

Desarrollo del Estudio de las Oportunidades de

MANEJO DE ESCORRENTÍAS en

LOS MUNICIPIOS FRONTERIZOS

para Inducir Proyectos de
Infraestructura Verde

CASO DE ESTUDIO DEL ARROYO TAPIOCA
EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA



MODIFICACIÓN NO. 1

CONTRATO NO. CONTA15-021

PID: 2099

FONDOS: BECC

INGENIERÍA GRANADOS
Y ASOCIADOS, S.C.

MARZO, 2016



Desarrollo del Estudio de las Oportunidades de

MANEJO DE ESCORRENTÍAS en

LOS MUNICIPIOS FRONTERIZOS

para Inducir Proyectos de Infraestructura Verde

CASO DE ESTUDIO DEL ARROYO TAPIOCA
EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA



MODIFICACIÓN NO. 1

Contrato No. CONTA15-021

PID: 2099

FONDOS: BECC

MARZO, 2016

Ingeniería Granados
y Asociados, S.C.



Desarrollo del Estudio de las Oportunidades de Manejo de Escorrentías en los Municipios Fronterizos para Inducir Proyectos de Infraestructura Verde

Caso de Estudio del Arroyo Tapioca en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Modificación No. 1

Contrato No. CONTA15-021

PID: 2099

FONDOS: BECC

Investigador principal

Dr. Alfredo Granados Olivas, Ingeniería Granados y Asociados, S. C.

Equipo de investigación

M. C. Víctor Hugo Esquivel Ceballos, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)

M. C. Arturo Soto Ontiveros, Consultor en Hidrología

Sr. Alexis Gabriel Rodríguez Sánchez, Est. Lic. Ingeniería Ambiental, UACJ

Equipo de edición

Mtro. Raúl Alfredo Meza González, cuidado de la edición

Lic. Saraí Vidaña Morales, diseño gráfico

Ingeniería Granados, S.C. realizó este estudio para la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), la cual es la titular de los derechos en los términos del contrato correspondiente. Los cálculos y datos resultantes de la modelación son responsabilidad del investigador que los desarrolló.

Marzo, 2016

D.R. © Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza

Bulevar Tomás Fernández núm. 8069

Ciudad Juárez, Chih., México. C. P. 32470

Tel.: (656) 688-4600

Fax: (656) 625-6180

Correo electrónico: becc@cocef.org

Sitio: <http://www.cocef.org/>

Índice

Lista de figuras	5
Lista de tablas	5
Abreviaturas	6
Siglas	6
Resumen ejecutivo	7
Introducción	9
Problemática del área y objetivo principal del estudio	13
Descripción hidrológica del área de estudio	15
Metodología	18
Resultados	20
Conclusiones	27
Bibliografía	28
Bibliografía complementaria como acervo de investigación	28
<i>Internacional</i>	28
<i>Nacional</i>	29
Anexo	30

Lista de figuras

Figura 1: El área de estudio es el Arroyo Tapioca, la cual se ubicada al nororiente del Aeropuerto Internacional Abraham González en Ciudad Juárez, Chih.	11
Figura 2: Microcuenca del Arroyo Tapioca y sus 8 áreas de aportación y los 7 puntos de intersección (<i>junctions</i>).	12
Figura 3: Imagen de alta resolución con representación de las áreas impermeables de la microcuenca y elementos hidrológicos	17
Figura 4: Modelo conceptual de la metodología aplicada.	19
Figura 5: Modelo hidrológico conceptual HEC HMS microcuenca Arroyo Tapioca.	20
Figura 6: Localización de áreas con potencial para la implementación de un corredor de IV	23
Figura 7: a. imagen de alta resolución con porcentaje de impermeabilidad en la zona de cabecera de microcuenca y b. hidrograma de tormenta para un PR 2 años	25, 26

Lista de tablas

Tabla 1: Periodos de retorno e intensidad de precipitación en 24 horas.	14
Tabla 2: Parámetros fisiográficos de la microcuenca y área total de aporte.	16
Tabla 3: Identidad de áreas de captación; valores de descarga pico de escorrentía estimado por Periodo de Retorno (PR) y volumen acumulado de tormenta	21



Abreviaturas

cm	centímetro/s
km	kilómetro/s
km ²	kilómetro/s cuadrado/s
m	metro/s
m ²	metro/s cuadrado/s
m ³ /s	metro/s cúbico/s por segundo
m ³ /s	metro/s cúbico/s por segundo
min	minuto/s
mm	milímetro/s

Siglas

CILA	Comisión Internacional de Límites y Aguas
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DOF	Diario Oficial de la Federación
HU	Hidrología Urbana
HUeIV	Hidrología Urbana e Infraestructura Verde
IIT	Instituto de Ingeniería y Tecnología
IV	Infraestructura Verde
MDE	Modelo/s Digital/es de Elevación
SIG	Sistema/s de Información Geográfica
UACJ	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
USDA	United States Department of Agriculture



Resumen ejecutivo

Los estudios para la identificación de riesgos hidrometeorológicos a nivel de microcuenca son escasos o inexistentes. Las escalas de análisis para la prevención de riesgos y los atlas de riesgos que se generan en el país, se realizan con las coberturas oficiales limitando su alcance a escalas de 1:50 000. En estas dimensiones geoespaciales, los productos generados son de un alcance limitado generando un alto margen de error, tornándose inaceptables para la toma de decisiones de las oficinas responsables de las acciones de prevención y remediación de impactos y riesgos, principalmente los de naturaleza hidrometeorológica. Aún más importante es la exposición de alternativas de solución integral bajo un concepto de permacultura, en donde acciones para la implementación de Infraestructura Verde (IV) son inexistentes. Dichas acciones de IV apoyan como paliativo para reducir riesgos hidrometeorológicos, generar infraestructura para recargar acuíferos y para la generación de áreas verdes, sin embargo, se manejan prácticamente en el imaginario del desarrollo urbano sustentable.

En este proyecto se realizó una evaluación rápida de los potenciales riesgos hidrometeorológicos en una región específica en Ciudad Juárez, Chih., identificada como la microcuenca del Arroyo Tapioca. Para desarrollar los cálculos hidrológicos en el área de estudio, se aplicaron Sistemas de Información Geográfica y Modelos Hidrológicos, considerando la morfometría de la microcuenca bajo el concepto de hidrología urbana. De igual forma, se realizó un análisis del diseño arquitectónico de los principales conceptos generales de infraestructura verde que pudieran ser aplicables en la zona de estudio. Adicionalmente, se integró un acervo bibliográfico de documentación científica relacionada a estudios y reportes referentes a la hidrología urbana e infraestructura verde (HUEIV). Se concentró el análisis hidrológico y de posibilidades para la HUEIV, principalmente en la microcuenca del Arroyo Tapioca, el cual drena sus escorrentías hacia zonas que colindan con la infraestructura hidráulica existente en la zona.

Los riesgos evaluados en el estudio se calcularon como resultado de las escorrentías producto de las lluvias torrenciales que se precipitan en la región de estudio y, adicionalmente, por efectos de la urbanización y cambios en el uso del suelo que se presenta en esta región. Se identificaron seis zonas con potencial para la generación de HUEIV, las cuales se ubicaron a lo largo de un corredor integrado que permitiera sumar las diversas zonas como parte de una estrategia comunitaria para que sirviera como una plataforma de “enlace comunitario” y para la participación social.

Se estima que de los pulsos de escorrentía un máximo del 20 % del flujo torrencial estimado pudiera ser retenido y administrado a través de este concepto de análisis de la HUEIV, previniendo riesgos hidrometeorológicos y mejorando la infraestructura urbana comunitaria. Este corredor del Arroyo Tapioca, servirá de ejemplo para repetir las acciones de este tipo



en otras áreas de la ciudad con problemáticas semejantes, lo que a su vez puede generar un impacto positivo al sumar acciones de participación comunitaria masiva en estas zonas dentro de la mancha urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua. Por otro lado, se ha generado en este estudio un compendio de artículos científicos y referencias bibliográficas de investigaciones realizadas en la temática de HUeIV, como referencias particulares del tipo de investigación que se ha desarrollado en este estudio y como un acervo bibliográfico de la temática en cuestión.



Introducción

Los cambios que se generan con la transformación del uso del suelo por efecto de la urbanización, producen modificaciones significativas en diversos fenómenos naturales. Por ejemplo, la conversión de los terrenos agrícolas en terrenos urbanos generalmente incrementa la erosión y los volúmenes de descarga por efecto de la escorrentía en una cuenca, (USDA, 1986). En este sentido, la ingeniería hidráulica tiene como principal objetivo implementar estrategias que permitan evaluar los posibles efectos que tiene el desarrollo urbano en las comunidades, aplicando instrumentos y herramientas de modelaje hidrológico que permitan minimizar efectos adversos causados por riesgos hidrometeorológicos.

El fenómeno de riesgo hidrometeorológico por efecto del cambio de uso del suelo se ha documentado desde los años sesenta y principio de los setenta, en donde se argumentaba que para poder interpretar hidrológicamente los patrones del uso del suelo, estos se deberían de expresar en términos de los parámetros hidrológicos que son afectados por el uso del suelo. Estos parámetros se transforman en variables hidrológicas por las que los impactos generados por condiciones de la planeación urbana pueden ser evaluados en términos hidrológicos, (Leopold, 1968).

Por otro lado, es entendido que una cuenca urbanizada es un espacio en donde las superficies impermeables son el patrón común del desarrollo en cuestión, en donde cubren o muy pronto cubrirán áreas de impermeabilización de considerables dimensiones. En este sentido, se pudieran incluir como áreas urbanizadas o impermeables las vialidades, banquetas peatonales, estacionamientos, y edificaciones en general, de tal forma que los patrones de flujos naturales que se presentan a través de arroyos y escorrentías en la cuenca, generalmente son remplazados o substituidos por canales de concreto impermeables, drenajes pluviales u otros elementos de drenaje artificial, cambiando los patrones de escorrentías en volumen y velocidad.

Actualmente las nuevas tecnologías de información, así como los avances en ingeniería de software, han permitido el desarrollo de los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG), para el procesamiento, visualización y modelado de datos espaciales, algunos de los cuales incluyen herramientas para construir redes de cauces de escorrentías con una definición de la geometría hidráulica. Estas redes geométricas bajo el concepto de la hidrología urbana ofrecen una forma para modelar redes comunes de infraestructura hidráulica o de cauces naturales que se encuentran en el mundo real. Por ejemplo, se pueden diseñar y modelar redes de diversos tipos: de distribución de agua, de líneas eléctricas, de gasoductos, de servicios telefónicos y el de principal interés en este estudio, de flujo de agua de cauces de arroyos intermitentes. De tal forma que son todos estos ejemplos de las corrientes de recursos que pueden ser modelados y analizados bajo una herramienta específica como son los



SIG. En lo que respecta a los modelos hidrológicos, los que se ocupan del diseño hidráulico superficial permiten una descripción de cuenca y escurrimientos, lo que forma parte de la solución integral que se realiza en el presente estudio.

En el caso particular del Municipio de Juárez, en el Estado de Chihuahua, el caso de análisis referente al “Estudio Hidrológico para el Arroyo Tapioca” fue evaluado a detalle como una continuidad de estudios previos, en donde se proponía buscar soluciones integrales bajo la combinación de conceptos integrales entre la Hidrología Urbana y la Infraestructura Verde (HUEIV). En este sentido, en el presente estudio se centró la discusión de la evaluación correspondiente de las oportunidades para implementar acciones de HUEIV en un corredor particular para dicha microcuenca del Arroyo Tapioca. De manera más específica y de acuerdo a la actual definición de vertientes para las escorrentías del cauce principal de dicho arroyo, se analizan las cuencas y tributarios ubicados aguas arriba del Bulevar Zaragoza y Arroyo Tapioca, las cuales se encuentran dentro de la microcuenca Aeropuerto (Figura 1).





En este estudio se identifican a detalle como áreas principales las regiones ubicadas en las intersecciones de arroyos definidas como Punto 1, Punto 2, Punto 3, Punto 4 y Punto 5, mismas que son tributarias todas del Arroyo Tapioca (Figura 2). En estas áreas, los cálculos hidrológicos fueron modelados como las intersecciones importantes para el diseño HUEIV en función de que se miden en estos puntos los potenciales volúmenes de escorrentías que potencialmente tiene la zona de estudio en generar.

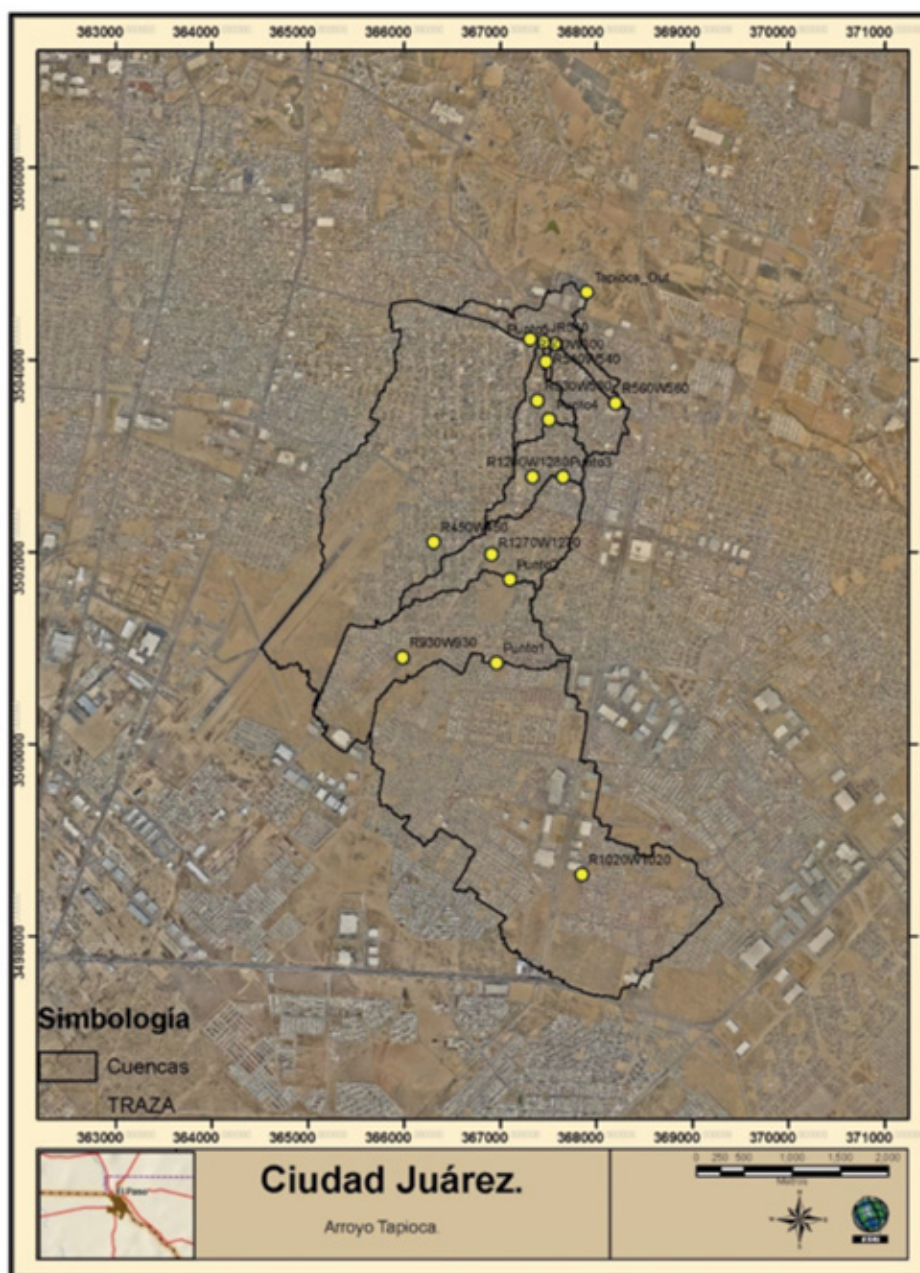


Figura 2: Microcuenca del Arroyo Tapioca y sus 8 áreas de aportación y los 7 puntos de intersección (*junctions*).



Problemática del área y objetivo principal del estudio

Los estudios de hidrología superficial se caracterizan por estar vinculados a un concepto integral del *ciclo hidrológico*. Sin embargo, esta rama de la hidrología centra su análisis en lo que se considera en este estudio como la sección de impacto terminal (se define este concepto como el producto final de un efecto relacionado a la conversión precipitación-escorrentamiento por efecto del cambio de uso del suelo y su evaluación en los potenciales riesgos hidrometeorológicos que estos fenómenos climáticos producen).

La problemática de esta cuenca en particular del Arroyo Tapioca radica en que se encuentra en una zona donde gran parte del terreno presenta un comportamiento laminar, a excepción de algunos tramos donde sus cauces se encuentran bien definidos. Por otra parte, sus subcuencas presentan un alto grado de urbanización e impermeabilización que reducen las tasas de infiltración sobre el terreno natural, disminuyendo los tiempos de concentración y aumentando el gasto superficial resultante, así como provocando con ello intempestivas corrientes producto de la transformación precipitación-escorrentías que representan un riesgo para la población e infraestructura urbana existente en las mencionadas subcuencas. Actualmente el área de estudio presenta escasas condiciones naturales que pudieran considerarse sin alteraciones antropogénicas, lo que implica un riesgo hidrometeorológico mayor pero también una oportunidad para implementar acciones de HUEIV.

Es importante hacer notar que el cauce principal del Arroyo Tapioca en su mayor parte se encuentra invadido por el crecimiento urbano, por lo que el cauce piloto se encuentra modificado y recubierto de concreto y asfalto, en donde, como se ha mencionado, su cauce no muestra actualmente las características de un cauce natural. Por otra parte, se observa que no existe suficiente sección transversal en la mayoría de los tramos identificados como posibles arroyos tributarios por donde se presentan los escurrimientos, los cuales no cumplen con las características propias de un cauce o cárcava, que de acuerdo con la nueva Ley de Aguas Nacionales publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992 (última reforma publicada DOF 18-04-2008) en su artículo tercero fracción XI, que a la letra dice: *“la magnitud de dicha cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad, por lo que en algunos tramos al no existir cauce definido, se presentan flujos laminares, impidiendo la definición efectiva del posible cauce o canal principal, esto dificulta el adecuado tránsito y modelación hidráulica de los flujos esperados para periodos de retorno modelados.”*

En este sentido y conforme a lo planteado en la ley, el cauce del Arroyo Tapioca tiene la complejidad de un cauce invadido o modificado, lo que a su vez complica el manejo de dicho arroyo de manera que la ingeniería hidráulica bajo el concepto de HUEIV es un reto para la solución de la problemática planteada.



Por otro lado, se cuenta con información hidrometeorológica que demuestra lo errático de las precipitaciones en la región de estudio, en donde las intensidades de las mismas son identificadas por lo que se conoce como lluvias torrenciales del Tipo II, caracterizadas por ser de corta duración, alta intensidad y puntuales en áreas relativamente pequeñas (Tabla 1). Este tipo de precipitación es típica de las lluvias que generan alto riesgos de impactos por efectos de inundaciones, principalmente en áreas poco permeables o de escasa infraestructura hidráulica para el manejo y conducción de las escorrentías. En la Tabla 1 se muestran tres periodos de retorno modelados para la zona de estudio (2, 10 y 25 años), en donde se refleja las intensidades de las precipitaciones registradas en la base de datos del Laboratorio de Climatología del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la UACJ. Se destaca en esta base de datos la precipitación acumulada medida en milímetros para un periodo de tiempo máximo de 24 horas, en la cual se observa que para un periodo de retorno de 2 años se pueden acumular hasta 41 mm; de 10 años hasta 67 mm y, finalmente, de 25 años hasta 84 mm, lo que representa una considerable cantidad de lluvia acumulada para el total de precipitación que se presenta en el acumulado anual, que es de aproximadamente 250 mm al año. Este último dato es representativo a un 34 % del total de lluvia que se presenta en todo el año, pero está precipitándose en solo 24 horas.

Es importante identificar que en estas estadísticas hidrometeorológicas, la información es capturada en estaciones administradas por la UACJ bajo estricto control de calidad y que representan más de 20 años de información capturada en las bases de datos que se han acumulado como parte del proyecto de investigación continua que tiene esta prestigiada institución, como un cúmulo de información disponible públicamente en su página web: <http://www.uacj.mx/IIT/Laboratorioclimatologia/Paginas/default.aspx>.

Tabla 1: Periodos de retorno e intensidad de precipitación en 24 horas.

Tiempo	Periodo de retorno (años) Precipitación Acumulada (mm)		
	2	10	25
5 min	8.30	12.80	15.30
15 min	16.50	25.40	30.40
1 hora	20.70	33.40	42.00
2 hora	24.00	38.90	48.90
3 hora	26.20	42.50	53.40
6 hora	30.50	49.40	62.10
12 hora	35.50	57.40	72.20
24 hora	41.30	66.80	84.00



Descripción hidrológica del área de estudio

Para la definición de las principales características hidrológicas de la microcuenca considerada en este estudio, se detallan a continuación los trabajos realizados para determinar técnicamente las actuales definiciones de cauces y gastos máximos resultantes y las condiciones topográficas presentes en el área de estudio. Esta distribución geográfica se determinó a partir del MDE, obtenido con Lidar 2008, y el proceso se realizó apoyado de los SIG y de ArcView 3.2, con la extensión HEC Geo HMS 1.1, programa computacional especializado en hidrología de superficie desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Con estas herramientas se determinaron los parámetros fisiográficos y de forma de la cuenca. En total se identifican siete subcuencas tributarias al punto conocido como Tapioca_Out en este estudio, y ocho puntos unión para efectos de modelaje y áreas de control, tal y como se aprecia en la Figura 2. Como una aportación particular del presente estudio se describen cada una de estas microcuencas en orden descendente, indicados con las microcuencas tributarias de las descargas identificadas como Punto 1, Punto 2, Punto 3, Punto 4 y Punto5, Junction 540 y Tapioca.

Las particularidades fisiográficas y de morfología de la cuenca en cada zona se pueden observar en la Tabla 2, en la que se exponen los principales parámetros fisiográficos en la microcuenca, destacando la longitud de cauce medida en kilómetros, encontrando la mayor longitud de 6.5 km en la cabecera de la cuenca (elemento hidrológico R1020W1020), y el coeficiente de rugosidad de cada área, siendo dominado principalmente por un valor “n” de 80, así como las pendientes dominantes y los porcentajes de áreas impermeables en cada región.

En la Figura 3 observamos la fotografía aérea que se utilizó para determinar los usos de suelo, impermeabilidad y números de curva, aplicados en el modelo hidrológico para determinar el gasto resultante para cada periodo de retorno modelado. Dicha imagen permitió identificar de manera detallada las características de urbanización y en consecuencia de grado de impermeabilidad que se presenta en la microcuenca. Es importante destacar que en dicha Figura 3, un porcentaje muy amplio de la imagen es representativo del porcentaje de impermeabilidad que varía principalmente entre el 80 y 95 % en la mayoría de las microcuencas. Sin embargo, se puede apreciar el caso de la región del área de captación identificada como R930W930 localizada en la parte intermedia cercano a la cabecera de la cuenca, la cual cuenta con solo un 70 % de impermeabilidad, lo que representa una zona con potencial para la implementación de acciones de HUEIV.



Tabla 2: Parámetros fisiográficos de la microcuenca y área total de aporte.

Identificación	Elementos hidrológicos (áreas de captación)	Pend. (%)	Long. cauce (km)	Coefficiente de rugosidad "n"	TC (min)	TC (min)	Imp. (%)
Point 1	R1020W1020	0.003	6.5	80	114	69	80
Point 2	R930W930	0.007	3.6	80	60	36	70
Point 3	R1270W1270	0.01	3.1	80	50	28	95
Point 4	R1280W1280	0.01	1.9	80	35	21	95
Point 5	R540W540	0.01	1.5	80	29	17	95
	R560W560	0.01	.5	80	14	9	95
Junction 540	R539W530	0.01	1.9	80	39	23	95
Tapioca	R530W530	0.01	2.3	80	41	24	95

Abreviaturas: TC= Tiempo de Concentración; TR= Tiempo de Retención (Retraso);
Imp= Porcentaje de impermeabilidad



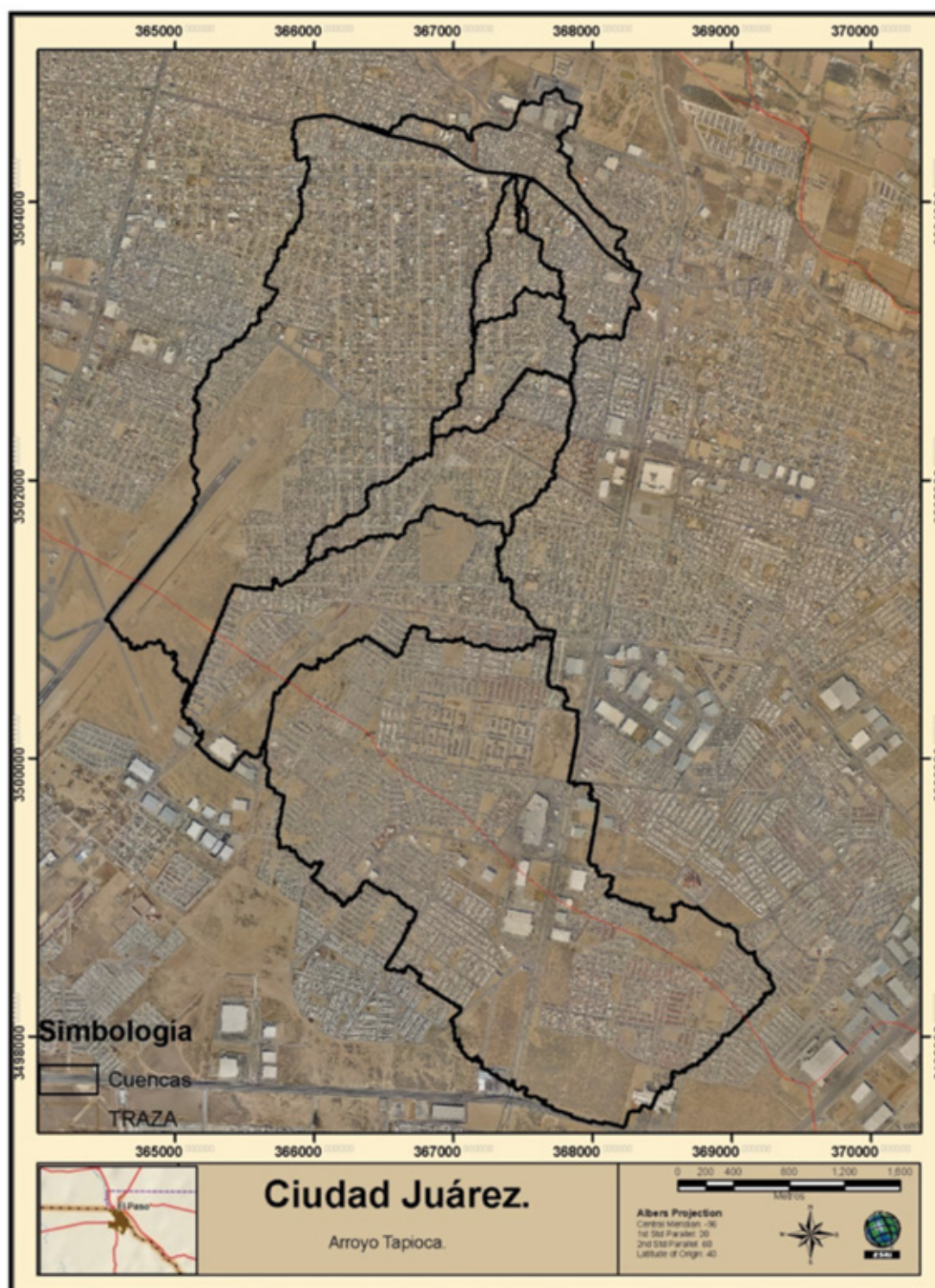


Figura 3: Imagen de alta resolución con representación de las áreas impermeables de la microcuenca y elementos hidrológicos



Metodología

Para obtener el gasto máximo y el volumen excedente de la lluvia en el área de estudio, se aplicaron los periodos de retorno de 2, 10, 25 años, distribuidas en 24 horas. Estas bases de datos hidrometeorológicos históricos se obtuvieron por medio de información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) y la UACJ, en lo referente a información climatológica de la zona, principalmente los datos de precipitación en los últimos años.

Para el desarrollo de los modelos hidrológicos se contó con información topográfica de alta resolución generada en la plataforma de Lidar 2008, la cual fue proporcionada por el Centro de Información Geográfica de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. A partir de esta base de datos, la cual se genera por medio de dicha plataforma con una resolución de elevación en Z de aproximadamente 15 cm, se produjo un modelo digital de elevación a cada 2 metros el pixel. De estos datos se obtuvieron los parámetros fisiográficos de la microcuenca del Arroyo Tapioca, que son requeridos en el modelo hidrológico HEC HMS 3.4 (software aplicado para el cálculo de los gastos y volúmenes resultantes).

Entre los principales parámetros hidrológicos calculados se determinaron: *área, longitud de cauce y pendiente promedio* de cada microcuenca, todo lo anterior a través del paquete computacional ArcView 3.2. Con esta información se adoptaron y calcularon los coeficientes de escurrimiento y los tiempos de concentración y retraso. Con el apoyo de fotografía aérea, se determinaron las condiciones de uso de suelo dominante y se corroboraron los cauces resultantes. También se determinaron las condiciones del tipo de suelo hidrológico dominante, esto con relación a su capacidad de absorción y capacidad de infiltración. De igual forma, se adoptaron y calcularon también tipo y usos de suelo, y número de curva hidrológico, este último de acuerdo al tipo de suelo hidrológico determinado (B) y de la tasa de infiltración mínima. Se definió para este estudio una condición hidrológica de baja o pobre infiltración al contar con menos del 30 % de cubierta vegetal, de acuerdo con Smith & Maidment (1995), lo que implica el uso de un *Número de Curva* = 80, para lo cual se determinó a través de la aplicación para este proceso desarrollado con el programa computacional Num Cur de Modipe.



Una vez integrada dicha información, se desarrollaron modelos hidrológicos para los diversos periodos de retorno establecidos para el modelaje, aplicando el paquete computacional HEC HMS 3.4, diseñado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Después de obtenido el volumen resultante, se generaron las potenciales planicies de inundación, que incluyen los tirantes estimados y área afectada por medio del programa Arc Map 9.3, con la extensión Flood Area. Esta herramienta computacional especializada en el modelaje de inundaciones, permitió obtener un modelo bidimensional y también favoreció para el cálculo del tiempo de respuesta hidrológica a los pulsos de precipitación convertida en escurrimientos de una forma animada, mostrando los pulsos hidrológicos esperados en la zona de estudio.

A continuación se describen esquemáticamente la metodología y los diferentes paquetes computacionales aplicados (Figura 4). Este proceso metodológico permitió analizar el comportamiento de los escurrimientos generados para los diversos periodos de retorno modelados, con los que se obtienen los gastos para cada microcuenca hidrológica en el área de estudio.

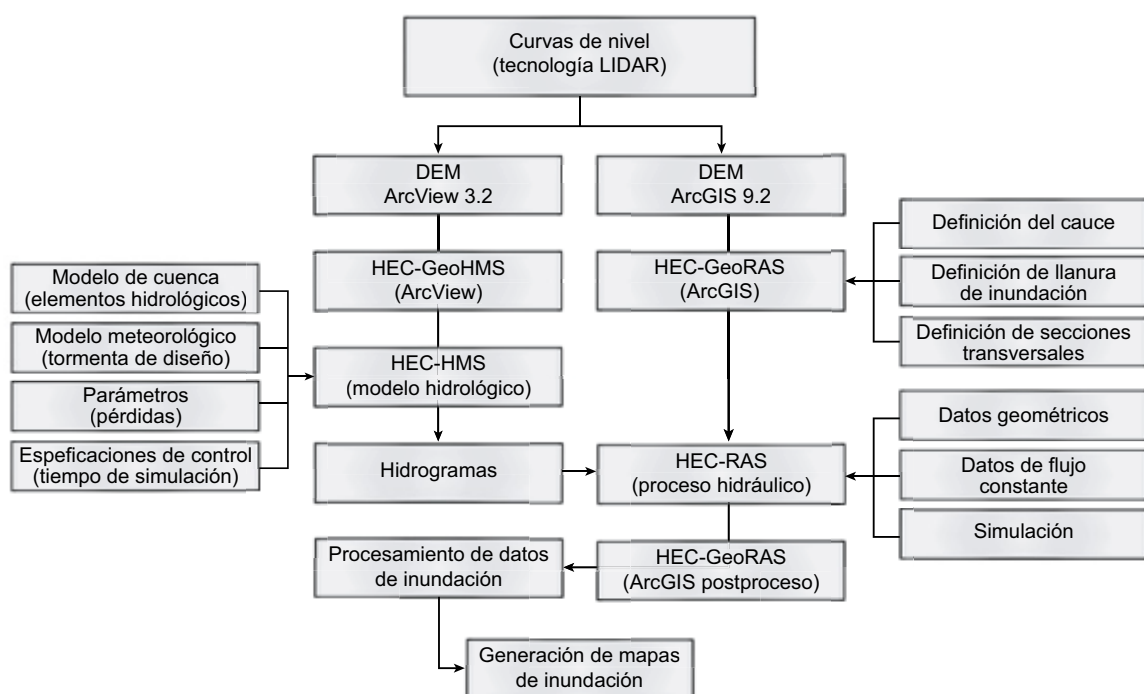


Figura 4: Modelo conceptual de la metodología aplicada.



Resultados

En la Figura 5 se pueden apreciar la definición de vertiente y modelo hidrológico conceptual resultante, obtenido a través del proceso de datos con el programa computacional ArcView3.2 y la ext. HEC Geo HMS 1.1, de donde se generaron los parámetros fisiográficos requeridos para la modelación hidrológica con HEC HMS.

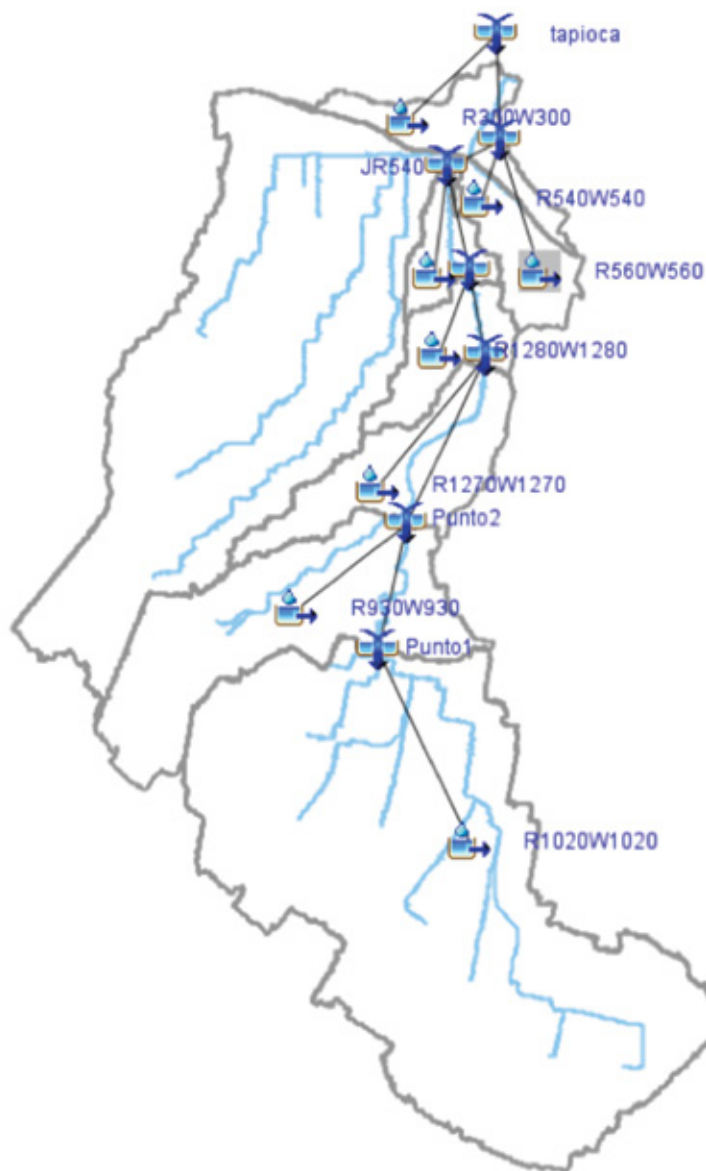


Figura 5: Modelo hidrológico conceptual HEC HMS microcuenca Arroyo Tapioca.



Se destaca en esta Figura 5 la distribución geográfica en el modelo hidrológico calculado por las herramientas de modelación aplicadas, en particular las áreas de captación de cada una de las subsecciones de la microcuenca que se encuentran identificadas por las variables que de manera automatizada genera el sistema de programa computacional utilizado. De esta forma, en total se identifican 8 áreas de captación denominadas R1020W1020, R930W930, R1270W1270, R1280W1280, R540W540, R560W560, R539W530 y R530W530. Por otro lado, se ubicaron 7 puntos de intersección (junctions), en los cuales se ha calculado el gasto estimado de escorrentía de los diferentes periodos de retorno. Dichos puntos fueron identificados como: Point 1, Point 2, Point 3, Point 4, Point 5, Junction 540 y finalmente Tapioca. Para correr el modelo hidrológico se aplicó una modelo de lluvia para periodos de retorno de 2, 10 y 25 años, para una distribución de lluvia durante una tormenta de 24 horas, utilizada en el Plan Sectorial de Ciudad Juárez, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3: Identidad de áreas de captación; valores de descarga pico de escorrentía estimado por Periodo de Retorno (PR) y volumen acumulado de tormenta

ID	Elementos hidrológicos (áreas de captación)	Área de drenaje (km ²)	Descarga pico en PR 2 años (m ³ /s)	Volumen acumulado PR 2 años (*1000 m ³)	Descarga pico en PR 10 años (m ³ /s)	Volumen acumulado PR 10 años (*1000 m ³)	Descarga pico en PR 25 años (m ³ /s)	Volumen acumulado PR 25 años (*1000 m ³)
Point 1	R1020W1020	6.8	11	215	21	392	25	482
Point 2	R930W930	2	14	272	26	499	32	614
Point 3	R1270W1270	1	16	308	26	562	36	691
Point 4	R1280W1280	0.5	17	326	32	594	38	730
Point 5	R540W540 & R560W560	0.5	18	356	34	646	44	793
Junction 540	R539W530	0.3	17	338	32	614	39	755
Tapioca	R530W530	0.5	20	375	37	680	44	845

Los valores calculados en la Tabla 3 permiten modelar los riesgos de inundación en la zona de estudio con base en las características hidrográficas de los suelos, su capacidad de infiltración y la infraestructura existente, así como la cobertura de vegetación, la que a su vez permite reducir las velocidades y, por ende, el volumen acumulado por efecto de la evapotranspiración y de las capacidades para infiltrar a capas inferiores del acuífero somero, como una acción benéfica secundaria en el proceso del manejo del volumen generado. Por ejemplo, la subsección en la cabecera de la microcuenca (Punto 1-R1020W1020), presenta el área mayor de todas las calculadas (6.8 km²), generando un pico máximo de avenida de aproximadamente 11 m³/s para un periodo de retorno de 2 años con un volumen acumulado de 215 000 m³, lo que representaría un volumen considerable para manejar y utilizar en acciones de IV que permitieran usar dicho volumen de una manera administrada y con una visión holística.



Con estos valores y con base en los datos calculados, se generaron las evaluaciones para 6 áreas con potencial para la generación de IV a lo largo del Arroyo Tapioca (Figura 6). Se ubica al oriente del Aeropuerto Internacional Abraham González, iniciando al sur de la ciudad en la vialidad Boulevard Independencia, pasando por las siguientes calles: Bulevar Santiago Blancas, Bulevar Zaragoza, Bulevar Manuel Jesús Clouthier, Avenida Paseo de la Victoria y terminando su recorrido en el Dren 2-A. Se considera que el Arroyo Tapioca tiene planicies de inundación para un periodo de retorno de 5 años, en donde se estima que se localiza una población de aproximadamente 9656 habitantes y un total de 3231 viviendas, conforme a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010. El dato de la población y viviendas solo se realizó en este estudio de la calle Santiago Blancas al Paseo de la Victoria.

Las diversas áreas que se muestran con potencial para definir un corredor de IV se denominan Área 1 Parque Roma, con una superficie de 23 450 m²; Área 2 Cementerio Colinas de Juárez, que representa un corredor de aproximadamente 970 m de longitud; Área 3 Parque Infonavit Juárez Nuevo, con una superficie de aproximadamente 11 451 m²; Área 4 Parque El Granjero, con una superficie de aproximadamente 4843 m²; Área 5 Parque Ampliación Aeropuerto, con una superficie de aproximadamente 4745 m², y finalmente, el Área 6 representativa del Dique Gardeno, con aproximadamente, 34 500 m². Por otro lado, el Arroyo Tapioca cuenta con una longitud de 8427 m desde su inicio hasta su desembocadura en el Dren 2-A. Para este análisis se dividió en dos tramos: Sección del tramo uno, que parte desde su inicio en la cabecera de la cuenca hasta la vialidad Santiago Blancas, y la segunda sección del tramo dos, que inicia de la Santiago Blancas hasta el Dren 2-A. Se genera así un área de influencia de 60 m de longitud transversal y da como resultado las siguientes superficies: Sección del Tramo 1 = 309 587 m², con una longitud de 3289; Sección del Tramo 2 = 196 779 m², con una longitud de 5139 m. En total se cuenta con una área potencial para IV de aproximadamente 506 366 m², para una longitud total de 8427 m lineales de cauce.





Hidrogramas de salida para periodos de retorno de 2, 10 y 25 años del Punto 1, Punto 2, Punto 3, Punto 4, JR540, Punto 5 y Tapioca.

Figura 6: Localización de áreas con potencial para la implementación de un corredor de IV



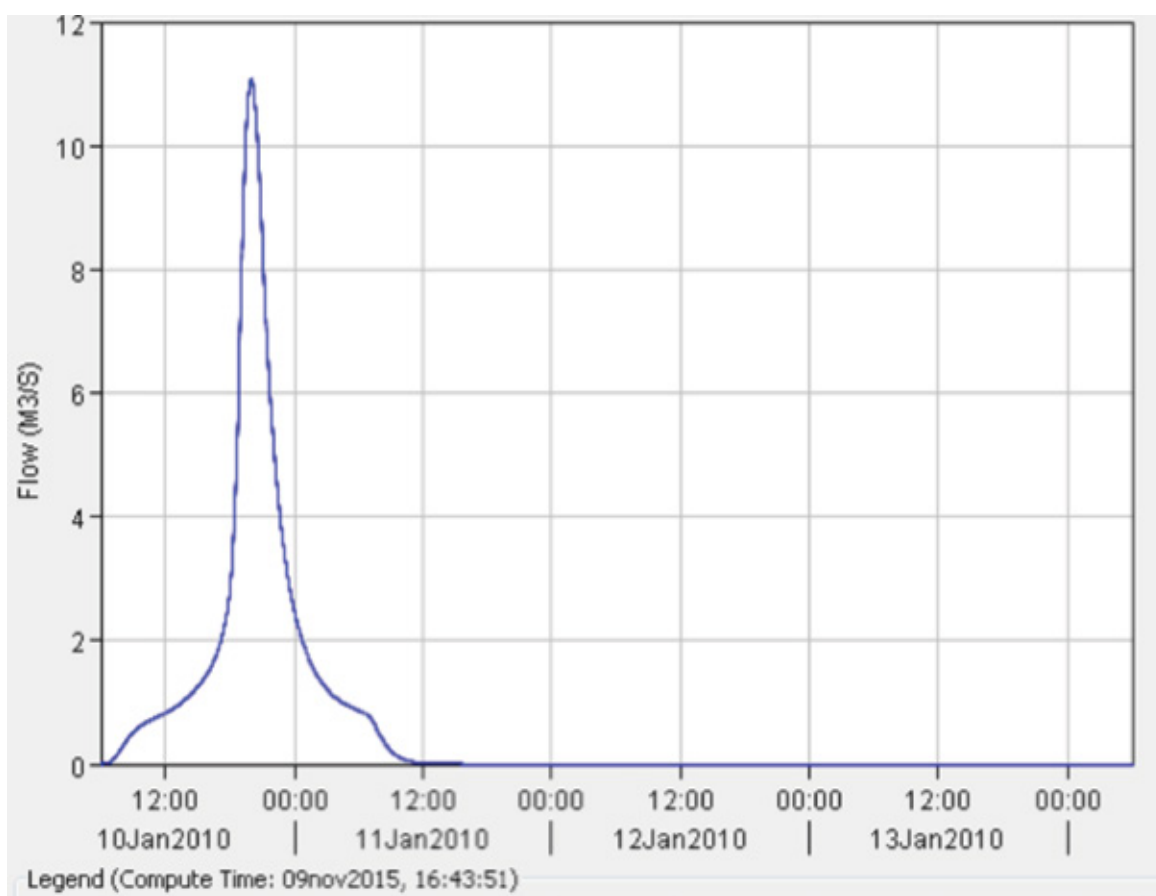
En la figura 7a se puede apreciar con detalle el nivel de urbanización en el área 1 (cabecera de la microcuenca) y su punto de intersección con la continuidad del cauce (Punto 1). Esta área es la de mayores dimensiones; presenta un nivel de impermeabilidad de 80 %. De igual manera, en la figura 7b se puede observar el hidrograma de tormenta calculado para un PR 2 años, en donde se estima un máximo de avenida de 11 m³/s y un acumulado de 215 000 m³ para una tormenta de 24 horas, lo que implica un manejo de este volumen estimado que pudiera ser operado con base en programas de implementación de acciones de IV, basados en la reforestación propuesta en la zona del Parque Roma, que como se ha mencionado anteriormente, cuenta con un área propia para la implementación de dichas acciones de IV.





7a





7b

Figura 7: a. Imagen de alta resolución con porcentaje de impermeabilidad en la zona de cabecera de microcuenca y b. Hidrograma de tormenta para un PR 2 años



Conclusiones

Se ha estudiado la viabilidad de un corredor de IV para la región del centro geográfico de Ciudad Juárez, Chih., aplicando estrategias de cálculos hidrológicos con base en el concepto de Hidrología Urbana (HU). Los principales hallazgos de esta investigación demuestran que es viable instalar dicho corredor en 6 áreas propuestas dentro del cauce principal del Arroyo Tapioca, lo que permitirá reducir la velocidad de las escorrentías, infiltrar al acuífero volúmenes importantes como parte de la recarga por efecto de la IV instalada y generar espacios verdes de recreación, y a su vez esto posibilitará incrementar la calidad de vida de los habitantes que colinden con dichas obras. Los volúmenes calculados de velocidades de escorrentías y gastos picos máximos acumulados fueron estimados en 7 puntos de intersección que son identificadas en los modelos hidrológicos como zonas clave para estimar dichos parámetros hidrológicos. Dentro de estas áreas, se tiene estimado la implementación de acciones de IV para complementar proyectos que permitan la reducción de riesgos hidrometeorológicos y recarga al acuífero.

Es importante destacar que dichas obras reducen mínimamente los riesgos hidrometeorológicos en la zona, dado que representan solo una pequeña parte del total del área estudiada, sin embargo, es de considerar la propuesta pues representa un inicio de acciones a favor del medio ambiente y de interacción con la sociedad que, al ser multiplicadas indefinidamente, se puede lograr un impacto considerable a la reducción de estos riesgos.

En cada una de las 6 propuestas se requiere de un análisis más detallado para estimar el diseño arquitectónico de las obras por realizar y calcular los costos asociados con dichos trabajos. Por otro lado, logrando la participación ciudadana en cada uno de los proyectos se pueden reducir considerablemente los costos de las obras y vincular al proceso en un círculo virtuoso a la comunidad. Se ha demostrado en este estudio que la interacción entre Hidrología Urbana e Infraestructura Verde (HUEIV), ambas áreas vinculantes, en conjunto pueden aportar soluciones viables para la prevención y remediación de riesgos hidrometeorológicos.

Es recomendable continuar la investigación y las acciones correspondientes del ejercicio práctico para la implementación de acciones de gobierno en donde se realicen las obras propuestas para beneficio de la comunidad y del medio ambiente en la localidad, buscando ser un referente nacional en la generación de HUEIV.



Bibliografía

- Leopold Luna B. 1968. *Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use*. Geological Survey Circular 554. Washington 1968. United States Department of the Interior.
- USDA-United States Department of Agriculture, 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. TR-55. Natural Resources Conservation Service. Conservation Engineering Division. Technical Release 55. June 1986.

Bibliografía complementaria como acervo de investigación

Internacional

- Delleur, J. 2003. The Evolution of Urban Hydrology: Past, Present, and Future. *J. Hydraul. Eng.*, 129 (agosto), 563–573.
- Gutiérrez, Miguel Ángel; Ayala, Andrés Raúl. 2002. *Hidrología Urbana: Efectos de la Impermeabilización en las Cuencas Urbanas de la Ciudad de Posadas*. Misiones, Argentina. Entidad Binacional Yacretá.
- Mnasell, M. G. 2003. Models of time-series. En *Rural and Urban Hydrology*. 101-103. U.S.
- Pilar, Jorge V.; Depettris, Carlos A. 2000. *Hidrología Urbana: Utilización de un SIG para la Estimación de Impermeabilidad Aplicable a un Modelo Hidrológico Concentrado*. Chaco, Argentina. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, U.N.N.E.
- Rodríguez Negrete, Launa; Rodríguez Jaques, Gustavo; Bravo Sepúlveda, Andrés. 2005. *Hidrología urbana: una aproximación transdisciplinaria*. Hacia la reestructuración de las ciudades hídricas. Valdivia, Chile. Instituto de Arquitectura y Urbanismo, UACH.
- Rodríguez, D. Tomás; Reinert, Hugo O.; Ruberto, Alejandro R.; M. Gómez, Marcelo J.; Aguirre, Miguel A.; Aguirre, Adrián G. 2013. *Instrumentación y modelación hidrológica superficial de una cuenca urbana de alta pendiente del centro de misiones*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Misiones, Argentina.
- Osman Akan, A.; J. Houghtalen, Robert. 2003. Urban stormwater computer models: HEC-HMS and EPA-SWMM, en *Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality: endeneering applications and computer modeling*. 326-350. U.S.



Nacional

- Campos Aranda, D. F. 1998. Geoformología de la cuenca, en *Procesos del Ciclo Hidrológico*. (2-1)-(2-29). Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- Esquivel Puente, Sergio. 2012. *Impacto del escurrimiento asociado a eventos de precipitación extremos en una cuenca urbana y su relación con el cambio y uso de suelo*. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Méndez, Guillermo José; Depettris, Carlos Alberto; Pilar, Jorge Víctor; Orfeo, Oscar; Ruberto, Alejandro Ricardo. 2014. Transferencia de sedimentos de una microcuenca a la red de drenaje urbano. *Tecnol. cienc. agua* vol.5 no.5 Jiutepec.
- Sánchez, Luis Alejandro; Martínez, González, Yoel. 2013. Sensibilidad y regionalización del parámetro de impermeabilidad en una cuenca urbana. *Tecnol. cienc. agua* vol.4 no.1 Jiutepec.



Referencias

Internacionales

1. Osman Akan, A.; J. Houghtalen, Robert (2003). Urban hydrology, Hydraulics and stormwater quality. 1.1 Urbanization and stormwater runoff, pág. 2. E.U.

https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=hmWflmO5uKcC&oi=fnd&pg=PR13&dq=urban+hydrology&ots=342dYmTdGx&sig=J4DWISYZfcXO6c53I-4w0Swm06l&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

2. Hernández, E.; Pardo, M. A.; Cabrera, E.; Cobacho, R. (2010). Energy assessment of water networks, a case study. Presentado en el congreso *Water Distribution System Analysis 2010*, Tucson, E.U.

<http://www.ita.upv.es/idi/descargaarticulo.php?id=222>

3. Fattorelli, Sergio; C. Fernandez, Pedro (2011). Diseño hidrológico, capítulo 11, Modelos hidrología urbana, Pág 471.

http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf

4. Piperno, Adriana; Sierra Pablo (2009). De la recuperación a la planificación del desarrollo: el caso de las inundaciones de treinta y tres (Uruguay). Pág. 3.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

5. Pacheco Montes, Margarita (2009). La gestión del agua lluvia y la reducción de riesgos urbanos. Pág. 25

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

6. Celmi Coral, Jessica (2009). Aplicación del análisis de multicriteria (mca) en la planificación para la mitigación de inundaciones en la parte baja del río chillón. Pág. 37.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

7. Lozano Cortijo, Olga (2009). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos. Pág. 57.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

8. Saavedra Ruiz, Walter (2009). La gestión de riesgos en el desarrollo urbanístico del asentamiento humano defensores de la patria. Pág. 87.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

9. Ramírez, Fernando; Ghesquiere, Francis; Costa, Carlos (2009). Un modelo para la planificación de la gestión del riesgo de desastre en grandes ciudades. Pág. 109.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

10. García Lemus, Víctor Manuel (2009). Diagnóstico y valoración de riesgos de desastres en entornos urbanos. Pág. 133.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

11. Roboter, Julien (2009). La dimensión territorial de los riesgos urbanos en caracas. La Pertinencia de las Ciencias Sociales: Ecología Política y Construcción Social. Pág. 159.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

12. Liñayo, Alejandro (2009). Identificación y tratamiento del riesgo tecnológico urbano de la ciudad de mérida (venezuela). Pág. 173.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

13. Hild, Anne (2009). Riesgos urbanos: la población de San Salvador entre volcanes, barrancos y sismos. Pág. 191.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

14. A. Salamanca. Luis (2009). Estudio de resiliencia en desastres naturales en seis barrios de la ciudad de La Paz, Bolivia. Pág. 205.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

15. Manolo Barillas, Edy; Carrera, Maribel (2009). Preparación ante desastres en asentamientos precarios de la zona metropolitana de Guatemala, Centro. Pág. 223.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

16. Díaz Delgado, Carlos; Esteller Alberich, María Vicenta; López-Vera, Fernando (2009). Recursos hídricos, conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica, sección V: sistemas de utilización de recursos hídricos, capítulo V.1: sistemas de utilización del agua: urbano, agrícola e industrial, Pág. V-5.

<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/rh01/rh01.pdf>

17. Rodríguez López, Yakelín; Marrero de León, Norberto (2010). Metodología para la simulación hidrológica de eventos extremos máximos en ausencia de datos hidrométricos a escala horaria. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 19, Núm. 4, 2010, Pág. 53.

<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v19n4/rcta09410.pdf>

18. Olcina Cantos, Jorge (2010). Prevención de riesgos: cambio climático, sequías e inundaciones. Panel científico técnico de seguimiento de la política del agua.

<http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/61.pdf>

19. Benito, Gerardo; Corominas, Jordi; Moreno, José Manuel (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático: riesgo de crecidas fluviales. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático Proyecto ECCE - Informe Final, Pág. 525-548

<http://digital.csic.es/handle/10261/97621>

20. Palla, Anna; Gnecco, Ilaria; G. Lanza, Luca (2010). Hydrologic restoration in the urban environment using green roofs. Water (2010), Vol. 2, Núm. 2, Pág. 140-154.

<http://www.mdpi.com/2073-4441/2/2/140>

21. Heredia A., Caroline (2012). Infraestructura verde: un espacio para la innovación de la cubierta vegetal. Trabajo fin de máster, Máster Universitario en Gestión en Edificación, Universidad Politécnica de Madrid.

http://oa.upm.es/14256/2/TESIS_MASTER_CAROLINE_HEREDIA_A_2.pdf

22. Fariña, José (2012). Infraestructura verde urbana. El blog de José Fariña, Urbanismo, territorio y paisaje, 27 de junio de 2012.

<http://elblogdefarina.blogspot.mx/2012/06/infraestructura-verde-urbana.html>

23. Breña Puyol, Agustín Felipe (2003). Hidrología Urbana, Capítulo 3: relación lluvia-escurrimiento en zonas urbanas. Recurso electrónico.

<http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/libro-web/index.htm>

24. N. Menéndez, Ángel (2001). Códigos numéricos de la hidrología urbana. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

http://campus.fi.uba.ar/pluginfile.php/111626/mod_resource/content/0/Menendez%20Hidrolog%C3%ADa%20Urbana%2001-nov-13.pdf

25. Ilaya Ayza, Amilkar Ernesto (2010). Introducción a la hidrología urbana. Como parte del curso “Ingeniería sanitaria II”.

http://docentes.uto.edu.bo/ailayaa/wp-content/uploads/HIDROLOGIA_URBANA.pdf

26. Patil, Ashish (2015). Urban hydrology, need o India. Environ. We Int. J. Sci. Tech. 10 (2015)29-36.

https://www.researchgate.net/publication/279974761_Urban_Hydrology_Need_of_India

27. Kupriyanov, V. V. (2005). Urban hydrology. Hydrological cycle, Vol. 3.

<http://www.eolss.net/sample-chapters/c07/e2-02-06-05.pdf>

28. Andrew Day, Christopher; Allen Bremer, Keith (2013). Modeling Urban Hydrology: A Comparison of New Urbanist and Traditional Neighborhood Design Surface Runoff. International Journal of Geosciences, 2013, Vol. 4, Pág. 891-897.

https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj2vdHhy7_LAhWG5yYKHaHCAMcQFggxMAM&url=http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.4236%2Fijg.2013.45083&usg=AFQjCNFA7-lju5pAvmLm1aAaU0Yr4znMOg&sig2=IAPX1Lbfl_RB6fwav-TVZQ

29. H. Platt, Rutherford (2006). Urban watershed management: sustainability, one stream at a time. Environment, Vol. 48, Núm. 4, Pág. 26-42.

<http://www.umass.edu/ecologicalcities/documents/environment06.pdf>

30. K. Weiskel, Peter; K. Barlow, Lora; W. Smieszek, Tomas (2005). Water Resources and the Urban Environment, Lower Charles River Watershed, Massachusetts, 1630–2005. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2005.

<http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1280/pdf/cir1280.pdf>

Nacionales

1. César Ángel Peña Salmón (2011). Metodología para la planificación de las áreas verdes urbanas: el caso de Mexicali, Baja California. Universidad Autónoma de Baja California, 333 pp.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/estfro/v13n26/v13n26a10.pdf>

2. Perevochtchikova, María; Ochoa Tamayo, Aura Milena (2011). Avances y limitantes del programa de pago por servicios ambientales hidrológico en México 2003-2009. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 3 Núm. 10.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v3n10/v3n10a8.pdf>

3. Martínez Omaña, María oncepción (2010). La obra del ingeniero Manuel Marroquín y Rivera: una revisión de sus aportes al abasto del agua urbana en las primeras décadas del siglo XX. Instituto Mora.

http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Mecanica_Industrial/17.pdf

4. Dávila Pórcel, René Alberto; de León Gómez, Héctor (2011). Importancia de la hidrología urbana; ciencia clave para el desarrollo urbano sostenible. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 64, Núm. 3, 2011, Pág. 463-477.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v63n3/v63n3a8.pdf>

5. Rodríguez Negrete, Laura; Rodríguez Jaques, Gustavo; Bravo Sepúlveda, Andrés (2005). Hidrología urbana, una aproximación transdisciplinaria. Hacia la reestructuración de las ciudades hídras. Síntesis tecnológica, Volumen 2, Núm. 1, Pág. 37-45.

http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-025X2005000100005&script=sci_arttext

6. Campos-Aranda, D. F. (2010). Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la república mexicana. Ingeniería, Investigación y Tecnología, Volumen XI, Núm. 2, Pág. 179-188.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40412515005>

7. Vásquez Sánchez, Miguel Ángel; Espíritu Tlatempa, Gloria; Morales Iglesia, Horacio; Montoya Gómez, Guillermo; Navarrete Gutiérrez, Darío (2009). Riesgo por inundaciones en la ciudad de Tapachula, Chiapas, México (Investigación para su ordenamiento ecológico y desarrollo urbano). Pág. 143.

<http://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>

8. Perevochtchikova, María; Lezama de la Torres, José Luis (2008). Causas de un desastre, inundaciones del 2007 en Tabasco, México. Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales. El Colegio de México (CEDUA-COLMEX).

<http://www.colmex.mx/academicos/cedua/mariap/pdfs/Articulos/2010-Causas%20de%20un%20desastre%20Inundaciones%20del%202007%20en%20Tabasco,%20M%C3%A9xico.pdf>

9. Breña Puyol, Agustín Felipe; Brña Naranjo, Jose Agustín (2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. Revista Ciencia, edición julio-septiembre 2007. Pág. 64.

http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/58_3/PDF/09-550.pdf

10. Rodríguez-Pineda, J. Alfredo; Grijalva, Iván; Barrios Ordóñez, Eugenio (2013). Lecciones aprendidas en la conservación de suelos en la Cuenca Alta de Río Conchos, parte del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuenca Hidrográficas, Morelia, Michoacán, julio 2013, Memorias, Pág. I-39.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

11. Esquivel Arriaga, Gerardo; Bueno Hurtado, Palmira; Sánchez Cohen, Ignacio; Velásquez Valle, Miguel Agustín; Delgado Ramírez, Gerardo (2013). Eficiencia predictiva de modelos hidrológicos para cuencas poco instrumentadas, Pág. I-57.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

12. Esquivel Puente, Sergio; Guerra Cobián, Víctor Hugo; Ferriño Fierro, Adrián Leonardo (2013). Modelado hidrológico en una cuenca urbana, análisis del escurrimiento bajo diferentes escenarios de cambio y uso de suelo, Pág. I-107.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

13. Rodríguez Rodríguez, Javier; Gómez-Tagle Chávez, Alberto; Rosas Rangel, Dulce María (2013). Revegetación natural: ¿mayor infiltración en una cárcava?, Pág. II-39.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

14. González Lara, Hugo; Arvizu Cobos, Luis Gerardo; Domínguez Cortázar, Miguel Ángel (2013). Uso de herramienta informáticas para la caracterización geomorfológica de cuencas hidrográficas, Pág. III-3.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

15. Merlos Villegas, Fidelmar; Sánchez Quispe, Sonia Tatiana; Almanza Campos, Jorge Alfonso; Domínguez Sánchez, Constantino (2013). Evaluación de la gestión de datos para estudios hidrológicos, Pág. III-43.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

16. Correa González, Alejandra; Sánchez Quispe, Sonia T.; Hernández Hernández, Mario Alberto (2013). Análisis comparativo de los modelos hidrológicos SWAT y patricial, Pág. III-55.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

17. Ortega-Gaucín, David (2013). Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del Río Bravo (sección mexicana), Pág. VI-3.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

18. García Villanueva, Nahún H.; Hernández Barrios, Leonardo (2013). Análisis, selección y diagnóstico de cuencas mexicanas para su integración a programas internacionales de gestión de agua, Pág. VI-69

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

19. Hernández Bedolla, Joel; Sánchez Quispe, Sonia T., Domínguez Sánchez, Constantino (2013). Incremento de la temperatura en el Río Grande de Morelia debido al cambio climático (evidencia y escenarios de proyección, Pág. X-15.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

20. Hernández Bedolla, Joel; Sánchez Quispe, Sonia T., Domínguez Sánchez, Constantino (2013). Gestión de los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la subcuenca del Río Grande de Morelia, Pág. X-27.

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf

21. Piña Sánchez, Ramón Arturo (2006). Planeación prospectiva para la investigación científica y desarrollo tecnológico en materia de agua y su gestión. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, reporte final de proyecto (Proyecto DP-0637.1).

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/45974Pri.pdf>

22. H. Manson, Robert (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. Madera y Bosques, Año/Vol. 10, Núm. 001, Pág. 3-20.

<http://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Manson-2004.pdf>

23. Woitrin-Bibot, Eveline; Matrínez-Arredondo, Julio César; Ramos-Arroyo, Yann René (2015). Crecimiento urbano e incremento de riesgos hidrológicos en la ciudad de Guanajuato, México. L'Ordinaire des Amériques, 218.

<https://orda.revues.org/1937?lang=es>

24. García, Hiram (2013). Isla urbana. Parte del Primer Foro Nacional Sobre Infraestructura Verde, Tijuana, 21 de noviembre de 2013 (COLEF, UABC).

<http://www.colef.mx/wp-content/uploads/2013/08/Mtro.-Hiram-Garc%C3%ADa.pdf>

25. Lara Valencia, Francisco (2013). El valor de la ecología transfronteriza para el desarrollo urbano sostenible: infraestructura polivalente y espacio público en ambos nogales. Parte del Primer Foro Nacional Sobre Infraestructura Verde, Tijuana, 21 de noviembre de 2013 (COLEF, UABC).

<http://www.colef.mx/wp-content/uploads/2013/08/Dr.-Francisco-Lara-Valencia.pdf>

26. Córdova, Ana; Barragán, Salvador (2013). Rescate de acequias en Ciudad Juárez. Parte del Primer Foro Nacional Sobre Infraestructura Verde, Tijuana, 21 de noviembre de 2013 (COLEF, UABC).

<http://www.colef.mx/wp-content/uploads/2013/08/Mtro.-Barrag%C3%A1n-y-Dra.-C%C3%B3rdova.pdf>

27. MacAdam, James; DeRoussel, James; Murrieta-Saldívar, Joaquín; Roach, Karilyn; Shipek, Catlow; Shipek, Lisa; Syracuse, Tory (2014). Infraestructura verde para comunidades del desierto sonorense. Watershed Management Group 2014.

<http://www.agua.org.mx/index.php/biblioteca-tematica/gestion-del-agua/1253-a-organizacion-social-y-gestion-del-agua-en-las-c/32721-infraestructura-verde-para-comunidades-del-desierto-sonorense>

28. Toscano Arano, Hugo Alberto (2011). Diseño de un Modelo de Hidrología urbana para la Zona Centro de la Ciudad de Xalapa, Ver. en las Faldas del Cerro de Macuiltépec. Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Región Xalapa.

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30596/1/ToscanoArano.pdf>

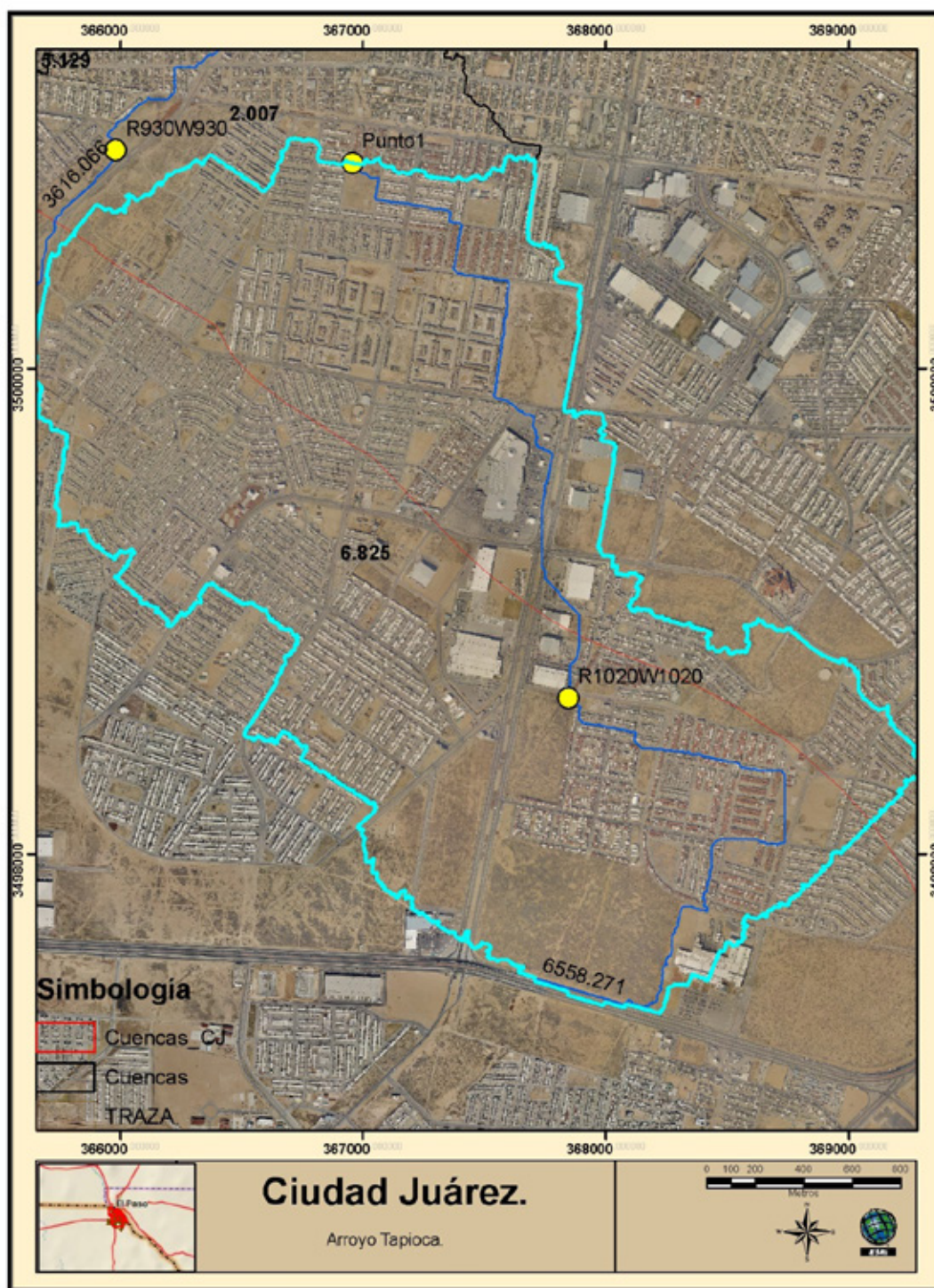
29. Campos Aranda, Daniel Francisco (2010). Introducción a la hidrología urbana. Primera edición, marzo de 2010.

<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmxwcm9mZXNvcmhY3RvcmlheW9yZ2FwYXV0aHxneDozYzEwOTVhZjYxZmY3ZmYw>

30. Gleason Espíndola, José Arturo (2014). Restauración hidrológica de cuencas urbanas: el caso de la cuenca del Valle de Atemajac. Presentación de la Universidad de Guadalajara de la mano con la International Rainwater Catchment Systems Association (IRCSA).

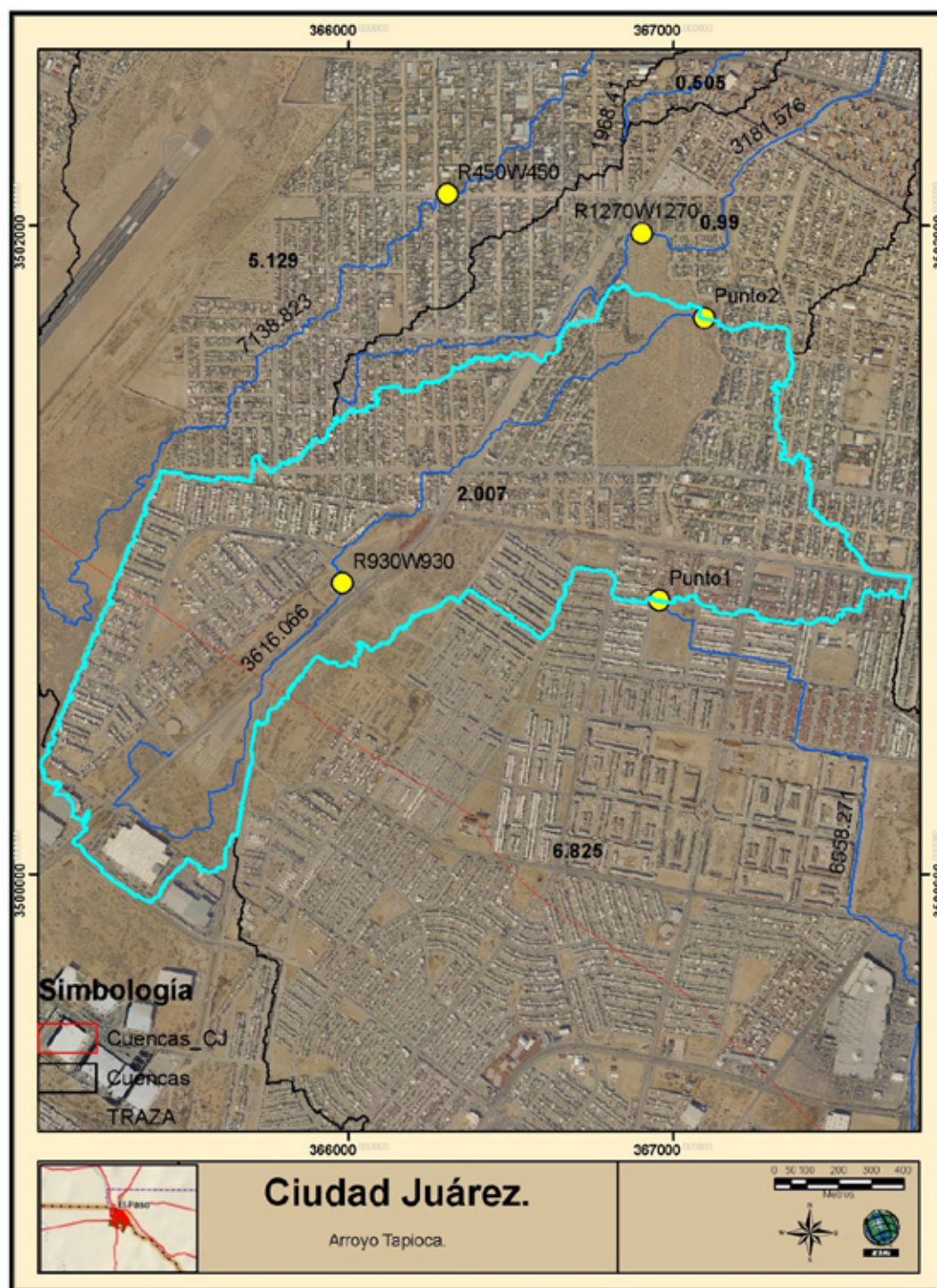
http://www.ceajalisco.gob.mx/caa/docs/2014/07_restauracion_hidrologica_udg_gleason.pdf

Anexo. Mapas e histogramas



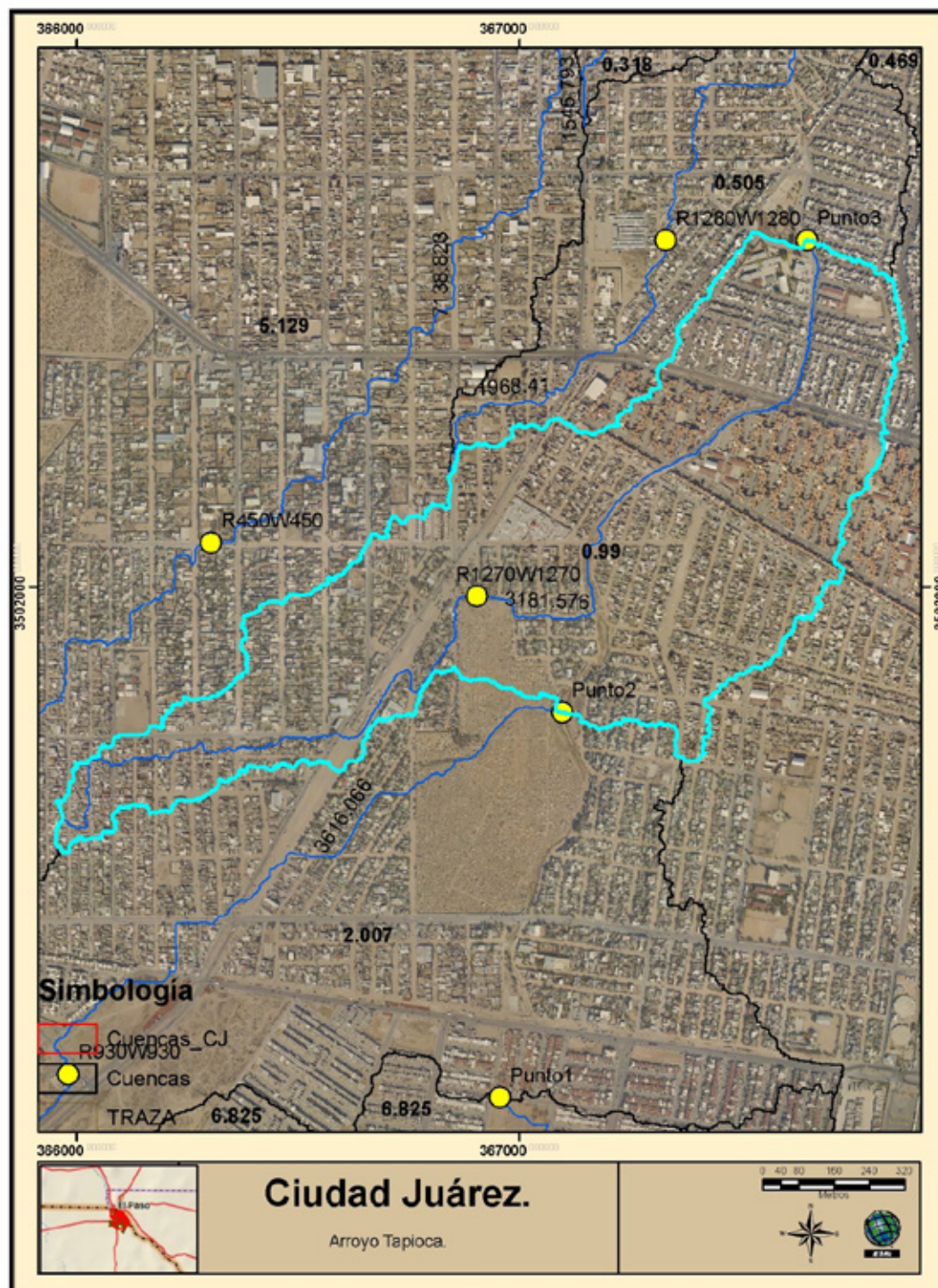
Parámetros fisiográficos de longitud y área de aporte microcuenca Punto 1.





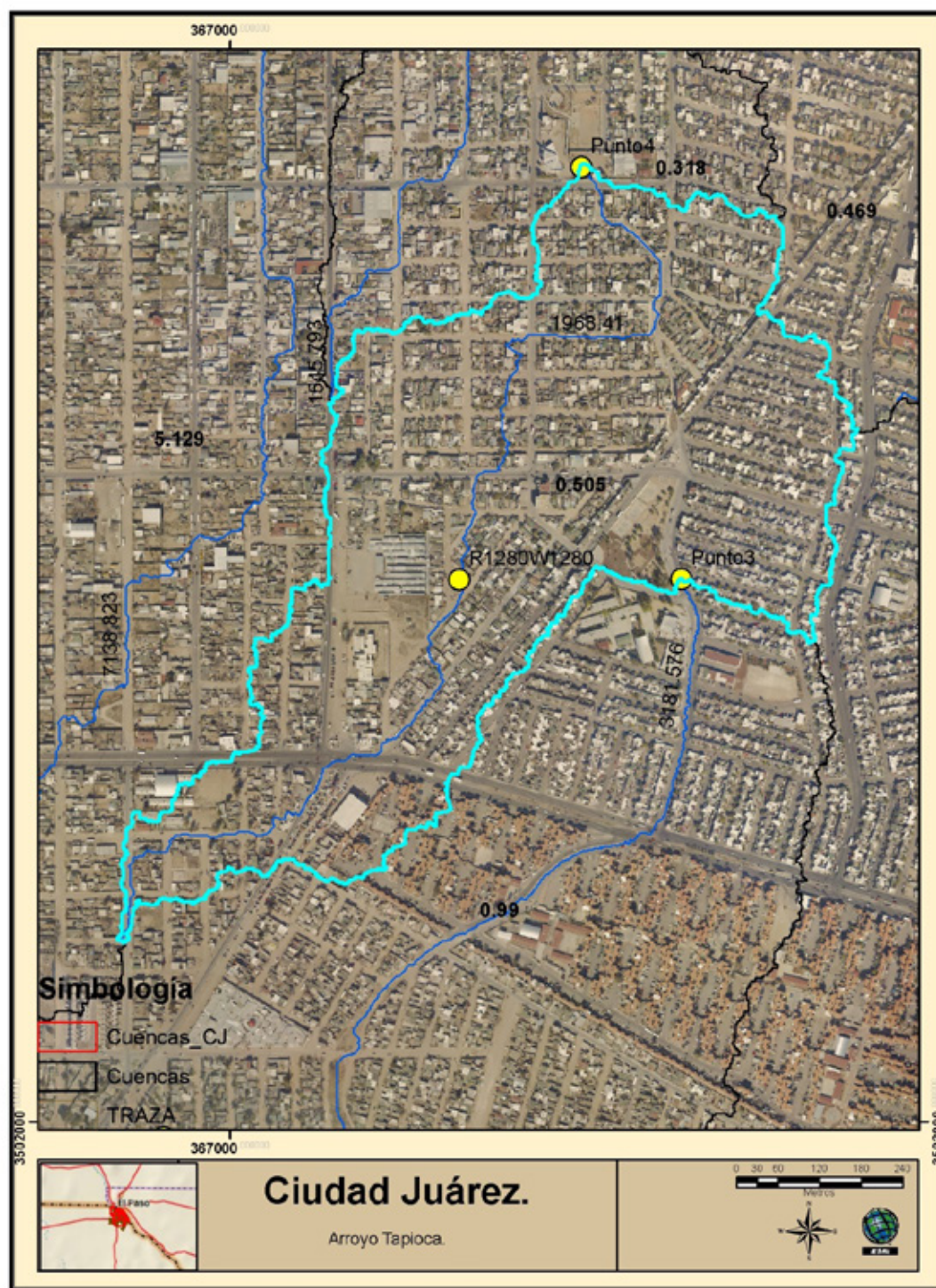
Parámetros fisiográficos de longitud y área de aporte microcuenca Punto 2.





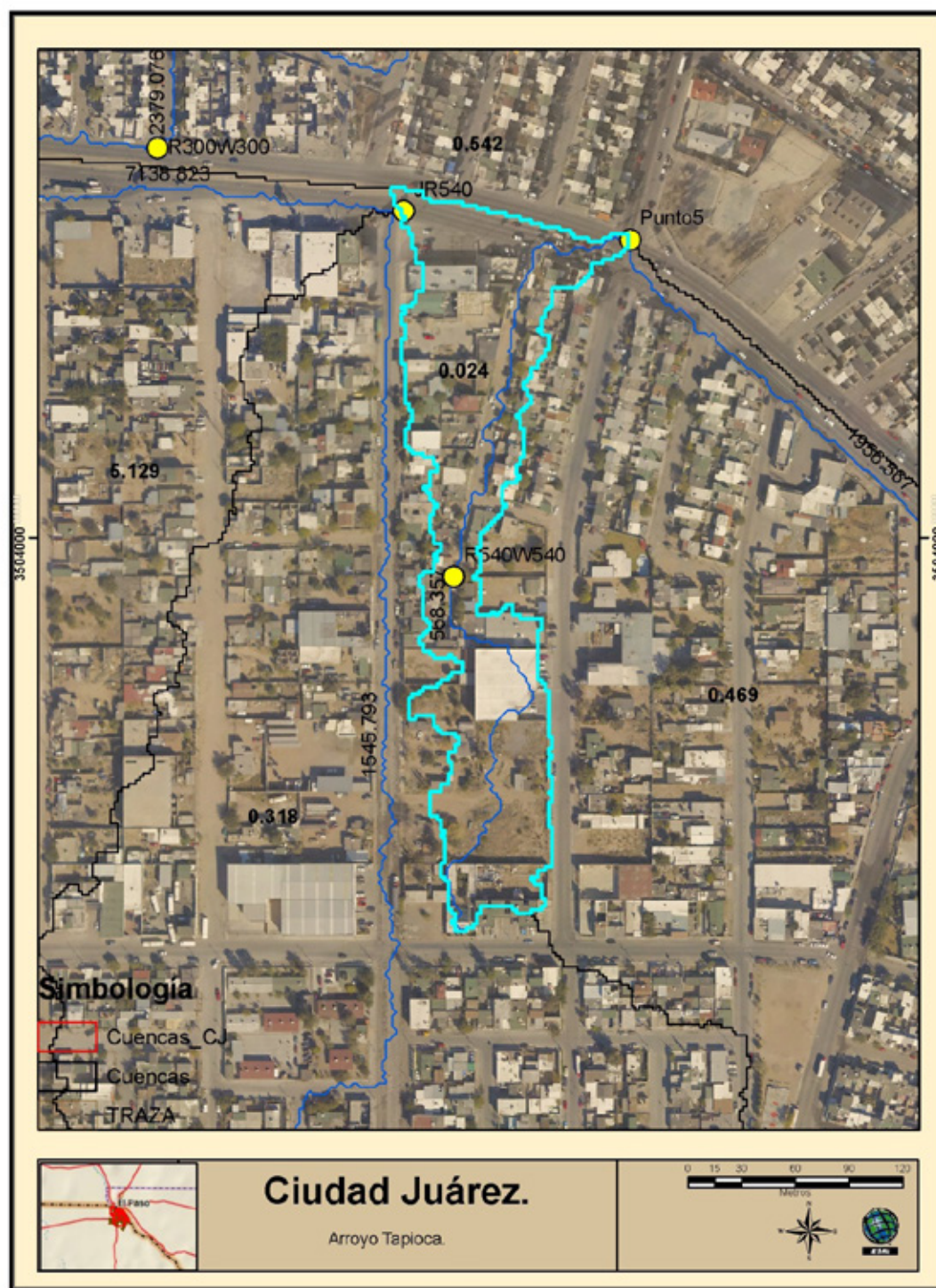
Parámetros fisiográficos de longitud y área de aporte microcuenca Punto 3.





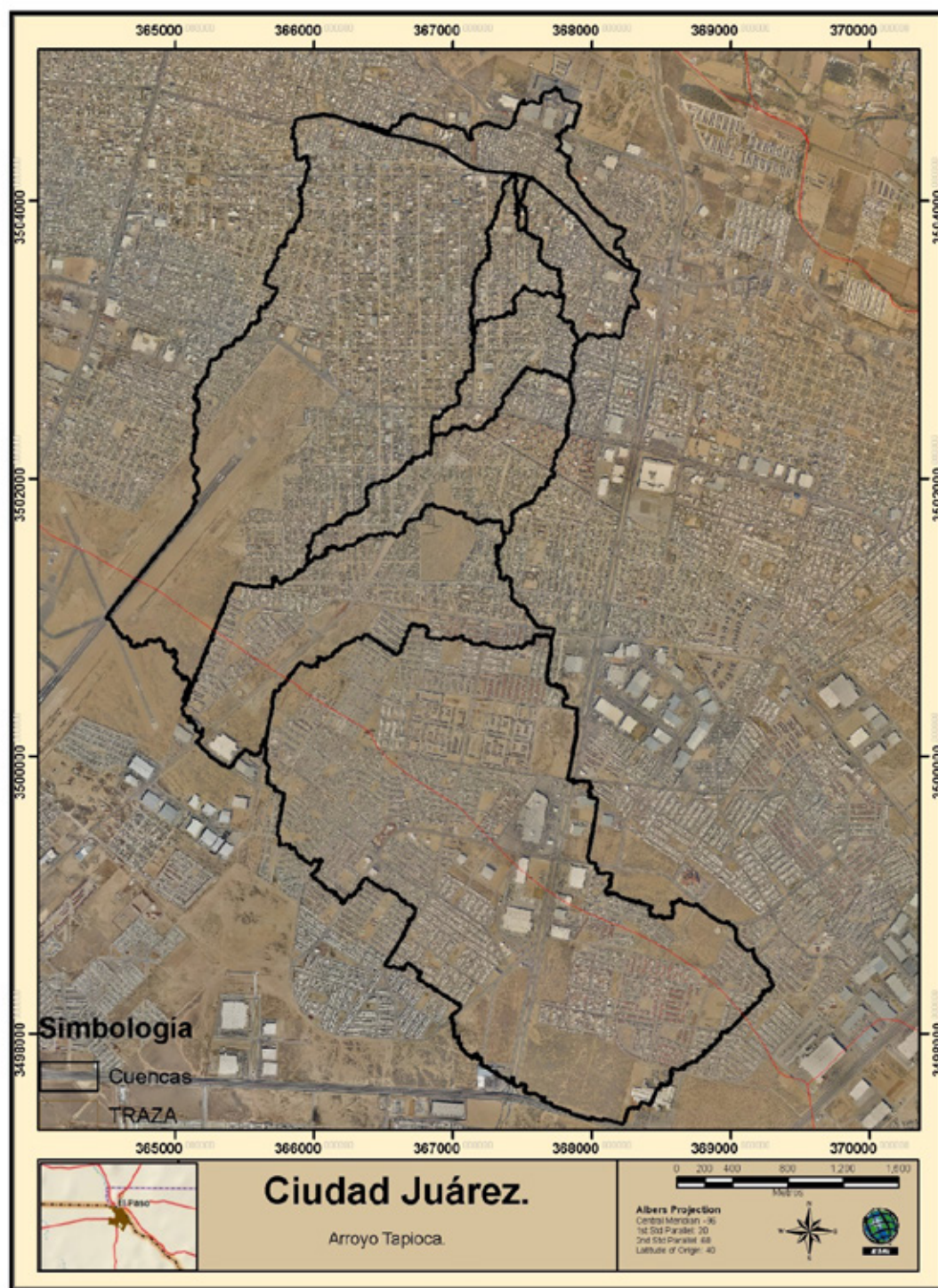
Parámetros fisiográficos de longitud y área de aporte microcuenca Punto 4.





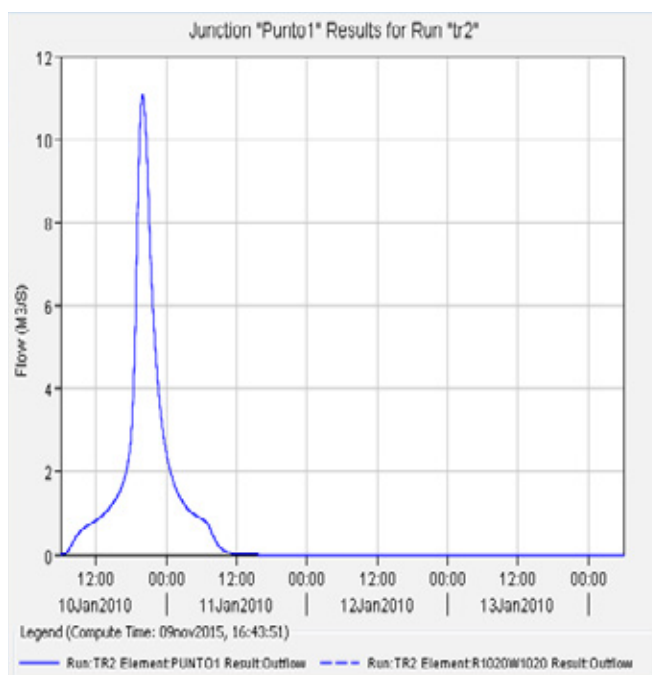
Parámetros fisiográficos de longitud y área de aporte microcuenca Punto 5.



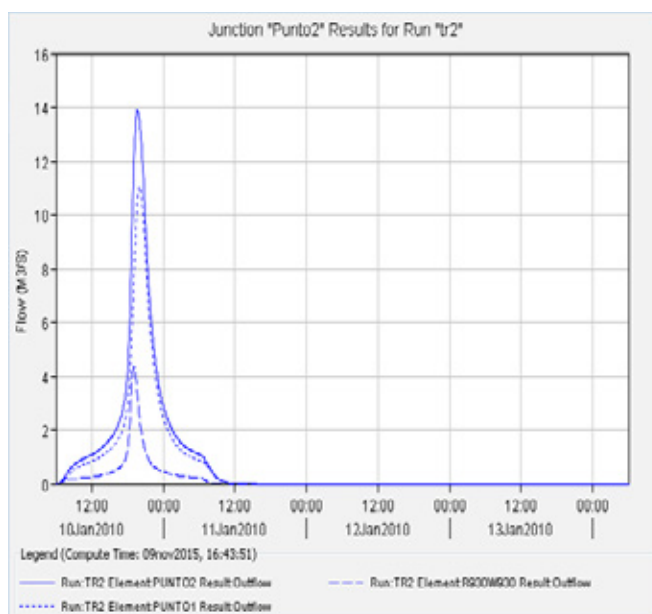


Tiipo y uso de suelo dominante dentro del área de estudio.



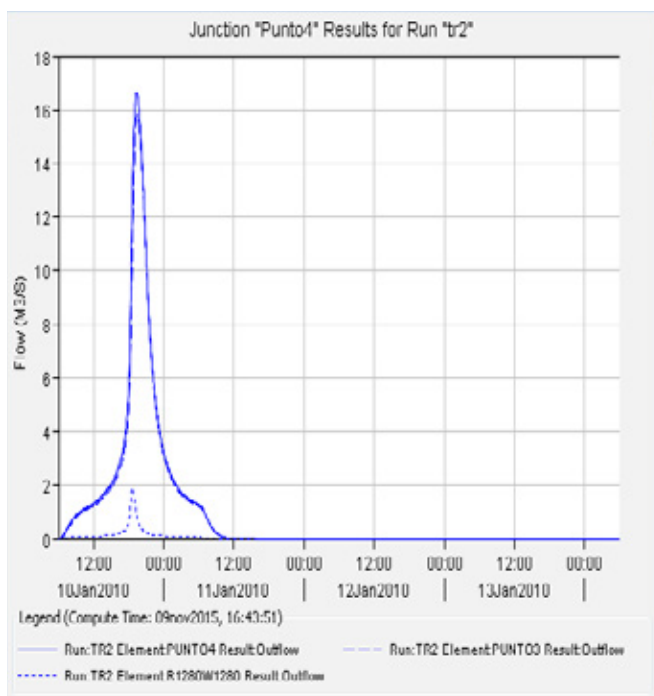
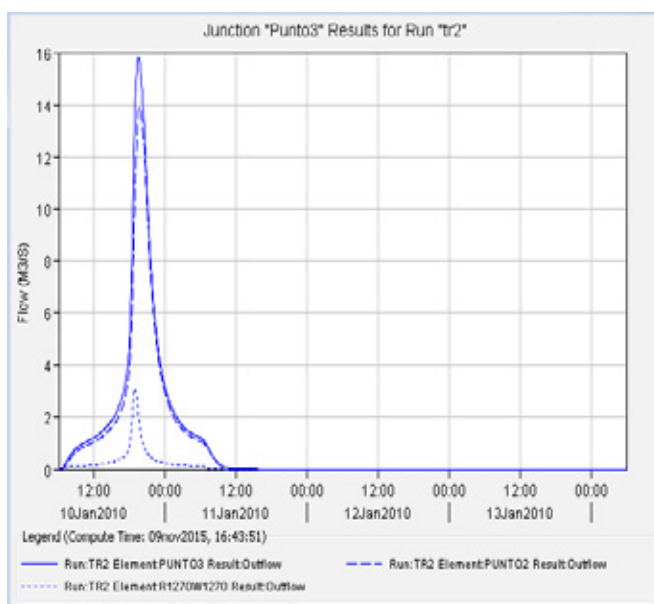


Hidrograma de salida del Punto 1 Tr 2 años



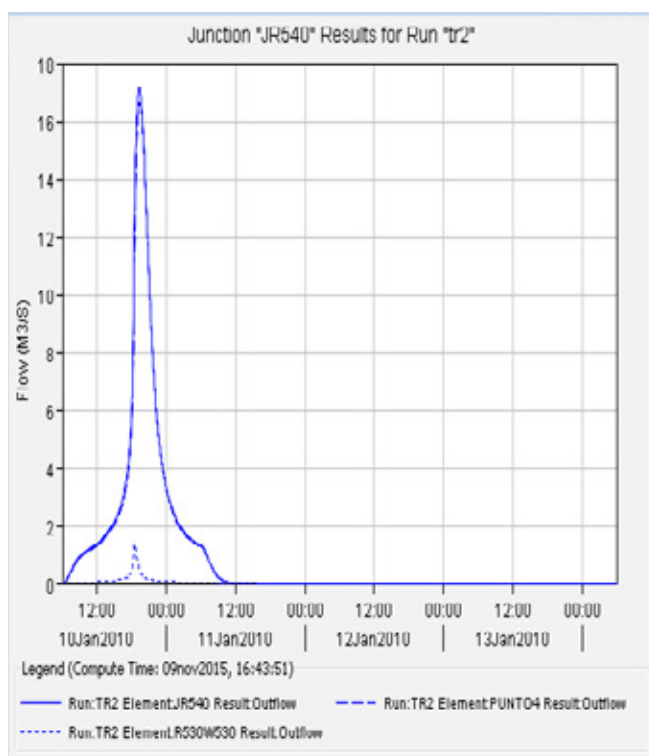
Hidrograma de salida del Punto 2 Tr 2 años



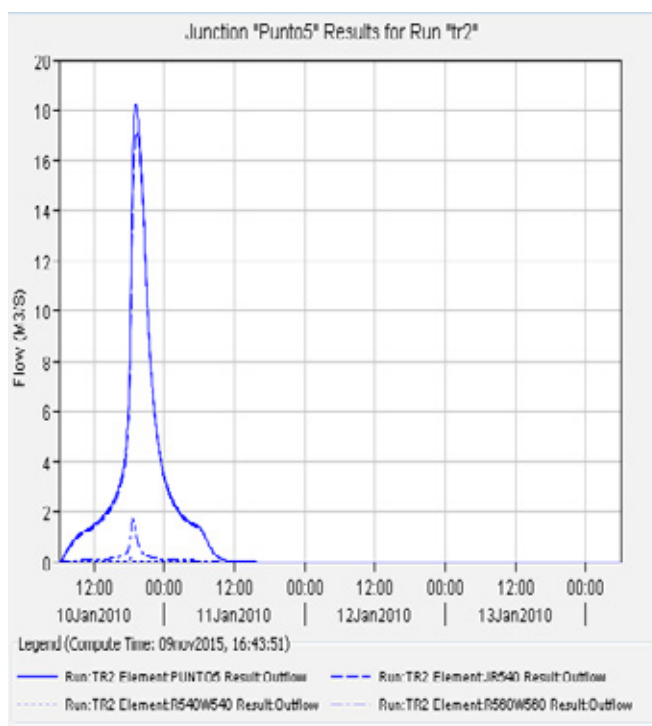


Hidrograma de salida del Punto 4 Tr 2 años



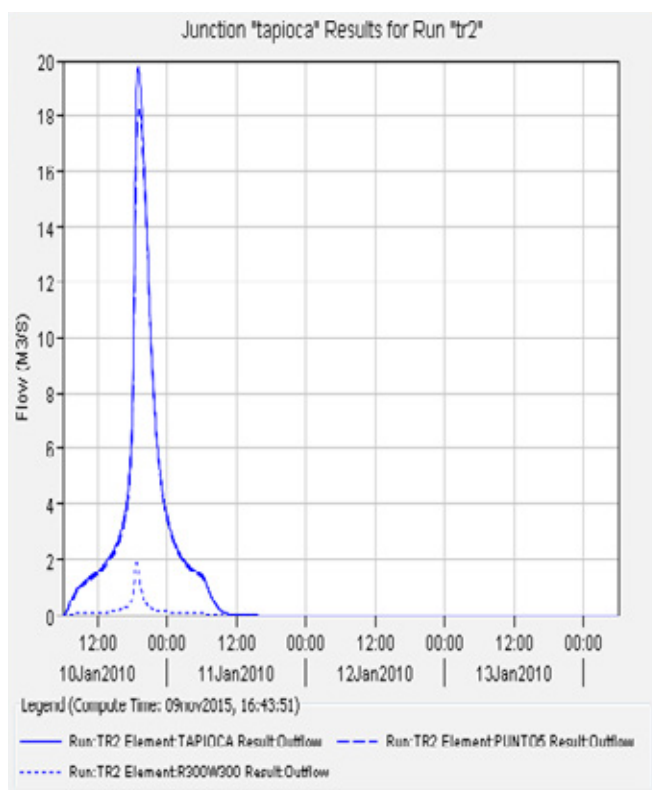


Hidrograma de salida del Punto JR540 Tr 2 años

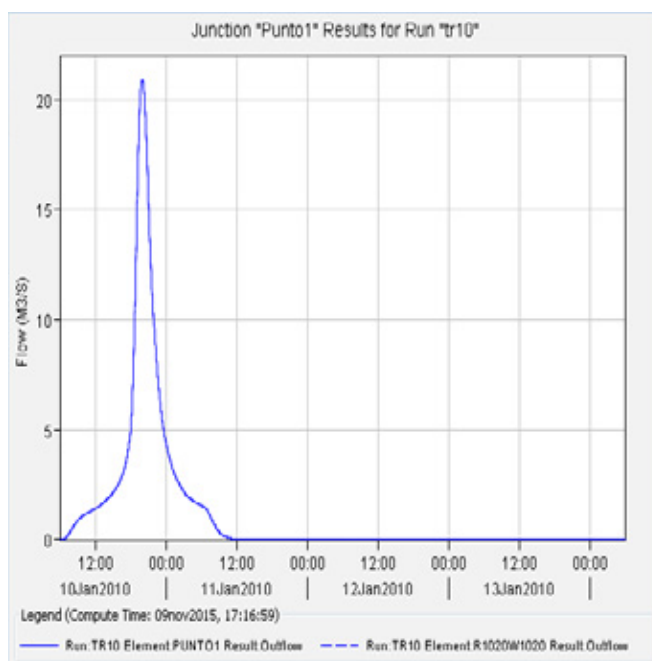


Hidrograma de salida del Punto 5 Tr 2 años



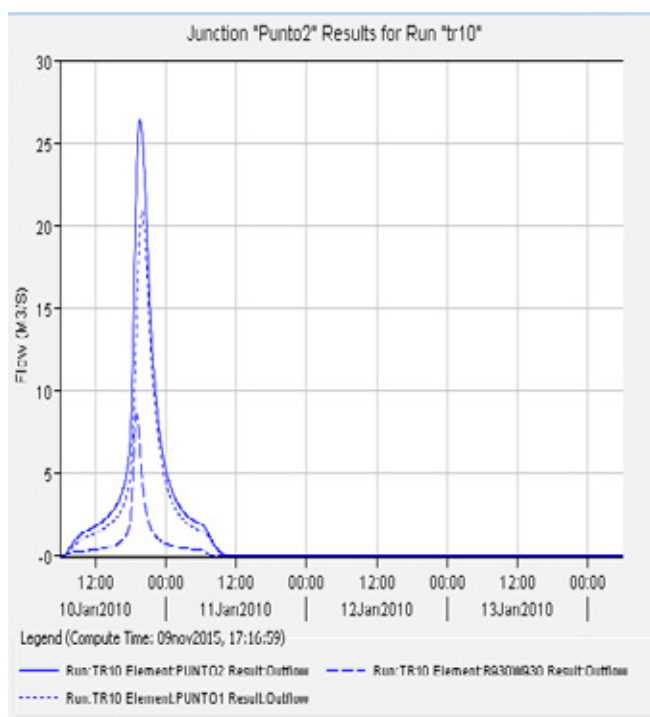


Hidrograma de salida del Tapioca Tr 2 años

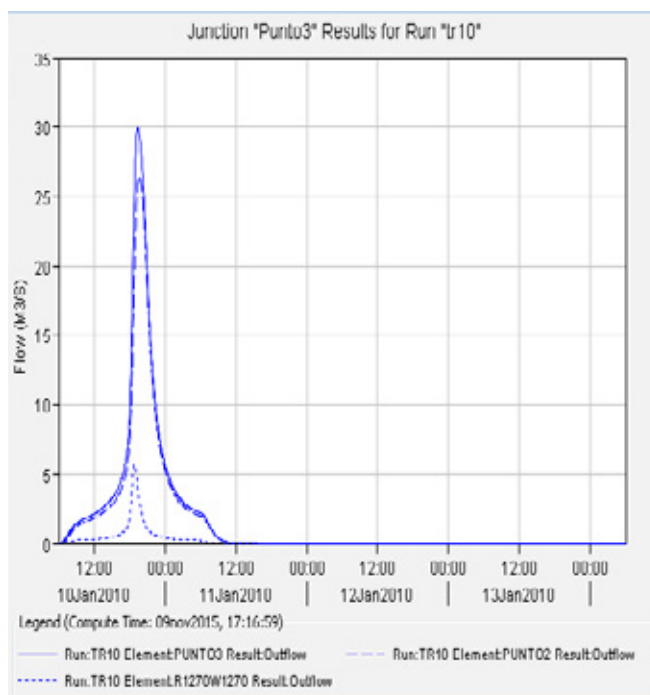


Hidrograma de salida del Punto 1 Tr 10 años



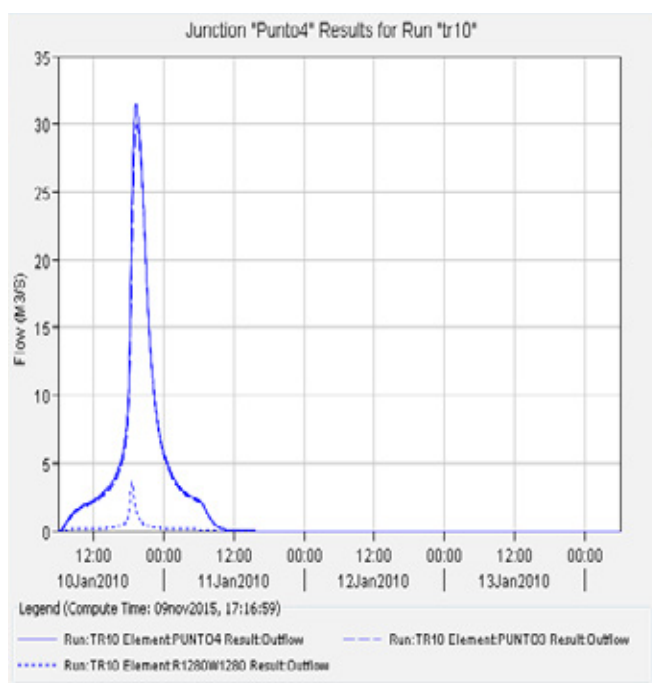


Hidrograma de salida del Punto 2 Tr 10 años

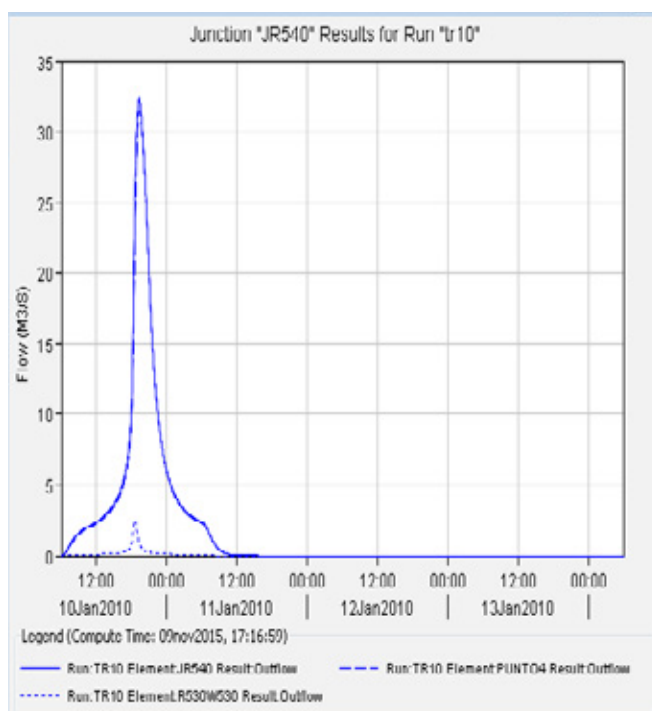


Hidrograma de salida del Punto 3 Tr 10 años



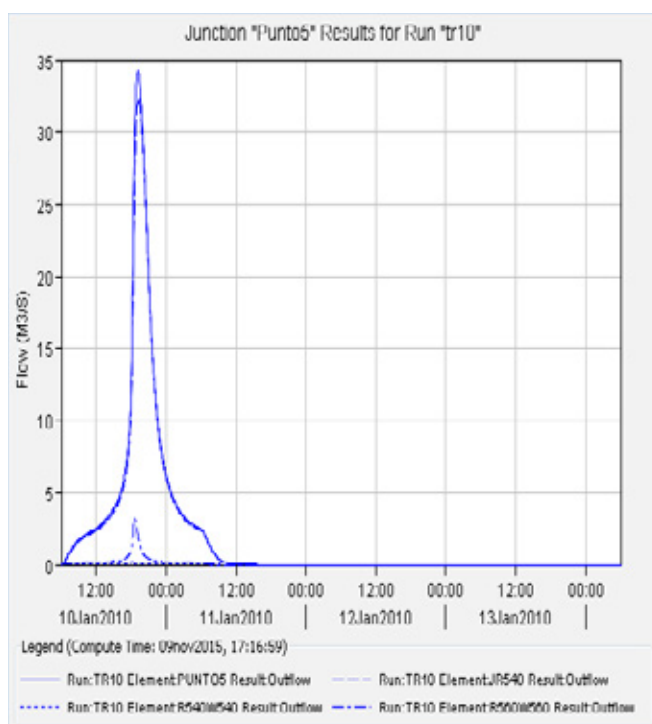


Hidrograma de salida del Punto 4 Tr 10 años

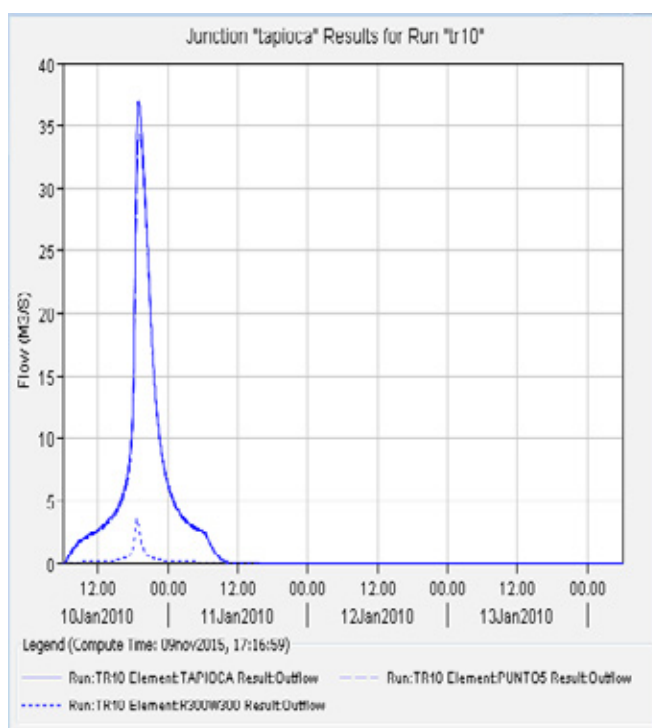


Hidrograma de salida de la unión JR 540 Tr 10 años



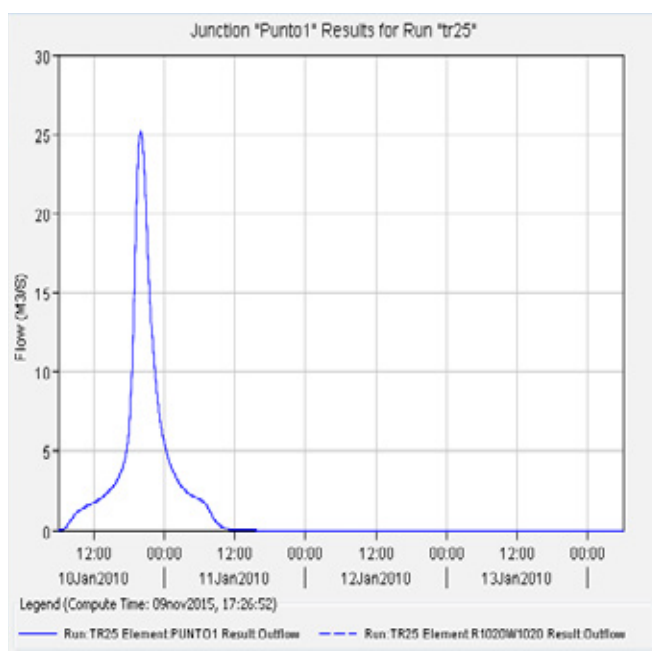


Hidrograma de salida del Punto 5 Tr 10 años

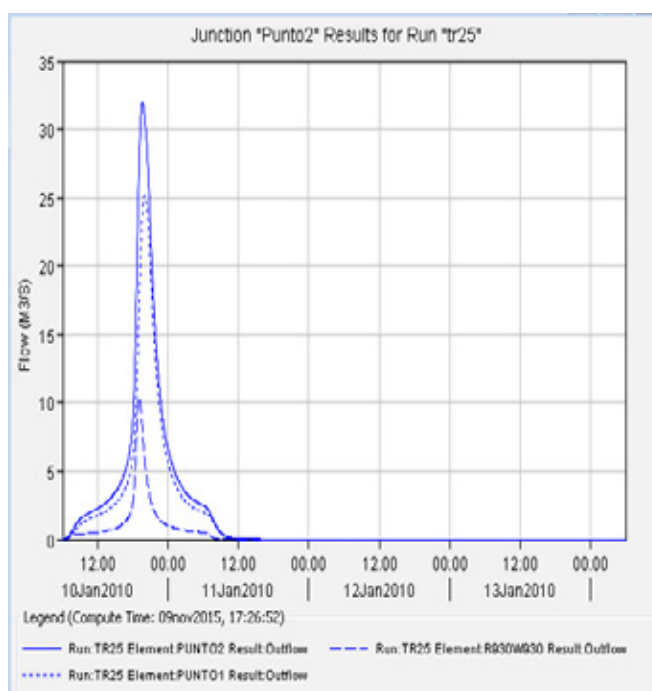


Hidrograma de salida del Tapioca Tr 10 años



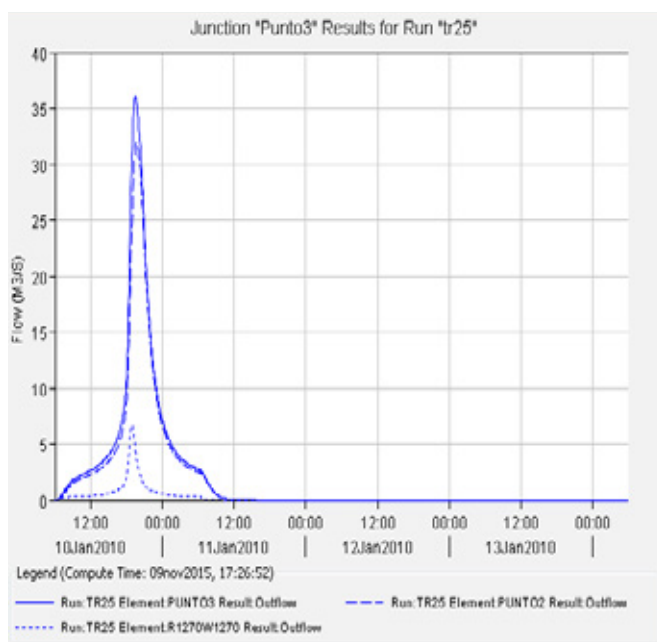


Hidrograma de salida del Punto 1 Tr 25 años

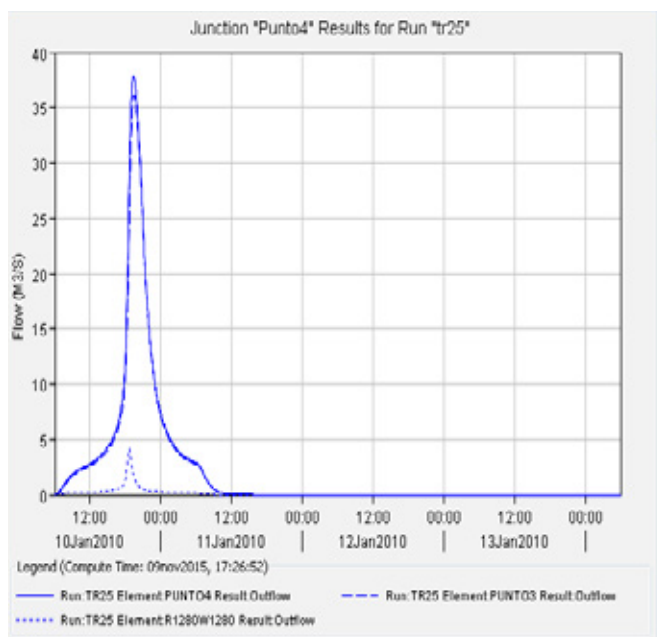


Hidrograma de salida del Punto 2 Tr 25 años



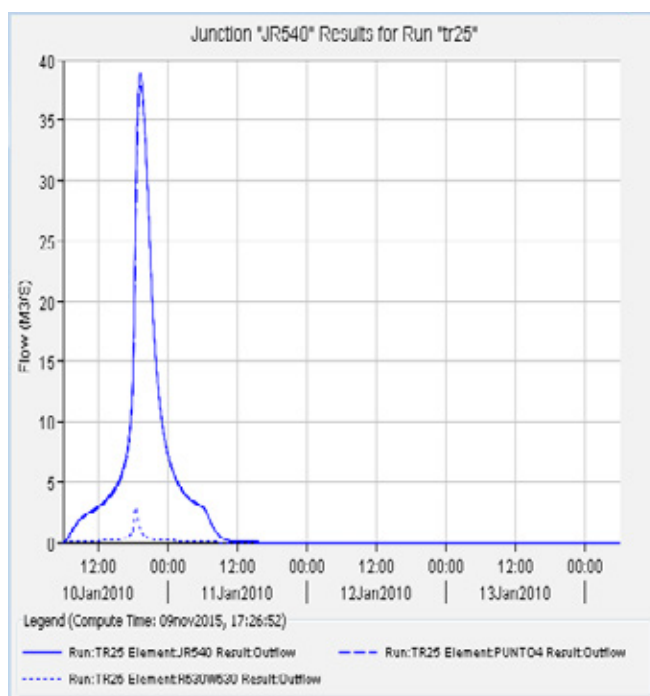


Hidrograma de salida del Punto3 Tr 25 años

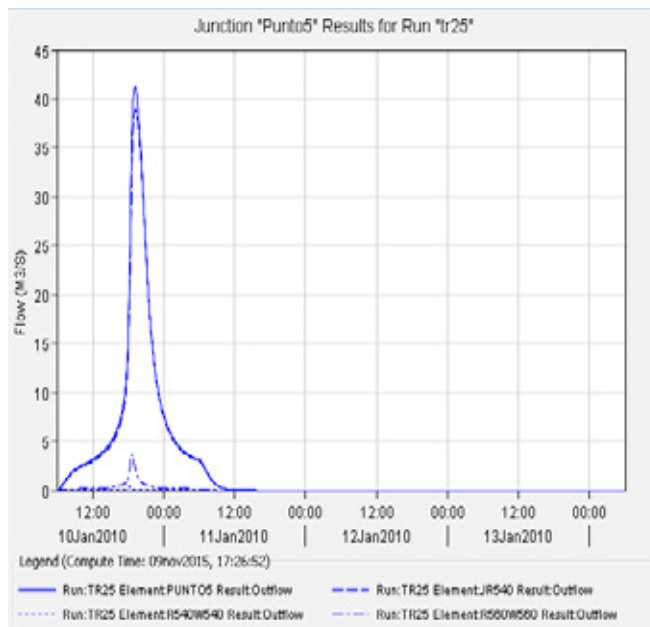


Hidrograma de salida del Punto 4 Tr 25 años



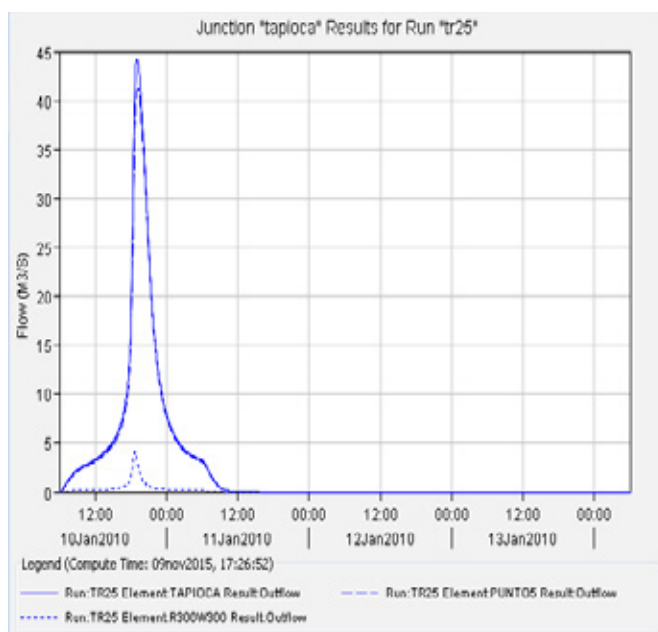


Hidrograma de salida de la unión JR 540 Tr 25 años



Hidrograma de salida del Punto 5 Tr 25 años





Hidrograma de salida del Tapioca Tr 25 años

