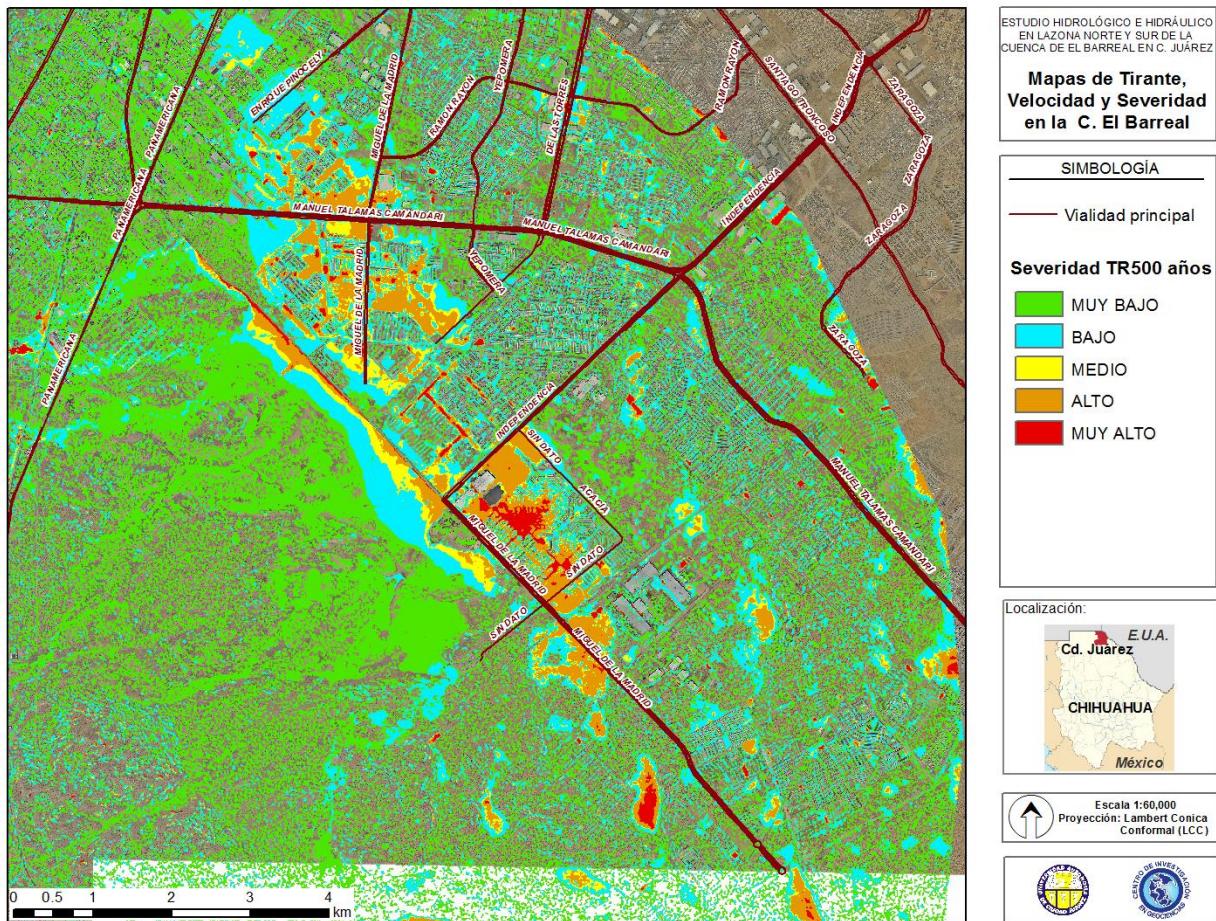


Figura III.1.21. Mapa de Severidad a TR de 500 años.



IV. CONCLUSIONES

V.1. ANALISIS HIDRAULICO BIDIMENSIONAL

En cuanto al análisis hidráulico, las conclusiones son las siguientes:

I. Zona Centro:

Para la parte centro de la cuenca del Barreal, identificada o etiquetada como Triangulo, el Bordo Miguel de La Madrid Hurtado, es la obra de infraestructura hidráulica actual más importante de contención de los flujos provenientes de la parte poniente, la cual carece de obras de regulación, al estar deshabilitados los diques Sta. Elena I y Sta. Elena II. De hecho, la única regulación existente aguas arriba de la carretera panamericana, es precisamente la carretera panamericana dada la presencia de alcantarillas no terminadas, u obstruidas, de forma que parte del volumen se retiene por el terraplén de esta vía de comunicación. Aun y cuando esta regulación está presente, la altura de operación y bordo libre, fueron calculados transitando el hidrograma sin perdidas hidráulicas, es decir, los tirantes de las láminas de agua a periodos de retorno de 100 y 500 años son con el volumen total de lluvia convertido a escurrimiento con una ponderación de pérdidas por condición hidráulica de terreno con numero de curva 69. En este mismo tenor, el bordo MMH opera satisfactoriamente, siempre y cuando la canaleta localizada aguas arriba no este azolvada y no se siga deprimiendo la corona de la obra como consecuencia del tráfico de vehículos. En cuanto a las veleidades de flujo, se registran velocidades altas en la cuña norte definida por la carreta panamericana y el Bordo MMH. Además de velocidades de muy altas a lo largo de la parte aguas arriba de bordo MMH en dirección



sureste, lo cual consistente con la topografía, ya que el centroide de la cuenca está en esa dirección. Dentro del triángulo, las velocidades máximas registradas son de 1 m/s en la parte Este. El resto de la zona registra valores muy bajos consistentes con el flujo de tipo laminar. El análisis detallado de la operación conjunta de elementos hidráulicos (tirante, velocidad), estructurales y de severidad se detallará en el entregable E correspondiente a Estrategias de solución.

II. Zona Norte:

En la zona Norte, la principal problemática revelada por la corrida hidráulica, es que para eventos hidrometeorológicos extremos, se registran aportaciones hidráulicas de la Cuenca Jarudo. Lo que significa que los desarrollos de esta zona no solo están haciendo manejo de escurrimientos por cuenca propia, sino que reciben aportaciones asociadas con la memoria hidráulica de la zona, dado que el sistema Jarudo drenaba de manera natural a la parte norte de la parte lagunar de la cuenca el Barreal. Aun así, se observa en la simulación la operación de los vasos de captación de cada desarrollo. En cuanto a velocidades de flujo, esta zona es la que mayores velocidades registra, principalmente en las estribaciones orientales de la Sierra de Juárez, las cuales sin embargo se concentran al oeste de la vialidad Oscar Flores, con registros en velocidad de hasta 2.5 m/s en zona urbana. Ya propiamente, en la cuenca el Barreal, o sea al Este de la avenida panamericana, las velocidades alcanzadas son de 1.7 m/s. El análisis a detalle de la forma sistémica, involucrando hidrología, hidráulica, geohidrología y capacidades de vasos corresponde a los resultados y recomendación es a ser emitidos en el Entregable F.

III. Zona Sur:



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

Para la zona sur, correspondiente al área urbanizada localizada al sureste y sur de la vialidad Boulevard Independencia, el análisis hidráulico refleja que las aportaciones de la cuenca surponiente son reguladas por la carencia de obra hidráulica, por lo que estos volúmenes se incorporan, aproximadamente, al sur de la intersección de la vialidad Independencia y Miguel de la Madrid, como consecuencia, precisamente de la que el bordo MMH se interrumpe abruptamente en ese punto. Este análisis refleja, además, a la necesidad de preservar el sistema de lagunas subsidiarias que actúan como sistema natural de amortiguación o regulación del escurrimiento proveniente del sur. En cuanto a velocidades de flujo, la velocidad en los desarrollos localizados al sureste del Blvd. Independencia es considerablemente alta, quizás como consecuencia el efecto de vertedor del terraplén de la vialidad Miguel de la Madrid. Esta zona requiere un análisis más detallado correspondiente al Entregable F: Estrategias y Medidas de Mitigación.