

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

---



**TESIS**

**Análisis de riesgo por crecimiento de la mancha urbana ante  
avenidas extraordinarias del Río Sacramento.**

**Que para obtener el Grado de  
Maestro en Ingeniería en Hidrología**

**PRESENTA**

**Ing. Jonathan Alberto Chacón Sáenz**

**Director: M.I. Aracely López Terrazas**

**CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO**

**MAR. 2022**



*Análisis de riesgo por crecimiento de la mancha urbana ante avenidas extraordinarias del Rio Sacramento.* Tesis presentada por Jonathan Alberto Chacón Sáenz como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología, ha sido aprobado y aceptado por:

  
**M.I. Javier González Cantú**  
Director de la Facultad de Ingeniería

  
**Dr. Alejandro Villalobos Aragón**  
Secretario de Investigación y Posgrado

  
**M.I. Miguel Ángel González Núñez**  
Coordinador Académico

  
**M.I. Aracely López Terrazas**  
Directora de Tesis

**Marzo de 2022**  
Fecha

**COMITÉ**  
**M.I. Aracely López Terrazas**  
**Dra. María Guadalupe Pérez García**  
**M.I. Martha Lorena Calderón Fernández**  
**M.I. Linda Carolina Ortega Robles**

Derechos Reservados  
**Jonathan Alberto Chacón Sáenz**  
Circuito Universitario No. 1,  
Campus Universitario 2 C.P.  
31125  
Chihuahua, Chih. México  
Marzo 2022



**ING. JONATHAN ALBERTO CHACÓN SÁENZ**  
**Presenté**

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por la directora **M.I. Aracely López Terrazas** para que lo desarrolle como tesis, con el título: **"ANÁLISIS DE RIESGO POR CRECIMIENTO DE LA MANCHA URBANA ANTE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RÍO SACRAMENTO"**.

**Índice de Contenido**

Dedicatoria

Agradecimientos

Índice de Contenido

Índice de Tablas

Índice de Figuras

**1. Introducción**

1.1. Fundamentos básicos

1.2. Ciclo urbano del agua

1.3. Inundaciones

1.4. Clasificación de afectaciones por inundaciones

1.5. Causas del aumento de las afectaciones por inundaciones

1.6. Riesgo

1.7. Programa y proyectos de inversión pública (PPIP)

1.8. Evaluación socioeconómica

1.9. Análisis socioeconómico o costo beneficio (ACB)

**2. Antecedentes**

2.1. Inspección de la zona de interés

2.2. Justificación

**3. Objetivos**

3.1. Objetivo general

3.2. Objetivos específicos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

4. Hipótesis
5. Metodología
  - 5.1. Marco teórico
  - 5.2. Mapa conceptual metodológico
  - 5.3. Geomorfología
  - 5.4. Hidrografía
  - 5.5. Edafología
  - 5.6. Uso de suelo y cubierta vegetal
  - 5.7. Plan director urbano 2040 (PDU 2040)
  - 5.8. Tiempo de concentración
  - 5.9. Período de retorno
  - 5.10. Procesamiento estadístico de la estación Chihuahua Observatorio
  - 5.11. Método de Cheng Lu Chen
  - 5.12. Coeficiente de escurrimiento
  - 5.13. Factor N
  - 5.14. Hietograma de diseño
  - 5.15. Estimación del gasto máximo
6. Resultados HEC-RAS
  - 6.1. Modelación hidrológica
  - 6.2. Rugosidad ponderada
  - 6.3. Resultados de la modelación en el programa HEC-RAS 5.0.7
  - 6.4. Evaluación del peligro por inundación
  - 6.5. Evaluación de riesgos ante las avenidas máximas en un periodo de retorno de 50 años y 100 años
7. Conclusiones
8. Recomendaciones
9. Bibliografía
10. Anexos

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Circuito No.1, Campus Universitario 2  
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125  
Tel. (614) 442-95-00  
[www.fing.uach.mx](http://www.fing.uach.mx)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
CHIHUAHUA

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de las tesis.

**ATENTAMENTE**  
*"Naturam subiecit aliis"*

**EL DIRECTOR**

**EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN  
Y POSGRADO**

FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
U.A.CH.



**M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ**

**DR. ALEJANDRO VILLALOBOS ARAGÓN**

**DIRECCIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Circuito No.1, Campus Universitario 2  
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125  
Tel. (614) 442-95-00  
[www.fing.uach.mx](http://www.fing.uach.mx)

## **Dedicatoria**

*La presente tesis se la dedico con amor, cariño y admiración:*

*A dios por ser un modelo a seguir y un apoyo incondicional.*

*A mis padres, por su esfuerzo incondicional, por su formación llena de valores y cualidades y su direccionamiento en mi vida. Gracias por todo papa y mama.*

*A mis hermanos por estar siempre presentes y hacer más ligera mi vida.*

*A la Doctora Guadalupe Estrada por ser una persona admirable y apoyarme tanto intelectualmente como emocionalmente en cada una de mis etapas del posgrado.*

*A las personas con las que hemos cruzado camino porque cada una de ellas ha dejado su granito de arena en mi vida.*

## **Agradecimientos**

*Agradezco a Dios por darme la dicha de levantarme el día de hoy con salud y por permitirme ver a las personas que amo. También por permitirme estar el día de hoy concluyendo esta tesis.*

*Gracias a mis padres: Alberto y Clara, por ser los principales formadores en mi vida y por contribuir en cada una de las cosas que he realizado a lo largo de la vida. Sin el apoyo y direccionamiento de ellos no habría sido posible estar hoy aquí.*

*Agradezco a cada uno de los docentes, por la gran labor que realizan y en especial a los que han participado en mi formación, por orientarme y compartirme sus experiencias y conocimiento.*

*Agradezco a mis amigos por sus risas y conversaciones que contribuyen a hacer una vida más amena.*

*Agradezco a mis compañeros por ser un apoyo y hacer más ligera la carga laboral y académica, así como por todos aquellos momentos de risas, conversaciones y diversión.*

*Finalmente me gustaría agradecerle a Araceli López y a Guadalupe Estrada, principales colaboradores durante todo mi proceso académico, quienes con su direccionamiento, conocimiento, enseñanza y dedicación durante estos dos largos años contribuyeron a mi desarrollo profesional.*



## Índice de Contenido

Dedicatoria .....	IV
Agradecimientos .....	V
Índice de contenido .....	VI
Índice de tablas .....	IX
Índice de figuras .....	XI
<b>1 INTRODUCCION .....</b>	<b>13</b>
1.1 Fundamentos básicos .....	13
1.2 Ciclo urbano del agua .....	14
1.3 Inundaciones.....	14
1.4 Clasificación de afectaciones por inundaciones .....	15
1.5 Causas del aumento de las afectaciones por inundaciones .....	16
1.6 Riesgo.....	17
1.6.1 Peligro .....	17
1.6.2 Vulnerabilidad .....	18
1.7 Programas y Proyectos de Inversión Pública (PPIP).....	19
1.8 Evaluación Socioeconómica .....	20
1.9 Análisis socioeconómico o costo beneficio (ACB) .....	20
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>21</b>
2.1 Inspección de la zona de interés .....	23
2.2 Localización .....	30
2.3 Justificación .....	32
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>32</b>
3.1 Objetivo general .....	32
3.2 Objetivos específicos .....	32



<b>4. HIPOTESIS.....</b>	<b>32</b>
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
5.1 Marco teórico .....	33
5.2 Mapa conceptual metodológico.....	35
5.3 Geomorfología.....	36
5.3.1 Topografía .....	36
5.4 Hidrografía .....	39
5.4.1 Pendiente media del cauce principal.....	42
5.5 Edafología.....	44
5.6 Uso de suelo y cubierta vegetal .....	48
5.7 Plan director urbano 2040 (PDU2040). .....	51
5.8 Tiempo de concentración. ....	56
5.8.1 Formula de Rowe. ....	56
5.8.2 Formula de Kirpich.....	56
5.8.3 Formula del servicio de conservación de suelo de E.U. (SCS). ....	57
5.8.4 Formula Soil Conservation Service (USDA). ....	57
5.8.5 Formula de E, Basso. ....	58
5.8.6 Formulas basadas en la velocidad de la onda de la avenida. ....	59
5.8.7 Resumen de estimación del tiempo de concentración. ....	60
5.9 Periodo de retorno. ....	60
5.10 Procesamiento estadístico de la estación Chihuahua Observatorio. ....	60
5.11 Método de Cheng Lu Chen .....	61
5.12 Coeficiente de escurrimiento.....	64
5.13 Factor N .....	66
5.14 Hietograma de diseño .....	70



5.15 Estimación del gasto máximo .....	74
5.15.1 Método racional modificado .....	74
5.15.2 Método TR-55.....	75
5.15.3 Método HUT .....	80
5.15.4 Modelación hidrológica HEC-HMS.....	83
5.15.5 Gasto pico. ....	89
<b>6. Resultados HEC-RAS.....</b>	<b>89</b>
6.1 Modelación hidrológica.....	89
6.2 Rugosidad ponderada .....	90
6.3 Resultados de la modelación en el programa HEC-RAS 5.0.7 .....	95
6.4 Evaluación del peligro por inundación .....	102
6.4.1 Criterio de peligrosidad por inundación por (Campos, 2010). ....	102
6.4.2 Criterio de la Federal Emergency Management Agency (FEMA). ....	103
6.4.3 Criterio de la Office Federal de l'économie des Eaux (OFEE) .....	104
6.5 Evaluación de riesgos ante las avenidas máximas en un periodo de retorno de 50 años y 100 años.....	105
<b>7. Conclusiones. ....</b>	<b>110</b>
<b>8. Recomendaciones. ....</b>	<b>111</b>
<b>9. Bibliografía .....</b>	<b>113</b>
<b>10. Anexos .....</b>	<b>119</b>



## Índice de tablas

Tabla 1. Pendiente media del cauce principal. ....	44
Tabla 2. Porcentaje de superficie cubierta por tipo de suelo. ....	45
Tabla 3. Área de uso de suelo y tipo de vegetación en la cuenca del Rio Sacramento. .....	48
Tabla 4. Uso de suelo, zona urbanizada al año 2016.....	51
Tabla 5. Uso de suelo, zona en desarrollo para el 2040.....	52
Tabla 6. Valores del tiempo de concentración, aplicando diversos métodos. ....	60
Tabla 7. Periodo de retorno y precipitación máxima en 24 horas y en 1 hora. ....	61
Tabla 8. Altura de precipitación en mm. ....	63
Tabla 9. Intensidad de lluvia (mm/hr). ....	63
Tabla 10. Valor del coeficiente C para cada subcuenca. ....	64
Tabla 11. Valores del coeficiente de escurrimiento para periodos de retorno de 2 a 100 años (Campos-Aranda, 2010). ....	65
Tabla 12. Valor del coeficiente N para cada subcuenca. ....	67
Tabla 13. Selección de N (CONAGUA, 2007). ....	68
Tabla 14. Selección de N (CONAGUA, 2007). ....	69
Tabla 15. Clasificación de suelos (CONAGUA, 2007). ....	69
Tabla 16. Precipitación caída para cada intervalo de tiempo.....	72
Tabla 17. Gasto máximo método racional modificado. ....	75
Tabla 18. Parámetros para el cálculo del gasto pico unitario para una tormenta tipo II, función del tipo de tormenta y del cociente $I_a/P_c$ (Haestad Methods y S.R Durrans, 2003; CONAGUA, 2015). ....	77
Tabla 19. Parámetros para la determinación del gasto pico por el método TR-55 para las subcuencas 1 a 7. ....	79
Tabla 20. Parámetros para la determinación del gasto pico por el método TR-55 para las subcuencas 8 a 14. ....	80
Tabla 21. Parámetros y estimación del caudal pico por el método HUT para las subcuencas 1 a 7. ....	82



Tabla 22. Parámetros y estimación del caudal pico por el método HUT para las subcuencas 8 a 14. ....	83
Tabla 23. Variables K, X y sub-reaches para el tránsito de avenidas por el método de Muskingum.....	85
Tabla 24. Resumen de resultados HEC-HMS para un Tr de 50 años. ....	87
Tabla 25. Resumen de resultados HEC-HMS para un Tr de 100 años. ....	88
Tabla 26. Resumen de gastos pico. ....	89
Tabla 27. Rugosidad sección #200, margen banco izquierdo. ....	91
Tabla 28. Rugosidad sección #200, margen banco derecho. ....	91
Tabla 29. Valores del coeficiente de rugosidad n. (Chow, 2004).....	93
Tabla 30. Criterios de peligro por la OFEE.....	105
Tabla 31. Características de las secciones transversales del tramo analizado. .	106
Tabla 32. Resumen de los criterios para evaluar el riesgo por inundación. ....	107
Tabla 33. Pendiente media Arroyo El Ermitaño (Criterio Taylor y Schwarz: Elevación constante). ....	119
Tabla 34. Comparativa entre los datos autorizados por (CONAGUA, 2014) y los estimados en el presente estudio.....	128



## Índice de figuras

Figura 1 Localización de la cuenca Sacramento. ....	31
Figura 2. Metodología para delimitar planicies de inundación. ....	35
Figura 3. Subcuencas topográficas. ....	37
Figura 4. Subcuencas urbanas. ....	38
Figura 5. Hidrografía de la cuenca Sacramento. ....	41
Figura 6. Porcentaje de superficie cubierta por tipo de suelo ....	46
Figura 7. Mapa de edafología ....	47
Figura 8. Área de uso de suelo y tipo de vegetación en la cuenca del Río Sacramento.....	49
Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación. ....	50
Figura 10. Porcentaje de uso de suelo por categoría, zona urbanizada al año 2016. ....	52
Figura 11. Porcentaje de uso de suelo por categoría, zona en desarrollo para el 2040.....	53
Figura 12. Zona urbanizada al 2016. ....	54
Figura 13. Zona en desarrollo para el 2040.....	55
Figura 14. Curva Intensidad-Duración para un periodo de retorno de 50 años. ...	70
Figura 15. Curva Intensidad-Duración para un periodo de retorno de 100 años...	71
Figura 16. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años. ....	73
Figura 17. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años. ....	74
Figura 18. Diagrama de flujo HEC-HMS.....	86
Figura 19. Rugosidades en el tramo a analizar. ....	92
Figura 20. Perfil de los resultados de la simulación. Tr. 50 años. ....	95
Figura 21. Perfil de los resultados de la simulación. Tr. 100 años. ....	96
Figura 22. Perspectiva de los resultados de la simulación. Tr. 50 años. ....	96
Figura 23. Perspectiva de los resultados de la simulación. Tr. 100 años.....	97
Figura 24. Lámina de inundación del sitio en estudio considerando $Tr = 50$ años.	98
Figura 25. Lamina de velocidades del sitio en estudio <i>considerando</i> $Tr = 50$ años. ....	99



Figura 26. Lámina de inundación del sitio en estudio considerando $T_r = 100$ años. .....	100
Figura 27. Lámina de velocidades del sitio en estudio considerando $T_r = 100$ años. .....	101
Figura 28. Áreas de inundación peligrosa según criterio de estabilidad al deslizamiento (Campos, 2010). .....	102
Figura 29. Mapa de inundaciones por FEMA (FEMA, 2021). .....	103
Figura 30. Mapas de inundaciones por OFEE. (Loat & Petrascheck, 1997). .....	104
Figura 31. Zona de inundación ( $T_r = 50$ años). .....	108
Figura 32. Zona de inundación ( $T_r = 100$ años). .....	109
Figura 33 Perfil del cauce principal del Arroyo El Ermitaño (Elevación constante). .....	122
Figura 34 Perfil longitudinal del Arroyo El Ermitaño (Longitud constante). .....	122



# 1 INTRODUCCION

## 1.1 Fundamentos básicos

El agua es una sustancia clave que modifica constantemente la superficie terrestre y contribuye a la climatización del planeta para la existencia de la vida y del crecimiento demográfico. A su vez, la hidrología es la ciencia que estudia la ocurrencia del agua en la Tierra (fases, distribución circulación, propiedades físicas y químicas, interacción con el medio ambiente y los seres vivos), de ahí la importancia de su investigación para el ser humano (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

De acuerdo con Campos (1998), el incremento de la población mundial y de las condiciones de vida han generado una demanda desproporcional excesiva de agua, consecuentemente no siempre es posible satisfacer las necesidades de la humanidad y frecuentemente su escasez repercute en las actividades antropogénicas. En otras ocasiones, su exceso da origen a inundaciones ocasionando daños materiales y algunas veces pérdida de vidas humanas.

La Ley General de Protección Civil publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2012), señala a los fenómenos hidrometeorológicos como aquellos agentes perturbadores ocasionados por las condiciones atmosféricas, tales como: ciclones tropicales, precipitaciones torrenciales, eléctricas, inundaciones, tormentas de nieve, granizo, polvo, heladas, sequías y tornados.

Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2019), la inundación es uno de los fenómenos hidrometeorológicos más comunes en México. Los efectos negativos de la misma son derivados principalmente de las actividades antropogénicas, por la deforestación y los cambios originados por los asentamientos humanos.



## 1.2 Ciclo urbano del agua

Campos (1998) menciona al ciclo hidrológico como las etapas por las que circula el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y regresando a la atmósfera: mediante la evaporación, condensación de las nubes, lluvia, saturación del suelo o depositándose en los reservorios de agua, para luego evaporarse. Sin embargo, las zonas urbanizadas modifican el ciclo hidrológico natural por ello, surge lo que se denomina ciclo urbano del agua, el cual comprende todo lo necesario para suministrar agua potable a los habitantes, en otras palabras, el ciclo urbano comprende las etapas de suministro, utilización, tratamiento y vertido del agua.

## 1.3 Inundaciones

El Diario Oficial de la Federación (2021), señala la inundación como: *“el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río”*

CENAPRED (2004), define la inundación como: un evento derivado de la precipitación, oleaje, marea de tormenta o a la falla derivada de alguna infraestructura hidráulica provocando un aumento de nivel repentino en la superficie libre de agua en los ríos, lagos, lagunas o en el mar, invadiendo zonas en las que usualmente no existe la presencia de agua, provocando daños a la sociedad.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2018), establece en su glosario a la inundación como: *“el desbordamiento por encima de los límites del lecho del arroyo u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua en zonas que normalmente no están sumergidas. Al mismo tiempo considera 7 tipos de inundaciones: fluviales, súbitas, urbanas, pluviales, de aguas residuales, costeras y de desbordamiento de lagos glaciares”*.



## 1.4 Clasificación de afectaciones por inundaciones

Las inundaciones son causadas principalmente por la precipitación directa, el desbordamiento de corrientes o por la presencia de obstáculos en las corrientes. Las inundaciones suelen clasificarse de acuerdo a su origen, o bien, al tiempo en que tardan en presentarse. Los principales tipos que se presentan en la clasificación de acuerdo a su origen son (CENAPRED, 2004):

- Inundaciones pluviales

Una vez que la lluvia satura el terreno, se genera un escurrimiento, el cual comienza a acumularse en determinada zona por un determinado tiempo, el cual depende de las condiciones del terreno.

- Inundaciones fluviales

Se generan cuando el escurrimiento fluye por alguna zona del cauce y sobrepasa los confines normales del afluente.

- Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica

Se ocasionan en el momento en que falla o se supera la capacidad de la obra hidráulica, en ocasiones las obras pueden convertirse en un obstáculo provocando una inundación mayor a la esperada en caso de que no existiera dicha obra.

Las afectaciones por inundaciones se pueden clasificar como directas e indirectas y ambas pueden ser tanto tangibles como intangibles. De acuerdo con Baró, et al., (2011), las inundaciones se clasifican en 4 grupos:

- Las directas tangibles son afectaciones a bienes que estuvieron expuestos a la inundación y que se pueden monetizar (edificios, autos, casas, industrias, muebles).
- Las directas intangibles es todo aquello que está en la zona de exposición y que no es posible monetizarlo (pérdida de vidas humanas, daños ambientales, daños sociales)



- Las indirectas tangibles son afectaciones a actividades económicas que es posible monetizar (cierre de aeropuertos, cierre de hoteles, pérdida de empleos)
- Las indirectas intangibles son afectaciones tales como: miedo, estrés, traumatismo o daños a la salud.

Por otro lado, las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo al tiempo de respuesta en inundaciones lentas e inundaciones súbitas. Las zonas urbanas se caracterizan por presentar inundaciones súbitas, a causa de la capa impermeable que las caracteriza. Las inundaciones súbitas se producen a partir de lluvias repentinas e intensas que ocurren en zonas específicas, ocasionado que las corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños materiales de gran impacto a la sociedad.

### 1.5 Causas del aumento de las afectaciones por inundaciones

Existe la probabilidad de que en el futuro la lluvia torrencial diaria aumente en un 7% por cada grado centígrado que aumente la temperatura global. El peligro que representa el aumento de precipitación puede ser altamente destructivo y el efecto del cambio climático con el paso del tiempo se ha vuelto más visible e impactante. (Barlow, 2021)

La urbanización genera una capa impermeable compuesta de concreto y asfalto principalmente, provocando el aumento del flujo, adicionalmente los residuos sólidos que no se disponen en el relleno sanitario, suelen llegar a depositarse a las alcantarillas o a las corrientes del flujo, lo cual ocasiona una disminución de su capacidad de flujo, lo anterior produce la inundación de la zona urbanizada (CENAPRED, 2019).

Al talar árboles para sembrar o al modificar la cuenca para diversos propósitos antropogénicos, se aumenta el coeficiente de escurrimiento y por ende al llover, el agua erosiona el suelo, ocasionando el azolve del sistema de drenaje, ríos y presas, lo cual favorece la incidencia de inundaciones. Un caso más es



cuando se construyen viviendas en planicies de inundación, en los lechos del río o en las barrancas (CENAPRED, 2019).

## 1.6 Riesgo

Según CENAPRED (2006), el riesgo a inundación representa la probabilidad de pérdida y depende de dos variables: el peligro y la vulnerabilidad. Una vez evaluadas las variables (peligro y vulnerabilidad), se clasifica el nivel de riesgo y finalmente se proponen medidas para minimizar los daños que puede ocasionar el evento.

CENAPRED (2021), ha generado una metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas, para la cual inicialmente es necesario tener conocimiento especializado de los fenómenos involucrados que afectan a la región de análisis, de tal forma que sea posible desarrollar el procedimiento.

De acuerdo con CENAPRED (2021), el riesgo (R) se representa por tres factores: el valor de los bienes (C), el peligro que representa el evento extremo (P), el nivel de susceptibilidad del bien expuesto (V).

$$R = CPV$$

Donde:

R= Riesgo

C= Valor de los bienes

P= Peligro

V= Vulnerabilidad

### 1.6.1 Peligro

Desde la perspectiva de protección civil, evaluar el peligro es cuantificar el fenómeno potencialmente dañino de acuerdo a la probabilidad y ocurrencia del evento en un lapso dado. Para estimar el peligro, se debe partir de describir los



fenómenos perturbadores que los provocan mediante parámetros cuantitativos, considerando que debe ser preciso, medible y posible de representar numéricamente su interacción con el bien expuesto. El método ideal para estimar el peligro se basa en el registro histórico de las hidrométricas, sin embargo, en la mayoría de los casos no se cuenta con las estaciones hidrométricas, en tal caso se recurre a aplicar modelos lluvia-escorrentía, para los cuales es necesario realizar estudios hidrológicos e hidráulicos (CENAPRED, 2004).

La probabilidad de ocurrencia del fenómeno perturbador se incluye dentro del peligro ante inundaciones al relacionar las características de la obra hidráulica con el periodo de retorno, en otras palabras, a cada característica del flujo se le contribuye el periodo de retorno de la precipitación que lo provocó (IMTA, 2015; Hernández, 2018).

### 1.6.2 Vulnerabilidad

Balica et al, (2009); citados por Cajigal & Maldonado, (2019) definen la vulnerabilidad como el grado de exposición y perturbación del sistema, conjugado con la capacidad para hacerle frente y recuperarse. Por su parte Anderson y Woodrow (1989) citados por Cajigal & Maldonado, (2019) proponen considerar un análisis a partir de tres áreas: física, social y motivacional. En el caso físico se consideran los daños a los bienes inmuebles. El área social considera: estructura social, cultura, marginalidad y segregación social. El factor motivacional es la capacidad para solucionar de manera efectiva la situación en su entorno físico y social.

Según CENAPRED, (2004) la vulnerabilidad es la susceptibilidad de un sistema a ser afectado por efecto de un fenómeno externo perturbador. CENAPRED, (2021) propone una metodología para realizar la evaluación de la vulnerabilidad física la cual se obtiene para zonas urbanas de México a partir de información proporcionada por el Censo General de Población y Vivienda (CGPV) y, dependiendo de la información cartográfica que se tenga, puede realizarse a nivel



vivienda, manzana o área geoestadística básica (AGEB). La metodología considera la tipología de la vivienda, el menaje promedio que se podría encontrar en cada grupo de vivienda y la manera de clasificar las viviendas de acuerdo al CGPV.

## 1.7 Programas y Proyectos de Inversión Pública (PIIP)

Gran parte de las acciones realizadas para la mitigación de los riesgos a inundación son realizadas por la iniciativa pública, dichas inversiones son reguladas por la unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la cual tiene por objetivo regular, planear, programar, evaluar el presupuesto y dar seguimiento de los programas y proyectos de inversión, así mismo puede promover modalidades de inversión en conjunto con la iniciativa privada con el fin de realizar los proyectos, todo lo anterior de conformidad con los objetivos y estrategias del Plan Nacional de Desarrollo, garantizando una inversión eficiente y eficaz en los programas y proyectos de inversión que mayor beneficio otorguen a la sociedad (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021).

Los proyectos son registrados en el Sistema de Cartera de Inversión, se analizan de acuerdo a las normas vigentes y los proyectos que cumplan con la normativa conforman un paquete con los proyectos priorizados y son remitidos a la Comisión Intersectorial de Gasto Público para su validación. Durante la ejecución del proyecto la unidad de inversiones es responsable de dar seguimiento a partir de los informes elaborados por las entidades y dependencias de la Administración Pública Federal, a partir de ello se elaboran reportes mensuales, bimensuales, trimestrales y anuales, de los cuales los trimestrales son remitidos al congreso y a la comisión. La entidad es responsable de realizar evaluaciones post proyecto de corto, mediano y largo plazo. Anualmente la entidad debe incorporar la evaluación de inversión pública en la Cuenta Pública que es remitida por la Secretaría de Hacienda al Congreso (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021).



## 1.8 Evaluación Socioeconómica

Para una inversión eficiente y eficaz, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019) ha publicado un manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, en el cual se plasma la metodología de evaluación socioeconómica y estructuración de proyectos de inversión (Agua potable, alcantarillado, saneamiento, mejoramiento de eficiencia y protección a centros de población).

En materia de inversión pública no se realiza solo el análisis de rentabilidad financiera, ya que es una visión limitada desde la perspectiva de la sociedad, si no que el beneficio debe orientarse hacia la propia sociedad. Frecuentemente, los proyectos públicos no se realizan con un fin rentable, sino porque la sociedad lo demanda y tienen un alto valor social. Se puede decir que la iniciativa privada considera ingresos y egresos, en la evaluación socioeconómica considera la relación costo-beneficio, la cual consiste en determinar el impacto del proyecto en el bienestar de la sociedad (CONAGUA, 2019).

## 1.9 Análisis socioeconómico o costo beneficio (ACB)

El análisis consiste en establecer criterios para identificar, cuantificar, valorar costos y beneficios durante la evaluación, obteniendo finalmente un beneficio neto, con el fin de establecer los costos y los beneficios que se obtendrán de realizarse o no el proyecto. Para identificar los beneficios, los tomadores de decisiones suelen preguntarse ¿Qué pasa si no se realiza el proyecto?, siendo necesario para el evaluador identificar cuales respuestas son realmente atribuibles al proyecto y como cuantificarlos y valorarlos. Con respecto a los costos, es necesario identificar la inversión que conlleva la obra, así como los costos de operación y así mismo los proyectos adicionales que sean necesarios para lograr que los beneficios lleguen a la población objetivo (CONAGUA, 2019).



A partir de disposiciones de la secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), desde el año 2012, el costo social es el precio privado menos los impuestos y subsidios que implique el proyecto, así mismo se ha fijado la tasa de interés de retorno en un 10% iniciando el 16 de enero del 2014 para cualquier proyecto (CONAGUA 2019).

## 2. ANTECEDENTES

Las actividades humanas dependen en gran medida del recurso hídrico. La humanidad conforme ha evolucionado, se ha percatado del peligro y de lo indispensable que es el vital líquido. La correcta administración del recurso hídrico otorga grandes beneficios tales como: cubrir las necesidades básicas de los ciudadanos, hasta lograr el desarrollo económico de las poblaciones. Por otra parte, la incorrecta administración derivada de las crecidas repentinas puede causar desbordamientos e inundaciones, ocasionando la pérdida de vidas humanas, afectaciones a la salud y daños económicos. Adicionalmente, el cambio climático está afectando paulatinamente todos los ecosistemas del mundo, ocasionando que los desastres naturales sean más frecuentes.

México se encuentra en el reporte de desastres naturales ocurridos en el 2016, donde se reportaron 342 desastres naturales en el mundo, los cuales causaron 8,733 descensos, afectaron a 569.4 millones de personas y causaron daños por 154 billones de dólares. El 21% del total de desastres naturales corresponden al fenómeno de inundación, de los cuales en México se presentaron 4 eventos (CRED, 2016).

A nivel nacional, las principales inundaciones se originan por las precipitaciones generadas por huracanes y ondas tropicales, principalmente durante el verano, sin embargo, en el noroeste de México son derivadas de las tormentas de invierno (CENAPRED, 2016).



Las inundaciones en la capital del Estado de Chihuahua proceden principalmente de las lluvias torrenciales, que se caracterizan por ser precipitaciones de gran intensidad en lapsos de tiempo cortos.

Según la Coordinación Nacional de Protección Civil (CONAPRED) en el periodo del 2005 a 2014 ocurrieron 171 eventos de inundación, originando 5938 decesos y 34.888 millones de personas afectadas y tan solo en el 2015 se registraron 152 eventos en donde hubo 3,310 decesos y 27.504 millones de personas afectadas (CENAPRED, 2016).

En 1990 el municipio de Chihuahua fue testigo de la mayor inundación de la historia en la región, originando el deceso de 200 habitantes de la localidad (CENAPRED, 2016).

En 2008, las inundaciones en el estado de Chihuahua provocaron daños por 380 millones de pesos, se vieron afectadas 23,387 personas y hubo 8 decesos (CENAPRED, 2009b; Baró , Díaz, Calderón, Esteller, & Cadena, 2011).

Los parámetros para estimar la magnitud de una inundación son: la duración, área afectada, velocidad de la corriente, la profundidad del agua y periodo de retorno (CENAPRED, 2018).

El riesgo natural por analizar constituye un evento hidrológico potencialmente peligroso, que puede causar fatalidades y/o serios daños. El desbordamiento de cauces ocurre cuando se excede la capacidad de los afluentes y por ello se desbordan los márgenes del río, hecho que se puede presentar a intervalos irregulares en diversas zonas del tramo longitudinal del cauce y de sus afluentes. Los asentamientos humanos en zonas de inundación o en áreas cercanas a las planicies de inundación, son la principal causa de la que pueden derivar los daños (OEA, 1991).



Con el crecimiento de la mancha urbana se modifican el uso de suelo y cobertura vegetal, no solo dentro de la mancha urbana si no fuera de ella también, y por ende el coeficiente de escurrimiento se ve repercutido fuertemente.

El propósito del estudio es determinar el riesgo que representa el río Sacramento a la zona urbana de la ciudad de Chihuahua.

## 2.1 Inspección de la zona de interés

Con el objetivo de conocer la zona de interés y evaluar las condiciones en que se encuentra, se realizó la visita a la zona urbanizada de la cuenca del Río Sacramento, recorriendo principalmente la trayectoria de los afluentes principales.

Los afluentes principales al Río Sacramento son:

### *Arroyo El Ermitaño (1) (Los Nogales)*

El arroyo el Ermitaño tiene una longitud de 24.0518 km, actualmente 7.03 km se encuentran canalizados y se espera para el 2040 contar con una longitud de 9.08 km canalizados, de acuerdo al PDU2040.

La cuenca del afluente se encuentra en constante modificación derivado del rápido crecimiento demográfico generado en la zona. En la Imagen 1 se observa el movimiento de tierras actual, la magnitud de la modificación de la cuenca es tal que fue necesario utilizar dos camiones mineros. La Imagen 2, indica el desmonte realizado en la zona con la finalidad de construir fraccionamientos habitacionales de 36 a 45 viviendas por hectárea con un precio aproximado de \$1,500,000.



Imagen 1. Movimiento de tierras en la cuenca del Arroyo El Ermitaño.  
Fecha: 26/02/2021



Imagen 2. Desmonte dentro de la cuenca del Arroyo El Ermitaño.  
Fecha: 26/02/2021

En las coordenadas  $28^{\circ}43'43.23''$  N,  $106^{\circ}10'10.71''$  O, se encuentra una estructura de gaviones, la cual cumple con la función de restar velocidad al flujo. Se planea construir una adicional en las coordenadas  $28^{\circ}43'46.46''$  N,  $106^{\circ}10'0.52''$  O, la cual será construida a corto plazo, una vez que se inicie a desarrollar los fraccionamientos de interés medio en la zona.



Adicionalmente, el cauce en determinados tramos presenta restos de escombros, llantas y desechos habitacionales (Imagen 3).



Imagen 3. Desechos habitacionales en el Arroyo El Ermitaño.  
Fecha: 26/02/2021

#### *Arroyo Mineral Josefina*

El arroyo Mineral Josefina es un cauce con una longitud de 3.73 km. Se encuentra totalmente dentro de la mancha urbana y sin canalizar, en el trayecto se observan asentamientos irregulares en las inmediaciones del cauce, construidos principalmente con madera y cartón (Imagen 4). Adicionalmente restos de desechos habitacionales tales como: escombros, llantas y ropa (Imagen 5 y 6).



Imagen 4. Asentamientos irregulares en el Arroyo Mineral Josefina.  
Fecha: 26/02/2021



Imagen 5. Desechos habitacionales en el Arroyo Mineral Josefina.  
Fecha: 26/02/2021



Imagen 6. Desechos sobre el Arroyo Mineral Josefina.  
Fecha:26/02/2021



El arroyo Mineral Josefina en las coordenadas  $28^{\circ}44'26.47''$  N,  $106^{\circ} 6'19.47''$  O, se construyó una desviación, la cual consistió en un muro de tierra, sin embargo, no fue construido de la manera adecuada y se espera que en las próximas avenidas se erosione y por ende el cauce retome la trayectoria natural (Ilustración 7).



Imagen 7. Desviación del Arroyo Mineral Josefina en las coordenadas  $28^{\circ}44'26.47''$  N,  $106^{\circ} 6'19.47''$  O.  
Fecha: 26/02/2021

### *Arroyo Los Arcos*

La cuenca urbana del Arroyo los Arcos se encuentra totalmente urbanizada el afluente tiene una longitud de 8.02 km. Un 31.42% del cauce se encuentra canalizado, el 46.76% se encuentra sin revestir y el 21.82% transita libremente por la calle. En las coordenadas  $28^{\circ}44'48.30''$  N,  $106^{\circ} 7'9.79''$  O, se encuentra un puente peatonal el cual presenta fallas estructurales, derivadas principalmente de la socavación y se espera que colapse en el corto plazo, en caso de que ocurra podría llegar a representar un riesgo por el obstáculo de obstrucción que puede generar agua abajo.



Imagen 8. Socavación de puente peatonal en el Arroyo Los Arcos.  
Fecha: 27/02/2021



Imagen 9. Puente peatonal en Arroyo Los Arcos.  
Fecha: 27/02/2021

Adicionalmente el Arroyo Los Arcos presenta asentamientos irregulares dentro del mismo, los cuales fueron construidos principalmente de madera y cartón. En una avenida podrían sufrir daños considerables, incluso se podría presentar la pérdida de vidas.



Imagen 10. Asentamientos irregulares en el Arroyo Los Arcos.  
Fecha: 27/02/2021



Imagen 11. Asentamiento irregular dentro del cauce.  
Fecha: 26/02/2021



Imagen 12. Asentamientos en el Arroyo Los Arcos.

Fecha: 26/02/2021

## 2.2 Localización

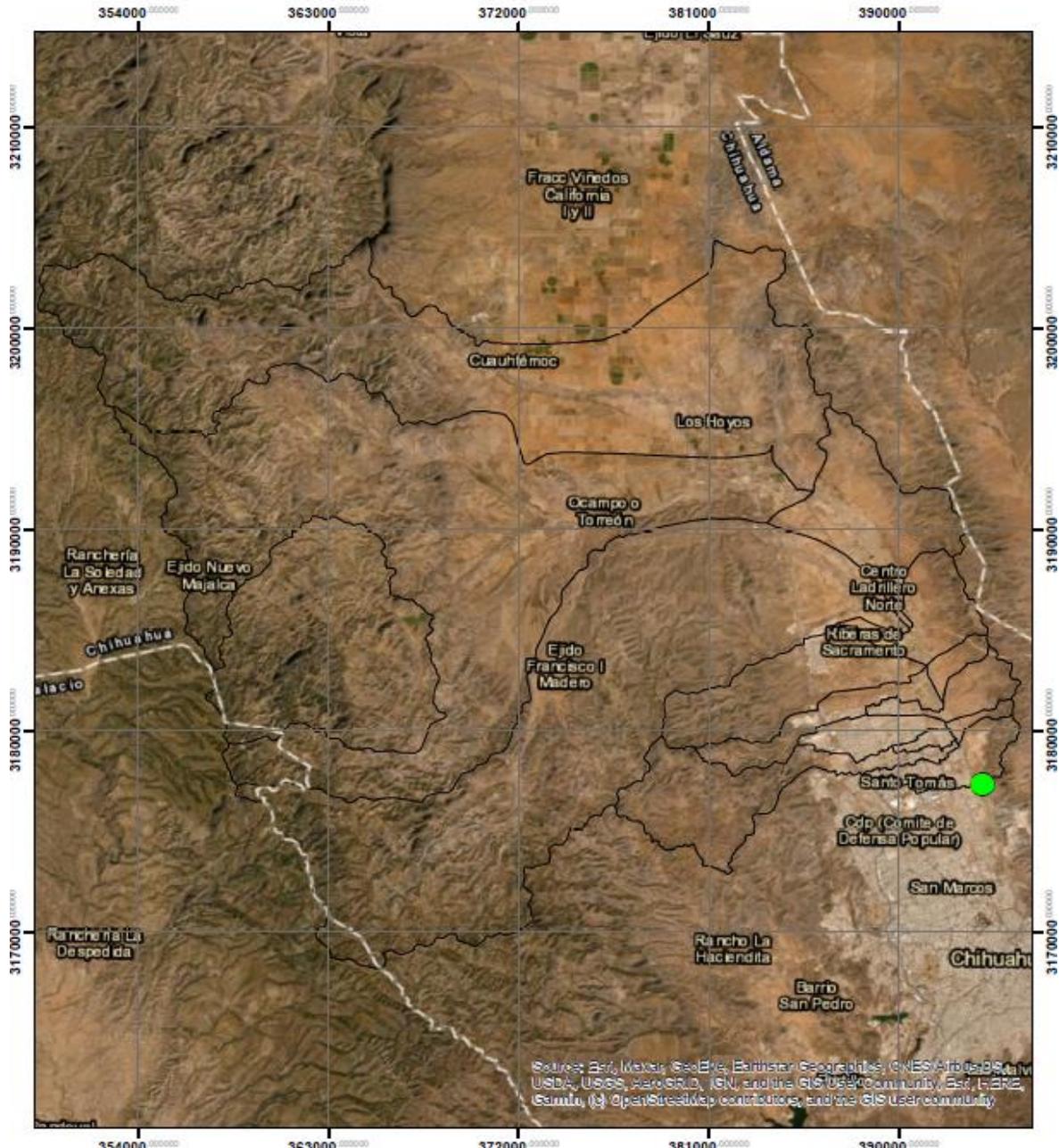
La zona de estudio se encuentra en la ciudad de Chihuahua, ubicada en el centro del estado del mismo nombre, (Figura 1). El municipio de Chihuahua cuenta con una extensión de 8378.294 km<sup>2</sup>, de los cuales en el presente estudio se analizarán 976.028 km<sup>2</sup>, aunado a estos datos se contemplaron 13.991 km<sup>2</sup> del municipio de Riva Palacio.



WGS ZONA 13R



## Localización cuenca Sacramento



<b>Simbología</b>		
	Subcuencas	
	Punto de drenaje	
	Área de la cuenca: 995.73 km <sup>2</sup> Perímetro de la cuenca: 180.25 km Punto de drenaje: 393953.595 3177304.863	Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R Sistema de unidades: Internacional Plano #1 Localización Cuenca Sacramento Fecha: 22 de Noviembre del 2021 Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz

Figura 1 Localización de la cuenca Sacramento. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2019)



## 2.3 Justificación

El río Sacramento a pesar de estar catalogado como de valor patrimonial para el municipio de Chihuahua, ha presentado contaminación y saqueo excesivo de materiales (grava, arena y tierra fértil). Además, el uso de suelo y cobertura vegetal de su cuenca, ha presentado cambios a través del tiempo. Ante el rápido crecimiento demográfico y los fuertes cambios que conlleva directa e indirectamente el mismo, dentro de la cuenca es primordial medir los riesgos que representa la expansión de la mancha urbana.

## 3. OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo general

Evaluar el riesgo de inundación por crecimiento de la mancha urbana ante avenidas extraordinarias en el río Sacramento, para periodos de retorno ( $T_r$ ) de 50 y 100 años.

### 3.2 Objetivos específicos

- Conocer fisiográficamente la cuenca del río Sacramento, por medio de datos espaciales del INEGI y físicamente la zona urbanizada.
- Determinar el nivel de riesgo y las zonas con posibilidades de ser afectadas por las avenidas extraordinarias en el río Sacramento.
- Establecer medidas de mitigación en las zonas con posibilidades de afectación de la Ciudad de Chihuahua, ante avenidas extraordinarias en el río Sacramento.

## 4. HIPOTESIS

Las actividades antropogénicas, así como la variabilidad en la precipitación que se están registrando en las últimas décadas, han aumentado el riesgo de inundación en algunas zonas de la Ciudad de Chihuahua, aguas abajo del río Sacramento.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Marco teórico

La urbanización es un desarrollo territorial y socioeconómico que transforma radicalmente la cobertura y el uso de suelo, por otro lado, es el proceso que produce mayores cambios en el medio ambiente y en el funcionamiento de los ecosistemas, por lo cual es una variable que incrementa los problemas ambientales y los riesgos naturales en las cuencas con urbanización (Lopez, Boco, Mendoza, & Duhau, 2001).

La urbanización altera la hidrografía natural y aumenta la superficie impermeable, provocando durante la precipitación, un mayor escurrimiento hacia las partes bajas, afectando el comportamiento hidrológico de la cuenca e incrementando las posibilidades de que ocurran desbordamientos en los cauces (IMTA, 2015).

El desarrollo poblacional no planeado modifica a la cuenca, incrementando la esorrentía y por ende disminuye el tiempo de concentración. Teniendo con frecuencia afectaciones en zonas aguas abajo producto del desbordamiento de cauces.

El análisis del daño por inundación es lo que da la pauta para el manejo del riesgo por inundación, mismo que no ha contado con la atención necesaria por la comunidad científica (Merz, B. et al., 2010).

La Organización Meteorológica Mundial por sus siglas en inglés (WMO), cataloga a la inundación como una de las causas más importantes de pérdidas humanas y económicas en el mundo, además de ser uno de los desastres a los que se destina mayor cantidad de recursos. Para medir el riesgo de inundación es necesario primero medir la vulnerabilidad, la severidad y el grado de exposición (WMO, 2013).



La metodología de la gestión integrada de avenidas (GIA) fomenta el uso eficiente de los recursos de la cuenca fluvial como un todo, establece estrategias para una buena productividad de las planicies de inundación. Además, propone medidas de mitigación de los efectos causados por las inundaciones. El ciclo de la GIA da respuesta al impacto inicial de la inundación, a la mitigación y establece medidas para disminuir el riesgo ante nuevos eventos. La GIA tiene relación directamente con la gestión de los recursos hídricos, la gestión del uso del suelo, la gestión de riesgos (WMO, 2013).

Las avenidas se gestionan de acuerdo con la legislación aplicable, sin embargo, en México no existe un instrumento legal que vincule a los gobiernos municipal, estatal y federal con los afectados por inundaciones y otras partes interesadas. El marco jurídico está conformado principalmente por la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Protección Civil, el Plan Nacional Hídrico y el Fondo Nacional de Desastres Naturales. Entre las instituciones que participan en la prevención de riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos, se encuentra la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el gobierno municipal, estatal, los medios de comunicación y las universidades (WMO, 2013).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2013): “La avenida es el incremento del nivel del agua en el río debido a que fluye un caudal mayor al que normalmente se presenta”.



## 5.2 Mapa conceptual metodológico

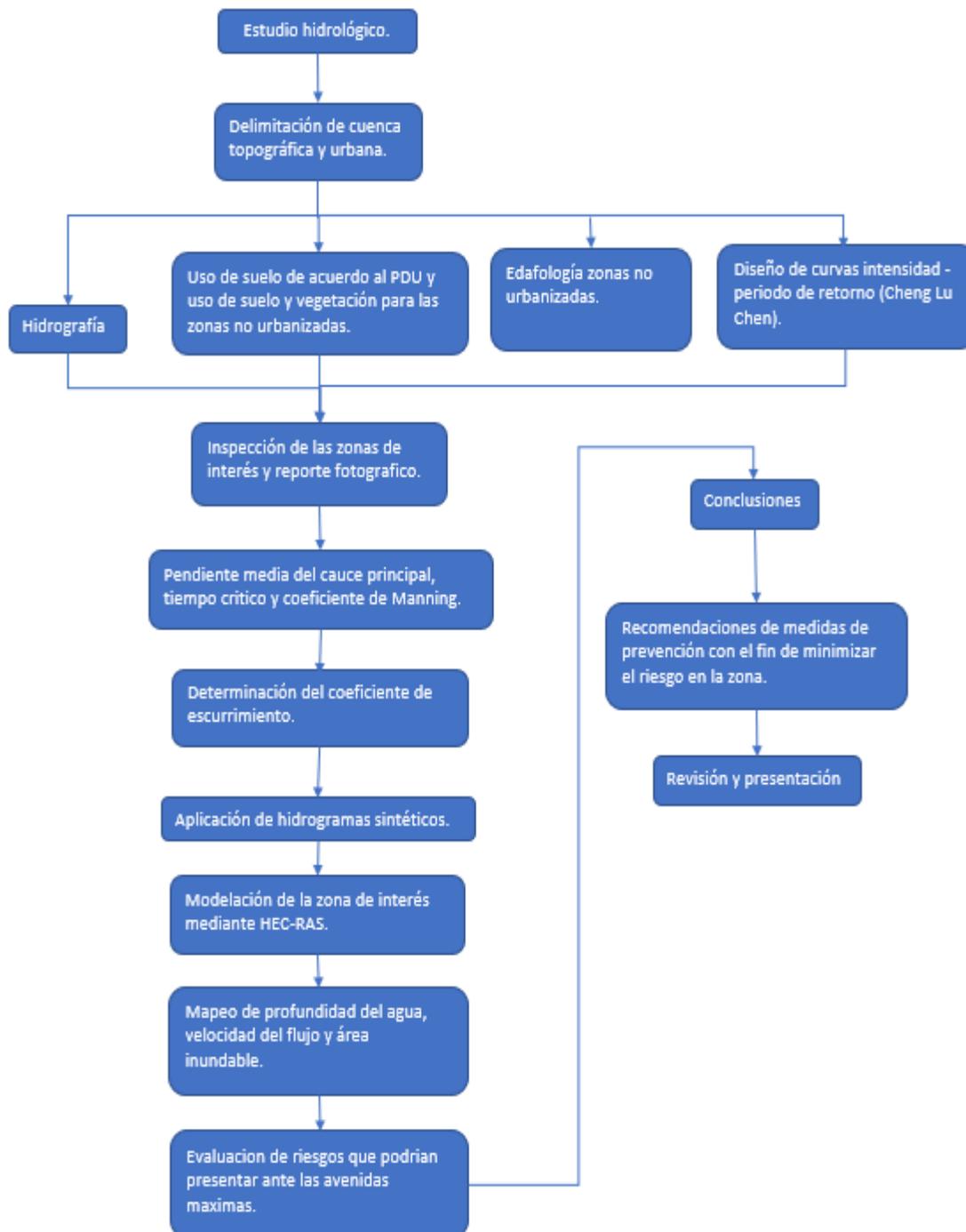


Figura 2. Metodología para delimitar planicies de inundación.



## 5.3 Geomorfología

### 5.3.1 Topografía

El estudio hidrológico parte de la delimitación de las cuencas, acorde al grado de precisión en el que se realice el trabajo, afectara significativamente el proyecto. La delimitación se realizó a partir de curvas a cada 10 metros fuera de la zona urbanizada y de 1 metro dentro de la misma, a partir de cartas topográficas del INEGI. En la Figura 3 se presenta ilustrativamente la cuenca topográfica y en la Figura 4, la urbana, lo cual es de utilidad para evaluar las modificaciones que ha sufrido cada subcuenca en su parteaguas a causa de las actividades antropogénicas.

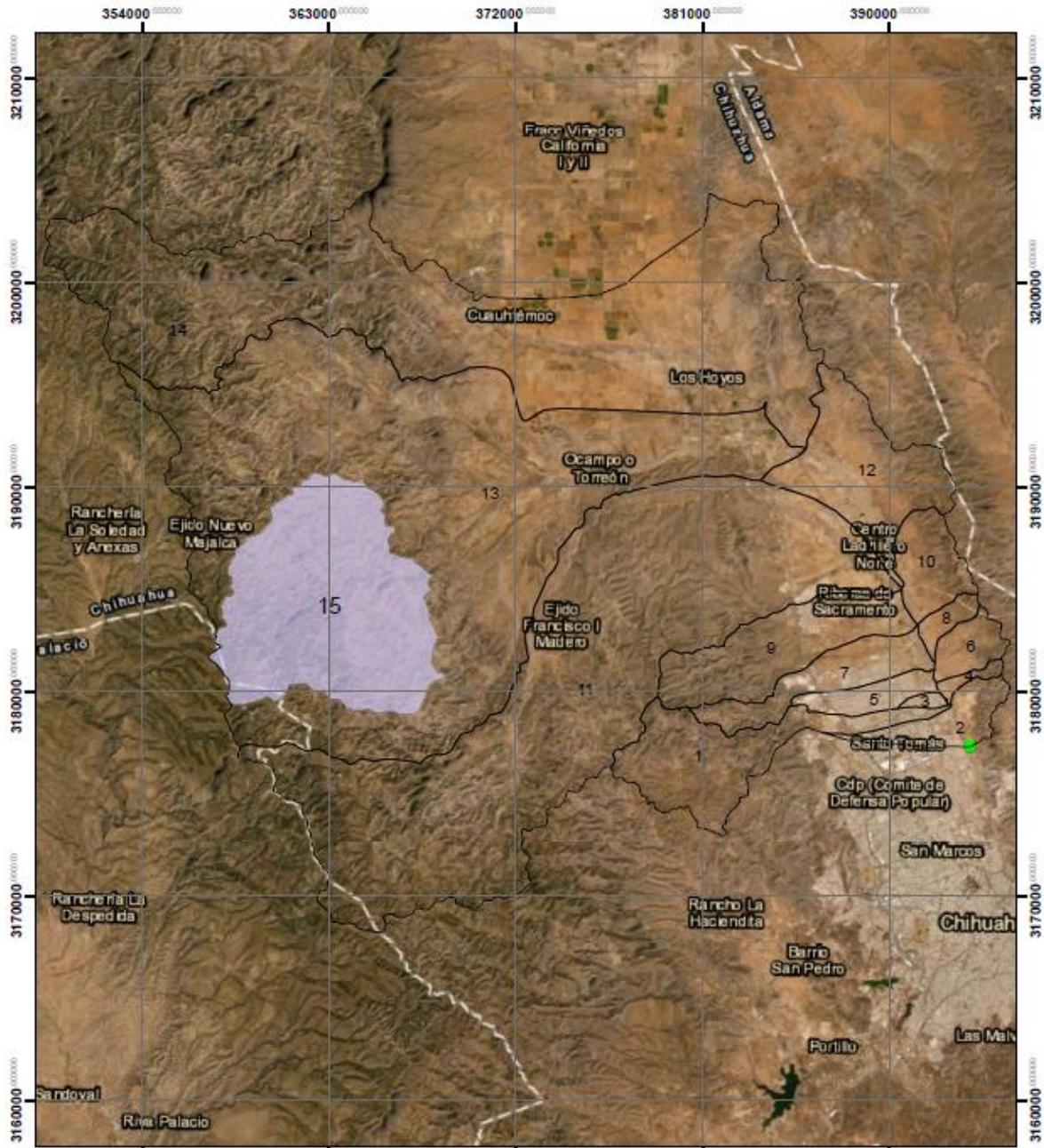
Una de las subcuencas tiene una cuenca de cabecera (subcuenca con parteaguas rojo) y la otra parte es intermedia. La subcuenca de cabecera descarga en la presa San Marcos, la cual se construyó con fines agrícolas, sin embargo, actualmente también cumple con la función de romper picos, por lo cual en el presente estudio la cuenca de cabecera no fue considerada.



WGS ZONA 13R



# Subcuencas topograficas



<b>Simbología</b>	Area de la cuenca: 995.538 km <sup>2</sup>	Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R
Subcuencas topograficas	Perimetro de la cuenca: 176.929 km	Sistema de unidades: Internacional
Subcuenca San Marcos	Punto de drenaje: 393953.595 3177304.863	Plano #2 Subcuencas topograficas
Punto de drenaje		Fecha: 22 de Noviembre del 2021
		Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz

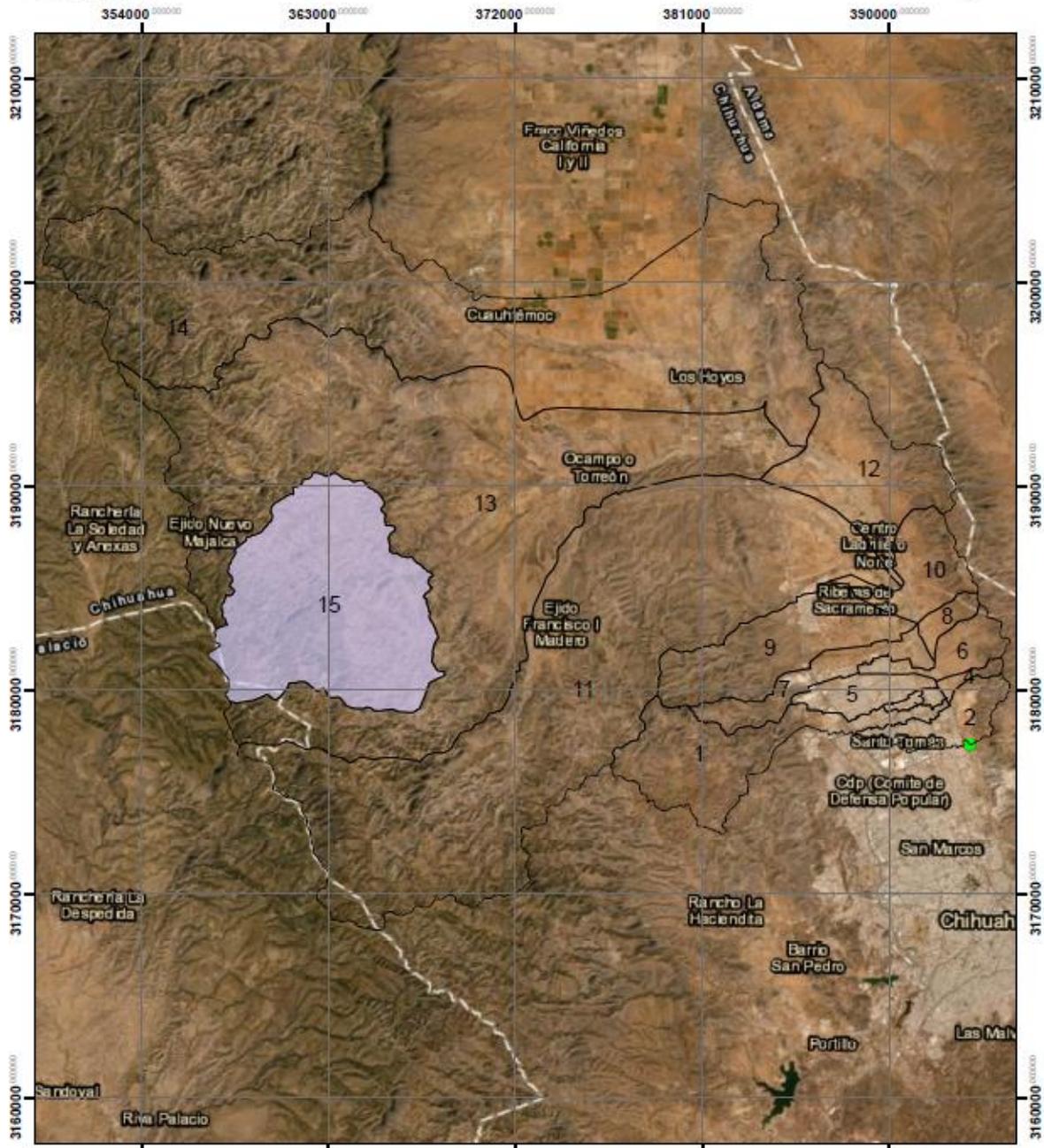
Figura 3. Subcuencas topográficas. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2019)



WGS ZONA 13R



# Subcuencas urbanas



<b>Simbología</b>	Area de la cuenca: 995.73 km <sup>2</sup>	Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R
□ Subcuencas urbanas	Perímetro de la cuenca: 180.25 km	Sistema de unidades: Internacional
■ Subcuenca San Marcos	Punto de drenaje: 393953.595 3177304.863	Plano #3 Subcuencas urbanas
● Punto de drenaje		Fecha: 22 de Noviembre del 2021
		Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz

Figura 4. Subcuencas urbanas. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2019)



## 5.4 Hidrografía

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) delimitó 13 regiones hidrológicas-administrativas reguladas y gestionadas por Organismos de Cuenca, 37 regiones hidrológicas divididas en 160 cuencas hidrográficas que se redelimitaron por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI), creando 1,471 cuencas hidrográficas en el país, 158 cuencas hidrológicas y 1,003 subcuencas hidrológicas. Sin embargo, el caso de estudio corresponde a una cuenca hidrológica que aguas abajo ha sido modificada por la urbanización, convirtiéndola en una cuenca semiurbana (Figura 5), que se ubica en la capital de Chihuahua, perteneciendo a la región hidrológica 24 Bravo-Conchos dentro de la cuenca RH24KC. En la capital de Chihuahua se encuentran 2 de los 12 cuerpos principales de agua superficial del Estado, tanto por su uso como por su volumen transitado. La zona de modelación contempla un tramo de 2.1 km del Río Sacramento, el cual es uno de los dos afluentes que cruza la ciudad de Chihuahua.

Al Río Sacramento, le descargan principalmente:

- Arroyo Mineral Josefina
- Arroyo Los Arcos
- Arroyo El Ermitaño
- Arroyo El Álamo (7)
- Arroyo El Mimbres (9)
- Arroyo El Cuervo
- Arroyo Agua Blanca
- Arroyo La Noria
- Arroyo Jesús María (11)
- Arroyo Majalca (13)
- Arroyo Seco (14)
- Arroyo Almagre
- Arroyo El Picacho
- Arroyo Magallanes



- Arroyo El Saucito

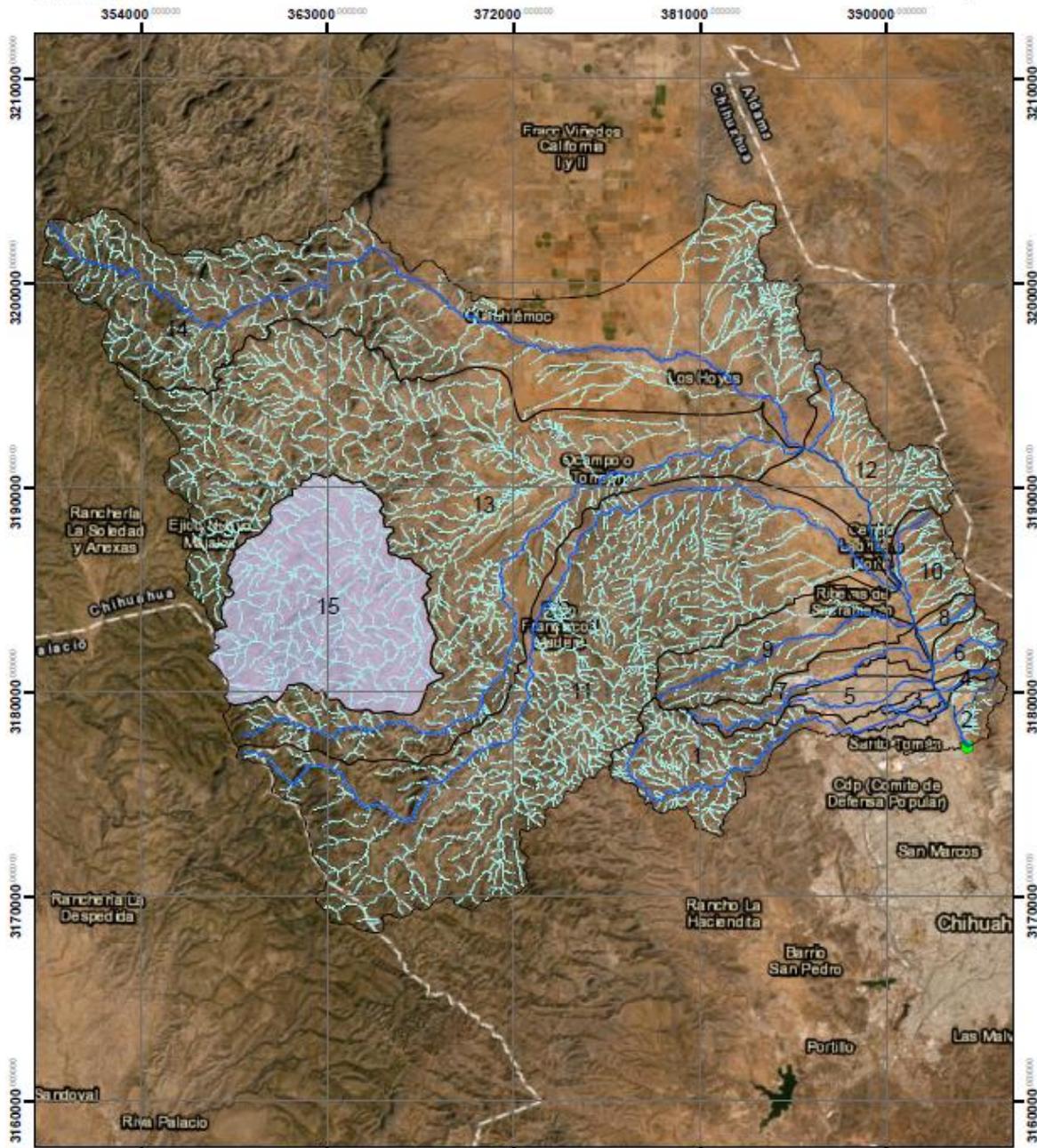
Adicionalmente en la cuenca contamos con la presa San Marcos, sus características son: un vertedor con una capacidad de 40 m<sup>3</sup>/s. La cortina tiene una altura de 24 metros y una longitud de 120.3 metros. La capacidad del embalse es de 4.45 Hm<sup>3</sup>, de los cuales 4.24 Hm<sup>3</sup> son de capacidad útil y 0.21 Hm<sup>3</sup> para contener azolve. El propósito para el que fue construida es para riego. La cuenca San Marcos tiene un área de 91.78 km<sup>2</sup> y actualmente funciona también como una presa rompe picos para la ciudad de Chihuahua.



WGS ZONA 13R



# Hidrografía



<b>Simbología</b>	Area de la cuenca: 995.73 km <sup>2</sup>	Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R
Subcuencas urbanas	Perímetro de la cuenca: 180.25 km	Sistema de unidades: Internacional
Subcuenca San Macos	Punto de drenaje: 393953.595 3177304.863	Plano #4 Hidrografía
Punto de drenaje		Fecha: 22 de Noviembre del 2021
Cauce_principal_14		Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz
rh24project		

Figura 5. Hidrografía de la cuenca Sacramento. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2010)



### 5.4.1 Pendiente media del cauce principal

Al elaborar estudios de inundación se considera mejor realizar un levantamiento topográfico a detalle, sin embargo, en caso de no contar con los medios para realizarlo se puede optar con trabajar con algún software que proporcione elevaciones aproximadas de las calles en el margen urbanizado y en el caso de la sección natural es conveniente trabajar con algún modelo digital de elevaciones. Para obtener el perfil longitudinal de un cauce se pueden aplicar diversas metodologías y software de información geográfica (SIG), en este caso se logró obtener el perfil longitudinal a través de procesos en el SIG, el cual fue aplicado para el criterio de Taylor (Longitud constante) y adicionalmente se verificó el resultado aplicando las curvas de nivel a cada 10 metros para el criterio de Taylor (Elevación constante). Las curvas se obtuvieron a partir de las cartas topográficas a escala 1:20000, con excepción de la carta H13C65, la cual solo se encuentra a escala 1:50,000, por lo cual fue procesada en el sistema de información geográfica para construir curvas a cada 10 metros a partir de la misma. En el caso particular de la zona urbanizada se consideraron curvas a superficie a cada metro, las cuales fueron proporcionadas por el IMPLAN en formato shape, las mismas fueron elaboradas en el 2016 y corresponden a lo más actual que se tiene, en relación información topográfica de la zona de estudio.

El criterio de Taylor (longitud constante), consiste en dividir la longitud del cauce en tramos con la misma longitud y calcular la elevación variable en cada tramo, para posteriormente aplicar la ecuación 1 (Campos A. , 1998).

$$S = \left( \frac{m}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \frac{1}{\sqrt{s_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_m}}} \right)^2 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

S=Pendiente del cauce principal.

m=Número de tramos con longitud constante.



$S_i$  =Pendiente para cada tramo=  $\Delta h_i/L$ .

$\Delta h_i$  =Diferencia de elevación para cada tramo (m).

El criterio de Taylor (Elevación constante), consiste en dividir el cauce en tramos con un incremento de altura constante y calcular la longitud variable en cada tramo para después proceder con la aplicación de la ecuación 2 (Campos A. , 1998).

$$S = \left( \frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{L_m}{\sqrt{S_m}}} \right)^2 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$S$  = Pendiente media del cauce principal, adimensional

$S_i$  = pendiente de cada tramo, desde  $i = 1$  hasta  $m$ .

$n$  = número de tramos en los que se dividió el cauce principal.

$\Delta h$  = diferencia de elevación, en m.

$L_i$  = longitud del tramo  $i$ , en m.

$L$  = longitud total del cauce, en m.

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos a partir de los criterios de Taylor Schwarz para las 14 subcuencas que componen la cuenca del Río Sacramento.



Tabla 1. Pendiente media del cauce principal.

ID	Subcuenca	Area (km <sup>2</sup> )	Elevación máxima del cauce (m)	Elevación mínima del cauce (m)	Longitud del cauce (km)	Criterio Taylor	
						Elevación constante	Longitud constante
1	Arroyo El Emitaño (Los Nogales)	39.062	1982.77	1439.4	24.052	1.64%	1.76%
2	Arroyo Sierra Nombre de Dios	5.976	1630	1427.09	5.169	1.27%	1.24%
3	Arroyo Mineral Josefina	1.804	1479	1439	3.730	1.35%	1.14%
4	Arroyo Sierra Nombre de Dios	2.106	1633.76	1436	4.524	1.76%	1.76%
5	Arroyo Los Arcos	11.479	1600	1430	8.020	1.75%	1.78%
6	Arroyo Sierra Nombre de Dios	7.836	1601.9	1430	5.606	2.09%	2.08%
7	Arroyo El Alamo	14.564	1914.63	1451.16	15.496	1.80%	1.80%
8	Arroyo Sierra Nombre de Dios	4.047	1799.43	1451.16	5.222	1.49%	1.13%
9	Arroyo El Mimbres	37.855	2082.43	1462.32	15.406	2.10%	2.13%
10	Arroyo Sierra Nombre de Dios	14.256	1730	1462.33	6.924	0.94%	0.99%
11	Arroyo Jesus Maria	231.229	2490	1463.39	51.996	1.06%	1.07%
12	Arroyo Sierra Nombre de Dios	38.376	1671.77	1473.68	14.217	0.71%	0.80%
13	Arroyo Majalca	357.434	2320	1518.64	43.138	0.94%	1.07%
14	Arroyo Seco	223.927	2459.8524	1516	51.509	0.99%	1.05%

## 5.5 Edafología

La edafología es la rama de la geología especializada en el estudio de los suelos la Figura 7 muestra el grupo de suelo dominante, así como su calificador de suelo.

Los datos espaciales fueron obtenidos del INEGI a una escala de 1:250,000. La clasificación fue conforme al sistema internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo publicado en 1999 por la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo, Centro Internacional de referencia e Información en Suelos (ISRIC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO/UNESCO), (INEGI, 2019).

El 28.3% del país está conformado por Leptosol (INEGI, 2007). En la cuenca de estudio no es la excepción, ya que el principal suelo presente ocupando el 50.01% de la superficie total de la cuenca. Los principales suelos presentes en la cuenca son Leptosol, Phaeozem y Luvisol cubriendo el 81.21% de la superficie. En la Tabla 2 y en la Figura 6 se presenta a detalle el porcentaje de superficie ocupada por el suelo principal que se encuentra en la zona.



El leptosol es conocido también como litosoles y redzinas, es un suelo delgado, gravoso y poco desarrollado, el cual puede contener gran cantidad de material calcáreo. Se desarrolla en cualquier clima y es común en zonas montañosas y en planicies calizas superficiales (Semarnat, 2015).

El luvisol es común en climas templados y fríos con estacionalidad de lluvia y sequía. El luvisol es un suelo fértil y es utilizado principalmente para la producción agrícola de granos pequeños (Semarnat, 2015).

El phaeozem se forma sobre material no consolidado y se encuentra en clima templado y húmedo donde la cubierta vegetal es de pastizales altos o bosque. Se identifica por ser un suelo oscuro y rico en materia orgánica. Las sequías y la erosión eólica e hídrica son sus principales destructores. El phaeozem es utilizado para la producción de granos (soya, trigo, cebada, etc.) y como zonas de agostadero (Semarnat, 2015).

Tabla 2. Porcentaje de superficie cubierta por tipo de suelo.

Clave	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
LP	Leptosol	403.975	44.70%
PH	Phaeozem	175.446	19.41%
LV	Luvisol	137.131	15.17%
FL	Fluvisol	77.782	8.61%
CM	Cambisol	67.967	7.52%
CL	Calcisol	19.603	2.17%
RG	Regosol	15.836	1.75%
NA	Zona urbana	5.926	0.66%

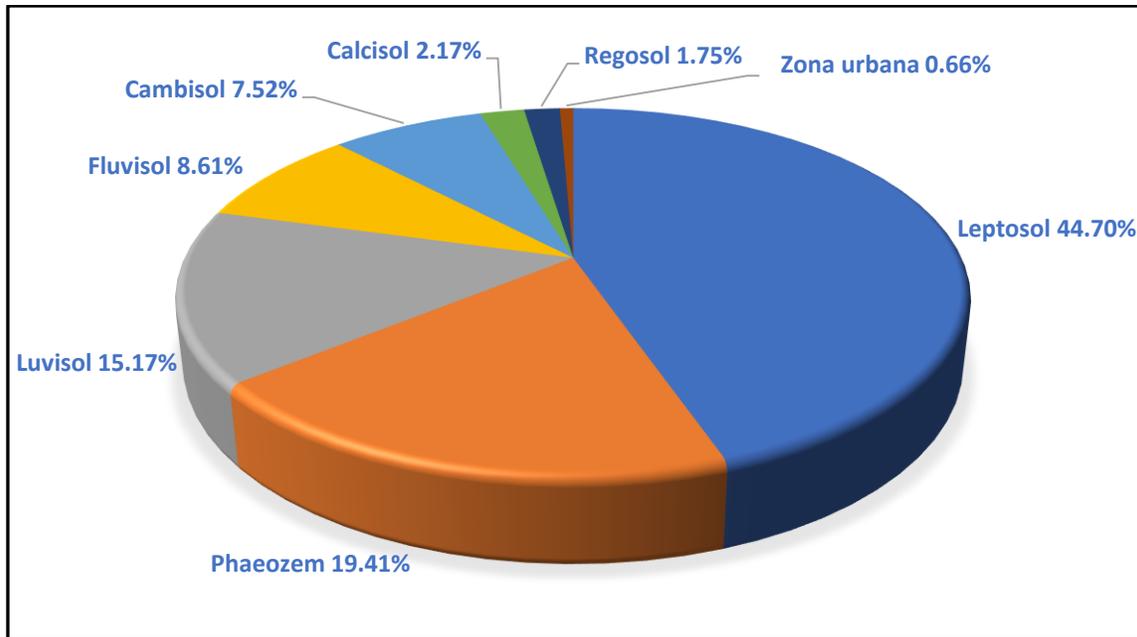


Figura 6. Porcentaje de superficie cubierta por tipo de suelo.



WGS ZONA 13R



# Edafología

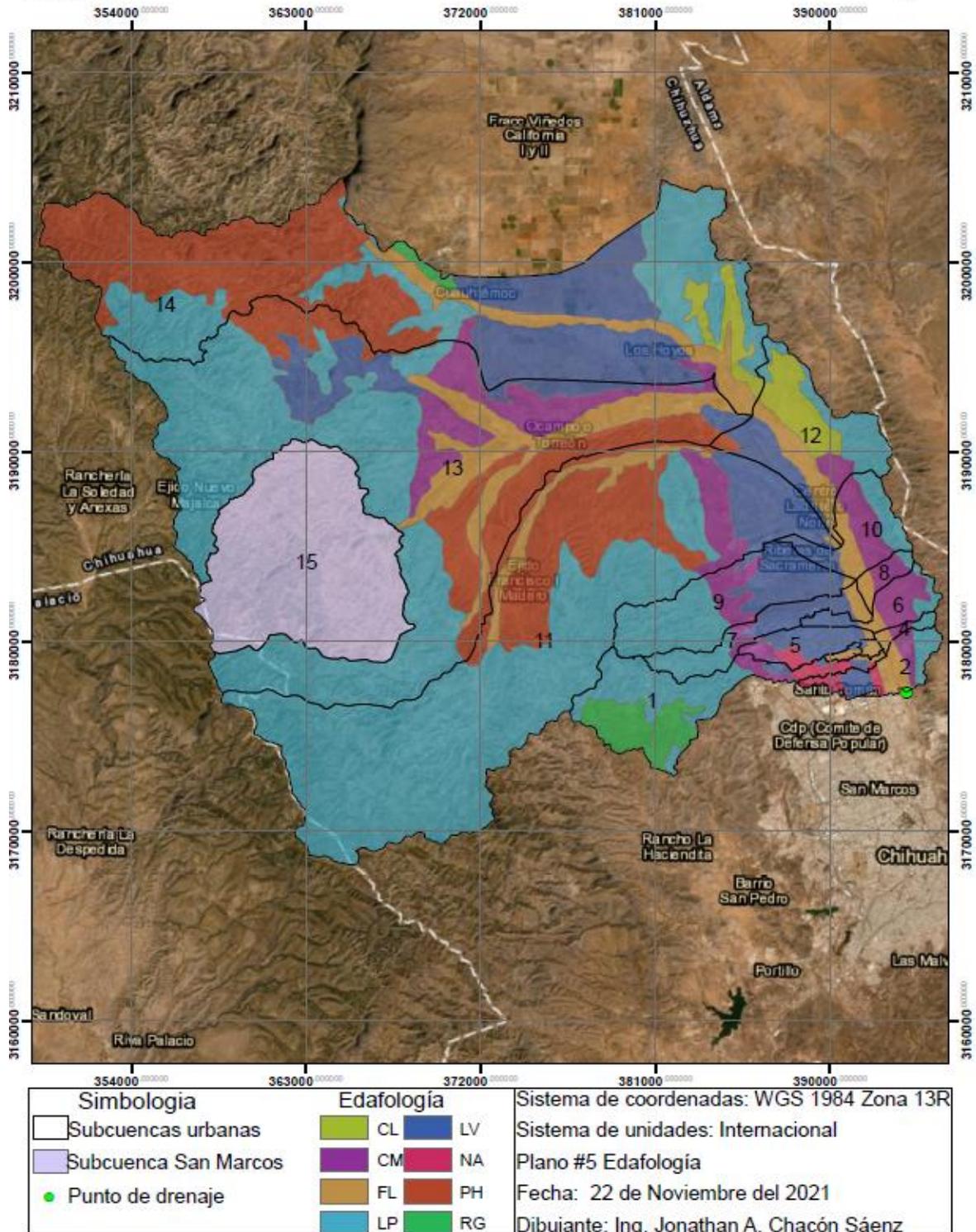


Figura 7. Mapa de edafología. Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2007)



## 5.6 Uso de suelo y cubierta vegetal

Al contar con ocho subcuencas parcialmente urbanizadas y cuatro sin urbanizar, se consideró utilizar el uso de suelo y vegetación serie VI a una escala 1:250,000, la cual se presente ilustrativamente en la Figura 9. La cual es de utilidad para determinar los coeficientes de escurrimiento para cada subcuenca rural y semiurbana. La Figura 8 y la Tabla 3 se muestra los usos de suelo y vegetación que se presentan en la zona no urbanizada.

Tabla 3. Área de uso de suelo y tipo de vegetación en la cuenca del Río Sacramento.

Clave	Descripción	Cobertura arbolea	Área (km <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )
MDME	Matorral desértico micrófilo espinoso	No aplica	129.321	15.43%
MDMS	Matorral desértico micrófilo subinermes	No aplica	38.04	4.54%
VSa/MDM	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	No aplica	9.988	1.19%
AH	Asentamientos humanos	No aplica	14.855	1.77%
RA	Agricultura de riego anual	No aplica	18.976	2.26%
RAS	Agricultura de riego anual y semipermanente	No aplica	8.462	1.01%
TA	Agricultura de temporal anual	No aplica	116.007	13.84%
BPQC	Bosque de pino-encino	Cerrado	72.286	8.63%
BQC	Bosque de encino	Cerrado	34.997	4.18%
BQA	Bosque de encino	Abierto	181.21	21.62%
BQPA	Bosque de encino-pino	Abierto	0.107	0.01%
PN	Pastizal natural	No aplica	155.008	18.50%
VSa/BPQ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	No aplica	22.855	2.73%
VSa/BQ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	No aplica	4.103	0.49%
VSa/PN	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	No aplica	31.824	3.80%

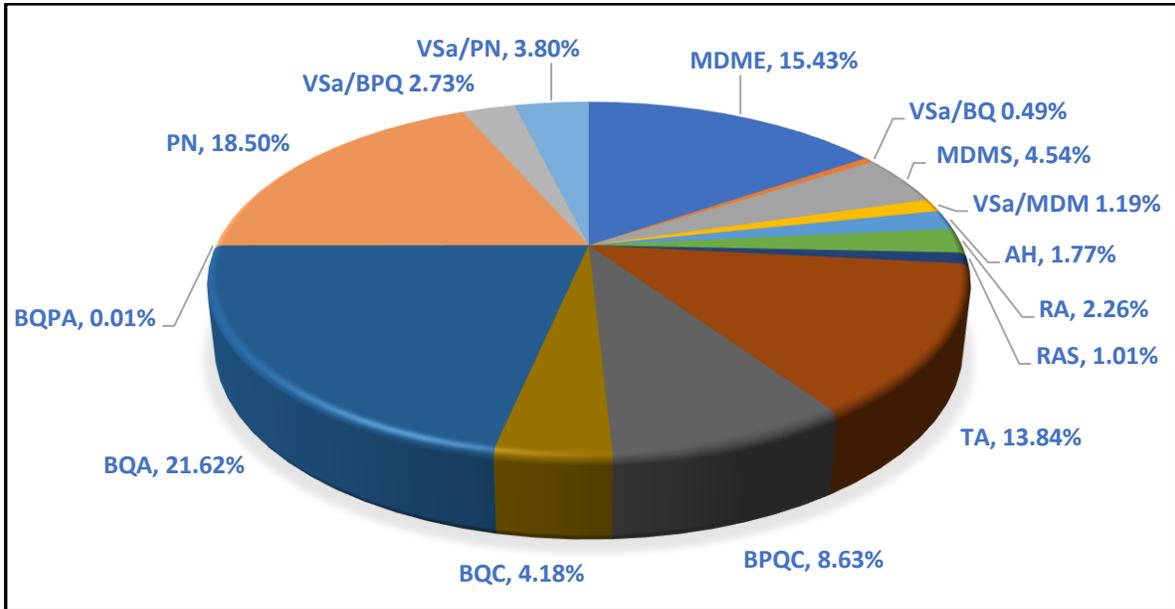


Figura 8. Área de uso de suelo y tipo de vegetación en la cuenca del Río Sacramento.





## 5.7 Plan director urbano 2040 (PDU2040).

El Plan director Urbano, cumple con la función de pautar las directrices hacia el desarrollo sostenible de Chihuahua para el 2040, considerando a la población como el principal rector para la construcción de un escenario futuro. Identificando las componentes claves, planteando la resolución y fomentando la evaluación técnica y social para garantizar el cumplimiento de la visión. (IMPLAN, 2016).

El PDU2040 contempla un área de 702.04 km<sup>2</sup> para la ciudad de Chihuahua, de los cuales la cuenca en estudio contempla el 9.348%. La Figura 10, 12 y Tabla 4, muestran los usos de suelo del área urbanizada al 2016 y la Figura 11, 13 y Tabla 5, señalan el área proyectada a cubrir para el 2040 de cada tipo de uso de suelo, todo lo anterior de acuerdo al PDU2040.

Tabla 4. Uso de suelo, zona urbanizada al año 2016.

Clave	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
CDL	Centro Distrital	0.06	0.17%
CMR	Comercio y Servicios	1.601	4.42%
EQM	Equipamiento General	1.111	3.06%
HBA	Habitacional Campestre de 1 - 4 viv/ha	0.325	0.90%
HBB	Habitacional de 26 - 35 viv/ha	0.062	0.17%
HBC	Habitacional de 36 - 45 viv/ha	5.752	15.86%
HBD	Habitacional de 46 - 60 viv/ha	3.281	9.05%
INA	Industria Bajo Impacto	2.757	7.60%
INB	Microindustria	0.032	0.09%
MXA	Mixto Bajo	0.027	0.07%
MXB	Mixto Intenso	1.026	2.83%
MXC	Mixto Moderado	0.131	0.36%
MXD	Mixto Suburbano	4.347	11.99%
RYD	Recreación y Deporte	2.696	7.44%
UES	Zona Especial de Desarrollo Controlado	0.081	0.22%
CAL	Calles	12.967	35.77%

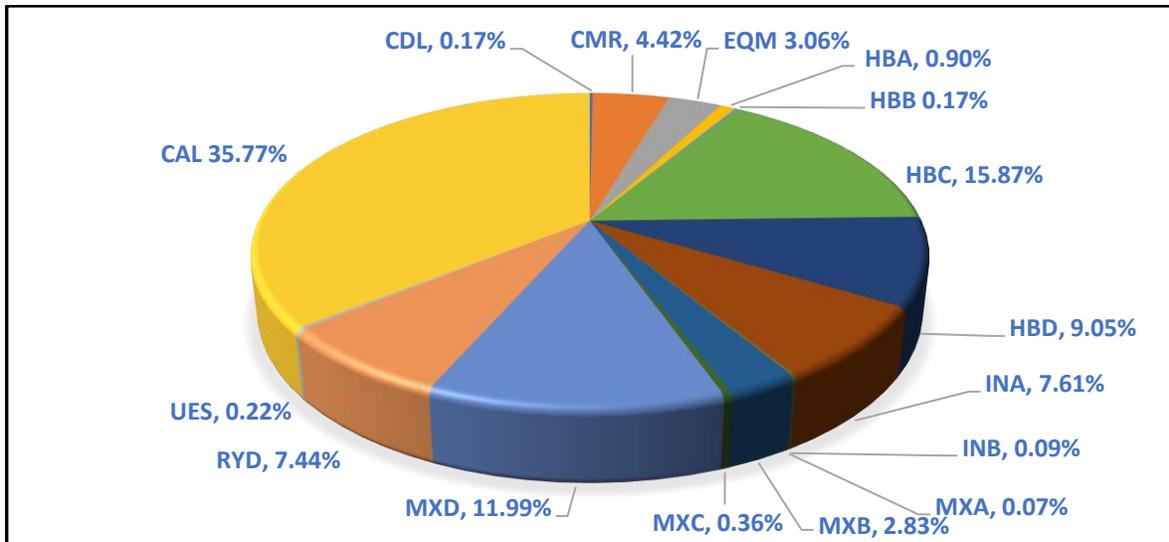


Figura 10. Porcentaje de uso de suelo por categoría, zona urbanizada al año 2016.

Tabla 5. Uso de suelo, zona en desarrollo para el 2040.

Clave	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
CDL	Centro Distrital	0.137	0.46%
CMR	Comercio y Servicios	0.81	2.74%
EQM	Equipamiento General	0.568	1.92%
HBB	Habitacional de 26 - 35 viv/ha	7.678	26.02%
HBC	Habitacional de 36 - 45 viv/ha	6.18	20.94%
HBD	Habitacional de 46 - 60 viv/ha	0.683	2.31%
HB3	Habitacional de más de 60 viv/ha	1.642	5.56%
IN1	Industria Alto Impacto	0.233	0.79%
INA	Industria Bajo Impacto	1.328	4.50%
MXB	Mixto Intenso	2.636	8.93%
MXC	Mixto Moderado	0.414	1.40%
MXD	Mixto Suburbano	0.073	0.25%
RYD	Recreación y Deporte	2.794	9.47%
UE1	Zona de Amortiguamiento	0.014	0.05%
UES	Zona Especial de Desarrollo Controlado	4.183	14.17%
CDL	Centro Distrital	0.137	0.46%

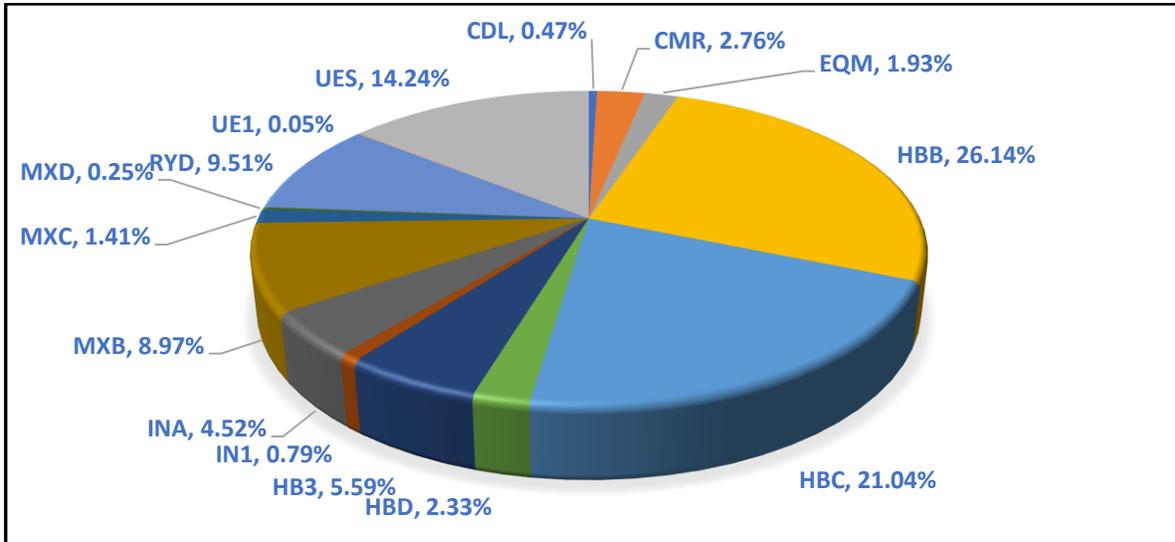


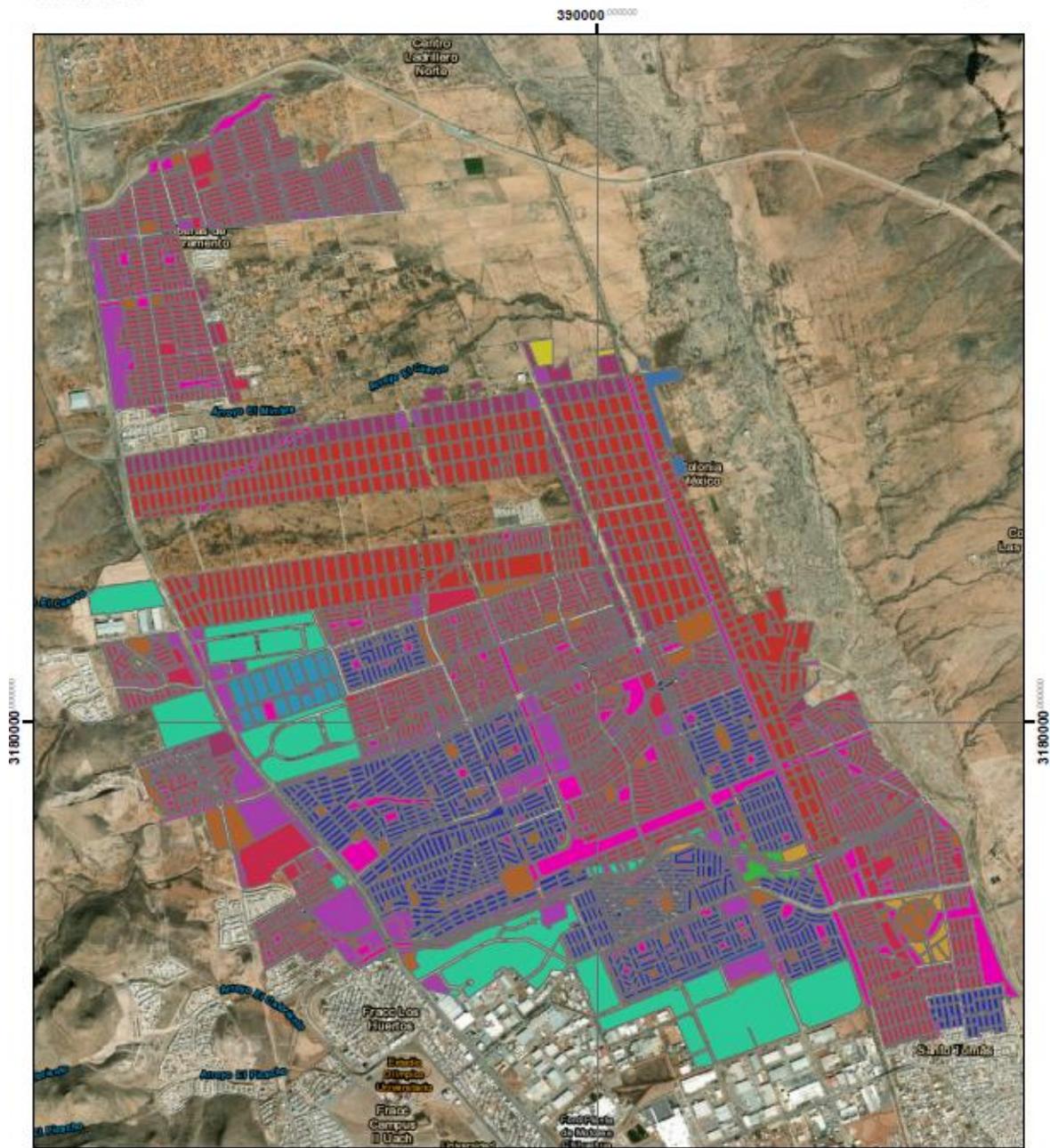
Figura 11. Porcentaje de uso de suelo por categoría, zona en desarrollo para el 2040.



WGS ZONA 13R



# Zona urbanizada



Simbología				
CMR	HBA	INA	INB	MXD
EQM	HBB	HBD	MXA	RYD
CDL	HBC	MXC	MXE	UES
Cuenca San Marcos	Subcuencas urbanas			

Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R  
 Sistema de unidades: Internacional  
 Plano #6 Zona urbanizada al año 2016  
 Fecha: 22 de Noviembre del 2021  
 Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz

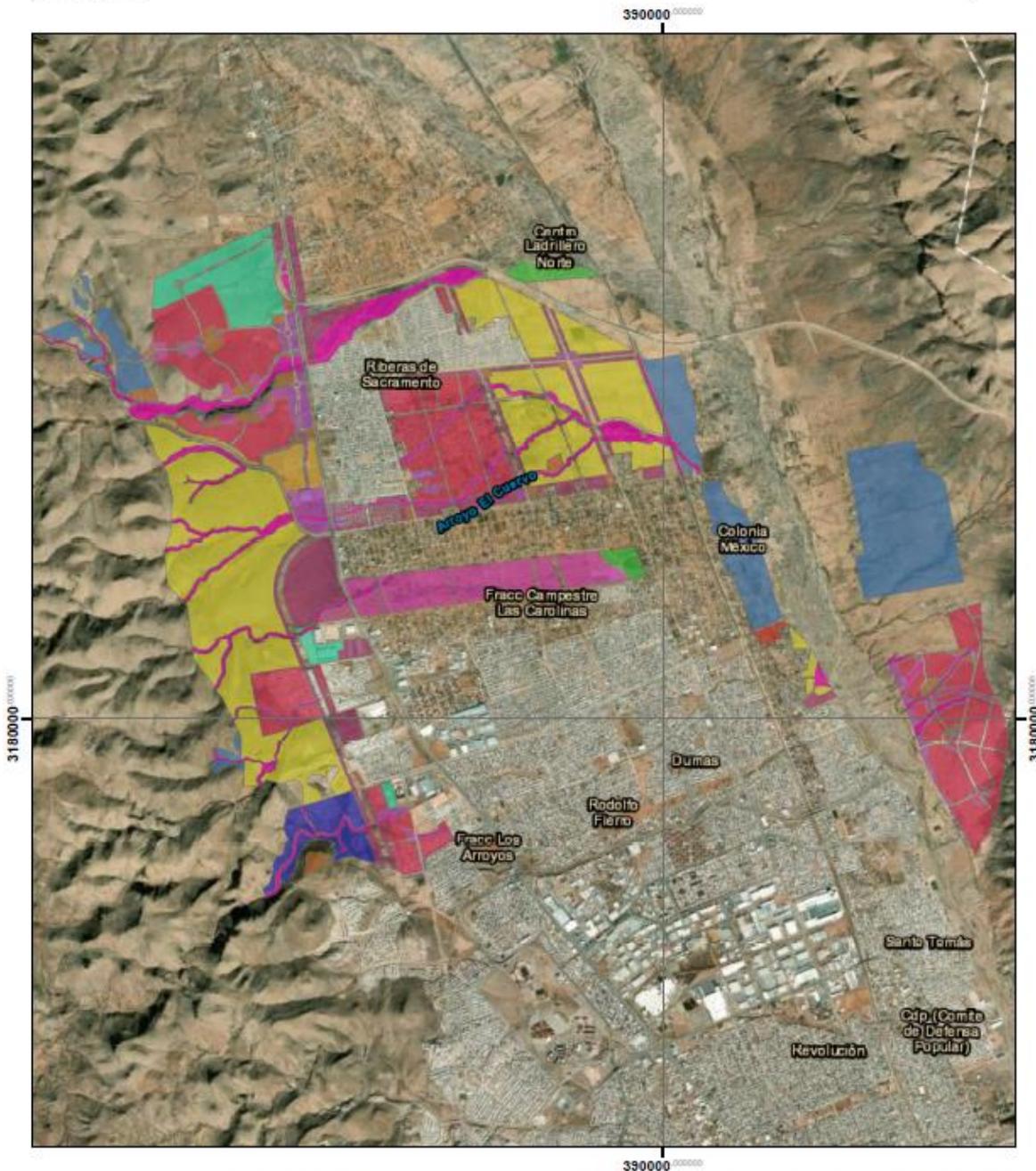
Figura 12. Zona urbanizada al 2016. Fuente: Elaboración propia con datos del (IMPLAN, 2016)



WGS ZONA 13R



# Zona en desarrollo para el 2040



Simbología					
	CMR		HB3		INA
	EQM		HBB		HBD
	CDL		HBC		MXC
	Cuenca San Marcos		Subcuencas urbanas		MXB
	IN1		MXD		UE1
	RYD		UES		

Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R  
 Sistema de unidades: Internacional  
 Plano #7 Zona en desarrollo para el 2040  
 Fecha: 22 de Noviembre del 2021  
 Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz

Figura 13. Zona en desarrollo para el 2040. Fuente: Elaboración propia con datos del (IMPLAN, 2016)



## 5.8 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración se define como el tiempo que demora una gota desde el punto más lejano hasta el punto de drenaje (Aparicio, 1992).

A través del tiempo se han propuesto diversas fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración tales como: Formula de Kirpich, Formula de Rowe, Formula del Servicio de Conservación de Suelo de E.U. (SCS), E. Basso, Formula Soil Conservation Service (USDA).

### 5.8.1 Formula de Rowe.

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración, en horas.

$H$  = Desnivel total del cauce principal, en m.

$L$  = Longitud del cauce principal, en km.

Sustituyendo los valores de la subcuenca del Arroyo El Ermitaño en la ecuación 3: (consultar Tabla 6)

$$T_c = \left( \frac{0.87(24.052)^3}{1982.77-1439.4} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 3.30 \text{ hr}$$

### 5.8.2 Formula de Kirpich.

$$t_{cs} = 0.0003245 \left( \frac{L_t}{S_t} \right)^{0.77} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración, en horas.

$L_t$  = Longitud del cauce principal hasta el parteaguas, en m.



$S_t$  = Pendiente media del cauce principal.

Sustituyendo los valores de la subcuenca del Arroyo El Ermitaño en la ecuación 4:  
(consultar Tabla 6)

$$T_c = 0.0003245 \frac{(24051.786 \text{ m})^{0.77}}{0.01636^{0.385}}$$

$$T_c = 3.74 \text{ hr}$$

### 5.8.3 Formula del servicio de conservación de suelo de E.U. (SCS).

$$T_c = \frac{L^{1.15}}{3085H^{0.38}} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración, en horas.

$H$  = Desnivel total del cauce principal, en m.

$L$  = Longitud del cauce principal, en m.

Sustituyendo los valores de la subcuenca del Arroyo El Ermitaño en la ecuación 5:  
(consultar Tabla 6):

$$T_c = \frac{(24051.786)^{1.15}}{3085(1982.77-1439.4)^{0.38}}$$

$$T_c = 3.23 \text{ hr}$$

### 5.8.4 Formula Soil Conservation Service (USDA).

$$T_c = 0.0195K^{0.77} \quad \text{Ec. 6}$$

$$K = \sqrt{L^3/H} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:



K en metros

T<sub>c</sub>= tiempo de concentración, en minutos.

L= longitud del recorrido del agua desde el punto hidrológicamente más alejado, en m.

Sustituyendo los valores de la subcuenca del Arroyo El Ermitaño en la ecuación 6 y 7: (consultar Tabla 6)

$$K = \sqrt{(24051.786)^3 / (1982.77 - 1439.4)}$$

$$K = 160019.6$$

$$T_c = \frac{0.0195(160019.6)^{0.77}}{60}$$

$$T_c = 3.30 \text{ hr}$$

5.8.5 Formula de E, Basso.

$$T_c = 0.067 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

T<sub>c</sub>= Tiempo de concentración, en horas.

L= Longitud del cauce principal, en km.

S= Pendiente promedio del colector principal, adimensional



Sustituyendo los valores de la subcuenca del Arroyo El Ermitaño en la ecuación 8: (consultar Tabla 6):

$$T_c = 0.067 \left[ \frac{24.052}{\sqrt{0.01636}} \right]^{0.77}$$
$$T_c = 3.78 \text{ hr}$$

### 5.8.6 Formulas basadas en la velocidad de la onda de la avenida.

$$T_c = \frac{L}{V_w} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

L=longitud del Cauce principal, en Km.

V<sub>w</sub>= velocidad de la onda de la avenida, en km/hr, la cual se puede estimar por medio de la expresión:

$$V_w = 72 \left[ \frac{H}{L} \right]^{0.6} \quad \text{Ec. 10}$$

Siendo:

H= desnivel total del cauce, en km

L= longitud del cauce principal, en km

Sustituyendo los valores de la subcuenca del Arroyo El Ermitaño en la ecuación 9 y 10: (consultar Tabla 6):

$$T_c = \frac{24.052 \text{ km}}{72 \left[ \frac{1982.77 \text{ m} - 1439.4 \text{ m}}{24.052 \text{ km}} \right]^{0.6}}$$

$$T_c = 3.25 \text{ hr}$$



### 5.8.7 Resumen de estimación del tiempo de concentración.

La determinación del tiempo de concentración se realizó por 6 métodos diferentes. La Tabla 6 presenta las variables necesarias para el cálculo del tiempo de concentración, así como los resultados obtenidos por cada uno de los métodos aplicados.

Tabla 6. Valores del tiempo de concentración, aplicando diversos métodos.

ID	Subcuenca	Area (km)	Elevación máxima del cauce (m)	Elevación mínima del cauce (m)	Longitud del cauce (km)	Pendiente (%)	Tiempo de concentración					
							Formula de Kirpich	Formula de Rowe	Formula del SCS	Formula de E, Basso	Formula basada en la vel. de la onda de avenida	Formula del USDA
1	Arroyo El Emitaño (Los Nogales)	36.436	1982.77	1439.4	24.052	1.636%	3.74	3.30	3.23	3.78	3.25	3.30
2	Arroyo Sierra Nombre de Dios	11.9838	1630	1427.091	5.169	1.266%	1.26	0.82	0.80	1.28	0.50	0.82
3	Arroyo Mineral Josefina	1.804	1479	1439	3.730	1.350%	0.79	1.05	0.76	0.97	0.79	0.78
4	Arroyo Sierra Nombre de Dios	2.106	1633.76	1436	4.524	1.758%	1.00	0.71	0.70	1.02	0.41	0.71
5	Arroyo Los Arcos	9.337	1600	1430	8.020	1.750%	1.56	1.45	1.42	1.58	1.12	1.45
6	Arroyo Sierra Nombre de Dios	9.978	1601.9	1430	5.606	2.093%	1.11	0.96	0.94	1.12	0.63	0.96
7	Arroyo El Alamo	14.564	1914.63	1451.161	15.496	1.796%	2.57	2.11	2.07	2.60	1.77	2.11
8	Arroyo Sierra Nombre de Dios	4.047	1799.43	1451.16	5.222	1.491%	1.19	0.67	0.66	1.21	0.37	0.67
9	Arroyo El Mimbres	34.68	2082.43	1462.32	15.406	2.102%	2.41	1.88	1.84	2.43	1.47	1.88
10	Arroyo Sierra Nombre de Dios	17.43	1730	1462.327	6.924	0.937%	1.77	1.03	1.01	1.79	0.68	1.03
11	Arroyo Jesus María (Calabacillas)	231.229	2490	1463.392	51.996	1.062%	7.99	6.30	6.16	8.08	7.61	6.30
12	Arroyo Sierra Nombre de Dios	38.372	1671.774	1473.68	14.217	0.708%	3.44	2.65	2.59	3.48	2.56	2.66
13	Arroyo Majalca	265.705	2320	1518.64	43.138	0.942%	7.25	5.58	5.46	7.33	6.55	5.59
14	Arroyo Seco	226.308	2459.8524	1516	51.509	0.993%	8.14	6.44	6.29	8.23	7.88	6.44

### 5.9 Periodo de retorno.

El periodo de retorno a considerar es el de 50 y 100 años derivado a que se tienen antecedentes de la pérdida de vidas a causa de inundaciones súbitas en la zona.

### 5.10 Procesamiento estadístico de la estación Chihuahua Observatorio.

La finalidad del procesamiento estadístico de datos es calcular la precipitación probable con una duración de 24 horas para los periodos de retorno considerados en las curvas P-D-Tr. La metodología aplicable se realizó a partir de del software Ax+B el cual estima los parámetros por medio de funciones de distribución tales como: Gumbel, Exponencial, Log- Normal de 2 parámetros, Gamma de tres parámetros, entre otras. El programa permite realizar el ajuste de las funciones de distribución de probabilidad a la serie de datos, esto mediante diversos procesos con el fin de estimar los parámetros de cada una. Finalmente, para seleccionar la función de distribución que mejor se ajusta a los datos de



precipitación contemplados, el software aplica diversas pruebas (Error cuadrático, Kolmogorov- smirnov, Chi Cuadrado, Anderson Darling, Nash-Sutcliffe).

La función de distribución que mejor se adaptó a los datos de la estación observatorio Chihuahua fue la de Gumbel (ML). Por lo cual se realizó la extrapolación de datos para diversos periodos de retorno y considerando la máxima precipitación en 24 y 1 hora, (Tabla 7).

Tabla 7. Periodo de retorno y precipitación máxima en 24 horas y en 1 hora.

Periodo de retorno (años)	Precipitación en 24 horas en mm	Periodo de retorno (años)	Precipitación en 1 hora en mm
2	47.351	2	25.799
5	65.379	5	37.377
10	77.316	10	45.042
20	88.765	20	52.395
25	92.397	25	54.727
50	103.585	50	61.912
100	114.691	100	69.044
200	125.756	200	76.150
500	140.354	500	85.525
1000	151.387	1000	92.610
5000	176.993	5000	109.054
10000	188.019	10000	116.134

### 5.11 Método de Cheng Lu Chen

El método es aplicable para el cálculo de alturas de precipitación iguales o mayores a un periodo de retorno de 10 años y es determinado a partir de la ecuación 11.

$$P_t^{T_r} = \frac{a \cdot P_{60}^{10} \cdot \log(10^{2-F} \cdot T_r^{F-1}) \cdot t}{60 \cdot (t+b)^c} \quad \text{Ec. 11}$$

$P_t^{T_r}$  = Altura de precipitación en mm.

$T_r$  = Periodo de retorno.

$t$  = Duración de la tormenta en minutos.



Para obtener las alturas de precipitación se realiza lo siguiente:

En base a la Tabla 7 se obtiene los siguientes datos:

$$P_{60}^2=25.80 \text{ mm}, \quad P_{1440}^2=47.35 \text{ mm}, \quad P_{1440}^{100}=114.69 \text{ mm}, \quad P_{1440}^{10}=77.32 \text{ mm}$$

El coeficiente lluvia duración (R), se origina a raíz de la ecuación 12.

$$R = \frac{P_{60}^2}{P_{1440}^2} \quad \text{Ec. 12}$$

$$R = \frac{25.80 \text{ mm}}{47.35 \text{ mm}} = 0.545$$

El cociente lluvia – periodo de retorno. (Ecuación 13)

$$F = \frac{P_t^{100}}{P_t^{10}} = \frac{P_{1440}^{100}}{P_{1440}^{10}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$F = \frac{114.69 \text{ mm}}{77.32 \text{ mm}} = 1.483$$

Los parámetros regionales a, b y c en función del cociente lluvia – duración R. Son obtenidos a partir de las ecuaciones 14, 15 y 16.

$$a = -2.297536 + 100.0389R - 432.5438R^2 + 1256.228R^3 - 1028.902R^4 \quad \text{Ec. 14}$$

$$b = -9.845761 + 96.94864R - 341.4349R^2 + 757.9172R^3 - 598.7461R^4 \quad \text{Ec. 15}$$

$$c = -0.06498345 + 5.069294R - 16.08111R^2 + 29.09596R^3 - 20.06288R^4 \quad \text{Ec. 16}$$

Teniendo los siguientes resultados a= 36.3174, b= 11.4415 y c= 0.8612.

$P_{60}^{10}$  = Altura de precipitación para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 60 minutos, (Ecuación 17).



$$P_{60}^{10} = (0.35 \ln(10) + 0.76) * (0.54(60)^{0.25} - 0.5) P_{60}^2 \quad \text{Ec. 17}$$

La altura de precipitación  $P_{60}^{10}$  es de 40.52 mm

Aplicando los resultados anteriores en la ecuación 3, fue posible estimar las alturas de precipitación (Tabla 8).

Tabla 8. Altura de precipitación en mm.

Periodo de retorno Tr (Años)	Duración (min)							
	5	10	20	30	60	90	120	1440
10	11.00	17.50	25.17	29.77	37.25	41.31	44.07	66.83
20	12.60	20.05	28.84	34.10	42.67	47.32	50.48	76.56
25	13.12	20.87	30.02	35.50	44.41	49.26	52.54	79.69
50	14.72	23.42	33.68	39.83	49.83	55.27	58.96	89.42
100	16.32	25.96	37.34	44.16	55.26	61.28	65.37	99.14

La intensidad de lluvia en mm/hr (I) (Tabla 9) se obtiene a partir de la ecuación 18:

$$I = \frac{P_t^{Tr}}{d} \quad \text{Ec. 18}$$

$P_t^{Tr}$  = Altura de precipitación en mm (Tabla 7)

d = duración en horas

Tabla 9. Intensidad de lluvia (mm/hr).

Periodo de retorno Tr (Años)	Duración (min)							
	5	10	20	30	60	90	120	1440
10	132.00	105.02	75.52	59.54	37.25	27.54	22.03	2.78
20	151.21	120.30	86.51	68.20	42.67	31.55	25.24	3.19
25	157.39	125.22	90.05	70.99	44.41	32.84	26.27	3.32
50	176.60	140.50	101.04	79.66	49.83	36.85	29.48	3.73
100	195.81	155.78	112.03	88.32	55.26	40.85	32.68	4.13



## 5.12 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento se determina de acuerdo a las características de la superficie. Los criterios son totalmente empíricos y su aplicación depende del criterio y experiencia del diseñador.

Una vez caracterizado el uso de suelo de la zona de acuerdo al PDU2040 dentro de la zona urbana y en el caso de la zona rural al uso de suelo y vegetación serie VI, se establecen coeficientes de escurrimiento para cada tipo de uso, basándose en la Tabla 11, la cual toma en consideración el periodo de retorno, el tipo de uso de suelo y en caso de ser zona rural considera adicionalmente la pendiente.

A partir de una ponderación de las áreas y del coeficiente de escurrimiento C que caracteriza a cada zona de la subcuenca se obtuvo un valor del coeficiente representativo para cada subcuenca, tales valores se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Valor del coeficiente C para cada subcuenca.

ID	Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Factor C
1	Arroyo El Ermitaño (Los Nogales)	36.436	0.508
2	Arroyo Sierra Nombre de Dios	11.9838	0.592
3	Arroyo Mineral Josefina	1.804	0.663
4	Arroyo Sierra Nombre de Dios	2.106	0.523
5	Arroyo Los Arcos	9.337	0.717
6	Arroyo Sierra Nombre de Dios	9.978	0.438
7	Arroyo El Álamo	14.564	0.567
8	Arroyo Sierra Nombre de Dios	4.047	0.479
9	Arroyo El Mimbres	34.68	0.560
10	Arroyo Sierra Nombre de Dios	17.43	0.482
11	Arroyo Jesús María (Calabacillas)	231.229	0.477
12	Arroyo Sierra Nombre de Dios	38.372	0.446
13	Arroyo Majalca	265.705	0.459
14	Arroyo Seco	226.308	0.456



Tabla 11. Valores del coeficiente de escurrimiento para periodos de retorno de 2 a 100 años (Campos-Aranda, 2010).

Características de la superficie	Periodo de retorno				
	2	5	10	100	50
Uso del terreno					
Comercial	0.87	0.87	0.88	0.89	0.884
Alrededor de zonas comerciales	0.6	0.65	0.7	0.8	0.744
Residencial de familias individuales	0.4	0.45	0.5	0.6	0.544
Edificios de apartamentos (separados)	0.45	0.5	0.6	0.7	0.644
Edificios de apartamentos (juntos)	0.6	0.65	0.7	0.8	0.744
½ campo edificado o mas	0.3	0.35	0.4	0.6	0.489
Apartamentos	0.65	0.7	0.7	0.8	0.744
Industrial (disperso)	0.71	0.72	0.76	0.82	0.787
Industrial denso	0.8	0.8	0.85	0.9	0.872
Parques y cementerios	0.1	0.25	0.35	0.65	0.483
Campos de juego	0.25	0.25	0.35	0.65	0.483
Escuelas	0.45	0.5	0.6	0.7	0.644
Patios de ferrocarril	0.4	0.45	0.5	0.6	0.544
Calles pavimentadas	0.87	0.88	0.9	0.93	0.913
Calles empedradas	0.15	0.25	0.35	0.65	0.483
Avenidas y paseos	0.87	0.87	0.88	0.89	0.884
Techo azoteas	0.8	0.85	0.9	0.9	0.9
Césped en suelos arenosos	0	0.01	0.05	0.2	0.117
Césped en suelos arcillosos	0.05	0.1	0.2	0.4	0.289
Urbanizada					
Superficie asfáltica	0.73	0.77	0.88	0.95	0.9
Concreto y/o azoteas	0.75	0.8	0.83	0.97	0.92
Áreas con pasto (el pasto cubre menos del 50% del área)					
Plano (0 al 2%)	0.32	0.34	0.37	0.47	0.44
Promedio (2 al 7%)	0.37	0.4	0.43	0.53	0.49
Con pendiente (>7%)	0.4	0.43	0.45	0.55	0.52
Áreas con pasto (el pasto cubre del 50 al 75% del área)					
Plano (0 al 2%)	0.25	0.28	0.3	0.41	0.37
Promedio (2 al 7%)	0.33	0.36	0.38	0.49	0.45
Con pendiente (>7%)	0.37	0.4	0.42	0.52	0.49
Áreas con pasto (el pasto cubre más del 75% del área)					
Plano (0 al 2%)	0.21	0.23	0.25	0.36	0.32
Promedio (2 al 7%)	0.29	0.32	0.35	0.46	0.42
Con pendiente (>7%)	0.34	0.37	0.4	0.51	0.47
Rural - Terrenos de cultivo					



Tabla 11. Valores del coeficiente de escurrimiento para periodos de retorno de 2 a 100 años (Campos-Aranda, 2010). (Continuación).

Características de la superficie	Periodo de retorno				
	2	5	10	100	50
Plano (0 al 2%)	0.31	0.34	0.36	0.46	0.43
Promedio (2 al 7%)	0.35	0.38	0.41	0.51	0.48
Con pendiente (>7%)	0.39	0.42	0.44	0.54	0.51
Rurales pastizales					
Plano (0 al 2%)	0.25	0.28	0.3	0.41	0.37
Promedio (2 al 7%)	0.33	0.36	0.381	0.49	0.45
Con pendiente (>7%)	0.37	0.4	0.42	0.53	0.49
Rurales bosques y montes					
Plano (0 al 2%)	0.22	0.25	0.28	0.39	0.35
Promedio (2 al 7%)	0.31	0.34	0.36	0.47	0.43
Con pendiente (>7%)	0.35	0.39	0.41	0.52	0.48

### 5.13 Factor N

Las cuencas urbanas o semiurbanas se modifican constantemente, conllevando a que los escurrimientos no puedan ser determinados a partir de los registros en el tiempo de estos y se tiene que recurrir a estimar primero.

El número N de la curva de escurrimiento del Natural Resources Conservation Service (NRCS), predice un valor adimensional en el intervalo de 0 a 100 para la relación suelo-cobertura. A través del tiempo se han desarrollado diversas tablas que arrojan un valor considerando determinadas condiciones tales como: tipo de suelo, el uso, práctica agrícola, condición hidrológica, humedad y pendiente (Campos A., 2009).

El número N es ampliamente utilizado al momento de no contar con registros de escurrimiento. La Tabla 13 establece valores de N de acuerdo al tipo de vegetación y suelo en la zona no urbanizada, en el caso de la Tabla 14 establece valores de N, de acuerdo al uso de suelo que se tenga en la zona urbana, en el caso de la Tabla 15 considera el tipo de suelo de acuerdo a las características de escurrimiento que se pueden generar en el mismo.



Una vez caracterizadas las zonas de las subcuencas se pondero y se obtuvo el valor de N representativo de cada subcuenca, (Tabla 12).

Tabla 12. Valor del coeficiente N para cada subcuenca.

ID	Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Numero de curva
1	Arroyo El Ermitaño (Los Nogales)	36.436	67.344
2	Arroyo Sierra Nombre de Dios	11.9838	71.050
3	Arroyo Mineral Josefina	1.804	82.016
4	Arroyo Sierra Nombre de Dios	2.106	61.795
5	Arroyo Los Arcos	9.337	89.149
6	Arroyo Sierra Nombre de Dios	9.978	72.107
7	Arroyo El Álamo	14.564	68.206
8	Arroyo Sierra Nombre de Dios	4.047	88.915
9	Arroyo El Mimbres	34.68	70.292
10	Arroyo Sierra Nombre de Dios	17.43	81.115
11	Arroyo Jesús María (Calabacillas)	231.229	66.620
12	Arroyo Sierra Nombre de Dios	38.372	72.803
13	Arroyo Majalca	265.705	65.427
14	Arroyo Seco	226.308	66.193



Tabla 13. Selección de N (CONAGUA, 2007).

Uso de la tierra o cobertura	Condición de la superficie	Tipo de suelo			
		a	b	c	d
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	65	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso o alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Leguminosas (sembradas con maquinaria)	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable	-----	100	100	100	100
Matorral	Mala	48	67	77	83
	Buena	20	48	65	73



Tabla 14. Selección de N (CONAGUA, 2007).

Uso de suelo o cobertura	Numero de curva, para el grupo hidrológico de suelo			
	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida)				
Buena condición; cubierta más del 75% de pasto el área	39	61	74	80
Condición regular: cubierta de pasto de 50% al 75% el área	49	69	79	84
Mala condición; cubierta de pasto menos del 50% del área	68	79	86	89
Lotes de estacionamiento pavimentados, techados, entradas de autos, etc.	98	98	98	98
Calles y caminos:				
Pavimentados con banquetas y drenaje de aguas pluviales	98	98	98	98
De grava	76	85	89	91
De terracería	72	82	87	89
Pavimentados con cunetas	83	89	92	93
Áreas comerciales y de negocios (85%)*	89	92	94	95
Zonas industriales (72%)*	81	88	91	93
Rancherías, pueblos y zonas urbanas (65%) con lotes de 500 m <sup>2</sup> o menos	77	85	90	92
Residencial: Tamaño promedio del lote				
1000 m <sup>2</sup> (38%)*	61	75	83	87
1300 m <sup>2</sup> (30%) *	57	72	81	86
2000 m <sup>2</sup> (25%)*	54	70	80	85
4000 m <sup>2</sup> (20%)*	51	68	79	84
8000 m <sup>2</sup> (12%)*	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo (vegetación no establecida)	77	86	91	94

\*Porcentaje promedio de impermeabilidad considerado

Tabla 15. Clasificación de suelos (CONAGUA, 2007).

Tipo de suelo	Descripción
A	Arenas con poco limo y arcilla (escurrimiento mínimo).
B	Arenas finas y limos.
C	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla.
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo).



## 5.14 Hietograma de diseño

### 5.14.1 Método de bloques alternos

El método de bloques alternos es aplicable al momento de querer conocer la evolución de la precipitación máxima en un tiempo, para un periodo de retorno de interés. El criterio aplicado es el siguiente:

- a. Se selecciono la ecuación de Intensidad-Duración correspondiente al periodo de retorno de 50 y 100 años. Las Figuras 14 y 15 representan la curva Intensidad-Duración para un periodo de 50 y 100 años respectivamente.

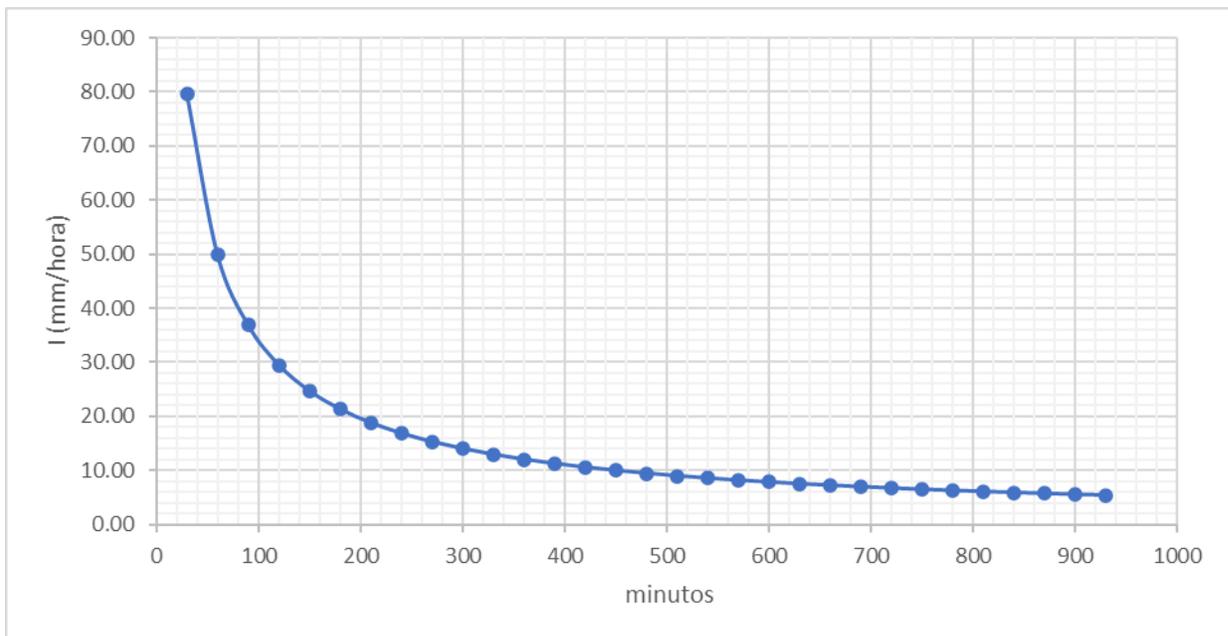


Figura 14. Curva Intensidad-Duración para un periodo de retorno de 50 años.

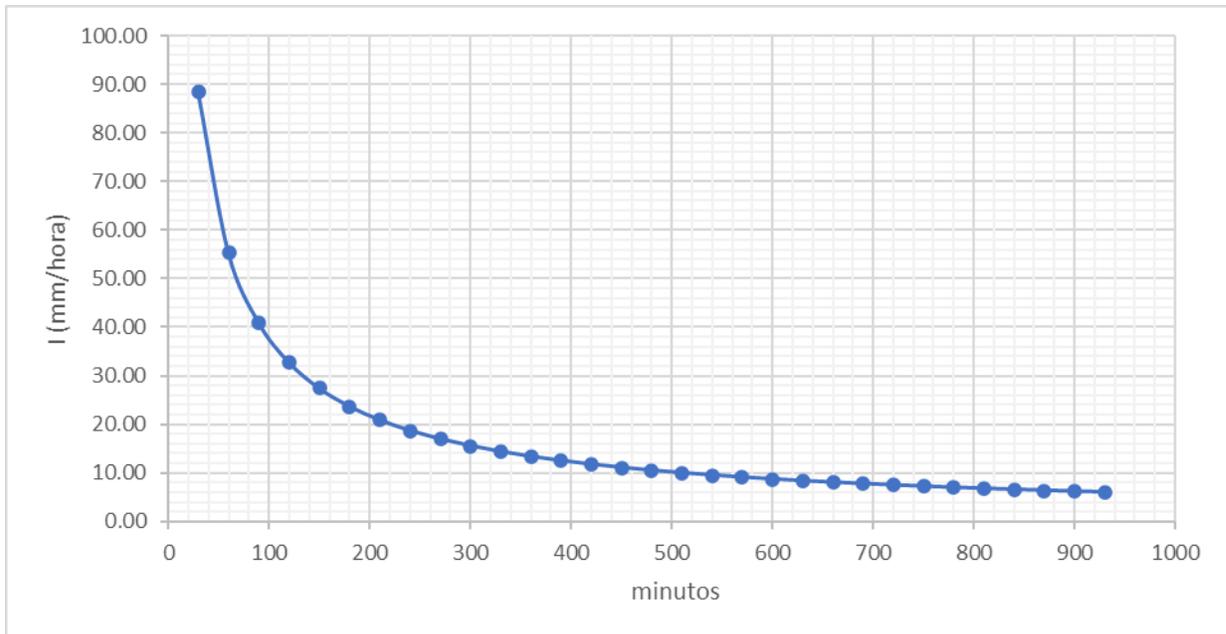


Figura 15. Curva Intensidad-Duración para un periodo de retorno de 100 años.

- b. Se considera la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca (912 min) y se dividió ese tiempo en intervalos de tiempo de 30 minutos.
- c. Para cada intervalo de tiempo se obtuvo el valor de intensidad de precipitación de las Figuras 14 y 15 hasta llegar al valor de la duración de la tormenta. En la Tabla 16, se calculó la precipitación caída en cada intervalo de tiempo. Para calcular la columna  $\Delta P$ , se asume que dentro de los 60 minutos más lluviosos cayeron 49.835 mm, de los cuales 39.828 cayeron en los primeros 30 minutos por lo tanto en los siguientes 30 minutos cayeron 10.007 mm.



Tabla 16. Precipitación caída para cada intervalo de tiempo.

t(min)	Tr: 50 años			Tr: 100 años		
	I (mm/hr)	P(mm)	$\Delta P$	I (mm/hr)	P(mm)	$\Delta P$
30	79.656	39.828	39.828	88.321	44.160	44.160
60	49.835	49.835	10.007	55.255	55.255	11.095
90	36.847	55.270	5.436	40.855	61.282	6.027
120	29.478	58.956	3.686	32.685	65.369	4.087
150	24.695	61.738	2.781	27.381	68.453	3.084
180	21.324	63.971	2.233	23.643	70.929	2.476
210	18.811	65.839	1.868	20.857	73.000	2.071
240	16.861	67.446	1.607	18.695	74.782	1.782
270	15.302	68.857	1.412	16.966	76.347	1.565
300	14.023	70.117	1.260	15.549	77.744	1.397
330	12.956	71.256	1.139	14.365	79.007	1.263
360	12.049	72.296	1.040	13.360	80.159	1.153
390	11.270	73.253	0.957	12.495	81.221	1.061
420	10.591	74.140	0.887	11.743	82.204	0.984
450	9.996	74.968	0.828	11.083	83.122	0.918
480	9.468	75.743	0.776	10.498	83.982	0.860
510	8.997	76.474	0.730	9.975	84.792	0.810
540	8.574	77.164	0.690	9.506	85.557	0.765
570	8.191	77.818	0.654	9.082	86.282	0.726
600	7.844	78.441	0.622	8.697	86.973	0.690
630	7.527	79.034	0.594	8.346	87.631	0.658
660	7.237	79.602	0.568	8.024	88.260	0.629
690	6.969	80.146	0.544	7.727	88.863	0.603
720	6.722	80.668	0.522	7.453	89.442	0.579
750	6.494	81.170	0.502	7.200	89.998	0.557
780	6.281	81.653	0.484	6.964	90.535	0.536
810	6.083	82.120	0.467	6.745	91.052	0.517
840	5.898	82.571	0.451	6.539	91.552	0.500
870	5.725	83.007	0.436	6.347	92.036	0.484
900	5.562	83.430	0.423	6.167	92.504	0.469
930	5.409	83.840	0.410	5.997	92.959	0.454
630	7.527	79.034	0.594	8.346	87.631	0.658
660	7.237	79.602	0.568	8.024	88.260	0.629
690	6.969	80.146	0.544	7.727	88.863	0.603
720	6.722	80.668	0.522	7.453	89.442	0.579
750	6.494	81.170	0.502	7.200	89.998	0.557
780	6.281	81.653	0.484	6.964	90.535	0.536
810	6.083	82.120	0.467	6.745	91.052	0.517
840	5.898	82.571	0.451	6.539	91.552	0.500
870	5.725	83.007	0.436	6.347	92.036	0.484



- d. Para la construcción del hietograma (Figura 16 y 17) se estable que en el centro se coloca la precipitación registrada en los 30 minutos más lluviosos y después se registra en orden decreciente hacia los lados comenzando a la derecha y después a la izquierda.

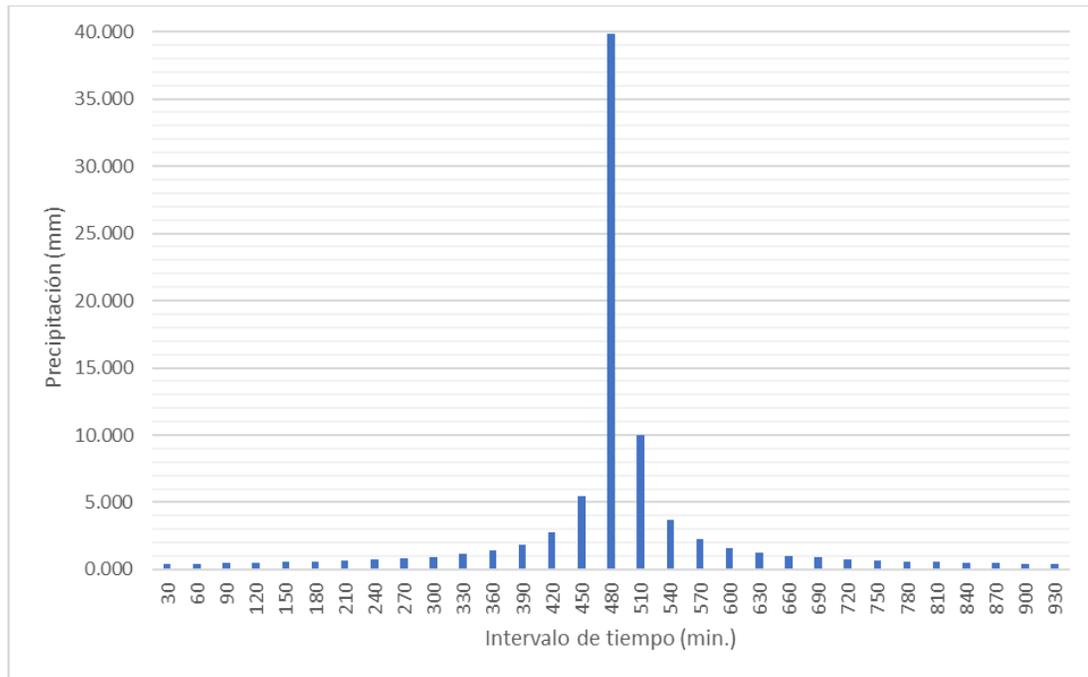


Figura 16. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años.

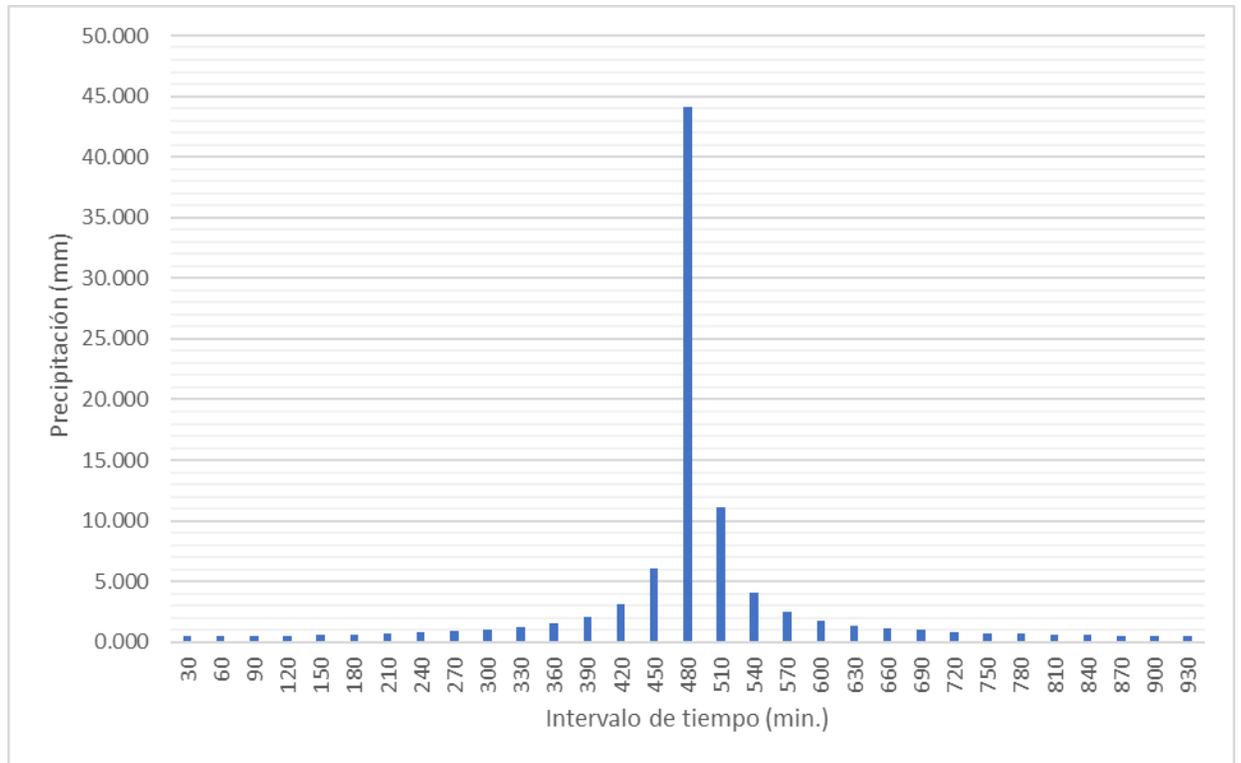


Figura 17. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años.

## 5.15 Estimación del gasto máximo

### 5.15.1 Método racional modificado

El método racional modificado contempla un factor reductor de lluvia, el cual relaciona la variabilidad de la precipitación con el área de la misma. Los límites de aplicación del método son  $0.25 < T_c < 24 \text{ h}$  y  $1 \leq A < 3000 \text{ km}^2$  (Universidad de Cádiz Rectorado, S.F.).

La fórmula del gasto a partir del método racional es la ecuación 19:

$$Q=0.278A^*I^*Ce^*Ka \quad \text{Ec. 19}$$

Q es el gasto en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

A es el área en  $\text{km}^2$ .

I es la intensidad en el periodo de retorno contemplado para el tiempo crítico.



$C_e$  es el coeficiente de escurrimiento. (adimensional).

$K_a$  es el factor de correlación de lluvia.

Sustituyendo los valores de cada subcuenca en la ecuación 19, se obtiene el gasto para cada subcuenca, Tabla 17.

Tabla 17. Gasto máximo método racional modificado.

ID	Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	tc (hr)	tc (min)	Factor C	Ka	Tr 50 años		Tr 100 años	
							Intensidad duracion (mm/hr)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Intensidad duracion (mm/hr)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1	Arroyo El Emitaño (Los Nogales)	36.436	3.736	224.163	0.508	0.896	17.833	82.269	19.773	91.218
2	Arroyo Sierra Nombre de Dios	11.9838	1.262	75.716	0.592	0.928	41.992	76.862	46.559	85.222
3	Arroyo Mineral Josefina	1.804	0.789	47.329	0.663	0.983	58.959	19.264	65.372	21.359
4	Arroyo Sierra Nombre de Dios	2.106	1.004	60.234	0.523	0.978	49.694	14.883	55.100	16.502
5	Arroyo Los Arcos	9.337	1.563	93.764	0.717	0.935	35.709	62.137	39.593	68.895
6	Arroyo Sierra Nombre de Dios	9.978	1.107	66.427	0.438	0.933	46.271	52.475	51.304	58.183
7	Arroyo El Alamo	14.564	2.569	154.147	0.567	0.922	24.162	51.137	26.790	56.699
8	Arroyo Sierra Nombre de Dios	4.047	1.195	71.678	0.479	0.960	43.743	22.626	48.501	25.086
9	Arroyo El Mimbres	34.68	2.407	144.441	0.560	0.897	25.452	123.376	28.220	136.796
10	Arroyo Sierra Nombre de Dios	17.43	1.775	106.491	0.482	0.917	32.364	69.319	35.884	76.858
11	Arroyo Jesus Maria (Calabacillas)	231.229	7.989	479.329	0.477	0.842	9.479	244.986	10.510	271.632
12	Arroyo Sierra Nombre de Dios	38.372	3.440	206.377	0.446	0.894	19.080	81.211	21.156	90.044
13	Arroyo Majalca	265.705	7.246	434.748	0.459	0.838	10.289	292.694	11.408	324.530
14	Arroyo Seco	226.308	8.138	488.253	0.456	0.843	9.333	225.766	10.348	250.322

### 5.15.2 Método TR-55

El método es aplicable a cuencas urbanas y rurales, contemplando un tiempo de concentración en un rango de 6 minutos a 10 horas. La ecuación 20, es aplicable para conocer el gasto pico por el método TR-55 (Chin, 2006; CONAGUA, 2015).

$$Q_p = q_u * P_{24}^{Tr} * F_p * A_T \quad \text{Ec. 20}$$

$$Q_p = \text{Gasto pico} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$q_u$  = Gato pico unitario por cm de lluvia en exceso y área de cuenca en km<sup>2</sup>.

$P_{24}^{50}$  = Precipitación en exceso en 24 horas y en un periodo de retorno de diseño.

$F_p$  = Factor de ajuste por estanque y pantanos en la cuenca.

$A_T$  = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.



A continuación, se desglosa el método:

El método TR-55 comienza por estimar el gasto unitario ( $q_u$ ) por medio de la ecuación 6, en función de la lluvia en exceso en cm y el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ .

$$\log(q_u) = C_0 + C_1 \log(T_c) + C_2 [\log(T_c)]^2 - 2.366 \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

$T_c$  = tiempo de concentración de la cuenca, h.

$C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  = coeficientes que se obtienen de la Tabla 18, en función del tipo de tormenta NRCS y del cociente  $\frac{I_a}{P_{24}^{T_r}}$ .

$I_a$  = pérdidas iniciales durante la tormenta, función del número N, mm.

$P_c$  = lluvia de 24 horas de duración y  $T_r$  de diseño, corregida por tamaño de la cuenca, mm.

Procedimiento para determinar las variables de  $q_u$ :

El tiempo de concentración relaciona su magnitud a partir de la relación longitud y pendiente (ecuación 22).

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad \text{Ec. 22}$$

Los coeficientes en función del tipo de tormenta NRCS y del cociente se obtienen a partir de la relación  $I_a/P_c$ . Considerando un tipo de tormenta II, "la cual aplica en todo el país excepto la península de Baja California, Golfo de México y el sureste mexicano." (CONAGUA, 2015)

El valor de  $I_a$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_a = 0.20 S_r \quad \text{Ec. 23}$$



La variable retención máxima potencial ( $S_r$ ) en mm se calcula con:

$$S_r = \left( \frac{25400}{N} - 254 \right) \quad \text{Ec. 24}$$

El  $P_c$  es la lluvia de duración 24 horas y periodo de retorno de 50 años corregida. Se obtiene a partir de multiplicar un factor de reducción de área por la precipitación estimada por el método de Cheng para una duración de 24 horas y un periodo de retorno de 50 años, (Ecuación 25).

$$P_c = FRA * P \quad \text{Ec. 25}$$

El factor de reducción por área se obtiene a partir de la ecuación siguiente:

$$FRA = 1.0 - 0.091293 * (1.0 - e^{-0.005794 * A}) \quad \text{Ec. 26}$$

La precipitación en 24 horas con un periodo de retorno de 50 años es de 89.42 mm, obtenida de la Tabla 8.

Tabla 18. Parámetros para el cálculo del gasto pico unitario para una tormenta tipo II, función del tipo de tormenta y del cociente  $I_a/P_c$  (Haestad Methods y S.R Durrans, 2003; CONAGUA, 2015).

$I_a/P_c$	$C_0$	$C_1$	$C_2$
0.1	2.55323	-0.61512	-0.16403
0.15	2.53125	-0.61698	-0.15217
0.2	2.50928	-0.61885	-0.1403
0.25	2.4873	-0.62071	-0.12844
0.3	2.46532	-0.62257	-0.11657
0.35	2.41896	-0.61594	-0.0882
0.4	2.36409	-0.59857	-0.05621
0.45	2.29328	-0.57005	-0.02281
0.5	2.20282	-0.51599	-0.01259



Una vez determinada la relación  $I_a/P_c$ , se aplica la ecuación 6 del gasto unitario  $q_u$ , si es menor a 0.10 se consideran los valores de 0.1 y si es mayor a 0.5 se emplean los valores de 0.5 (Chin, 2006; Conagua, 2015).

La segunda variable del gasto pico es la precipitación en exceso en 24 horas en un periodo de retorno de 50 años en función del número N y de la precipitación acumulada ( $P_c$ ) en milímetros.

$$h_{pe} = \frac{10 \left( \frac{h_p}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left( \frac{h_p}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)} \quad \text{Ec. 27}$$

El factor de ajuste por estanque y pantanos  $F_p$ , se considera con el valor de 1, al no presentarse en la zona de estudio.

Las Tablas 19 y 20 presentan los valores de cada variable considerada para predecir el valor del gasto pico por el método TR-55 y al final señala el valor del gasto pico para cada afluente que descarga en el punto de interés.



Tabla 19. Parámetros para la determinación del gasto pico por el método TR-55 para las subcuencas 1 a 7.

Tr	Parametros	Subcuencas						
		1 El Emitaño (Los Nogales)	2 Sierra Nombre de Dios	3 Mineral Josefina	4 Sierra Nombre de Dios	5 Los Arcos	6 Sierra Nombre de Dios	7 El Alamo
	Area (km2)	36.44	11.98	1.80	2.11	9.34	9.98	14.56
	Longitud (km)	24.05	5.17	2.90	4.52	8.02	5.61	15.50
	Pendiente	0.016	0.013	0.014	0.018	0.017	0.021	0.018
	N	67.344	71.050	82.016	61.795	89.149	72.107	68.206
	Tc (Hr)	3.736	1.262	0.789	1.004	1.563	1.107	2.569
	Sr	123.17	103.49	55.70	157.03	30.92	98.25	118.40
	la	24.63	20.70	11.14	31.41	6.18	19.65	23.68
	FRA	0.983	0.994	0.999	0.999	0.995	0.995	0.993
	Pmin (mm)	24.63	20.70	11.14	31.41	6.18	19.65	23.68
	Fp	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Pc (mm)	87.86	88.87	89.33	89.32	88.99	88.96	88.76
	la/Pc	0.28	0.23	0.12	0.35	0.07	0.22	0.27
	C0	2.47	2.49	2.54	2.42	2.55	2.50	2.48
50 años	C1	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62
	C2	-0.12	-0.13	-0.16	-0.09	-0.16	-0.14	-0.12
	qu	0.57	1.17	1.74	1.12	1.17	1.28	0.73
	pe	2.14	2.71	4.57	1.56	6.03	2.87	2.31
	Qp	44.64	37.80	14.32	3.69	65.99	36.57	24.46
	Pc (mm)	97.42	98.54	99.05	99.03	98.67	98.63	98.41
	la/Pc	0.25	0.21	0.11	0.32	0.06	0.20	0.24
	C0	2.49	2.50	2.55	2.45	2.55	2.51	2.49
100 años	C1	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62
	C2	-0.13	-0.14	-0.16	-0.11	-0.16	-0.14	-0.13
	qu	0.59	1.19	1.76	1.21	1.17	1.31	0.75
	pe	2.70	3.34	5.38	2.04	6.93	3.52	2.89
	Qp	58.01	47.75	17.08	5.18	75.86	45.91	31.51



Tabla 20. Parámetros para la determinación del gasto pico por el método TR-55 para las subcuencas 8 a 14.

Tr	Parametros	Subcuencas						
		8 Sierra Nombre de Dios	9 El Mimbres	10 Sierra Nombre de Dios	11 Jesus Maria	12 Sierra Nombre de Dios	13 Majalca	14 Seco
	Area (km2)	4.05	34.68	17.43	231.23	38.37	265.71	226.31
	Longitud (km)	5.22	15.41	6.92	52.00	14.22	43.14	51.51
	Pendiente	0.015	0.021	0.009	0.011	0.007	0.009	0.010
	N	88.915	70.292	66.620	66.620	72.803	65.427	66.193
	Tc (Hr)	1.195	2.407	1.775	7.989	3.440	7.246	8.138
	Sr	31.67	107.35	127.26	127.26	94.89	134.22	129.73
	la	6.33	21.47	25.45	25.45	18.98	26.84	25.95
	FRA	0.998	0.983	0.991	0.933	0.982	0.928	0.933
	Pmin (mm)	6.33	21.47	25.45	25.45	18.98	26.84	25.95
	Fp	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
50 años	Pc (mm)	89.23	87.93	88.63	83.39	87.79	83.00	83.45
	la/Pc	0.07	0.24	0.29	0.31	0.22	0.32	0.31
	C0	2.55	2.49	2.47	2.46	2.50	2.44	2.46
	C1	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62
	C2	-0.16	-0.13	-0.12	-0.11	-0.14	-0.10	-0.11
	qu	1.38	0.78	0.89	0.35	0.64	0.36	0.34
	pe	6.00	2.54	2.10	1.81	2.89	1.66	1.77
	Qp	33.50	68.34	32.62	146.58	71.53	157.17	136.63
100 años	Pc (mm)	98.93	97.49	98.27	92.46	97.34	92.03	92.53
	la/Pc	0.06	0.22	0.26	0.28	0.19	0.29	0.28
	C0	2.55	2.50	2.48	2.48	2.51	2.47	2.47
	C1	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62
	C2	-0.16	-0.14	-0.13	-0.12	-0.14	-0.12	-0.12
	qu	1.38	0.80	0.92	0.36	0.66	0.38	0.36
	pe	6.90	3.15	2.65	2.31	3.54	2.13	2.26
	Qp	38.54	86.96	42.48	194.65	89.72	214.38	182.99

### 5.15.3 Método HUT

El hidrograma unitario triangular es uno de los métodos más confiables y difundidos. Los parámetros que determinan la magnitud de la predicción son el área, el tiempo de concentración y el valor del número N que define las lluvias en exceso. El método fue desarrollado por Bureau of Reclamation y lo define la ecuación 6, se ha demostrado que es consistente y aproximado.

$$Q_p = 0.566 \frac{h_{pe} * A}{n * T_p} \quad \text{Ec. 28}$$



Donde:

$A$  = área de la cuenca,  $\text{km}^2$

$T_c$  = tiempo de concentración, h

$T_p$  = tiempo pico, h

$T_r$  = tiempo de retraso, h

$h_{pe} = p_e$  = precipitación en exceso (mm)

$n$  = factor de corrección por área. Si  $A \leq 250 \text{ km}^2$ ,  $n = 2$

El método HUT comienza por obtener la precipitación en exceso ( $h_{pe}$ ) en milímetros por medio de la ecuación (7) en función del número  $N$  y de la precipitación acumulada ( $h_p$ ) en milímetros. La precipitación acumulada se obtiene de multiplicar la intensidad en (mm/hr) por el tiempo de concentración (hr).

$$h_{pe} = \frac{10 \left( \frac{h_p}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left( \frac{h_p}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)} \quad \text{Ec. 29}$$

El tiempo de concentración relaciona su magnitud a partir de la relación longitud y pendiente. (ecuación 9)

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad \text{Ec. 30}$$

Enseguida se determina el tiempo pico y al ser las cuencas menores a  $250 \text{ km}^2$ , se considera  $n=2$

Para cuencas pequeñas:

$$T_p = \frac{T_c}{2} + 0.6T_c \quad \text{Ec. 31}$$



Las Tablas 21 y 22 presentan los valores de cada variable considerada para predecir el valor del gasto pico por el método HUT y al final señala el valor del gasto pico para cada afluente que descarga en el punto de interés.

Tabla 21. Parámetros y estimación del caudal pico por el método HUT para las subcuencas 1 a 7.

Tr	Parametros	Subcuenca						
		1 El Emitaño	2 Sierra Nombre de Dios	3 Mineral Josefina	4 Sierra Nombre de Dios	5 Los Arcos	6 Sierra Nombre de Dios	7 El Alamo
	Longitud del cauce (km)	24.052	5.169	2.899	4.524	8.020	5.606	15.496
	Pendiente del cauce	0.016	0.013	0.014	0.018	0.017	0.021	0.018
	Area de la cuenca (km <sup>2</sup> )	36.436	11.984	1.804	2.106	9.337	9.978	14.564
	N	67.344	71.050	82.016	61.795	89.149	72.107	68.206
	n (A < 250 km <sup>2</sup> )	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	Tc (Hr)	3.736	1.262	0.789	1.004	1.563	1.107	2.569
	Tp (Hr)	4.110	1.388	0.868	1.104	1.719	1.218	2.826
	Tr (años)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
	d (Min) (Tc)	224.163	75.716	47.329	60.234	93.764	66.427	154.147
	d (Min) (Tp)	246.579	83.288	52.062	66.258	103.140	73.070	169.562
50 años	i (mm/Hr) (Tc)	17.833	41.992	58.959	49.694	35.709	46.271	24.162
	hp (mm)	66.625	52.991	46.508	49.889	55.803	51.228	62.074
	hpe (mm)	10.676	7.680	13.737	1.946	30.572	7.680	9.401
	Qp (m <sup>3</sup> /s)	26.314	18.431	7.940	1.032	46.163	17.493	13.469
100 años	i (mm/Hr) (Tc)	19.773	46.559	65.372	55.100	39.593	51.304	26.790
	hp (mm)	73.872	58.755	51.567	55.315	61.873	56.800	68.825
	hpe (mm)	14.062	10.231	17.003	3.159	35.810	10.192	12.462
	Qp (m <sup>3</sup> /s)	34.659	24.555	9.827	1.675	54.073	23.215	17.853
	tb	10.973	3.706	2.317	2.948	4.590	3.252	7.545



Tabla 22. Parámetros y estimación del caudal pico por el método HUT para las subcuencas 8 a 14.

Tr	Parametros	Subcuenca						
		8 Sierra Nombre de Dios	9 El Mimbre	10 Sierra Nombre de Dios	11 Jesus Maria	12 Sierra Nombre de Dios	13 Majalca	14 Seco
	Longitud del cauce (km)	5.222	15.406	6.924	51.996	14.217	43.138	51.509
	Pendiente del cauce	0.015	0.021	0.009	0.011	0.007	0.009	0.010
	Area de la cuenca (km <sup>2</sup> )	4.047	34.680	17.430	231.229	38.372	265.705	226.308
	N	88.915	70.292	66.620	66.620	72.803	65.427	66.193
	n (A < 250 km <sup>2</sup> )	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.010	2.000
	Tc (Hr)	1.195	2.407	1.775	7.989	3.440	7.246	8.138
	Tp (Hr)	1.314	2.648	1.952	8.788	3.784	7.970	8.951
	Tr (años)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
	d (Min) (Tc)	71.678	144.441	106.491	479.329	206.377	434.748	488.253
	d (Min) (Tp)	78.846	158.885	117.140	527.262	227.014	478.222	537.078
50 años	i (mm/Hr) (Tc)	43.743	25.452	32.364	9.479	19.080	10.289	9.333
	hp (mm)	52.257	61.271	57.441	75.727	65.629	74.554	75.949
	hpe (mm)	27.181	10.765	6.425	14.236	15.377	12.512	13.911
	Qp (m <sup>3</sup> /s)	23.271	39.193	15.947	104.136	43.353	115.384	97.775
100 años	i (mm/Hr) (Tc)	48.501	28.220	35.884	10.510	21.156	11.408	10.348
	hp (mm)	57.940	67.935	63.689	83.963	72.767	82.663	84.209
	hpe (mm)	31.982	14.036	8.834	18.428	19.461	16.396	18.058
	Qp (m <sup>3</sup> /s)	27.382	51.103	21.925	134.800	54.868	151.201	126.916
	tb	3.509	7.070	5.213	23.463	10.102	21.281	23.900

#### 5.15.4 Modelación hidrológica HEC-HMS

La licencia del HEC-HMS es gratuita y fue creado para la simulación del proceso lluvia-escorrentamiento de cuencas dendríticas para obtención de hidrogramas de salida. Los cálculos se basan en diversos modelos matemáticos de masa-energía y cuenta con 7 métodos para la obtención de lluvia en exceso, siete para transformar la lluvia en exceso en escorrentamiento y cinco para estimar el gasto que aporta la subcuenca de aguas arriba a la de aguas abajo.

Previo a la modelación se desarrollaron una serie de actividades y cálculos, tales como: delimitación de cuencas, análisis de precipitación, numero de curva, hietogramas de diseño. Una vez reunidos todos los parámetros necesarios, se creó el proyecto, incorporándole los datos de la cuenca y los elementos hidrológicos.

Los métodos empleados para las subcuencas fueron: el método de transformación: Hidrograma Unitario del Servicio de Conservación de Suelos y



como método de pérdida se aplicó el número de curva. Los parámetros registrados en cada subcuenca son: el área (km<sup>2</sup>), el número de curva y el tiempo de retardo (se considera 0.7 veces el tiempo de concentración).

El tránsito de avenidas permite conocer la evolución del hidrograma a medida que se genera el escurrimiento a lo largo del cauce. El método aplicado fue el de Muskingum, el cual se diseñó pensando en que el almacenamiento en un tramo del cauce se divide en dos partes. Los datos registrados en HEC HMS fueron K, X y sub-reaches.

En el caso de la variable X, se considera una constante que en teoría oscila entre 0 y 0.5, normalmente varía entre 0.2 y 0.3. Se considera un valor de 0.2 para pendientes bajas y 0.35 para pendientes altas. De acuerdo con Vera (2004), una pendiente plana varía entre 0 a 3%, suave de 3 a 7% y mediana de 7 a 12%, por lo cual en 5 de los seis tramos transitados se considera 0.2 y solo en el tramo #4 se considera un valor para X de 0.35 (Ver Tabla 23 y Figura 18).

La variable K es una constante que se asemeja al tiempo de recorrido de la onda cinemática de un extremo a otro del tramo en estudio. La Universidad politécnica de Cataluña (S.F.), en su manual de utilización del programa HEC-HMS propone la ecuación 32 para el cálculo de la variable K.

$$K=0.6*T_c \quad \text{Ec. 32}$$

Según Viessman (1995) y Sánchez (2013), el intervalo de tiempo debe estar entre K y K/3, sin embargo, Wanielista (1997) y Sánchez (2013) proponen que el intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) elegido debe estar entre K y 2KX. Contemplando estos márgenes, cuanto menor sea el intervalo de tiempo, mayor es la precisión.

Si no se cumplen las condiciones anteriores se estimará el número de sub-reaches que se presentan en el tramo (ecuación 33).

$$n = \frac{2KX}{\Delta t} \quad \text{Ec. 33}$$



Donde n es el número de Sub-reaches.

Tabla 23. Variables K, X y sub-reaches para el tránsito de avenidas por el método de Muskingum.

	Longitud de cauce (m)	Pendiente (%)	Tc (min)	$\Delta t$ (min)	K	X	2KX	K/3	Sub-reaches
Tramo 1	9507.652	0.004	192.038	20	115.223	0.20	46.089	38.408	2
Tramo 2	2080.173	0.005	53.360	20	32.016	0.20	12.806	10.672	1
Tramo 3	2114.589	0.006	52.377	20	31.426	0.20	12.571	10.475	1
Tramo 4	1074.251	0.009	26.098	20	15.659	0.35	10.961	5.220	1
Tramo 5	1272.331	0.003	42.638	20	25.583	0.20	10.233	8.528	1
Tramo 6	2605.072	0.004	70.375	20	42.225	0.20	16.890	14.075	1

La Figura 18 es una representación ilustrativa del diagrama de flujo, realizado en HEC-HMS. El cual contempla las subcuencas, los puntos de intercesión y los tramos de transitados en el cauce. En el caso del modelo meteorológico se le incorporo el hidrograma de diseño, contemplado en el apartado 5.14. Las especificaciones de control deben de ser mayores en tiempo a la duración de la lluvia al tener un tiempo de concentración de 15.2 horas, se optó por considerar 48 horas, al considerar más tiempo se logra obtener el hidrograma completo.

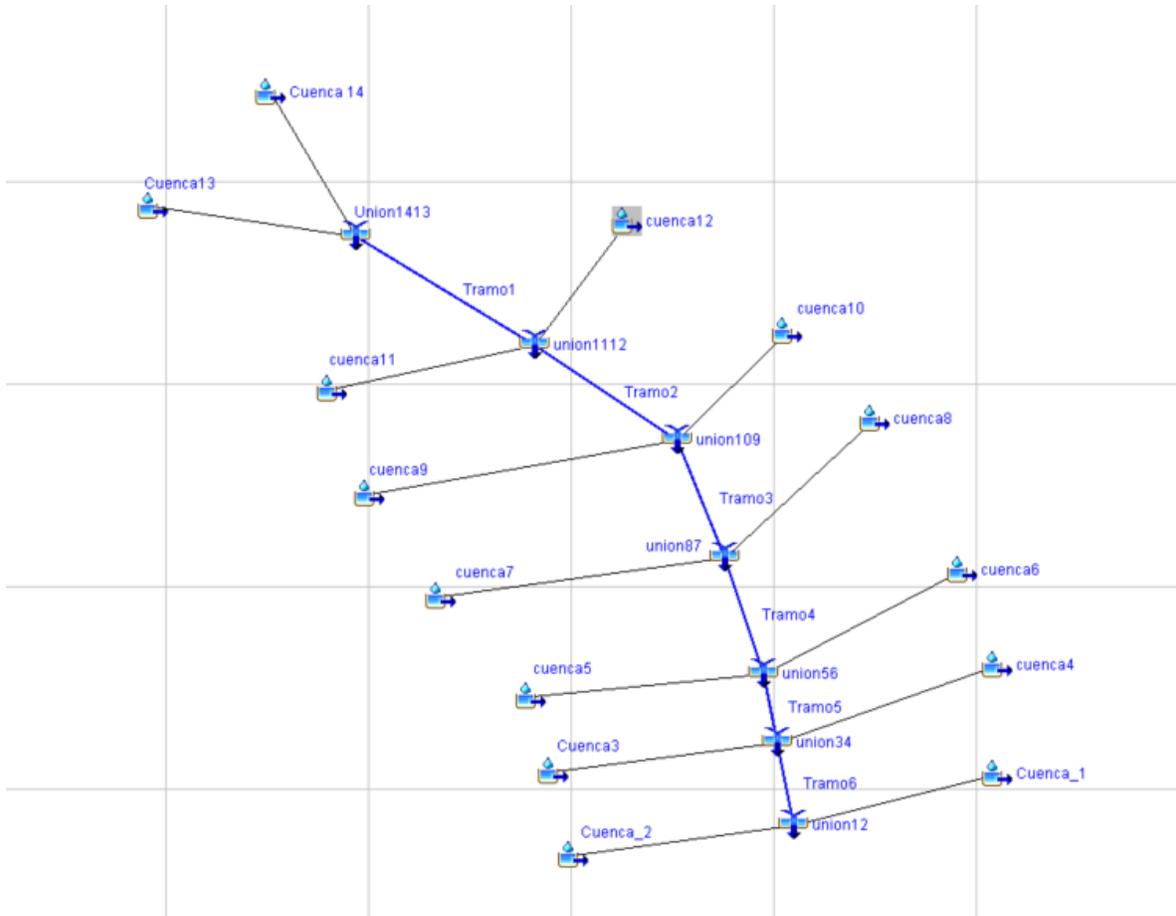


Figura 18. Diagrama de flujo HEC-HMS.



La zona de estudio se analizó cada una de las subcuencas y los resultados obtenidos a través del software fueron plasmados en las Tablas 24 y 25.

Tabla 24. Resumen de resultados HEC-HMS para un Tr de 50 años.

Hydrologic Element	Drainage A... (KM2)	Peak Disch... (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca13	265.705	158.5	01ene2020, 13:00	16.35
Cuenca 14	226.308	137.4	01ene2020, 13:40	18.08
Union1413	492.013	294.5	01ene2020, 13:20	17.14
Tramo1	492.013	293.7	01ene2020, 15:20	17.14
cuenca11	231.229	146.6	01ene2020, 13:20	18.58
cuenca12	38.376	68.0	01ene2020, 10:20	26.60
union1112	761.618	439.3	01ene2020, 14:40	18.06
Tramo2	761.618	434.8	01ene2020, 15:20	18.06
cuenca9	37.855	77.7	01ene2020, 09:40	24.36
cuenca10	14.256	61.6	01ene2020, 09:00	39.31
union109	813.729	445.7	01ene2020, 15:20	18.72
Tramo3	813.729	442.2	01ene2020, 15:40	18.72
cuenca7	14.564	23.6	01ene2020, 09:40	20.50
cuenca8	4.047	31.6	01ene2020, 08:40	55.40
union87	832.340	445.8	01ene2020, 15:40	18.93
Tramo4	832.340	444.8	01ene2020, 16:00	18.93
cuenca5	11.479	74.1	01ene2020, 09:00	54.44
cuenca6	7.836	23.2	01ene2020, 08:40	22.47
union56	851.655	448.6	01ene2020, 16:00	19.44
Tramo5	851.655	446.1	01ene2020, 16:20	19.44
cuenca4	2.106	3.4	01ene2020, 08:40	13.31
Cuenca3	1.804	12.9	01ene2020, 08:20	41.50
union34	855.565	446.5	01ene2020, 16:20	19.47
Tramo6	855.565	439.9	01ene2020, 17:00	19.47
Cuenca_2	5.976	7.5	01ene2020, 09:00	11.76
Cuenca_1	39.062	47.5	01ene2020, 10:40	20.08
union12	900.603	446.9	01ene2020, 17:00	19.45

Fuente: HEC-HMS.



Tabla 25. Resumen de resultados HEC-HMS para un Tr de 100 años.

Global Summary Results for Run "Run 12"

Project: SACRAMENTO Simulation Run: Run 12

Start of Run: 01ene2020, 00:00 Basin Model: Cuenca 1  
 End of Run: 04ene2020, 00:00 Meteorologic Model: Met 1  
 Compute Time: 19nov2021, 12:34:40 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volu...  MM  10 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage A... (KM2)	Peak Disch... (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Cuenca13	265.705	206.7	01ene2020, 13:00	21.07
Cuenca 14	226.308	177.0	01ene2020, 13:20	23.05
Union1413	492.013	381.7	01ene2020, 13:20	21.98
Tramo1	492.013	380.7	01ene2020, 15:00	21.98
cuenca11	231.229	188.5	01ene2020, 13:20	23.63
cuenca12	38.376	84.6	01ene2020, 10:20	32.69
union1112	761.618	566.8	01ene2020, 14:40	23.02
Tramo2	761.618	560.3	01ene2020, 15:20	23.02
cuenca9	37.855	97.6	01ene2020, 09:40	30.18
cuenca10	14.256	73.8	01ene2020, 09:00	46.66
union109	813.729	573.9	01ene2020, 15:00	23.77
Tramo3	813.729	569.2	01ene2020, 15:40	23.77
cuenca7	14.564	30.3	01ene2020, 09:40	25.82
cuenca8	4.047	36.4	01ene2020, 08:40	63.82
union87	832.340	573.4	01ene2020, 15:40	24.00
Tramo4	832.340	571.9	01ene2020, 16:00	24.00
cuenca5	11.479	85.6	01ene2020, 08:40	62.80
cuenca6	7.836	29.6	01ene2020, 08:40	28.05
union56	851.655	576.2	01ene2020, 16:00	24.56
Tramo5	851.655	573.1	01ene2020, 16:20	24.56
cuenca4	2.106	4.7	01ene2020, 08:40	17.53
Cuenca3	1.804	15.3	01ene2020, 08:20	49.03
union34	855.565	573.7	01ene2020, 16:20	24.59
Tramo6	855.565	565.0	01ene2020, 17:00	24.59
Cuenca_2	5.976	10.4	01ene2020, 09:00	15.72
Cuenca_1	39.062	61.0	01ene2020, 10:20	25.34
union12	900.603	573.4	01ene2020, 17:00	24.57

Fuente: HEC-HMS.



### 5.15.5 Gasto pico.

El gasto pico de la cuenca en análisis se compone del tránsito por 14 subcuencas, las cuales se analizaron por el método HUT, TR-55, Racional Modificado y a partir del software HEC-HMS. La Tabla 26 presenta los valores estimados por cada método, en el caso del método TR-55 es aplicable para el presente análisis.

El método TR-55 es aplicable a cuencas urbanas y rurales considerando intensidades de lluvia con una duración de 30 minutos a 12 horas y se considera aplicable para cuencas menores a 250 km<sup>2</sup>. La fórmula racional es ampliamente aplicada y considera que el gasto máximo se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración.

Tabla 26. Resumen de gastos pico.

Microcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /s) Tr 50 años				Gasto (m <sup>3</sup> /s) Tr 100 años			
		Racional modificado	HUT	TR-55	HEC-HMS	Racional modificado	HUT	TR-55	HEC-HMS
1 El Ermitaño	36.436	82.269	26.314	44.641	47.5	91.218	34.659	58.009	61.000
2 Sierra Nombre de Dios	11.984	76.862	18.431	37.796	7.5	85.222	24.555	47.750	10.400
3 Mineral Josefina	1.804	19.264	7.940	14.319	12.9	21.359	9.827	17.083	15.300
4 Sierra Nombre de Dios	2.106	14.883	1.032	3.688	3.4	16.502	1.675	5.182	4.700
5 Los Arcos	9.337	62.137	46.163	65.985	74.1	68.895	54.073	75.857	85.600
6 Sierra Nombre de Dios	9.978	52.475	17.493	36.574	23.2	58.183	23.215	45.905	29.600
7 El Álamo	14.564	51.137	13.469	24.459	23.6	56.699	17.853	31.512	30.300
8 Sierra Nombre de Dios	4.047	22.626	23.271	33.498	31.6	25.086	27.382	38.537	36.400
9 El Mimbres	34.680	123.376	39.193	68.343	77.7	136.796	51.103	86.957	97.600
10 Sierra Nombre de Dios	17.430	69.319	15.947	32.623	61.6	76.858	21.925	42.479	73.800
11 Jesús María	231.229	244.986	104.136	146.583	146.6	271.632	134.800	194.653	188.500
12 Sierra Nombre de Dios	38.372	81.211	43.353	71.530	68	90.044	54.868	89.719	84.600
13 Májalca	265.705	292.694	115.384	157.171	158.5	324.530	151.201	214.383	206.700
14 Seco	226.308	225.766	97.775	136.630	137.4	250.322	126.916	182.994	177.000
Sumatoria de caudal		1419.003	569.900	873.840	873.6	1573.3468	734.05202	1131.019	1101.5

## 6. Resultados HEC-RAS

### 6.1 Modelación hidrológica

El centro de ingenieros hidrológicos (CEIWR-HEC) ha desarrollado un sistema de análisis de ríos (HEC-RAS), el cual se enfoca en la simulación hidráulica de ríos incluyendo estructuras de cruce. La simulación es posible en cuatro módulos: Perfil de flujo permanente, flujo no permanente, transporte de sedimentos



con frontera móvil 1D y calidad del agua (temperatura y transporte de ciertas sustancias).

La aplicación en el presente estudio es para la modelación de la red de drenaje, creando eventos que podrían presentarse en el área de interés considerando un periodo de retorno de 50 años. A partir de ello se evaluarán los posibles riesgos que se podrían presentar a partir del evento simulado, considerando como variables el tirante la velocidad y el margen de inundación.

## 6.2 Rugosidad ponderada

El coeficiente de rugosidad de Manning para las secciones transversales del área de estudio se obtuvo a partir de los valores establecidos en la Tabla 29. Para las secciones del cauce principal y del margen izquierdo del banco, se pondero el coeficiente de rugosidad, de acuerdo a la ecuación 34. A partir de esto se presenta a modo de ejemplo las Tablas 27 y 28. En el caso de las secciones del margen derecho del banco (zona urbanizada), se estableció un coeficiente por perímetro. Considerando lo anterior se desarrolló el shape de la Figura 19.

$$n = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i * n_i^{1.5})}{P_T} \right]^{2/3} \quad \text{Ec. 34}$$

En donde:

$n$  = Coeficiente de Manning Ponderado.

$i = 1$ .

$N$  = Número de tramos en la sección.

$P_i$  = Perímetro del tramo ( $i$ ).

$n_i$  = Coeficiente de Manning en el tramo ( $i$ ).

$P_T$  = Perímetro total de la sección.



Tabla 27. Rugosidad sección #200, margen banco izquierdo.

Sección 1	P (m)	n	n <sup>1.5</sup>	P <sub>i</sub> *n <sub>i</sub> <sup>1.5</sup>	P <sub>T</sub>	$\sum_{i=1}^N (P_i * n_i^{1.5})$	n
Arbusto, terreno irregular y pasto	52	0.055	0.013	0.671	52	0.671	0.055

Tabla 28. Rugosidad sección #200, margen banco derecho.

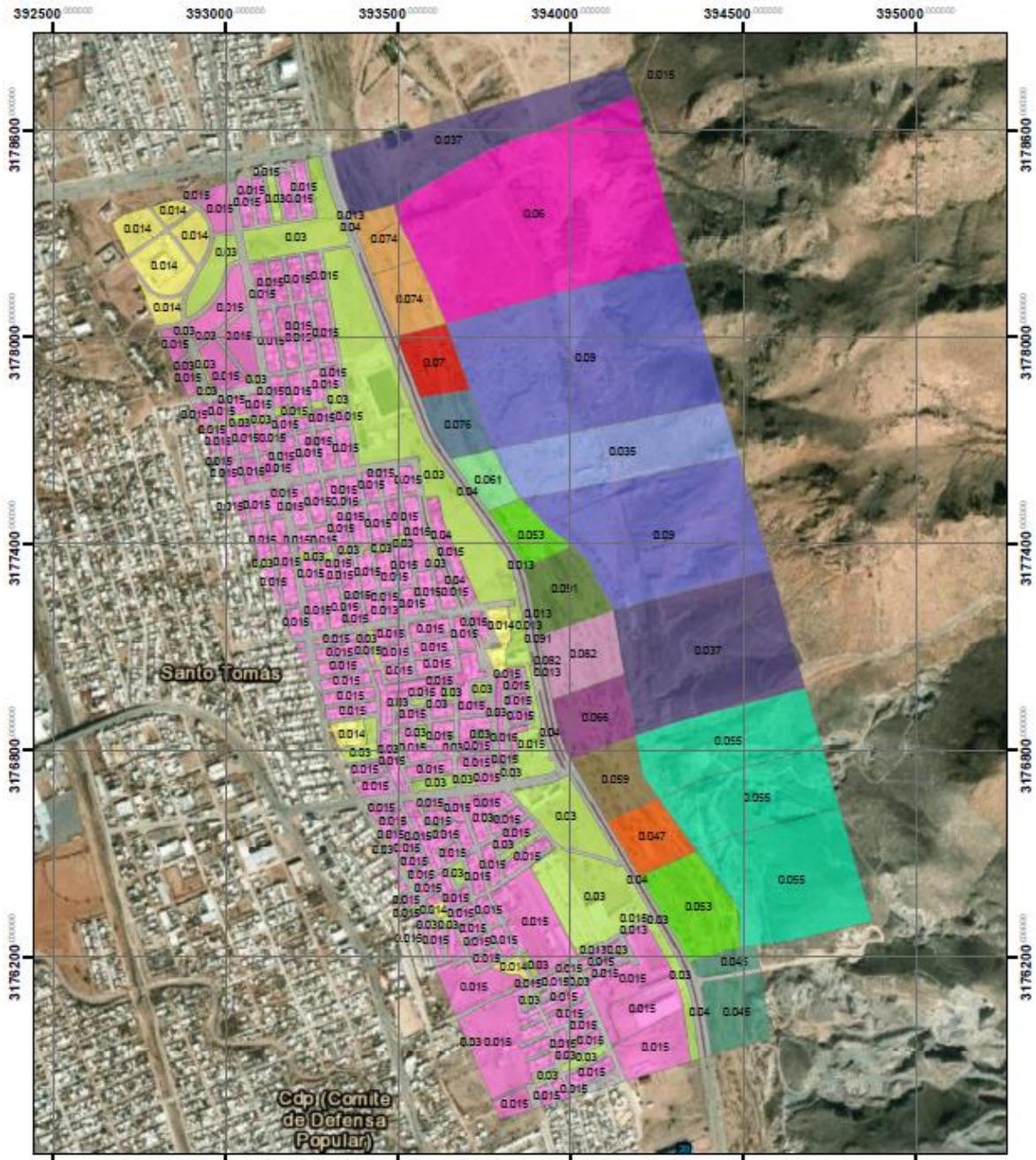
Sección 1	P (m)	n	n <sup>1.5</sup>	P <sub>i</sub> *n <sub>i</sub> <sup>1.5</sup>	P <sub>T</sub>	$\sum_{i=1}^N (P_i * n_i^{1.5})$	n
Cemento pulido	3.210	0.013	0.001	0.005	3.21	0.865	0.039
Pasto corto	37.500	0.035	0.007	0.246	40.71		
Pasto corto	30.000	0.035	0.007	0.196	70.71		
Matorrales dispersos y mucha maleza	19.700	0.050	0.011	0.220	90.41		
Piedra boluda	10.800	0.040	0.008	0.086	101.21		
Matorrales dispersos y mucha maleza	10.000	0.050	0.011	0.112	111.21		



WGS ZONA 13R



# Rugosidad



Rugosidad		Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R	
0.013	0.037	0.055	0.076
0.014	0.04	0.059	0.086
0.015	0.045	0.06	0.082
0.03	0.047	0.061	0.09
0.035	0.048	0.053	0.091
0.03	0.074		

Sistema de unidades: Internacional  
 Plano #8 Rugosidad  
 Fecha: 23 de Noviembre del 2021  
 Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz

Figura 19. Rugosidades en el tramo a analizar. Fuente: Elaboración propia



Tabla 29. Valores del coeficiente de rugosidad n. (Chow, 2004)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<b>B. Canales revestidos o desarmables</b>			
<b>B-2 No metal</b>	0.021	0.025	0.03
<b>a. Cemento</b>			
1. Superficie pulida	0.01	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
<b>c. Concreto</b>			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.02
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.02
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.02	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
<b>f. Ladrillo</b>			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
<b>g. Mampostería</b>			
1. Piedra partida, cementada	0.017	0.025	0.03
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
<b>h. Bloques de piedra labrados</b>	0.013	0.015	0.017
<b>i. Asfalto</b>			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
<b>j. Revestimiento vegetal</b>	0.03	.....	0.5
<b>C. Excavado o dragado</b>			
<b>a. En tierra, recto y uniforme</b>			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.02
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.03
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
<b>b. En tierra, serpenteante y lento</b>			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.03
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.03	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.03	0.035	0.04
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.03	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con maleza	0.025	0.035	0.04
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.03	0.04	0.05



Tabla 29. Valores del coeficiente de rugosidad  $n$  (continuación). (Chow, 2004)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en bancas	0.035	0.05	0.06
d. Cortes en roca			
1. Liso y uniformes	0.025	0.035	0.04
2. Afilados e irregulares	0.035	0.04	0.05
D. Corrientes naturales			
D-1 Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corriente en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.03	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.03	0.035	0.04
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.04	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.05
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.04	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.05	0.06
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.05	0.07	0.08
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.1	0.15
D-2 Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.03	0.035
2. Pasto alto	0.03	0.035	0.05
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.02	0.03	0.04
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.03	0.04	0.05
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.05	0.07
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.04	0.06	0.08
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.07	0.11
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.07	0.1	0.16
d. Árboles			
1. Saucos densos, rectos y en verano	0.11	0.15	0.2
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.03	0.04	0.05
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.05	0.06	0.08



Tabla 29. Valores del coeficiente de rugosidad n (continuación). (Chow, 2004)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<b>d. Árboles</b>			
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12
5. Igual al anterior, pero con un nivel de creciente por encima de las ramas	0.1	0.12	0.16
<b>D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente &gt; 100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.</b>			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.06
b. Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.1

### 6.3 Resultados de la modelación en el programa HEC-RAS 5.0.7

La sección contiene 8 Figuras que incluyen los resultados de la modelación contemplando el perfil longitudinal, la perspectiva general, el tirante máximo y la velocidad máxima en un tramo de 2.1 km longitudinales del Río Sacramento iniciando en la coordenada 28°42'40.67" N, 106° 4'55.80" O y terminando en la coordenada 28°43'39.58" N, 106° 5'27.26" O.

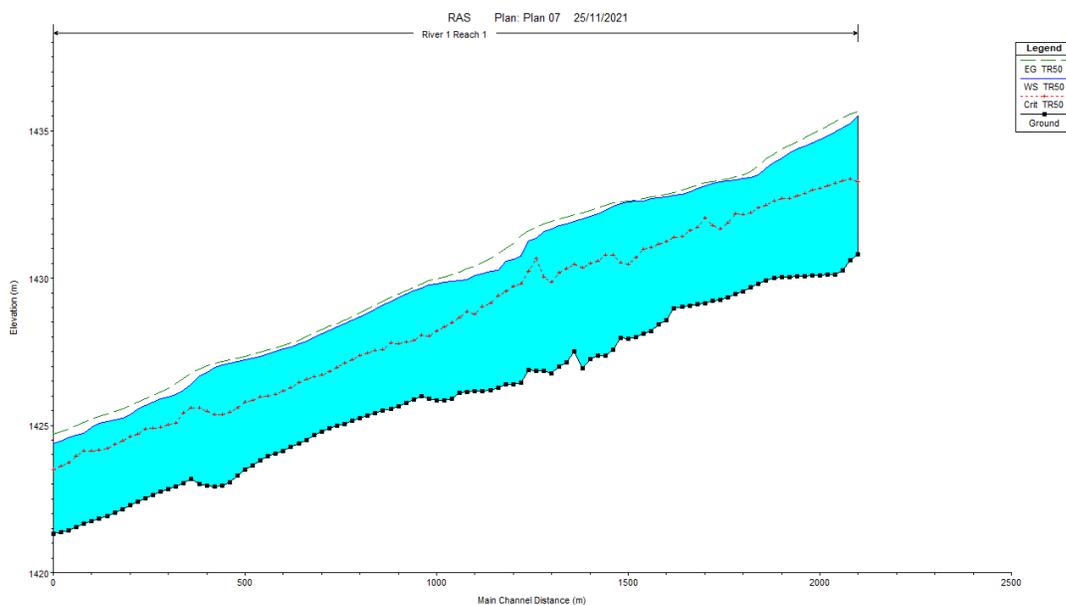


Figura 20. Perfil de los resultados de la simulación. Tr. 50 años.

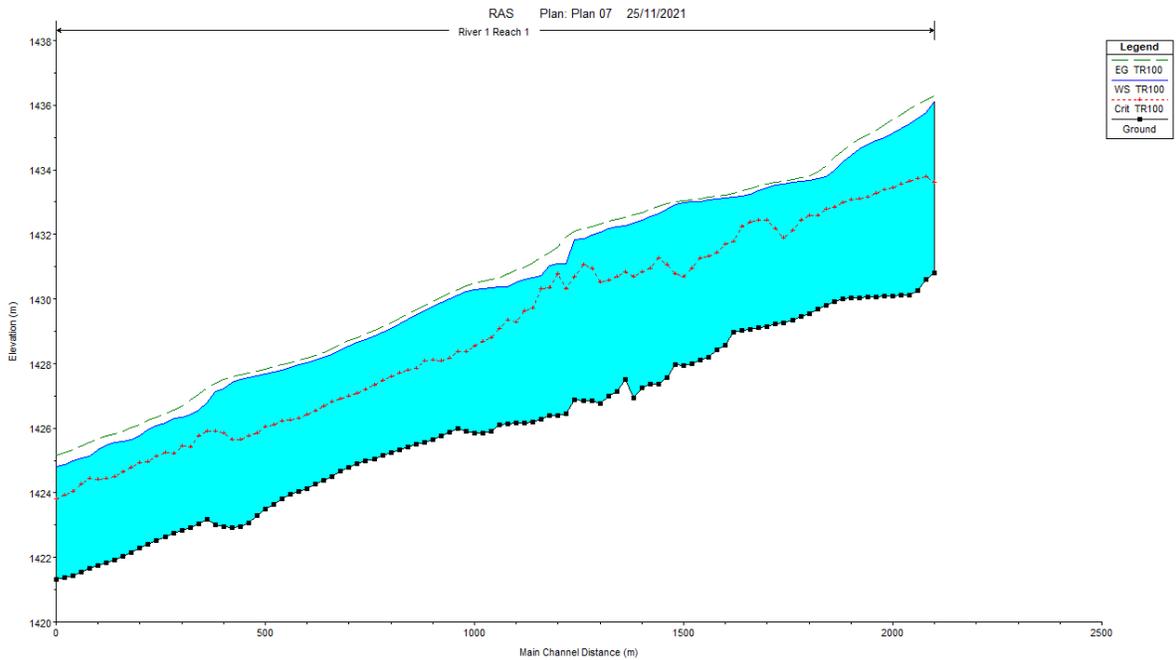


Figura 21. Perfil de los resultados de la simulación. Tr. 100 años.

Las Figuras 20 y 21, muestra el perfil longitudinal de la sección analizada, así como el tirante máximo alcanzado para un periodo de retorno de 50 y 100 años, respectivamente. Adicionalmente la línea roja punteada representa a la elevación crítica, y la línea verde, es la línea de energía. En las Figuras 22 y 23, se observan las secciones transversales, así como el comportamiento del agua en una dimensión 2D.

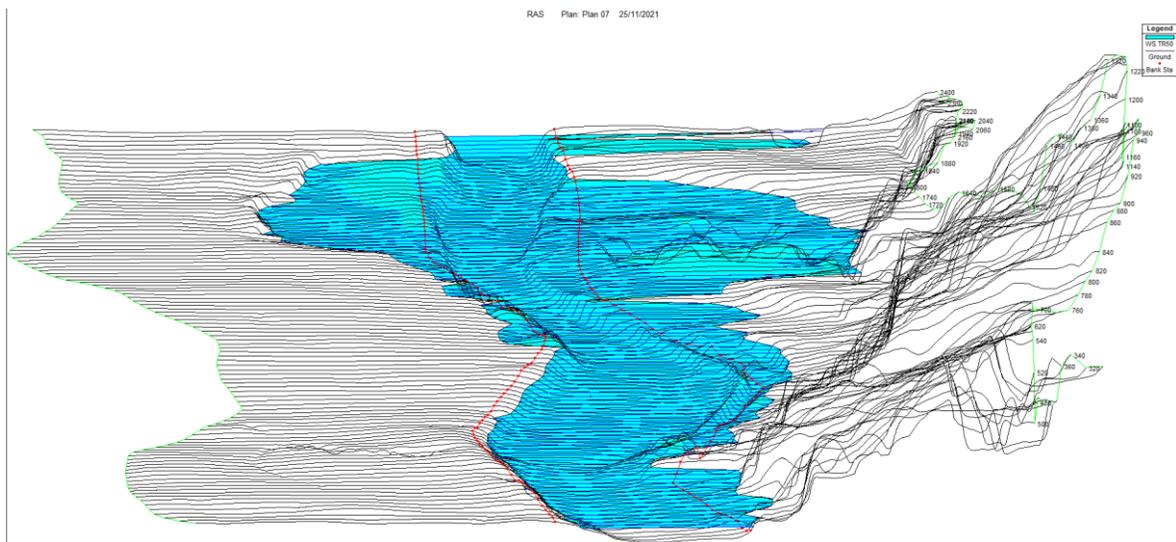


Figura 22. Perspectiva de los resultados de la simulación. Tr. 50 años.

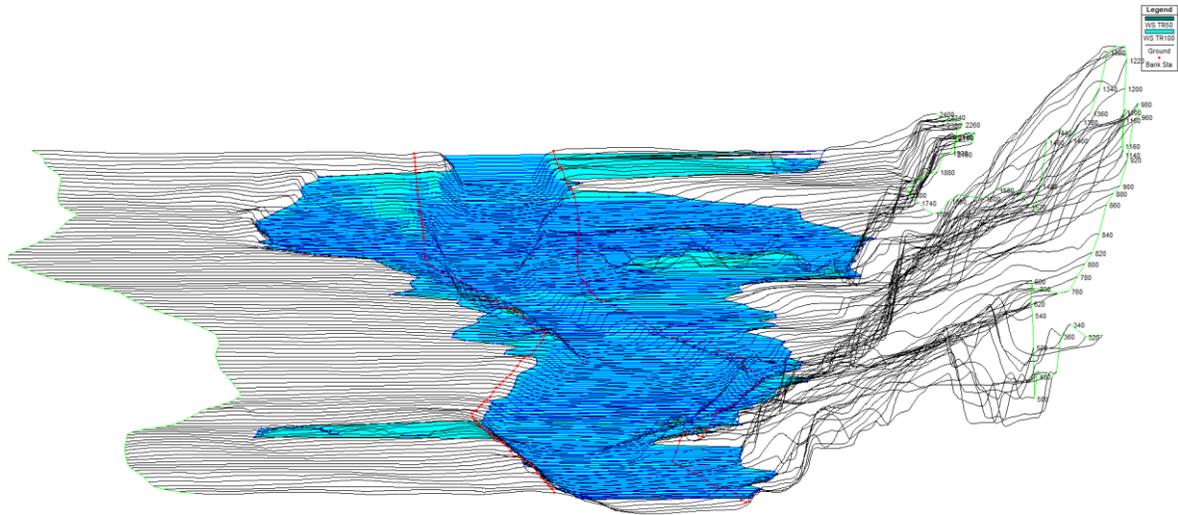


Figura 23. Perspectiva de los resultados de la simulación. Tr. 100 años.

Una vez procesados los datos, se procedió a la creación de mapas, con ello se determinó el nivel de riesgo y peligro que representa el afluente hacia los habitantes de las colonias Quintas Carolinas y hacia las personas que transitan por la avenida Sacramento. En las Figuras 24 y 26, se observa la posibilidad de que el afluente se desborde, en una sección del mismo, sin embargo, la zona donde se presenta la inundación, de acuerdo al PDU2040 corresponde a una zona de recreación y deporte, la cual anteriormente era una planicie de inundación.

Las Figuras 25 y 27, muestran las velocidades máximas alcanzadas de presentarse los eventos contemplados para un periodo de retorno de 50 y 100 años, respectivamente, y en el caso de las Figuras 26 y 27, presentan los tirantes máximos.

El tirante máximo alcanzado en la planicie de inundación para un periodo de retorno de 50 años es de 1.20 metros y la velocidad máxima es de 2.0 m/s. En el caso del periodo de retorno de 100 años, el tirante máximo es de 1.45 m y una velocidad de 2.5 m/s.



WGS ZONA 13R



### Tirante maximo para Tr = 50 años

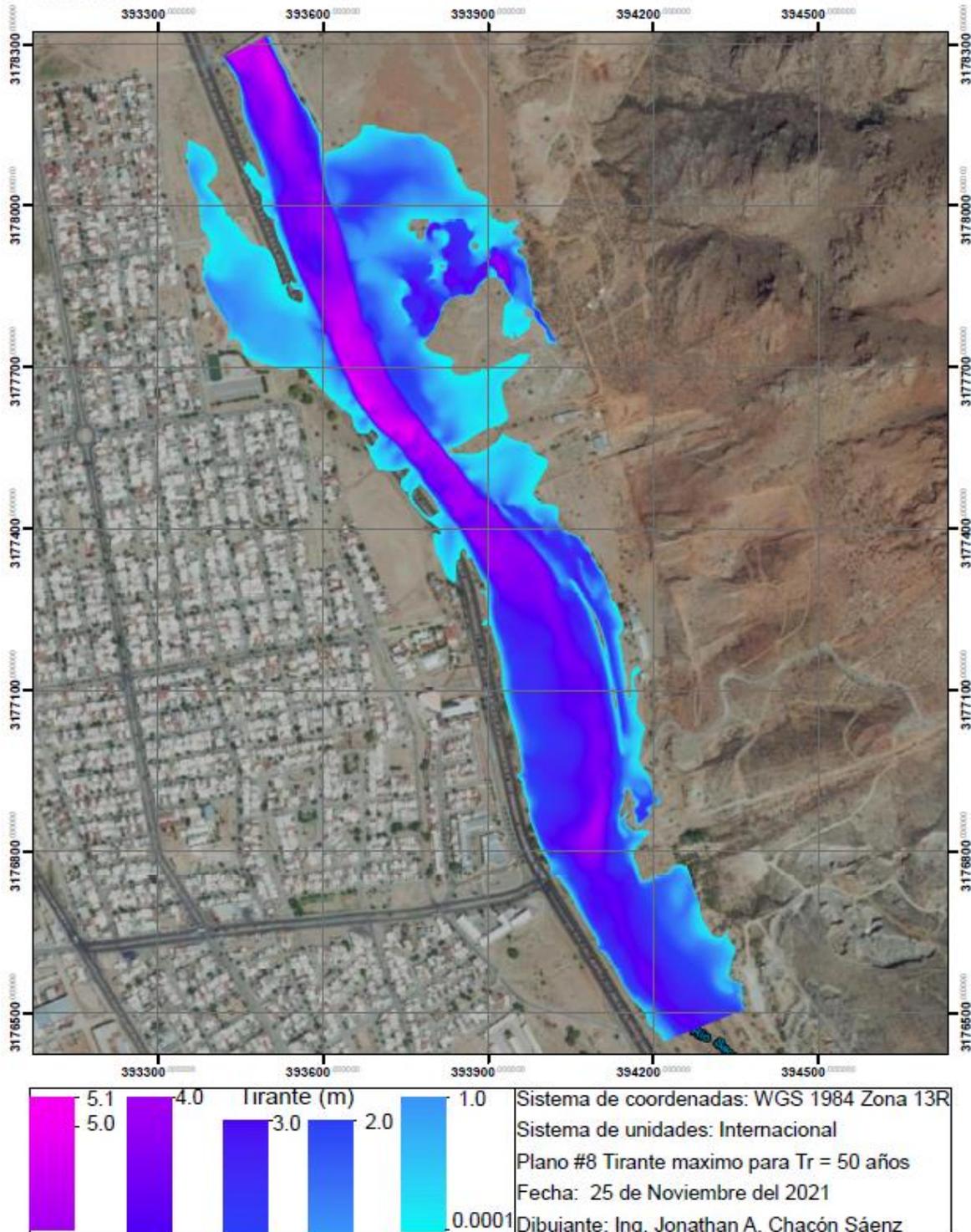


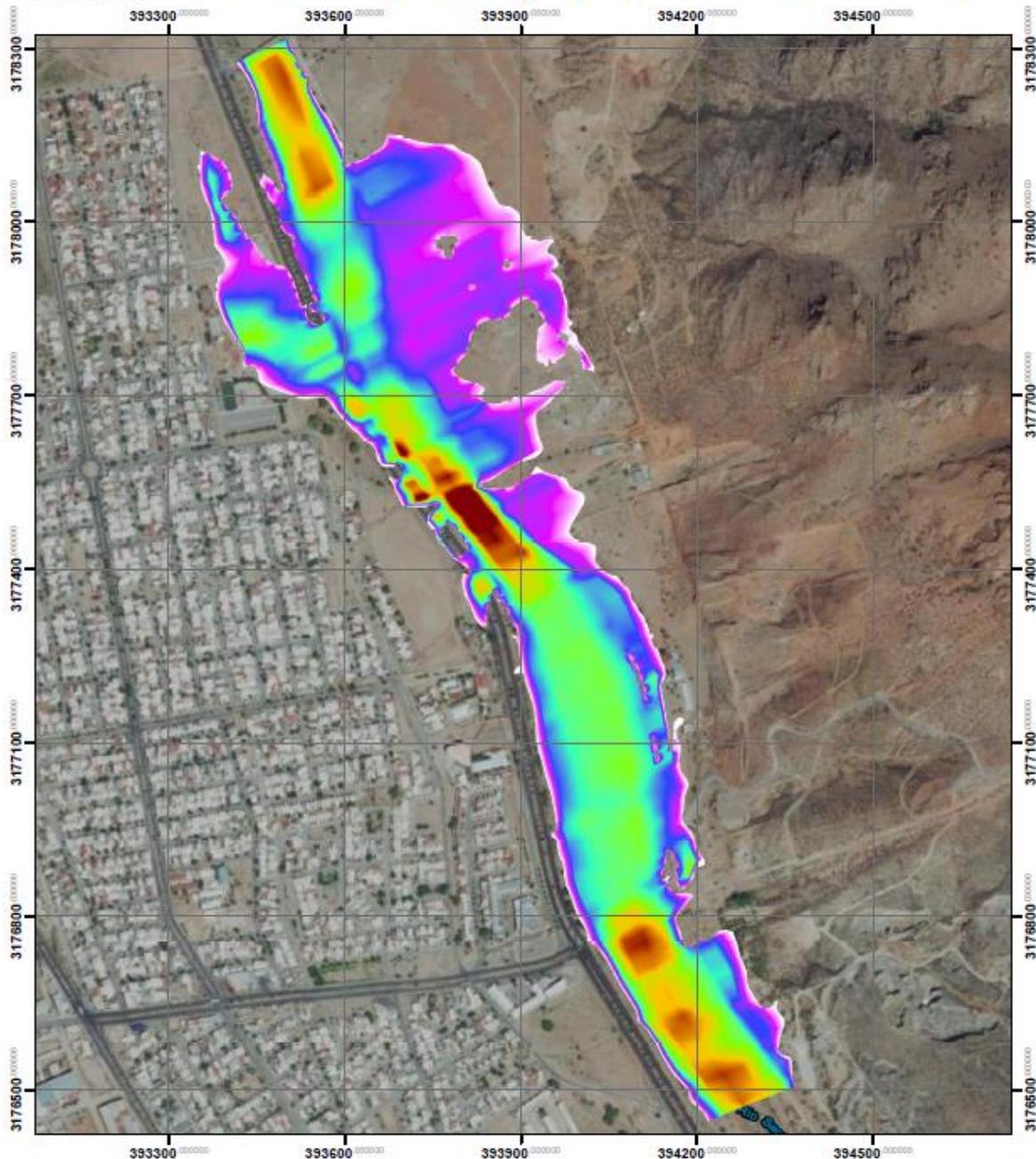
Figura 24. Lámina de inundación del sitio en estudio considerando Tr = 50 años.  
Fuente: Elaboración propia.



WGS ZONA 13R



### Velocidad máxima para Tr = 50 años



<b>Velocidad máxima (m/s)</b>			Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R	
3.893	2.5	1.0	Sistema de unidades: Internacional	
3.5	2.0	0.5	Plano #9 Velocidad máxima para Tr = 50 años	
3.0	1.5	0	Fecha: 25 de Noviembre del 2021	
			Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz	

Figura 25. Lamina de velocidades del sitio en estudio considerando Tr = 50 años.  
Fuente: Elaboración propia.



WGS ZONA 13R



### Tirante máximo para $T_r = 100$ años

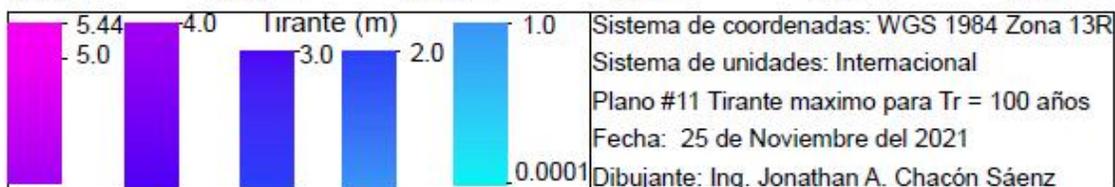
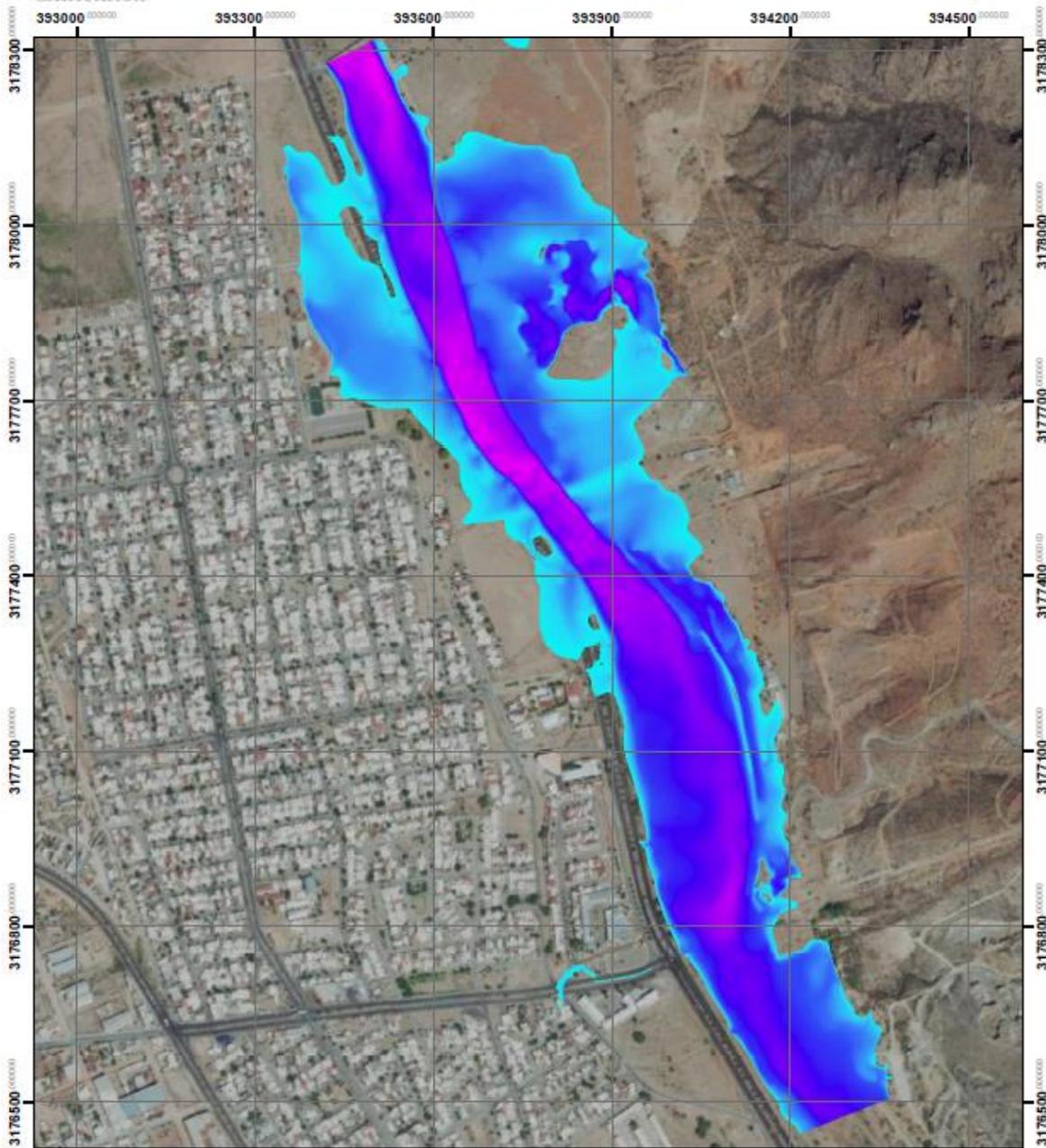


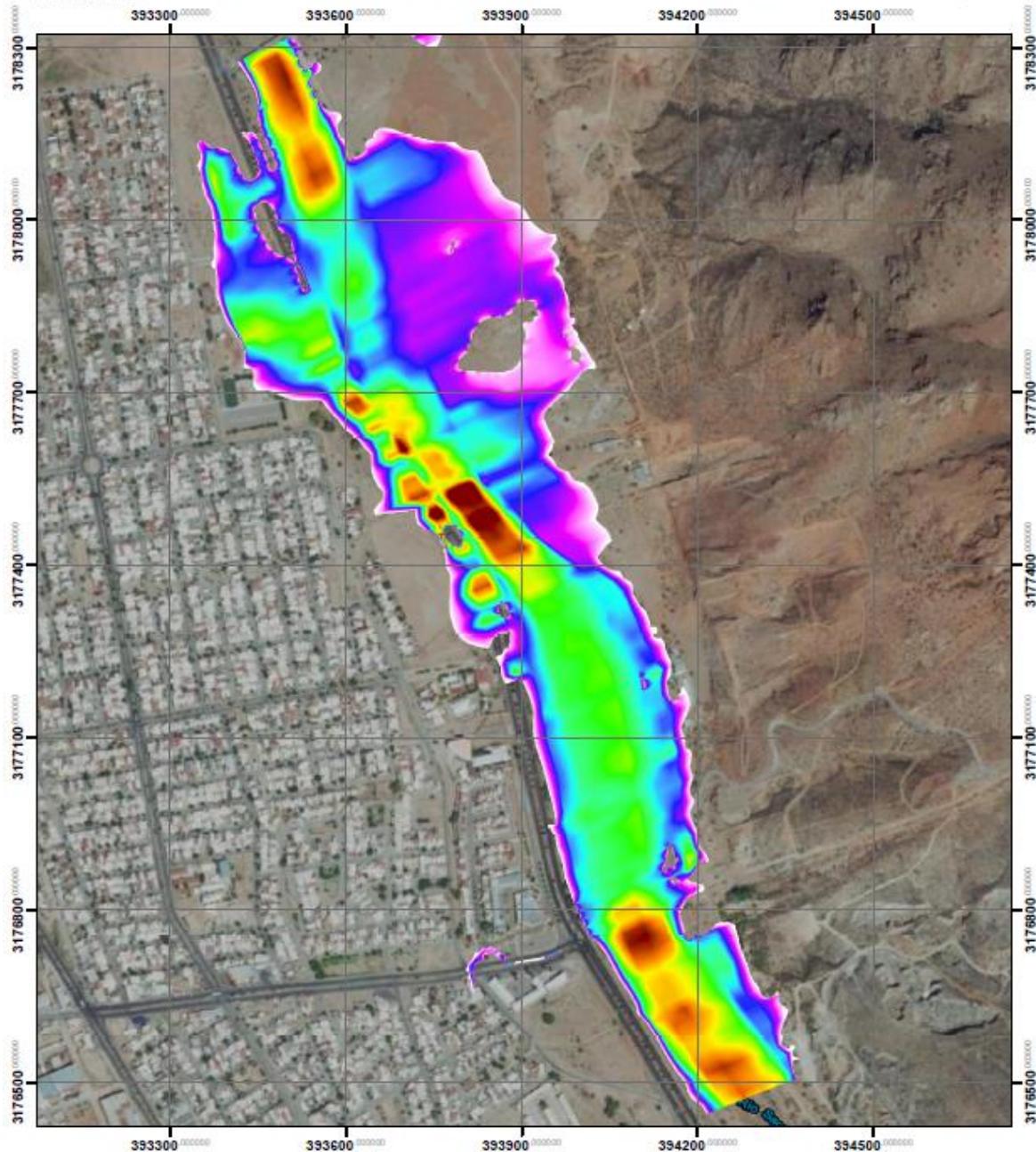
Figura 26. Lámina de inundación del sitio en estudio considerando  $T_r = 100$  años.  
Fuente: Elaboración propia.



WGS ZONA 13R



### Velocidad maxima para $T_r = 100$ años



<b>Velocidad maxima (m/s)</b>			Sistema de coordenadas: WGS 1984 Zona 13R	
4.486	2.5	1.0	Sistema de unidades: Internacional	
4	2.0	0.5	Plano #12 Velocidad maxima para $T_r = 100$ años	
3.5	1.5	0	Fecha: 25 de Noviembre del 2021	
3			Dibujante: Ing. Jonathan A. Chacón Sáenz	

Figura 27. Lamina de velocidades del sitio en estudio considerando  $T_r = 100$  años.  
*Fuente: Elaboración propia.*



## 6.4 Evaluación del peligro por inundación

El peligro de una inundación se mide a partir de variables tales como: el tirante, la velocidad, vuelco y deslizamiento. A partir de las mismas es posible construir los mapas de peligro de inundación (CONAGUA, 2011).

### 6.4.1 Criterio de peligrosidad por inundación por (Campos, 2010).

El criterio indica que al presentarse una lámina de agua en metros por la velocidad es mayor a 0.5 m/s, existen dificultades para que las personas transiten por el cauce, lo cual también se podría denominar estabilidad al vuelco. Otro enfoque de análisis de esta peligrosidad se establece por la estabilidad al deslizamiento, cuyo producto del cuadrado de la velocidad del flujo por el tirante debe ser menor de  $1.23 \text{ m}^3/\text{s}^2$ . En la Figura 28 se ilustra este criterio (Campos, 2010).

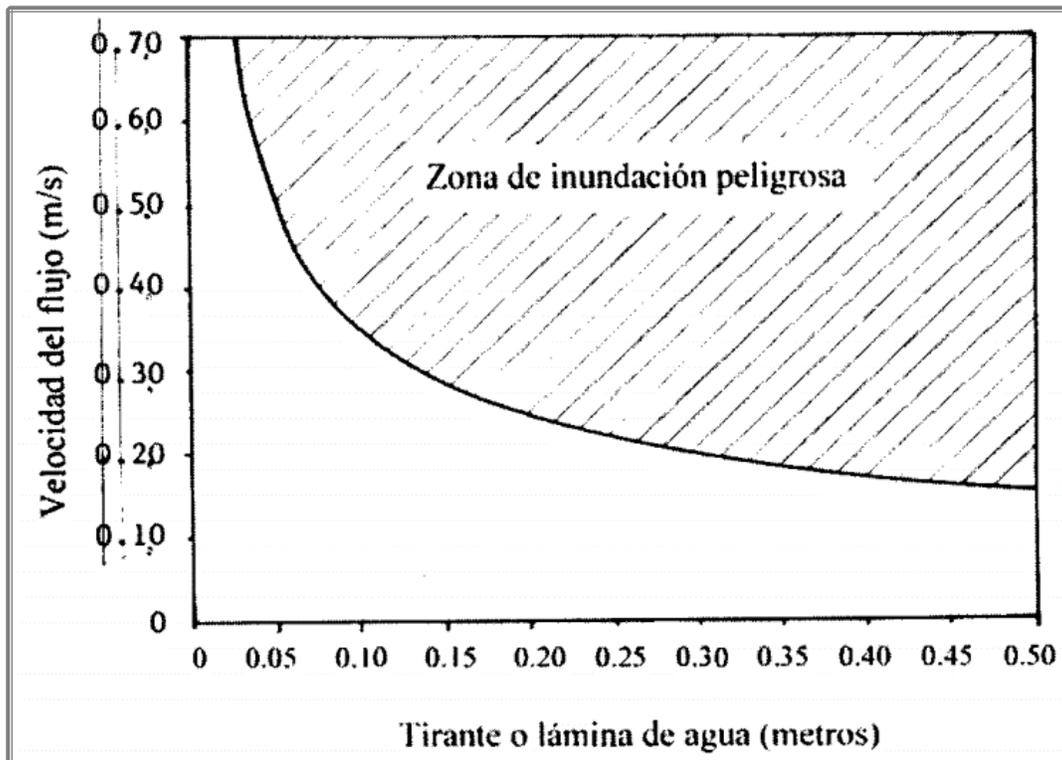


Figura 28. Áreas de inundación peligrosa según criterio de estabilidad al deslizamiento (Campos, 2010).



### 6.4.2 Criterio de la Federal Emergency Management Agency (FEMA).

La FEMA de los Estados Unidos de América, desarrollo un criterio para la generación de mapas de peligro, el cual considera como variables: el tirante máximo y la velocidad máxima del agua (Figura 29). A partir de ello estableció tres rangos de peligro: zona de nivel bajo, medio y alto peligro.

- La zona de nivel bajo no representa riesgo de pérdida de vidas, sin embargo, se pueden presentar daños ligeros a las edificaciones.
- La zona de nivel medio, se presentan daños a la integridad de las personas y afectaciones a las edificaciones.
- La zona de nivel alto representa un peligro para la vida y afecta estructuralmente las edificaciones.

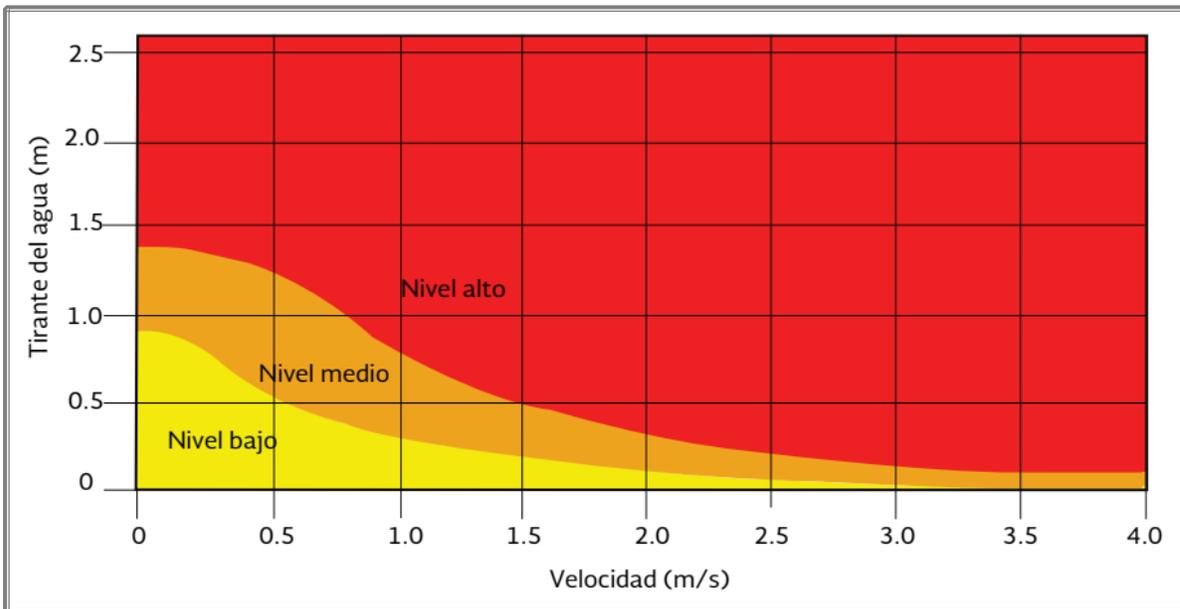


Figura 29. Mapa de inundaciones por FEMA (FEMA, 2021).



### 6.4.3 Criterio de la Office Federal de l'économie des Eaux (OFEE)

La OFEE, establece 3 niveles de peligro similares a los desarrollados por FEMA (Figura 30 y Tabla 30).

- Nivel bajo: La población podría sufrir daños ligeros y las edificaciones daños leves; la inundación o el arrastre de sedimentos puede afectar el interior de las edificaciones.
- Nivel medio: La población está en riesgo fuera de las viviendas y las edificaciones podrían sufrir daños incluso estructurales dependiendo del tipo de construcción.
- Nivel alto: La población está en riesgo dentro y fuera de la vivienda y las edificaciones podrían colapsar.

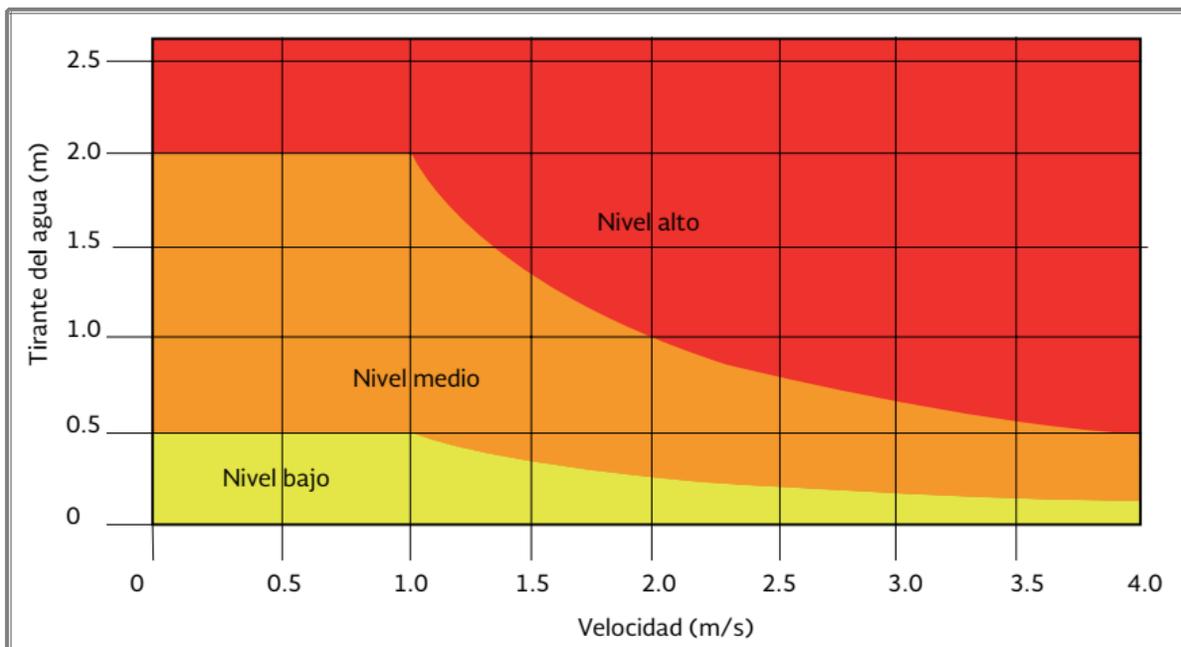


Figura 30. Mapas de inundaciones por OFEE. (Loat & Petrascheck, 1997).



Tabla 30. Criterios de peligro por la OFEE.

Criterios de peligro	Inundación		Erosión de taludes en ríos		Deslaves	
	Tirante m	Relación velocidad-tirante m <sup>2</sup> /s	Tirante m	Relación velocidad-tirante m <sup>2</sup> /s	Tirante m	Velocidad m/s
Nivel Bajo	Menor a 0.5	Menor a 0.5	Menor a 0.5	-	-	-
Nivel medio	Entre 0.5 y 2	Entre 0.5 y 2	Entre 0.5 y 2	-	Menor a 1	Menor a 1
Nivel alto	Mayor de 2	Mayor a 2	Mayor de 2	-	Mayor a 1	Mayor a 1

## 6.5 Evaluación de riesgos ante las avenidas máximas en un periodo de retorno de 50 años y 100 años.

En este capítulo, se desarrolló la comparación de los métodos descritos en el apartado 5.18, una vez analizados los resultados, se observa que el criterio de Campos Aranda (Figura 28), para la estabilidad al vuelco, señala con peligro para que las personas permanezcan de pie en todo el tramo analizado, así mismo la estabilidad al deslizamiento también es de alto riesgo y se cataloga como una zona de inundación peligrosa. El criterio de FEMA (Figura 29), indica que el afluyente es de alto riesgo, en caso de una avenida para las personas que transiten por el mismo y el criterio de OFFE (Figura 30), lo cataloga también como de alto riesgo, tal como se indica a mayor detalle en la Tabla 31 y 32, para consultar la continuación de las Tablas ver la sección de anexos.

La zona de inundación resulta de interés, a raíz de ello se realizó planos con el fin de evaluar un riesgo más puntual, en caso de presentarse las avenidas comprendidas para un periodo de retorno de 50 y 100 años. En las Figuras 31 y 32 se puede observar el tirante máximo y la velocidad máxima del flujo en dicha zona. De acuerdo a los criterios del apartado 5.18, se puede catalogar a algunas zonas como de alto riesgo hacia la población, sin embargo, se observa a mayor detalle que la zona de inundación, su fin de uso es de recreación y deporte.



Tabla 31. Características de las secciones transversales del tramo analizado.

#	Estación	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Elev. min cauce (m)	Elevación critica (m)	Y (m)	E.G. Pendiente (m/m)	Vel (m/s)	Froude
106	2400	873.84	1430.82	1435.51	4.69	0.00248	1.69	0.27
105	2380	873.84	1430.61	1435.24	4.63	0.005963	2.51	0.41
104	2360	873.84	1430.27	1435.09	4.82	0.006445	2.61	0.43
103	2340	873.84	1430.11	1434.95	4.84	0.006679	2.64	0.43
102	2320	873.84	1430.12	1434.83	4.71	0.006703	2.57	0.43
101	2300	873.84	1430.08	1434.71	4.63	0.006552	2.5	0.43
100	2280	873.84	1430.09	1434.59	4.5	0.006562	2.45	0.43
99	2260	873.84	1430.06	1434.48	4.42	0.006171	2.35	0.41
98	2240	873.84	1430.06	1434.39	4.33	0.00556	2.2	0.39
97	2220	873.84	1430.03	1434.26	4.23	0.005913	2.27	0.41
96	2200	873.84	1430.03	1434.08	4.05	0.00754	2.42	0.45
95	2180	873.84	1430	1433.92	3.92	0.00856	2.42	0.47
94	2160	873.84	1429.93	1433.73	3.8	0.009597	2.45	0.49
93	2140	873.84	1429.81	1433.5	3.69	0.011575	2.54	0.54
92	2120	873.84	1429.7	1433.42	3.72	0.006437	2.02	0.4
91	2100	873.84	1429.53	1433.38	3.85	0.003518	1.68	0.33
90	2080	873.84	1429.45	1433.33	3.88	0.002814	1.5	0.29
89	2060	873.84	1429.34	1433.29	3.95	0.002382	1.38	0.27
88	2040	873.84	1429.27	1433.26	3.99	0.001908	1.29	0.24
87	2020	873.84	1429.22	1433.21	3.99	0.002137	1.34	0.25
86	2000	873.84	1429.16	1433.13	3.97	0.002909	1.48	0.29
85	1980	873.84	1429.11	1433.04	3.93	0.00385	1.66	0.33
84	1960	873.84	1429.06	1432.92	3.86	0.004627	1.81	0.36
83	1940	873.84	1429.02	1432.84	3.82	0.003961	1.74	0.34
82	1920	873.84	1428.96	1432.81	3.85	0.003163	1.52	0.3
81	1900	873.84	1428.58	1432.75	4.17	0.002945	1.5	0.29
80	1880	873.84	1428.42	1432.72	4.3	0.001897	1.22	0.23
79	1860	873.84	1428.21	1432.69	4.48	0.002222	1.27	0.24
78	1840	873.84	1428.1	1432.62	4.52	0.002538	1.39	0.26
77	1820	873.84	1428	1432.61	4.61	0.001553	1.06	0.2
76	1800	873.84	1427.94	1432.59	4.65	0.001258	0.97	0.18
75	1780	873.84	1427.96	1432.53	4.57	0.001792	1.21	0.22
74	1760	873.84	1427.56	1432.43	4.87	0.002711	1.51	0.28
73	1740	873.84	1427.35	1432.29	4.94	0.004203	1.9	0.35
72	1720	873.84	1427.35	1432.19	4.84	0.004782	1.99	0.35
71	1700	873.84	1427.25	1432.09	4.84	0.004375	2	0.35
70	1680	873.84	1426.94	1432.01	5.07	0.002939	2.04	0.36



Tabla 32. Resumen de los criterios para evaluar el riesgo por inundación.

ID	CAMPOS ARANDA 2010				FEMA	OFEE	
	V*Y (m <sup>2</sup> /s)	(V*Y) > 0.5 Estabilidad Vuelco	V <sup>2</sup> *Y (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> )	(V <sup>2</sup> *Y) < 1.23 Estabilidad Deslizamiento	Nivel de peligro	Tabla Inundación Tirante	Tabla Inundación Vel-Tirante
106	7.93	Peligro Personas	13.40	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
105	11.62	Peligro Personas	29.17	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
104	12.58	Peligro Personas	32.83	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
103	12.78	Peligro Personas	33.73	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
102	12.10	Peligro Personas	31.11	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
101	11.58	Peligro Personas	28.94	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
100	11.03	Peligro Personas	27.01	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
99	10.39	Peligro Personas	24.41	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
98	9.53	Peligro Personas	20.96	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
97	9.60	Peligro Personas	21.80	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
96	9.80	Peligro Personas	23.72	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
95	9.49	Peligro Personas	22.96	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
94	9.31	Peligro Personas	22.81	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
93	9.37	Peligro Personas	23.81	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
92	7.51	Peligro Personas	15.18	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
91	6.47	Peligro Personas	10.87	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
90	5.82	Peligro Personas	8.73	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
89	5.45	Peligro Personas	7.52	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
88	5.15	Peligro Personas	6.64	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
87	5.35	Peligro Personas	7.16	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
86	5.88	Peligro Personas	8.70	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
85	6.52	Peligro Personas	10.83	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
84	6.99	Peligro Personas	12.65	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
83	6.65	Peligro Personas	11.57	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
82	5.85	Peligro Personas	8.90	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
81	6.26	Peligro Personas	9.38	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
80	5.25	Peligro Personas	6.40	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
79	5.69	Peligro Personas	7.23	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
78	6.28	Peligro Personas	8.73	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
77	4.89	Peligro Personas	5.18	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
76	4.51	Peligro Personas	4.38	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
75	5.53	Peligro Personas	6.69	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
74	7.35	Peligro Personas	11.10	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
73	9.39	Peligro Personas	17.83	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
72	9.63	Peligro Personas	19.17	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto



WGS ZONA 13R



### Zona de inundación (Tr = 50 años)

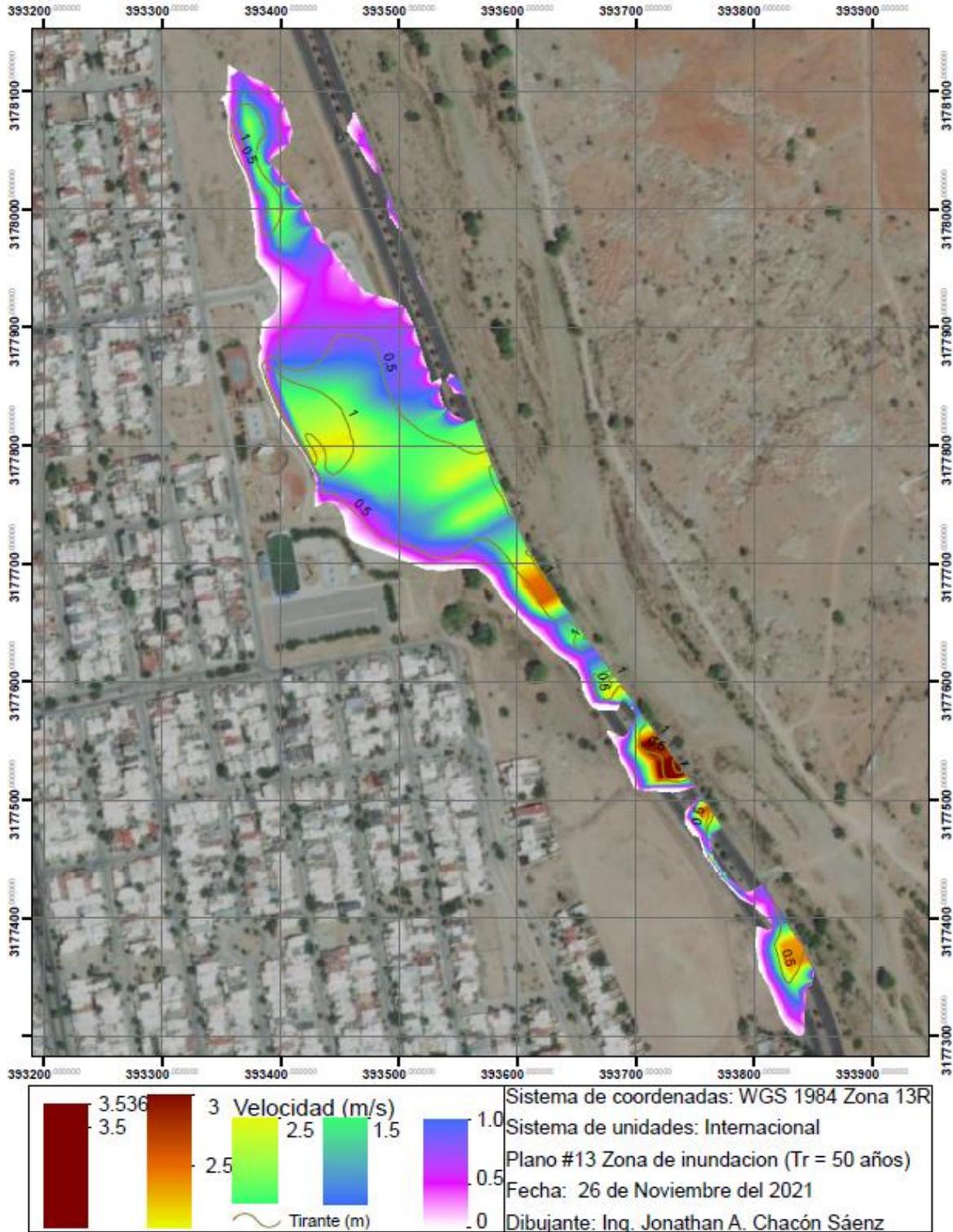


Figura 31. Zona de inundación (Tr= 50 años). Fuente: Elaboración propia.



WGS ZONA 13R



### Zona de inundación (Tr = 100 años)

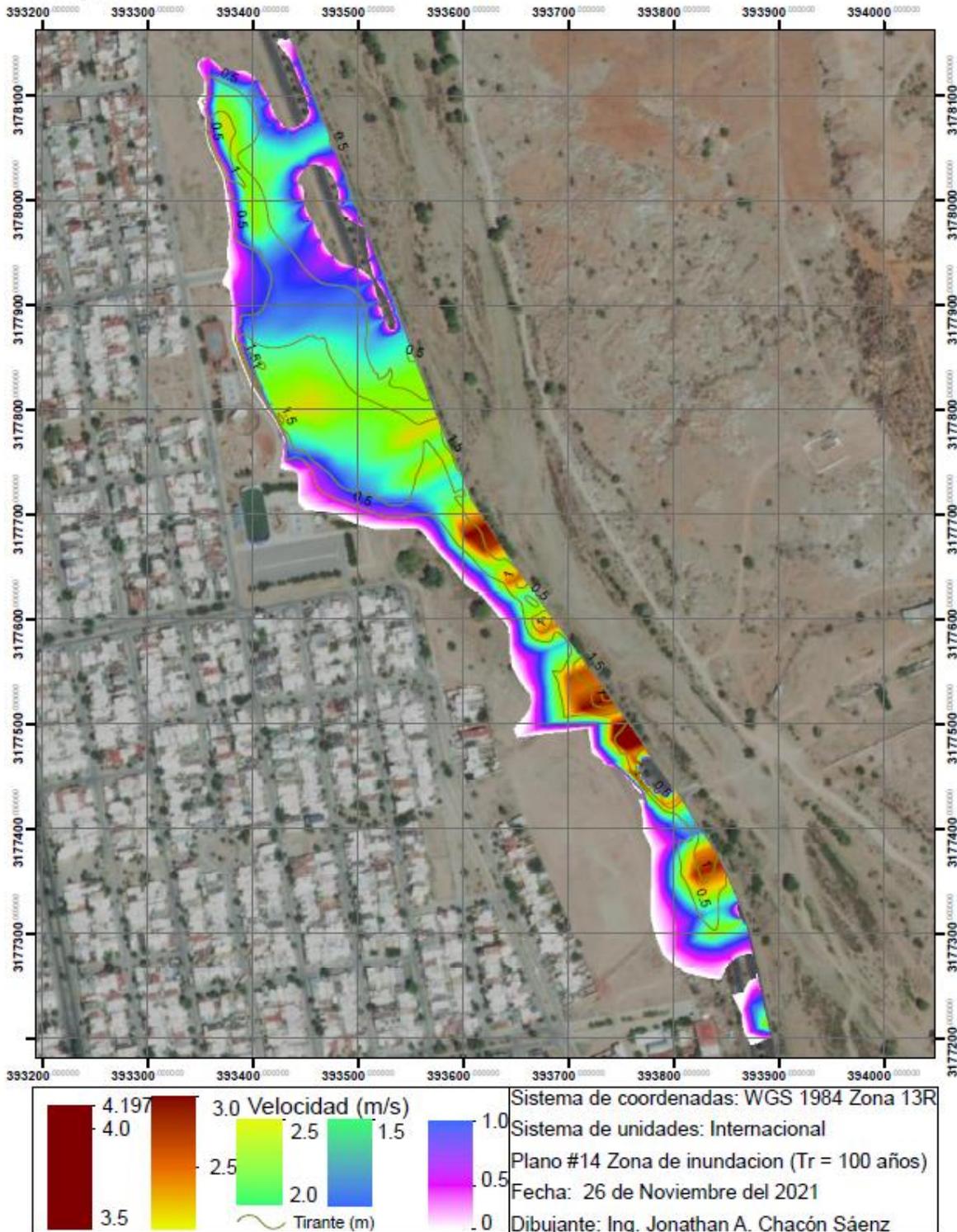


Figura 32. Zona de inundación (Tr= 100 años). Fuente: Elaboración propia.



## 7. Conclusiones.

Es posible que el cauce presente desbordamientos en el tramo analizado para los periodos de retorno contemplados (50 y 100 años) e invada los carriles de la vialidad Sacramento, así mismo el volumen de agua desbordada drenaría hacia una zona con un uso de suelo de recreación y deporte. La mayor parte de la zona se encuentra en estado natural y una porción se encuentra habilitada con gradas y cancha de futbol rápido, por lo anterior en caso de presentarse una avenida extraordinaria no se espera que se encuentren personas en la zona, sin embargo, en caso de presentarse personas o vehículos en el sitio, seria catalogado como de alto riesgo y se podría incurrir en pérdida de vidas humanas y económicas.

Se encontraron asentamientos irregulares dentro del arroyo los arcos, lo cual es impactante, en caso de presentarse una avenida de una magnitud considerable, se espera que la corriente ocasione daños en las mismas y por ende se lleve parte de los materiales con las que fueron construidas (cartón, madera, plástico y lamina), lo cual será un obstáculo para el libre tránsito del agua, pudiendo llegar a ocasionar el desbordamiento aguas abajo.

Se encontró escombros y restos de construcción en un tramo de los terrenos colindantes al Rio Sacramento, sin nivelar la superficie se podría decir que solo llegan los dompes y descargan, lo cual representa un obstáculo para el escurrimiento generado por la Sierra de Nombre de Dios, a dicha zona se le fijo un valor de rugosidad de 0.9, así mismo dentro del cauce en las coordenadas  $28^{\circ}44'32.17''$  N,  $106^{\circ} 6'3.22''$  O se encontró una zona, que es utilizada para la descarga de restos de construcción, es impactante como se le ha comenzado a quitar área hidráulica al cauce.



## 8. Recomendaciones.

1.- El análisis fue realizado a partir de curvas a cada metro correspondientes al año 2016 proporcionadas por el IMTA, derivado del gran crecimiento demográfico de la ciudad ha sido modificado en gran medida la sección hidráulica del cauce tanto por el saqueo excesivo de material como por el desecho de escombros en tramos del mismo, consecuentemente se ha reducido la sección hidráulica del mismo en dichos tramos, por lo cual se recomienda realizar un levantamiento a detalle del estado actual del cauce.

2.- Se recomienda rectificar el cauce en el tramo de inundación, con el fin de aminorar la curva y con ello minimizar el riesgo a inundación.

3.- Se recomienda realizar medidas de prevención ante avenidas extraordinarias, una opción es crear un sistema de alerta temprana, o así mismo incurrir en el cierre de la avenida en los tramos de riesgo.

4.- Se recomienda realizar la limpieza del cauce, donde presente restos de escombros o basura, con el fin de recuperar el área hidráulica del mismo (Imagen 13 y 14).

5.- Se recomienda realizar un programa de concientización en la población, sobre el cambio climático y las consecuencias que ocasiona tirar basura en los lugares no adecuados para ello (Arroyos, cauces, calles).

6.- Se recomienda realizar el retiro del cruce peatonal ubicado en el arroyo Los Arcos (Imagen 9) y reubicar los asentamientos irregulares, ubicados sobre el mismo cauce (Imagen 10).



Imagen 13. Restos de escombros y material depositados en las inmediaciones y/o en el Río Sacramento. Coordenadas: 28°44'33.81" N 106° 6'3.37" O. Fecha: 27/02/2021.



Imagen 14. Restos de escombros y material depositados en las inmediaciones y/o en el Río Sacramento. Coordenadas: 28°44'33.81" N 106° 6'3.37" O. Fecha: 27/02/2021.



## 9. Bibliografía

- Alcocer, V., Rodríguez, J., Bourguett, V., Llaguno, O., & Albornoz, P. (2016). *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353549829003.pdf>
- ASCE. (1992). *Design and construction of urban stormwater management systems* (Vols. Manual and reports of Engineering Practice No. 77 and WEF Manual of Practice FD-20). Alexandria: American Society of Civil Engineers.
- Balica, S. (2007). *Repository IHE Delft Institute for Water Education*. Recuperado el 24 de 08 de 2021, de <https://cdm21063.contentdm.oclc.org/digital/collection/masters2/id/43235>
- Barlow, M. (09 de 08 de 2021). *THE CONVERSATION*. Recuperado el 15 de 01 de 2022, de <https://theconversation.com/informe-ipcc-por-que-el-cambio-climatico-cause-tormentas-e-inundaciones-mas-intensas-165836>
- Baró, J., Díaz, C., Calderón, G., Esteller, M., & Cadena, E. (2011). *Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Scielo: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222011000300013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000300013)
- Bolinaga, J. J. (1979). *Drebaje Urbano*. INOS.
- Cajigal, E., & Maldonado, A. (2019). *scielo*. Recuperado el 13 de 08 de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-84212019000300543](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212019000300543)
- Campos. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. San Luis Potosí: Daniel Francisco Campos Aranda.
- Campos, A. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Universitaria Potosina.
- CENAPRED. (2004). *Fascículos de inundaciones*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Centro Nacional de Prevención de Desastres:



<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>

CENAPRED. (11 de 2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. Recuperado el 15 de 01 de 2022, de [http://centro.paot.org.mx/documentos/cenapred/guia/Capitulo\\_I.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/cenapred/guia/Capitulo_I.pdf)

CENAPRED. (2016). *Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Coordinación Nacional de Protección Civil: [http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/fenomenos\\_2016.pdf](http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/fenomenos_2016.pdf)

CENAPRED. (2016). *Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la república mexicana*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Centro Nacional de Prevención de Desastres: <https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/19a%20SESI%c3%93N%20ORDINARIA/III%20Estudio%20para%20regionalizar%20los%20gastos%20de%20avenidas%20m%C3%A1ximas/Cap%207.%20IRG%20-%2023-agosto-2017.pdf>

CENAPRED. (2018). *Inundaciones en México*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Coordinación Nacional de Protección Civil: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336984/1.\\_180503\\_SRI\\_Inundaciones.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336984/1._180503_SRI_Inundaciones.pdf)

CENAPRED. (2019). *Centro Nacional de Prevención de Desastres*. Recuperado el 11 de 08 de 2021, de [https://www1.cenapred.unam.mx/DIR\\_SERVICIOS\\_TECNICOS/SANI/Entidades%20Federativas/Recursos/Inundaciones/190502\\_RI\\_Folleto%20de%20inundaci%C3%B3n\\_mod.pdf](https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_SERVICIOS_TECNICOS/SANI/Entidades%20Federativas/Recursos/Inundaciones/190502_RI_Folleto%20de%20inundaci%C3%B3n_mod.pdf)



- CENAPRED. (2021). *CENAPRED*. Recuperado el 24 de 08 de 2021, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/203.pdf>
- Chen, J., & Hill, A. (2009). *ResearchGate*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/229173377\\_A\\_GIS-based\\_model\\_for\\_urban\\_flood\\_inundation](https://www.researchgate.net/publication/229173377_A_GIS-based_model_for_urban_flood_inundation)
- Chow. (2004). *Hidraulica de canales*. Illinois: McGRAW-HILL.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: Mc Graw Hill Interamericana S.A.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (13 de 08 de 2021). *CEPAL*. Recuperado el 13 de 08 de 2021, de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/instituciones/unidad-de-inversiones-subsecretaria-de-egresos-secretaria-de-hacienda-y-credito>
- CONAGUA. (24 de 03 de 2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- CONAGUA. (2011). *Manual para el Control de Inundaciones*. febrero: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2014). *Gastos obtenidos para estudios de delimitación del cauce y zona federal*.
- CONAGUA. (2015). *CONAGUA*. Recuperado el 05 de 03 de 2021, de CONAGUA: [files.conagua.gob.mx](http://files.conagua.gob.mx) › mapas › SGAPDS-1-15-Libro4
- CONAGUA. (2019). *CNA*. Recuperado el 13 de 08 de 2021, de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro2.pdf>
- CRED. (2016). *Anual disaster statistical review 2016*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Centre for Research on the Epodemiology of Disasters: [https://www.emdat.be/sites/default/files/adsr\\_2016.pdf](https://www.emdat.be/sites/default/files/adsr_2016.pdf)



Diario Oficial de la Federación. (13 de 08 de 2021). *DOF*. Recuperado el 2022 de 01 de 15, de [dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5626531&fecha=13/08/2021](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5626531&fecha=13/08/2021)

DOF. (2012). *Gobierno de México*. Recuperado el 18 de 08 de 2021, de <https://www.gob.mx/indesol/documentos/ley-general-de-proteccion-civil-60762>

FEMA. (2021). *FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY*. Obtenido de Mapas de Inundación: <https://www.fema.gov/es/flood-maps>

Foudi, S., Tamayo, I., & Oses, N. (2014). *ResearchGate*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/265386592\\_Integrated\\_spatial\\_flood\\_risk\\_assessment\\_The\\_case\\_of\\_Zaragoza](https://www.researchgate.net/publication/265386592_Integrated_spatial_flood_risk_assessment_The_case_of_Zaragoza)

Hernandez, E. (2018). *Índice pérdida-posesión para generación de mapas de riesgo ante inundaciones en zonas urbanas*. Ciudad de México.

Hernandez, E., Rodriguez, J., Cervantes, C., & Llaguno, O. (2018). *Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Obtenido de [https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/)

Hernandez, R., Barrios, H., & Ramírez, A. (2017). *scielo*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222017000300005#B5](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000300005#B5)

IMPLAN. (2016). *Instituto de Planeación del Municipio de Chihuahua*. Recuperado el 08 de 03 de 2021, de IMPLAN: <https://implanchihuahua.org/PDU2040.html>

IMPLAN. (2016). *Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua*. Recuperado el 15 de 11 de 2021, de [https://implanchihuahua.org/Descargables\\_DA.html](https://implanchihuahua.org/Descargables_DA.html)

IMTA. (2015). *Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana*. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.



- INEGI. (2007). Recuperado el 17 de 10 de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- INEGI. (2010). Recuperado el 17 de 10 de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/#Descargas>
- INEGI. (21 de 10 de 2018). Recuperado el 21 de 10 de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>
- INEGI. (2019). Recuperado el 16 de 10 de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#Descargas>
- IPCC. (2018). *IPCC*.  
doi:[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)
- Kwabena, E., Boakye, J., Barima, A., Kofi, S., Mensah, R., Agyeman, Y., & Toloo, P. (2015). *ScienceDirect*. Recuperado el 24 de 08 de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094715300426>
- Lopez, E., Boco, G., Mendoza, M., & Duhau, E. (2001). *Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204601001608>
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). *Assessment of economic flood damage*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Copernicus: <https://nhess.copernicus.org/articles/10/1697/2010/nhess-10-1697-2010.pdf>
- OEA. (1991). *¿Qué son las amenazas naturales?* Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Organización de los Estados Americanos: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/ch005.htm>
- Ordoñez, J. (2011). *Global Water Partnership*. Recuperado el 11 de 08 de 2021, de GWP: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)



Sánchez, J. (07 de 2013). *Universidad de Salamanca*. Recuperado el 19 de 11 de 2021, de <http://hidrologia.usual.es>

Sandoval, B. (2017). *sacmex*. Recuperado el 11 de 08 de 2021, de <http://data.sacmex.cdmx.gob.mx/aplicaciones/libreria/biblioteca/libros/2017/H2O13.pdf>

Sebald, C. (2010). *researchgate*. Recuperado el 24 de 08 de 2021, de [https://www.researchgate.net/profile/Christoph-Sebald/publication/298789832\\_Towards\\_an\\_integrated\\_flood\\_vulnerability\\_index\\_-\\_A\\_flood\\_vulnerability\\_assessment/links/56ebcdf108aec6b500173e66/Towards-an-integrated-flood-vulnerability-index-A-flood-vulnerabi](https://www.researchgate.net/profile/Christoph-Sebald/publication/298789832_Towards_an_integrated_flood_vulnerability_index_-_A_flood_vulnerability_assessment/links/56ebcdf108aec6b500173e66/Towards-an-integrated-flood-vulnerability-index-A-flood-vulnerabi)

SENAMHI. (2019). Recuperado el 24 de 08 de 2021, de <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=aprendiendo#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%20UNA%20INUNDACI%C3%93N%3F,letales%20de%20los%20desastres%20naturales>.

Senamhi. (2019). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-80.pdf>

Universidad de Cádiz Rectorado. (S.F.). *UCA*. Recuperado el 09 de 11 de 2021, de [http://lab-hidrologia.uca.es/metodo\\_temez\\_modificado/index.php](http://lab-hidrologia.uca.es/metodo_temez_modificado/index.php)

WMO. (2013). *Conceptualización del programa nacional de prevención contra contingencias hidráulicas*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de Gobierno de Mexico: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164280/Conceptualizaci\\_n.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164280/Conceptualizaci_n.pdf)



## 10. Anexos

### Anexo A.1 Pendiente media del Arroyo El Ermitaño.

Tabla 33. Pendiente media Arroyo El Ermitaño (Criterio Taylor y Schwarz: Elevación constante).

n	Elevación constante (m)	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)	$\Delta H$ Constante (m)	$\Delta H$ acumulado (m)	S	$\frac{L}{S^{0.5}}$
1	1439.4	0.000	0.000	0.00	543.4	0.000	0.000
2	1440	93.043	93.043	0.60	542.8	0.006	1158.644
3	1450	717.444	810.487	10.00	532.8	0.014	6076.897
4	1460	659.815	1470.302	10.00	522.8	0.015	5359.611
5	1470	686.259	2156.561	10.00	512.8	0.015	5685.019
6	1480	938.139	3094.700	10.00	502.8	0.011	9086.593
7	1490	672.066	3766.766	10.00	492.8	0.015	5509.569
8	1500	751.792	4518.557	10.00	482.8	0.013	6518.478
9	1510	794.713	5313.271	10.00	472.8	0.013	7084.609
10	1520	800.548	6113.819	10.00	462.8	0.012	7162.772
11	1530	826.487	6940.306	10.00	452.8	0.012	7513.701
12	1540	986.121	7926.426	10.00	442.8	0.010	9792.533
13	1550	529.156	8455.583	10.00	432.8	0.019	3849.250
14	1560	720.015	9175.598	10.00	422.8	0.014	6109.598
15	1570	765.491	9941.089	10.00	412.8	0.013	6697.463
16	1580	633.319	10574.408	10.00	402.8	0.016	5040.037
17	1590	526.336	11100.744	10.00	392.8	0.019	3818.513
18	1600	592.992	11693.736	10.00	382.8	0.017	4566.396
19	1610	746.823	12440.559	10.00	372.8	0.013	6453.961
20	1620	974.996	13415.556	10.00	362.8	0.010	9627.300
21	1630	781.475	14197.030	10.00	352.8	0.013	6908.320
22	1640	668.447	14865.477	10.00	342.8	0.015	5465.127
23	1650	671.733	15537.210	10.00	332.8	0.015	5505.472
24	1660	83.089	15620.299	10.00	322.8	0.120	239.507
25	1670	528.135	16148.434	10.00	312.8	0.019	3838.110
26	1680	331.478	16479.912	10.00	302.8	0.030	1908.458
27	1690	770.590	17250.503	10.00	292.8	0.013	6764.494
28	1700	550.842	17801.344	10.00	282.8	0.018	4088.275
29	1710	355.000	18156.344	10.00	272.8	0.028	2115.155
30	1720	602.493	18758.837	10.00	262.8	0.017	4676.580
31	1730	507.061	19265.898	10.00	252.8	0.020	3610.693
32	1740	365.089	19630.988	10.00	242.8	0.027	2205.964
33	1750	435.703	20066.691	10.00	232.8	0.023	2875.980



Tabla 33. Pendiente media Arroyo El Ermitaño (Criterio Taylor y Schwarz: Elevación constante). (continuación).

n	Elevación constante (m)	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)	$\Delta H$ Constante (m)	$\Delta H$ acumulado (m)	S	$\frac{L}{S^{0.5}}$
35	1770	395.98	20838.89	10	212.8	0.03	2491.783
36	1780	392.138	21231.03	10	202.8	0.03	2455.606
37	1790	319.747	21550.78	10	192.8	0.03	1808.051
38	1800	416.536	21967.32	10	182.8	0.02	2688.308
39	1810	356.401	22323.72	10	172.8	0.03	2127.693
40	1820	141.97	22465.69	10	162.8	0.07	534.93
41	1830	321.327	22787.01	10	152.8	0.03	1821.464
42	1840	207.44	22994.45	10	142.8	0.05	944.801
43	1850	263.854	23258.31	10	132.8	0.04	1355.334
44	1860	135.362	23393.67	10	122.8	0.07	498.018
45	1870	136.522	23530.19	10	112.8	0.07	504.433
46	1880	79.749	23609.94	10	102.8	0.13	225.211
47	1890	41.97	23651.91	10	92.8	0.24	85.982
48	1900	28.771	23680.68	10	82.8	0.35	48.801
49	1910	38.522	23719.2	10	72.8	0.26	75.606
50	1920	78.848	23798.05	10	62.8	0.13	221.403
51	1930	74.275	23872.33	10	52.8	0.14	202.424
52	1940	46.159	23918.49	10	42.8	0.22	99.171
53	1950	43.555	23962.04	10	32.8	0.23	90.899
54	1960	31.435	23993.48	10	22.8	0.32	55.733
55	1970	24.725	24018.2	10	12.8	0.4	38.878
56	1980	19.84	24038.04	10	2.8	0.5	27.946
57	1982.77	13.746	24051.79	2.77	0	0.2	30.62
						$\Sigma$	188053.8
						Pendiente	1.636%



Tabla 34. Pendiente media Arroyo El Ermitaño (Longitud constante).

n	Longitud constante (m)	Longitud acumulada (m)	Elevación (m)	Elevación (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta H$ AC. (m)	S	$\frac{1}{S^{0.5}}$
1	0.00	0.00	1982.770	1982.770	0.000	543.370	0.000	0.000
2	890.81	890.81	1982.770	1840.497	142.273	401.097	0.160	2.502
3	890.81	1781.62	1840.497	1800.929	39.568	361.529	0.044	4.745
4	890.81	2672.43	1800.929	1777.980	22.949	338.580	0.026	6.230
5	890.81	3563.24	1777.980	1754.710	23.270	315.310	0.026	6.187
6	890.81	4454.05	1754.710	1734.253	20.457	294.853	0.023	6.599
7	890.81	5344.86	1734.253	1709.986	24.268	270.586	0.027	6.059
8	890.81	6235.67	1709.986	1694.996	14.990	255.596	0.017	7.709
9	890.81	7126.48	1694.996	1681.144	13.851	241.744	0.016	8.019
10	890.81	8017.29	1681.144	1659.848	21.296	220.448	0.024	6.468
11	890.81	8908.10	1659.848	1649.065	10.784	209.665	0.012	9.089
12	890.81	9798.91	1649.065	1638.996	10.068	199.596	0.011	9.406
13	890.81	10689.72	1638.996	1621.146	17.851	181.746	0.020	7.064
14	890.81	11580.53	1621.146	1614.226	6.920	174.826	0.008	11.346
15	890.81	12471.34	1614.226	1601.511	12.714	162.111	0.014	8.370
16	890.81	13362.15	1601.511	1591.602	9.909	152.202	0.011	9.481
17	890.81	14252.96	1591.602	1571.133	20.469	131.733	0.023	6.597
18	890.81	15143.77	1571.133	1559.149	11.985	119.749	0.013	8.621
19	890.81	16034.58	1559.149	1546.939	12.209	107.539	0.014	8.542
20	890.81	16925.39	1546.939	1535.770	11.169	96.370	0.013	8.931
21	890.81	17816.20	1535.770	1526.334	9.436	86.934	0.011	9.716
22	890.81	18707.01	1526.334	1512.287	14.047	72.887	0.016	7.963
23	890.81	19597.82	1512.287	1500.603	11.685	61.203	0.013	8.731
24	890.81	20488.63	1500.603	1489.700	10.903	50.300	0.012	9.039
25	890.81	21379.44	1489.700	1478.231	11.469	38.831	0.013	8.813
26	890.81	22270.25	1478.231	1466.798	11.433	27.398	0.013	8.827
27	890.81	23161.06	1466.798	1453.355	13.443	13.955	0.015	8.140
28	890.73	24051.79	1453.355	1439.400	13.955	0	0.016	7.989
							$\Sigma$ 211.186	
							Pendiente	1.76%

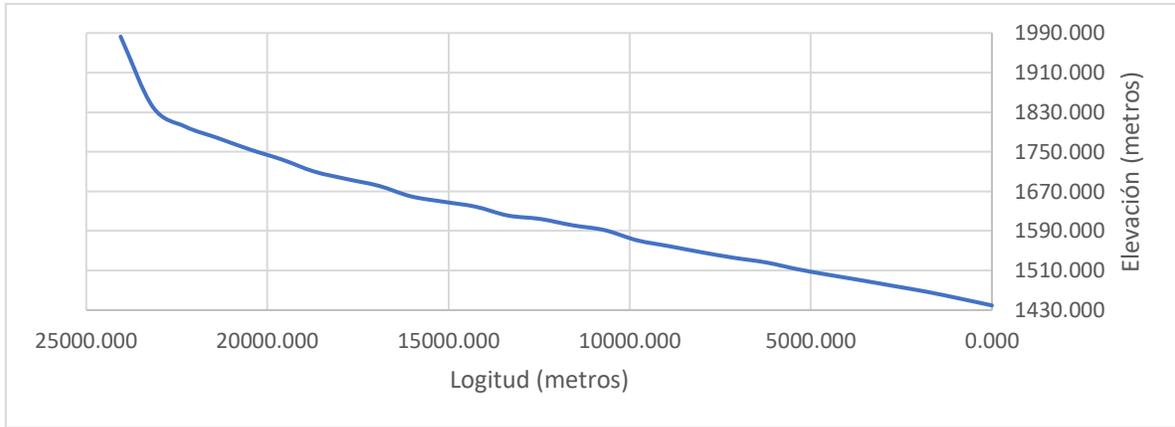


Figura 33 Perfil del cauce principal del Arroyo El Ermitaño (Elevación constante).

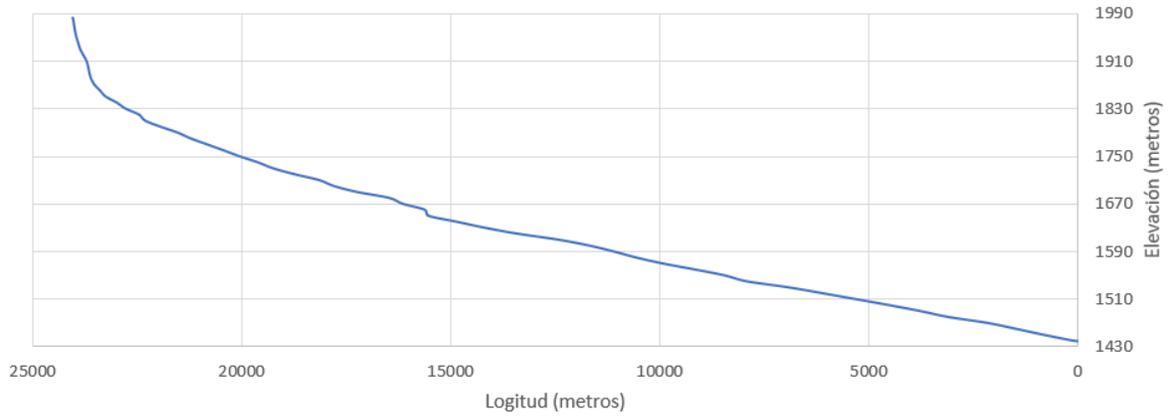


Figura 34 Perfil longitudinal del Arroyo El Ermitaño (Longitud constante).



## Anexo A.2 Características Hidráulicas del tramo analizado.

Tabla 31. Características de las secciones transversales del tramo analizado. (continuación).

#	Estación	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Elev. min Cauce (m)	Elevación crítica (m)	Y (m)	E.G. Pendiente (m/m)	Vel. (m/s)	Froude
69	1660	873.84	1427.5	1431.92	4.42	0.003484	2.18	0.39
68	1640	873.84	1427.12	1431.85	4.73	0.00319	2.17	0.38
67	1620	873.84	1427	1431.79	4.79	0.003456	2.17	0.38
66	1600	873.84	1426.76	1431.67	4.91	0.004139	2.31	0.41
65	1580	873.84	1426.86	1431.57	4.71	0.004421	2.34	0.43
64	1560	873.84	1426.86	1431.35	4.49	0.007233	2.78	0.54
63	1540	873.84	1426.88	1431.27	4.39	0.004671	2.5	0.46
62	1520	873.84	1426.44	1430.76	4.32	0.011145	3.62	0.66
61	1500	873.84	1426.38	1430.64	4.26	0.009251	3.29	0.67
60	1480	873.84	1426.38	1430.57	4.19	0.006204	2.98	0.57
59	1460	873.84	1426.29	1430.27	3.98	0.009299	3.38	0.67
58	1440	873.84	1426.2	1430.24	4.04	0.005716	2.88	0.54
57	1420	873.84	1426.15	1430.14	3.99	0.005655	2.81	0.54
56	1400	873.84	1426.17	1430.08	3.91	0.004602	2.58	0.49
55	1380	873.84	1426.13	1429.95	3.82	0.005312	2.66	0.52
54	1360	873.84	1426.12	1429.93	3.81	0.003887	2.31	0.45
53	1340	873.84	1425.9	1429.89	3.99	0.003104	2.09	0.4
52	1320	873.84	1425.84	1429.85	4.01	0.002659	2	0.37
51	1300	873.84	1425.86	1429.81	3.95	0.002427	1.89	0.34
50	1280	873.84	1425.91	1429.77	3.86	0.005245	1.7	0.31
49	1260	873.84	1425.99	1429.67	3.68	0.005479	1.67	0.31
48	1240	873.84	1425.87	1429.56	3.69	0.005536	1.6	0.31
47	1220	873.84	1425.76	1429.45	3.69	0.005491	1.6	0.31
46	1200	873.84	1425.66	1429.34	3.68	0.00582	1.62	0.32
45	1180	873.84	1425.57	1429.2	3.63	0.006617	1.69	0.33
44	1160	873.84	1425.5	1429.08	3.58	0.006147	1.65	0.32
43	1140	873.84	1425.43	1428.95	3.52	0.006422	1.65	0.33
42	1120	873.84	1425.34	1428.81	3.47	0.006973	1.69	0.34
41	1100	873.84	1425.25	1428.67	3.42	0.006836	1.69	0.35
40	1080	873.84	1425.15	1428.56	3.41	0.00532	1.63	0.34
39	1060	873.84	1425.06	1428.44	3.38	0.005752	1.66	0.34
38	1040	873.84	1424.99	1428.33	3.34	0.005541	1.63	0.34
37	1020	873.84	1424.9	1428.23	3.33	0.005311	1.61	0.33
36	1000	873.84	1424.79	1428.11	3.32	0.005483	1.64	0.34
35	980	873.84	1424.66	1427.99	3.33	0.005966	1.69	0.35
34	960	873.84	1424.5	1427.87	3.37	0.006052	1.7	0.35
33	940	873.84	1424.38	1427.76	3.38	0.005453	1.63	0.34



Tabla 31. Características de las secciones transversales en el cauce del tramo analizado. (continuación).

#	Estación	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Elev. min Cauce (m)	Elevación crítica (m)	Y (m)	E.G. Pendiente (m/m)	Vel. (m/s)	Froude
32	920	873.84	1424.27	1427.67	3.4	0.004627	1.59	0.33
31	900	873.84	1424.13	1427.58	3.45	0.003858	1.58	0.32
31	900	873.84	1424.13	1427.58	3.45	0.003858	1.58	0.32
30	880	873.84	1424.04	1427.51	3.47	0.003435	1.61	0.33
29	860	873.84	1423.97	1427.42	3.45	0.003769	1.68	0.35
28	840	873.84	1423.81	1427.35	3.54	0.003467	1.65	0.34
27	820	873.84	1423.63	1427.28	3.65	0.003466	1.63	0.33
26	800	873.84	1423.5	1427.21	3.71	0.003494	1.64	0.33
25	780	873.84	1423.29	1427.16	3.87	0.002939	1.59	0.31
24	760	873.84	1423.08	1427.09	4.01	0.002875	1.6	0.31
23	740	873.84	1422.95	1427.04	4.09	0.002503	1.51	0.29
22	720	873.84	1422.91	1426.95	4.04	0.003475	1.75	0.34
21	700	873.84	1422.96	1426.79	3.83	0.00508	2.14	0.44
20	680	873.84	1423	1426.69	3.69	0.005215	2.08	0.45
19	660	873.84	1423.19	1426.39	3.2	0.008585	2.71	0.57
18	640	873.84	1423.03	1426.18	3.15	0.008981	2.81	0.59
17	620	873.84	1422.93	1426.06	3.13	0.006983	2.64	0.53
16	600	873.84	1422.85	1425.96	3.11	0.006829	2.44	0.51
15	580	873.84	1422.76	1425.92	3.16	0.004439	2.09	0.42
14	560	873.84	1422.64	1425.78	3.14	0.005298	2.23	0.46
13	540	873.84	1422.53	1425.67	3.14	0.005554	2.25	0.47
12	520	873.84	1422.41	1425.56	3.15	0.005576	2.24	0.47
11	500	873.84	1422.28	1425.37	3.09	0.00643	2.49	0.53
10	480	873.84	1422.16	1425.24	3.08	0.004733	2.52	0.54
9	460	873.84	1422.02	1425.18	3.16	0.004107	2.38	0.5
8	440	873.84	1421.93	1425.14	3.21	0.00328	2.18	0.45
7	420	873.84	1421.84	1425.07	3.23	0.003475	2.22	0.46
6	400	873.84	1421.75	1424.92	3.17	0.004544	2.45	0.52
5	380	873.84	1421.66	1424.74	3.08	0.006213	2.71	0.6
4	360	873.84	1421.54	1424.66	3.12	0.005287	2.53	0.56
3	340	873.84	1421.44	1424.58	3.14	0.004431	2.42	0.52
2	320	873.84	1421.38	1424.48	3.1	0.004488	2.45	0.52
1	300	873.84	1421.31	1424.4	3.09	0.004181	2.42	0.51



### Anexo A.3 Resumen de la evaluación a riesgo de inundación.

Tabla 32. Resumen de los criterios para evaluar el riesgo por inundación. (continuación).

ID	V*Y (m <sup>2</sup> /s)	CAMPOS ARANDA 2010		FEMA Nivel de peligro	OFEE		
		(V*Y) > 0.5 Estabilidad Vuelco	V <sup>2</sup> *Y (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> ) Estabilidad Deslizamiento		Tabla Inundación Tirante	Tabla Inundación Vel-Tirante	
71	9.68	Peligro Personas	19.36	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
70	10.34	Peligro Personas	21.10	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
69	9.64	Peligro Personas	21.01	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
68	10.26	Peligro Personas	22.27	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
67	10.39	Peligro Personas	22.56	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
66	11.34	Peligro Personas	26.20	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
65	11.02	Peligro Personas	25.79	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
64	12.48	Peligro Personas	34.70	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
63	10.97	Peligro Personas	27.44	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
62	15.64	Peligro Personas	56.61	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
61	14.02	Peligro Personas	46.11	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
60	12.49	Peligro Personas	37.21	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
59	13.45	Peligro Personas	45.47	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
58	11.64	Peligro Personas	33.51	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
57	11.21	Peligro Personas	31.51	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
56	10.09	Peligro Personas	26.03	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
55	10.16	Peligro Personas	27.03	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
54	8.80	Peligro Personas	20.33	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
53	8.34	Peligro Personas	17.43	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
52	8.02	Peligro Personas	16.04	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
51	7.47	Peligro Personas	14.11	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
50	6.56	Peligro Personas	11.16	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
49	6.15	Peligro Personas	10.26	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
48	5.90	Peligro Personas	9.45	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
47	5.90	Peligro Personas	9.45	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
46	5.96	Peligro Personas	9.66	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
45	6.13	Peligro Personas	10.37	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
44	5.91	Peligro Personas	9.75	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
43	5.81	Peligro Personas	9.58	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
42	5.86	Peligro Personas	9.91	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
41	5.78	Peligro Personas	9.77	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
40	5.56	Peligro Personas	9.06	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
39	5.61	Peligro Personas	9.31	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
38	5.44	Peligro Personas	8.87	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
37	5.36	Peligro Personas	8.63	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto



Tabla 32. Resumen de los criterios para evaluar el riesgo por inundación. (continuación).

ID	V*Y (m <sup>2</sup> /s)	CAMPOS ARANDA 2010		FEMA Nivel de peligro	OFEE		
		(V*Y) > 0.5 Estabilidad Vuelco	V <sup>2</sup> *Y (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> ) Estabilidad Deslizamiento		Tabla Inundación Tirante	Tabla Inundación Vel-Tirante	
36	5.44	Peligro Personas	8.93	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
35	5.63	Peligro Personas	9.51	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
34	5.73	Peligro Personas	9.74	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
33	5.51	Peligro Personas	8.98	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
32	5.41	Peligro Personas	8.60	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
31	5.45	Peligro Personas	8.61	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
30	5.59	Peligro Personas	8.99	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
29	5.80	Peligro Personas	9.74	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
28	5.84	Peligro Personas	9.64	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
27	5.95	Peligro Personas	9.70	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
26	6.08	Peligro Personas	9.98	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
25	6.15	Peligro Personas	9.78	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
24	6.42	Peligro Personas	10.27	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
23	6.18	Peligro Personas	9.33	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
22	7.07	Peligro Personas	12.37	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
21	8.20	Peligro Personas	17.54	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
20	7.68	Peligro Personas	15.96	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
19	8.67	Peligro Personas	23.50	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
18	8.85	Peligro Personas	24.87	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
17	8.26	Peligro Personas	21.81	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
16	7.59	Peligro Personas	18.52	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
15	6.60	Peligro Personas	13.80	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
14	7.00	Peligro Personas	15.61	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
13	7.07	Peligro Personas	15.90	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
12	7.06	Peligro Personas	15.81	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
11	7.69	Peligro Personas	19.16	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
10	7.76	Peligro Personas	19.56	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
9	7.52	Peligro Personas	17.90	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
8	7.00	Peligro Personas	15.26	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
7	7.17	Peligro Personas	15.92	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
6	7.77	Peligro Personas	19.03	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
5	8.35	Peligro Personas	22.62	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
4	7.89	Peligro Personas	19.97	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
3	7.60	Peligro Personas	18.39	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
2	7.59	Peligro Personas	18.61	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto
1	7.48	Peligro Personas	18.10	Peligrosidad	Alto	Alto	Alto



#### **Anexo A.4 Comparativa entre los datos autorizados por CONAGUA y los estimados en el presente estudio.**

En relación a los datos autorizados por (CONAGUA, 2014) y los estimados (Tabla 34) se encuentra lo siguiente:

En el caso del Río Sacramento hasta el punto de drenaje en la confluencia Autopista Ciudad Juárez y Arrollo Los Nogales, el valor utilizado fue el de HEC-HMS, 873.8 m<sup>3</sup>/s y 1,101.5 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno (Tr) de 50 y 100 años, respectivamente, el cual al compararlo con el autorizado por CONAGUA (716.60 m<sup>3</sup>/s y 910.70 m<sup>3</sup>/s para un Tr de 50 y 100 años respectivamente), da una diferencia del 21.94% y 21.19%, respectivamente.

En el caso de 3 de los arroyos analizados las diferencias entre el valor arrojado por HEC-HMS y el autorizado por CONAGUA varía significativamente, sin embargo, comparándolo con los valores determinados por alguno de los métodos aplicados dan un valor similar, tal es el caso del Método Racional Modificado en el Arroyo El Ermitaño, el cual varía en un 7.50% y -0.42%, a los autorizados por CONAGUA para un Tr de 50 y 100 años respectivamente. En el caso del Arroyo Los Arcos, los valores obtenidos por el Método HUT son similares a los autorizados por CONAGUA en un 97.91% y un 98.20% para un Tr de 50 y 100 años respectivamente, en el Arroyo El Mimbres los valores obtenidos por el Método TR-55 son similares a los autorizados por CONAGUA dando un porcentaje mayor de 0.36% para un Tr de 50 años y un porcentaje menor (11.56%) para un Tr de 100 años.



Tabla 34. Comparativa entre los datos autorizados por (CONAGUA, 2014) y los estimados en el presente estudio.

Microcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Factor C	Numero de curva	Racional modificado	Gasto (m <sup>3</sup> /s) Tr 50 años			CONAGUA (2014)
					HUT	TR-55	HEC-HMS	
El Ermitaño (Los Nogales)	36.436	0.508	67.344	82.269	26.314	44.641	47.5	76.10
Los Arcos	9.337	0.717	89.149	62.137	46.163	65.985	74.10	45.20
El Mimbres	34.680	0.560	70.292	123.376	39.193	68.343	77.70	68.59
Autopista CJ-Arroyo Los Nogales	995.80	0.456	66.193	225.766	569.90	873.84	873.6	716.60