"ESTUDIO QUE SIRVA COMO HERRAMIENTA BASE PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN MUNICIPAL HÍDRICO DE LARGO PLAZO"

INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DE AGUAS SUPERFICIALES

INFORME IX

CHIHUAHUA, CHIHUAHUA

ELABORÓ:

DAVID HUMBERTO SÁNCHEZ NAVARRO

AGOSTO 2024

ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN MUNICIPAL HÍDRICO DE LARGO PLAZO QUE INCLUYA POLÍTICAS Y ACCIONES EN MATERIA DE AGUA SUPERFICIAL, AGUA SUBTERRÁNEA, DRENAJE PLUVIAL Y NUEVAS FUENTES E INFRAESTRUCTURA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL MUNICIPIO.

ÍNDICE

CAPITULO NOVENO: INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DE AGUAS SUPERFICIALES_Toc162256768

1.	Introducción	10
1.1.	Antecedentes	11
1.2.	Objetivo, Procedimiento y Estructura del Informe	12
1.3.	Metodología	12
2.	Zona de Estudio	13
3.	Hidrografía	24
3.1.	Delimitación de las Cuencas y Subcuencas	36
4.	Análisis de Precipitación	41
4.1.	Histórico de Precipitación	41
4.2.	Manejo de Información de las Estaciones Climatológicas	48
5.	Análisis de Escurrimientos	71
5.1.	Definición de Orden de Tributarios	71
5.2.	Geomorfología	73
5.3.	Intensidad de Precipitación	79
6.	Cálculo de Caudales Máximos	82
6.1.	Volúmenes Anuales Esperados de Escurrimiento por Subcuenca	86
7.	Zonas Críticas y Vulnerables a Inundaciones	90
8.	Recomendaciones para Aprovechar el Agua Superficial	98
9.	Referencias	101

Índice de Figuras

Figura 1. Manzanas de INEGI del Municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del INEGI (2020) (4)..... 13
Figura 2. Zona Metropolitana de Chihuahua. Fuente: INEGI (2015) (5). 14
Figura 3. Cauces principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (2009) (6). 15
Figura 4. Arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (2009) (6). 16
Figura 5. Mapa de microcuencas de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2014) (7)..... 17
Figura 6. Hidrografía superficial general del Municipio de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2014) (7)..... 18
Figura 7. Principales arroyos de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2014) (7)..... 19
Figura 8. Principales cauces en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2022) (8)..... 20
Figura 9. Red hidrográfica de la ciudad de Chihuahua. Elaboración propia con información del INEGI (2023) (9). 22
Figura 10. Ríos y arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2023) (9)..... 23
Figura 11. Representación de la Región Hidrológica del Río Bravo. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 25
Figura 12. Chihuahua capital y subregión hidrológica RH24K. Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2023) (9)..... 26
Figura 13. Cuenca del río Conchos. Fuente: Programa de Manejo Integral de la Cuenca del Río Conchos (2006) (11). 27
Figura 14. Cuencas principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia..... 28
Figura 15. Presas en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. 29
Figura 16. Vertedor Presa El Rejón. Fuente: propia. 30
Figura 17. Vaso presa El Rejón. Fuente: propia. 30

Figura 18. Vertedor presa Chihuahua. Fuente: propia..... 31
Figura 19. Vertedor tipo embudo de presa Chihuahua, fuera de operación. Fuente: propia. 32
Figura 20. Cortina, vertedor y vaso de Presa Chuvíscar. Fuente: Parque Metropolitano Tres Presas (12) 33
Figura 21. Mapa de Parque Metropolitano Tres Presas. Fuente: PDU 2040 (10)..... 34
Figura 22. Crecimiento de superficie urbana de la ciudad de Chihuahua del año 1969 a 2015. Fuente: elaboración propia con datos del IMPLAN PDU (2040) (10). 35
Figura 23. Modelo Digital de Elevaciones de INEGI (CEM). Fuente: INEGI (2023) (13)..... 37
Figura 24. Modelo Digital de Terreno del Implan. Fuente: IMPLAN (2014)..... 38
Figura 25. Cuencas de las principales ríos y arroyos que afectan el área urbana de Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 39
Figura 26. Cuencas con incidencia en el área urbana de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 40
Figura 27. Red de EMAs de zona de estudio. Fuente: Hernández-Samaniego (2018) (14). 42
Figura 28. Estaciones climatológicas convencionales de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA (19) (20). 44
Figura 29. Precipitación máxima diaria de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia 49
Figura 30. Precipitación acumulada de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia. 53
Figura 31. FDP Pearson en estación Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 55
Figura 32. FDP Log Normal 2 parámetros en estación La Mesa. Fuente: elaboración propia. 55
Figura 33. FDP Log Normal 2 parámetros en estación Majálca. Fuente: elaboración propia..... 56
Figura 34. FDP Pearson en estación El Rejón. Fuente: elaboración propia. 56
Figura 35. FDP Log Normal 2 parámetros en estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 57
Figura 36. Datos de precipitación máxima diaria anual de las 5 estaciones, extrapolados con FDP. Fuente: elaboración propia. 58

Figura 37. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Observatorio. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) (21) (8). 59
Figura 38. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación La Mesa. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) (21) (8). 59
Figura 39. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Majálca. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) (21) (8). 60
Figura 40. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Presa Chihuaua. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) (21) (8). 60
Figura 41. Factor de convectividad para Chihuahua, Chih. Fuente: adaptación de (Baeza, 2007) (24). 63
Figura 42. Regiones hidrológicas de la República Mexicana. Fuente: Domínguez-Mora y otros (2020) (25). 64
Figura 43. Curvas I-D-Tr de estación Observatorio. Fuente: elaboración propia. 68
Figura 44. Curvas I-D-Tr de estación La Mesa. Fuente: elaboración propia. 68
Figura 45. Curvas I-D-Tr de estación Majálca. Fuente: elaboración propia. 69
Figura 46. Curvas I-D-Tr de estación El Rejón. Fuente: elaboración propia. 69
Figura 47. Curvas I-D-Tr de estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 70
Figura 48. Identificador (ID) por cuenca. Fuente: elaboración propia. 72
Figura 49. Coeficientes de escurrimiento de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas" (27). 74
Figura 50. Zonas urbana, no urbana y sub-urbana de la ciudad de Chihuahua. Fuente:elaboración propia con información del IMPLAN. 75
Figura 51. Área tributaria de cada estación climatológica para cada cuenca en estudio. Fuente: elaboración propia. 80

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Figura 52. Caudales máximos de escurrimiento a diversos periodos de retorno de los ríos Sacramento, Chuvíscar y arroyo Nogales Sur. Fuente: elaboración propia. 84

Figura 53. Caudales máximos de escurrimiento a diversos periodos de los principales arroyos urbanos. Fuente: elaboración propia. 85

Figura 54. Volúmenes de escurrimiento promedio de los tres cauces principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia 88

Figura 55. Volúmenes de escurrimiento promedio de arroyos principales. Fuente: elaboración propia. 89

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua

Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820

https://implanchihuahua.org

Índice de Tablas

Tabla 1. Estaciones climatológicas convencionales. Fuente: elaboración propia..... 43
Tabla 2. Precipitación máxima diaria de cada año (mm). Fuente: elaboración propia. 46
Tabla 3. Precipitación acumulada de cada año (mm). Fuente: elaboración propia. 47
Tabla 4. Precipitación máxima diaria de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia. 50
Tabla 5. Precipitación acumulada de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia. 52
Tabla 6. Error Estándar de Ajuste de FDP por estación en porcentaje. Fuente: elaboración propia. 54
Tabla 7. Datos de precipitación diaria máxima anual (mm), extrapolados con Funciones de Distribución de Probabilidad. Fuente: elaboración propia. 54
Tabla 8. Precipitación diaria máxima horaria (mm), obtenidas con factor de convectividad. Fuente: elaboración propia. 65
Tabla 9. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación Observatorio. Fuente: elaboración propia. 66
Tabla 10. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación La Mesa. Fuente: elaboración propia. 66
Tabla 11. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación Majálca. Fuente: elaboración propia. 66
Tabla 12. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación El Rejón. Fuente: elaboración propia. 66
Tabla 13. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 67
Tabla 14. Valores a, b y c para método I-D-Tr de Cheng-Lung de todas las estaciones. Fuente: elaboración propia. 67
Tabla 15. Parámetros geomorfológicos de las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia. ... 77
Tabla 16. Coeficientes de escurrimiento de cada cuenca a diversos periodos de retorno. Fuente: elaboración propia. 78
Tabla 17. Porcentaje de área tributaria de cada estación climatológica en las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia. 79
Tabla 18. Intensidad de lluvia a cada periodo de retorno para cada una de las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia. 81
Tabla 19. Caudales máximos de escurrimiento a diferentes periodos de retorno con base en el método racional (m3/s). Fuente: elaboración propia. 83
Tabla 20. Volúmenes de escurrimiento promedio por cada uno de los cauces en estudio. Fuente: elaboración propia. 87
Tabla 21. Fenómenos perturbadores de origen natural en el Municipio de Chihuahua, registrados de 2014 al 2022. Fuente: Atlas de riesgos del Municipio de Chihuahua (2022) (32). 91

Acrónimos

Acrónimo	Significado
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
SIATL	Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
Hm3	Hectómetro cúbico
Mm3	Millón de metro cúbico
NAMO	Nivel de Aguas Máximas Ordinarias
NAME	Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias
CEM	Continuo Mexicano de Elevaciones
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
MAPAS	Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de la Conagua
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GIARUR	Gestión Integrada del Agua Urbana y Rural
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
LFD	Ley Federal de Derechos
lps	Litros por segundo
SIGMUN	Sistema de Información Geográfica Municipal
SEECH	Servicios Educativos del Estado de Chihuahua

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Acrónimo	Significado
SEP	Secretaría de Educación Pública
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
JMAS	Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua
SINA	Sistema Nacional de Información del Agua
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
CONAPO	Comisión Nacional de Población
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad
EF	Eficiencia Física
l/hab/día	Litro habitante día
DMA	Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea
POELMCH	Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Chihuahua
IMPLAN	Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
LAN	Ley de Aguas Nacionales
DOF	Diario Oficial de la Federación
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
NOM	Norma Oficial Mexicana
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PEA	Población Económicamente Activa

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Acrónimo	Significado
ENOE	Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
MDP	Millones de pesos
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial
UE	Unidad Económica
VAB	Valor Agregado Bruto
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

CAPITULO NOVENO: INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DE AGUAS SUPERFICIALES

El presente capítulo se centra en la integración del análisis de aguas superficiales, a nivel de cuencas, subcuencas y unidades hidrológicas, analizando la precipitación pluvial, los escurrimientos y los gastos máximos por periodo de retorno para realizar un análisis hidrológico de la zona de estudio. La integración del análisis de aguas superficiales es crucial para el manejo adecuado y el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en el municipio. Proporciona información detallada sobre la disponibilidad y comportamiento de las aguas superficiales, fundamental para la toma de decisiones en gestión hídrica y planificación urbana. Además, permite diseñar infraestructuras para controlar inundaciones y almacenar agua, garantizando un suministro adecuado durante periodos de sequía.

1. Introducción

El agua, elemento vital para la vida y el desarrollo, se encuentra en el centro de las dinámicas sociales, económicas y ambientales de nuestro municipio. La gestión eficiente y sostenible del agua es un desafío crucial para asegurar el bienestar de las presentes y futuras generaciones. Este capítulo se centra en la integración del análisis de aguas superficiales, a nivel de cuencas, subcuencas y unidades hidrológicas, analizando la precipitación pluvial, así como escurrimientos y gastos máximos por periodo de retorno, lo que permite realizar un análisis hidrológico de la zona de estudio.

La integración del análisis de aguas superficiales es de vital importancia para el adecuado manejo y aprovechamiento del recurso hídrico en el municipio de Chihuahua. Este análisis proporciona información detallada sobre la disponibilidad, calidad y comportamiento de las aguas superficiales en la región, lo que es fundamental para la toma de decisiones en materia de gestión hídrica y planificación urbana. El análisis de los escurrimientos y gastos máximos en los cauces principales es fundamental para diseñar infraestructuras de control de inundaciones y de almacenamiento de agua, garantizando así un suministro adecuado durante periodos de sequía.

Este análisis también proporciona información clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos, permitiendo identificar oportunidades para la recarga de acuíferos, la creación de humedales artificiales y la implementación de sistemas de drenaje sostenible. En conjunto, estas acciones contribuyen a garantizar un uso eficiente y equitativo del agua, así como a proteger los ecosistemas y la biodiversidad asociada.

1.1. Antecedentes

Un objetivo fundamental de la planificación y gestión hidrológica es alcanzar el buen estado de las masas de agua, lo que garantiza otros objetivos como la calidad del agua, la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos, la prevención de la contaminación y la protección de los recursos subterráneos [(1)]. La evaluación precisa del estado de las aguas superficiales es crucial, ya que determina las medidas necesarias durante un ciclo de planificación, como las condiciones de concesiones, límites de vertido, sanciones por deterioro y acciones de recuperación [(2)].

Las aguas superficiales incluyen lagos, ríos, arroyos, humedales y riachuelos, que suelen ser sensibles a la contaminación y son fuentes importantes de agua dulce para diversos usos, incluido el suministro de agua potable [(3)].

En el municipio de Chihuahua, la disponibilidad de agua se basa en una combinación de recursos superficiales y subterráneos. Los recursos superficiales incluyen ríos, arroyos y lagos, mientras que los subterráneos están constituidos por acuíferos. Los principales ríos en el municipio son el Chuvíscar y el Sacramento, que son vitales para el consumo humano, la agricultura y la industria.

La ubicación geográfica del municipio, su clima y las crecientes demandas de agua representan desafíos significativos. Estos desafíos requieren una planificación cuidadosa de acciones y programas que aborden las problemáticas identificadas en estos estudios, para servir como base en la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo.

La baja capacidad de almacenamiento en las presas, las sequías cada vez más frecuentes, la escasez de escurrimientos en las aguas superficiales y la sobreexplotación de los acuíferos que abastecen principalmente la demanda de agua, representan un riesgo para el suministro hídrico actual y futuro del municipio. Estos desafíos requieren una gestión sostenible y efectiva de los recursos hídricos para garantizar la disponibilidad de agua para las generaciones presentes y futuras.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

1.2. Objetivo, Procedimiento y Estructura del Informe

El propósito fundamental consiste en desarrollar un Plan que articule un conjunto de acciones clave para alcanzar una gestión sostenible del agua en el Municipio de Chihuahua. En el presente capítulo, se conforma un análisis de aguas superficiales.

El análisis evalúa las condiciones a nivel de cuenca y subcuenca, determinando las precipitaciones y los escurrimientos que se generan en estas áreas. Además, se toman en cuenta las condiciones geomorfológicas para establecer los gastos máximos para diferentes periodos de retorno. Esto permite identificar las zonas críticas y vulnerables a posibles inundaciones, con el objetivo de desarrollar un plan de gestión sostenible de las aguas superficiales.

1.3. Metodología

La metodología se ejecutó conforme al siguiente procedimiento: se inició con la recopilación y exhaustivo de información preexistente, análisis previos estudios y datos específicos del municipio de Chihuahua, los cuales fueron elaborados por diversas entidades gubernamentales, académicas y particulares. Es crucial resaltar que el alcance del análisis de información no abarcó la validación o verificación de los datos proporcionados. En consecuencia, se hace referencia a la fuente de cada estudio, dato o información presentada en este documento para cualquier duda o aclaración.

Se realizó la integración de un análisis hidrológico utilizando las propuestas de diversos estudios e información relevante disponible en la zona de estudio. Se generó un análisis de precipitación a partir de la delimitación de las cuencas y subcuencas, utilizando información histórica de fuentes oficiales. Se llevó a cabo un estudio amplio de la precipitación y los escurrimientos previstos en cada subcuenca hidrológica, incluyendo la estimación de los gastos máximos por periodo de retorno. Mediante el análisis detallado de los volúmenes anuales esperados por subcuenca, se obtuvo información clave para la gestión adecuada de las aguas superficiales en la región. Se determinaron los gastos máximos en los cauces principales, lo que permitió identificar las zonas críticas y vulnerables a posibles inundaciones. Con base en estos resultados, se recomiendan obras y acciones para retener y aprovechar el agua superficial de manera sostenible.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

2. Zona de Estudio

La ciudad de Chihuahua, capital del Estado y principal centro urbano del municipio Chihuahua, forma parte de la zona metropolitana de Chihuahua desde 2015. Este estatus se refleja en la Figura 1, que muestra las manzanas de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs) del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). El área de estudio comprende las cuencas hidrológicas que impactan al municipio de Chihuahua y se realiza un énfasis en la posible incidencia en el contexto metropolitano.

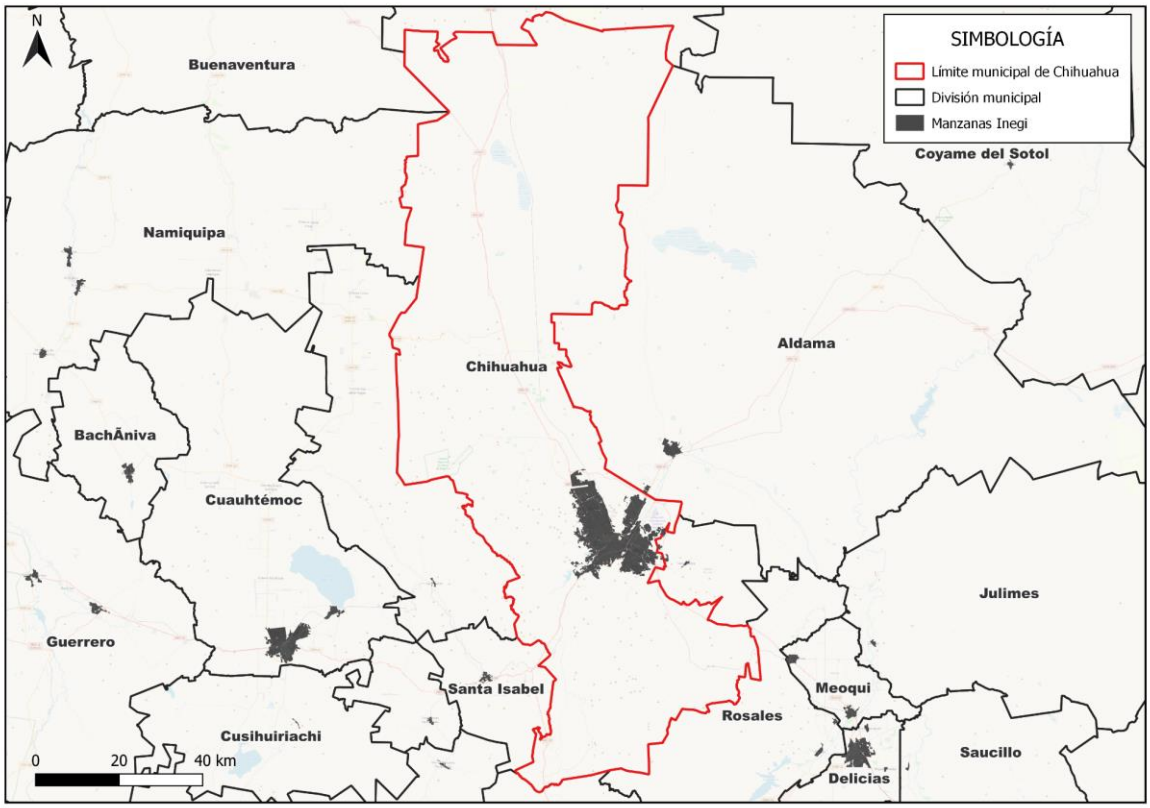


Figura 1. Manzanas de INEGI del Municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del INEGI (2020) [(4)].

En la Figura 2 se puede observar la zona metropolitana de Chihuahua, que se compone de las localidades de Juan Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

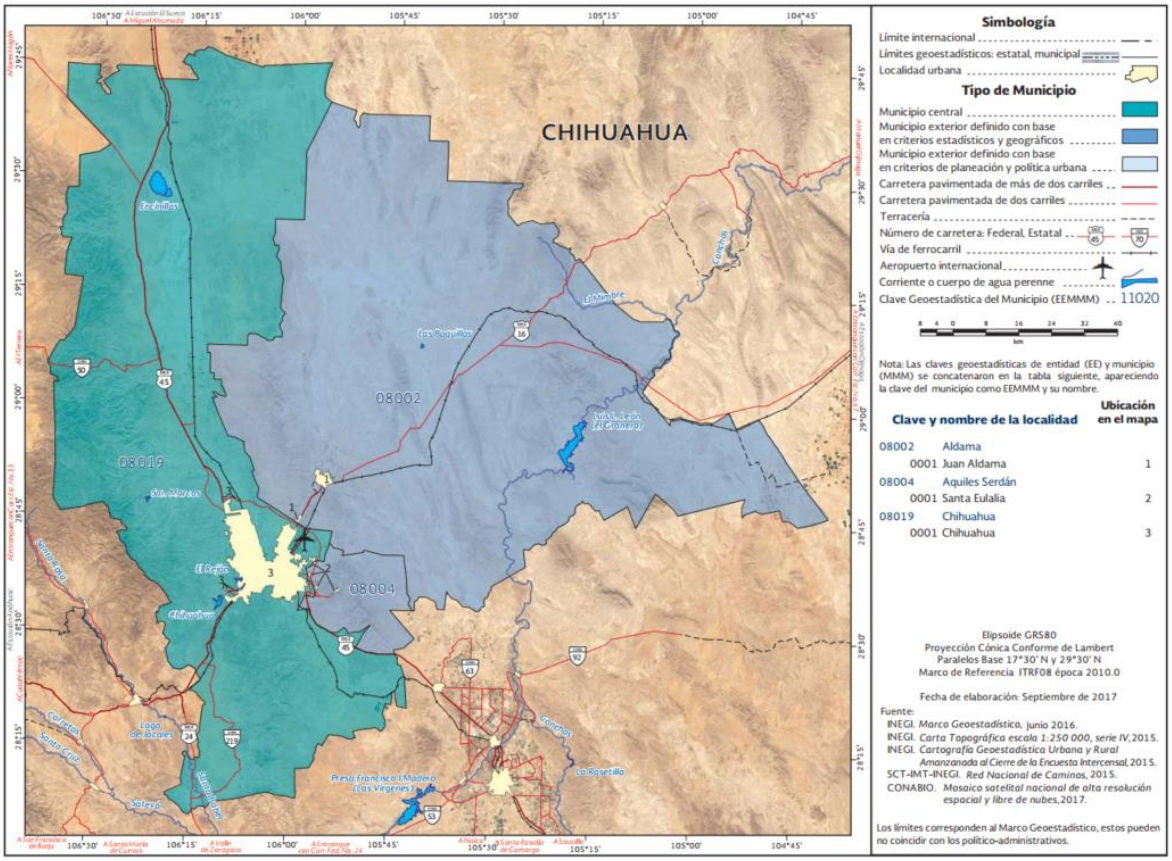


Figura 2. Zona Metropolitana de Chihuahua. Fuente: INEGI (2015) [5].

Respecto a su hidrología, la ciudad de Chihuahua es atravesada por dos ríos principales: Chuvíscar y Sacramento, así como por una cantidad significativa de arroyos de diversas magnitudes de escurrimiento. Los arroyos incluidos en este estudio fueron seleccionados como punto de partida en función de estudios previos realizados para la ciudad de Chihuahua y su importancia en términos de agua superficial o pluvial. A continuación, se describen estos estudios y la información relevante sobre los arroyos que interactúan con la ciudad de Chihuahua.

- **Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial del año 2009** [6]: este estudio se realizó con el fin de determinar acciones a llevar a cabo respecto al manejo de agua pluvial en la ciudad de Chihuahua, se identifican 4 escurrimientos principales: los mismos 2 ríos ya mencionados: Chuvíscar y Sacramento; así como el arroyo Nogales Sur y Cacahuatal (Figura 3). Asimismo, se mencionan 19 arroyos como escurrimientos secundarios de importancia (Figura 4). Los arroyos mencionados y analizados en dicho estudio son: Los Arcos, Nogales Norte, El Picacho, Magallanes, El Mimbre, El Saucito, Galera Norte, Galera Sur, La Cantera, Plaza de

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Toros, El Barro, La Canoa, El Chamizal, La Manteca, Malvinas (acueducto), Concordia y Tabalaopa. En total se consideran 21 cauces principales, divididos en 2 ríos y 19 arroyos.

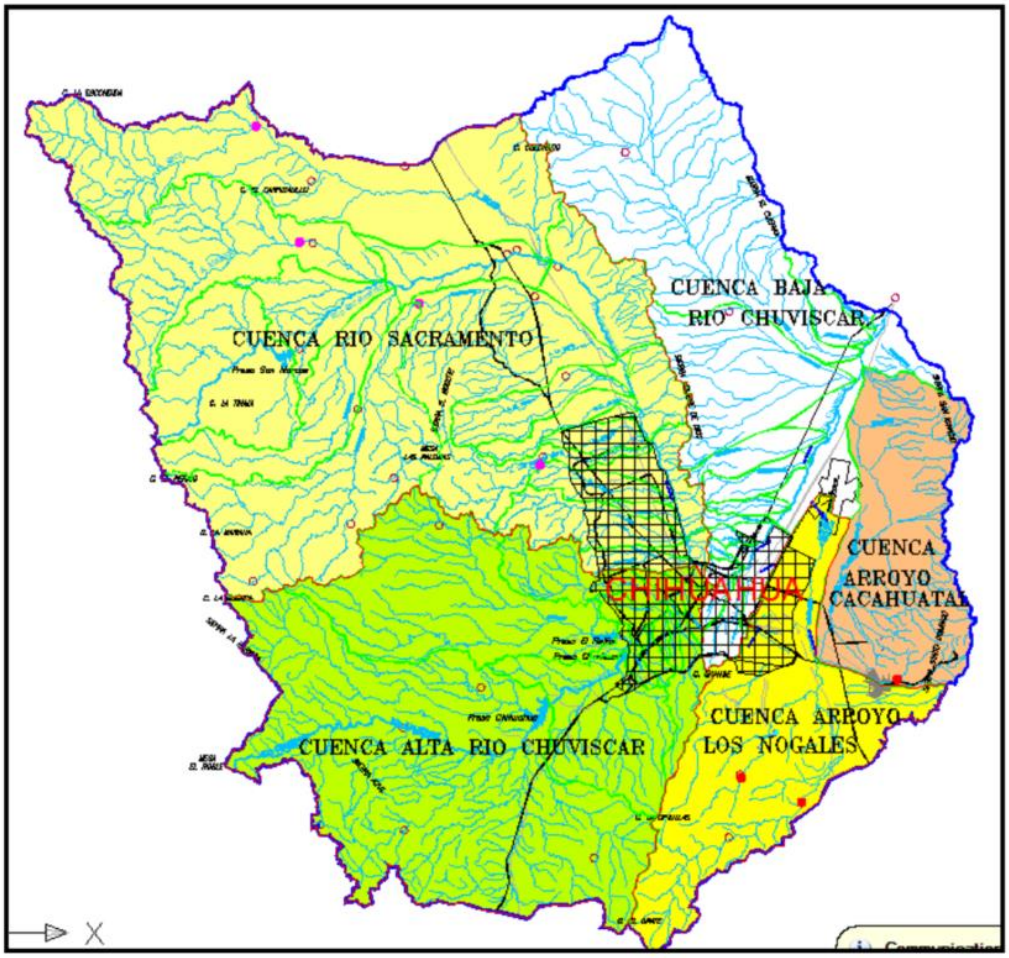


Figura 3. Cauces principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (2009) [(6)].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

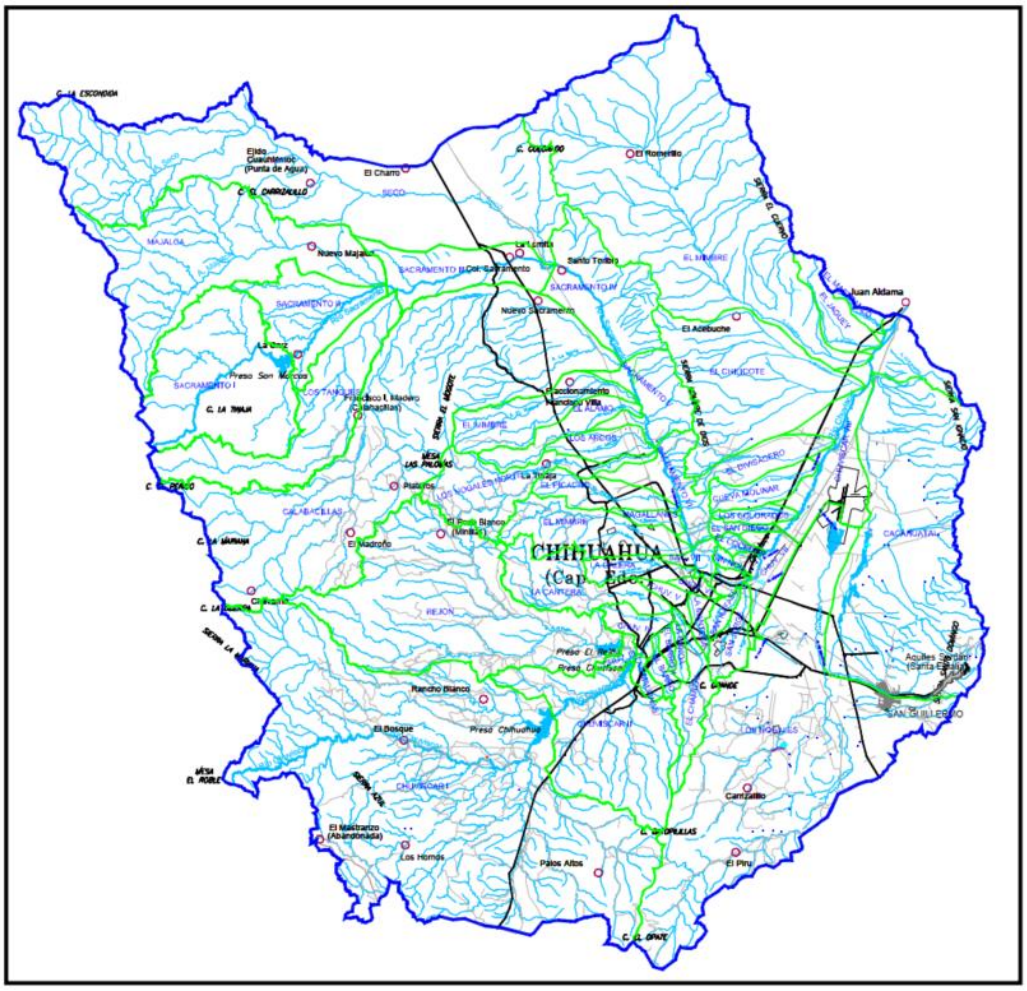


Figura 4. Arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (2009) [6].

- **Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua del año 2014** [7]**:** en este estudio se realizó un detallado análisis de la hidrografía superficial de la zona (ver Figura 6), se incluyen en el estudio únicamente los dos ríos principales, Sacramento y Chuvíscar, que se unen y luego desembocan en el río Conchos después de la boquilla de Aldama. Se mencionan 7 arroyos principales tributarios al río Sacramento: Los Arcos, Los Nogales, Magallanes, El Mimbre, El Saucito, Galera Norte y Galera Sur, así como otros 6 arroyos principales tributarios al río Chuvíscar: La Canoa, Plaza de Toros, La Cantera, El Chamizal, San Rafael y San Jorge. En total, se consideran en el estudio 15 cauces, divididos en 2 ríos y 13 arroyos principales (ver Figura 5 y Figura 7).

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

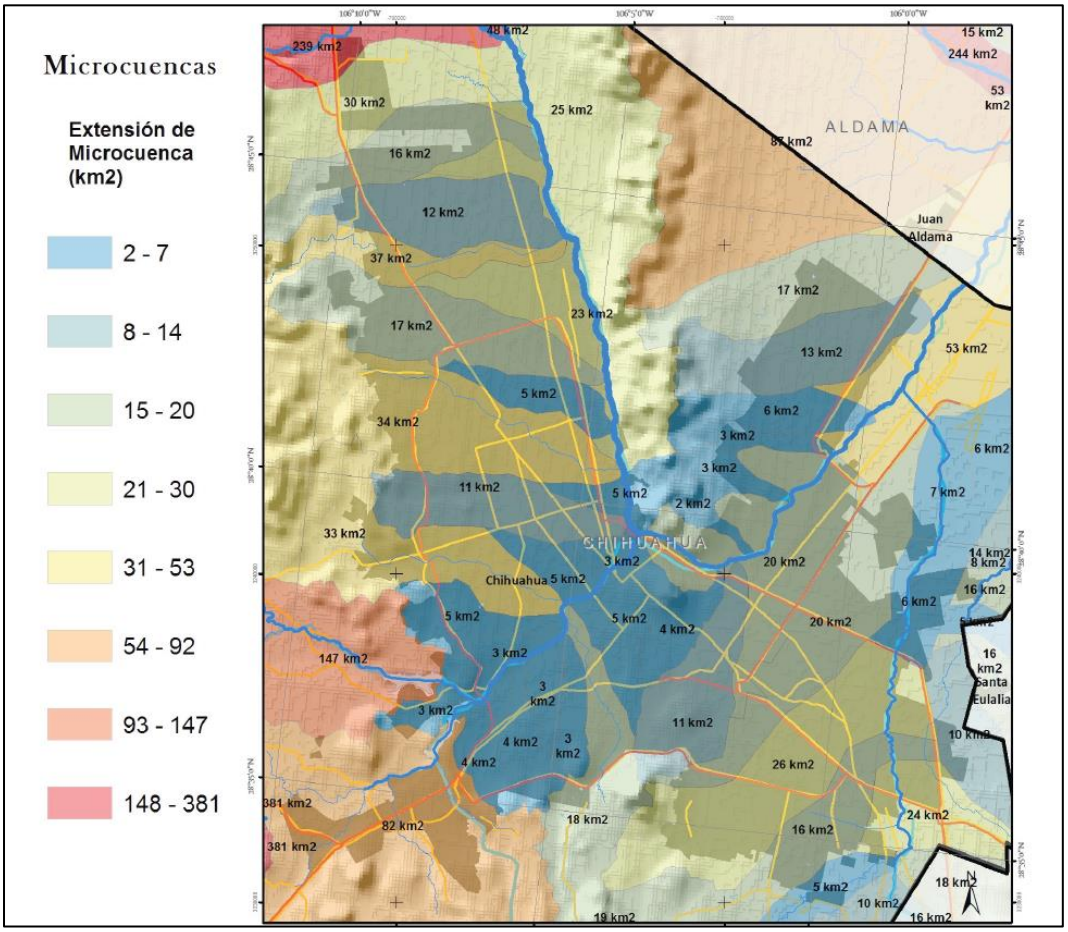


Figura 5. Mapa de microcuencas de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2014) [7].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua | Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820 | https://implanchihuahua.org

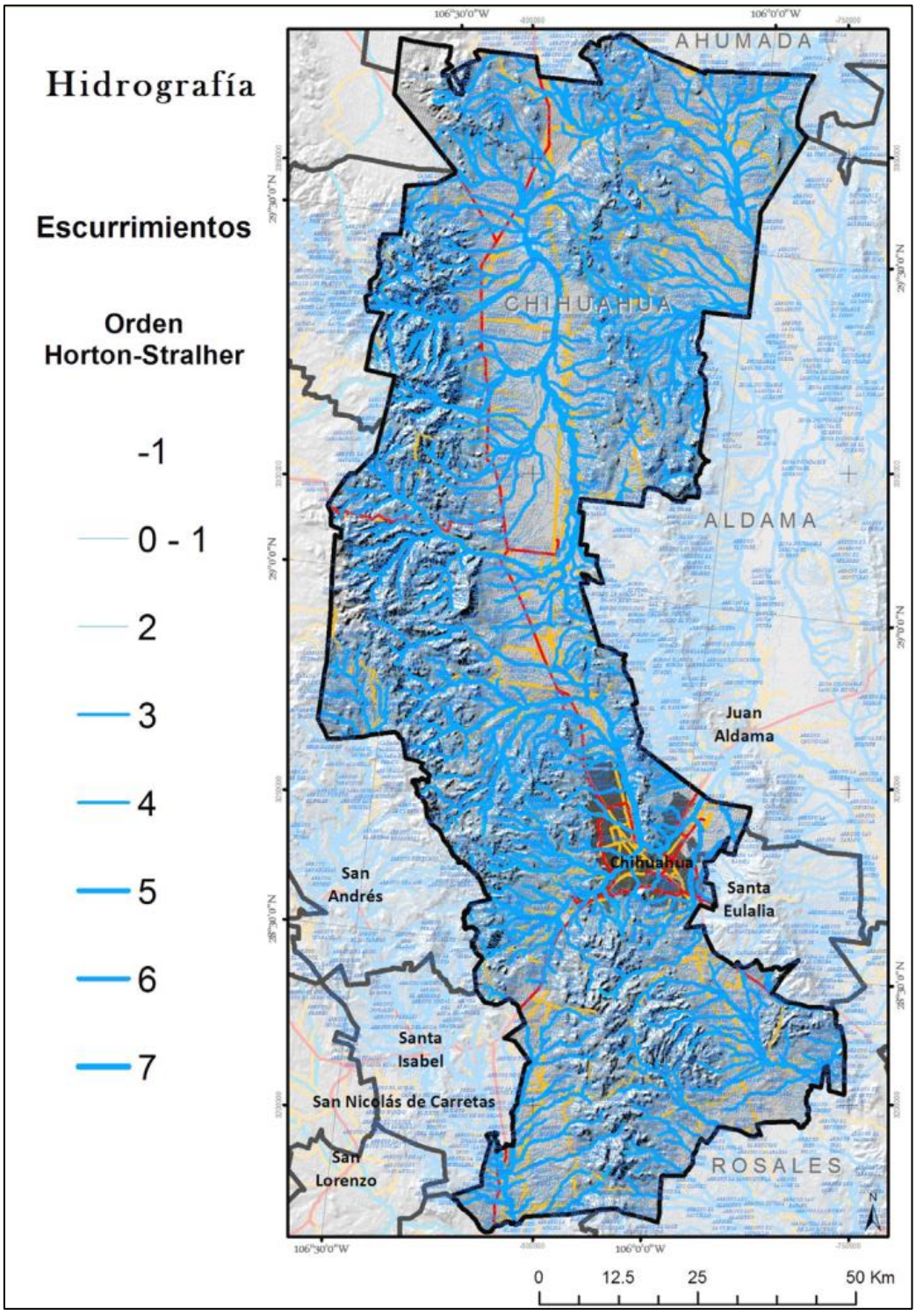


Figura 6. Hidrografía superficial general del Municipio de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2014) [7].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

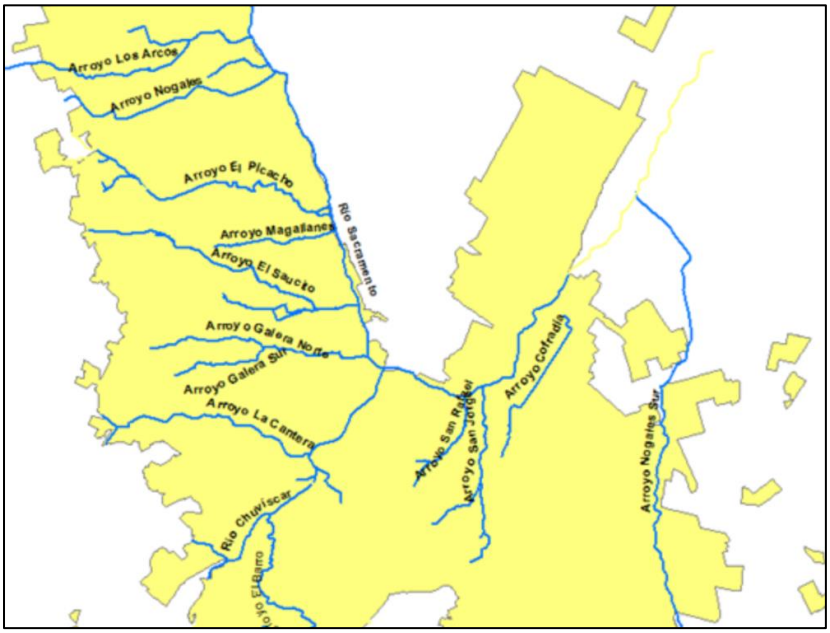


Figura 7. Principales arroyos de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2014) [7].

- **Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua del año 2022** [8]**:** En este estudio se identificaron 8 de los arroyos con mayores problemas de inundaciones, entre los que se incluyen: Arroyo Picacho, Arroyo Mimbre Sur, Arroyo Saucito, Arroyo Galera Norte, Arroyo Galera Sur, Arroyo La Cantera, Arroyo Malvinas y Arroyo Nogales Sur. Además, se menciona que la ciudad es atravesada por un total de 21 escurrimientos, que incluyen los dos ríos principales, el Sacramento y el Chuvíscar, así como 18 arroyos los cuales se pueden observar en la Figura 8.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

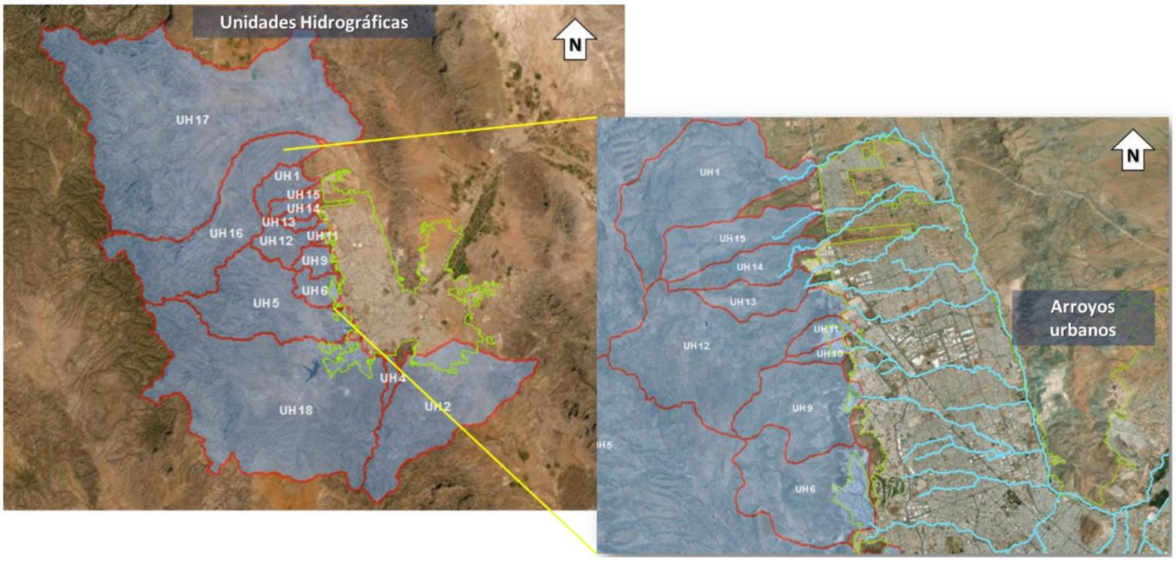


Figura 8. Principales cauces en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2022) [8].

De acuerdo con los estudios mencionados [6] [7] [8], realizados para conocer y evaluar las características hidrológicas del municipio de Chihuahua, y utilizando la plataforma de INEGI Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) (ver Figura 9), se determinó que la ciudad de Chihuahua cuenta con 28 escurrimientos principales, divididos en dos ríos y 26 arroyos principales (ver Figura 10).

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

A continuación, se enumeran los escurrimientos principales de la ciudad de Chihuahua:

1. Río Sacramento
2. Río Chuvíscar
3. Arroyo La Noria
4. Arroyo Mimbre Norte 1
5. Arroyo Mimbre Norte 2
6. Arroyo El Álamo
7. Arroyo Los Arcos
8. Arroyo Nogales Norte
9. Arroyo el Picacho
10. Arroyo Mimbre sur
11. Arroyo Magallanes
12. Arroyo Saucito 1
13. Arroyo Saucito 2
14. Arroyo Galera Norte
15. Arroyo Galera Sur
16. Arroyo La Cantera
17. Arroyo Plaza de Toros
18. Arroyo Los Temporales
19. Arroyo Las Malvinas
20. Arroyo El Barro
21. Arroyo La Canoa
22. Arroyo El Chamizal
23. Arroyo La Manteca
24. Arroyo San Rafael
25. Arroyo Mármol

26. Arroyo Concordia 1
27. Arroyo Concordia 2
28. Arroyo Nogales Sur

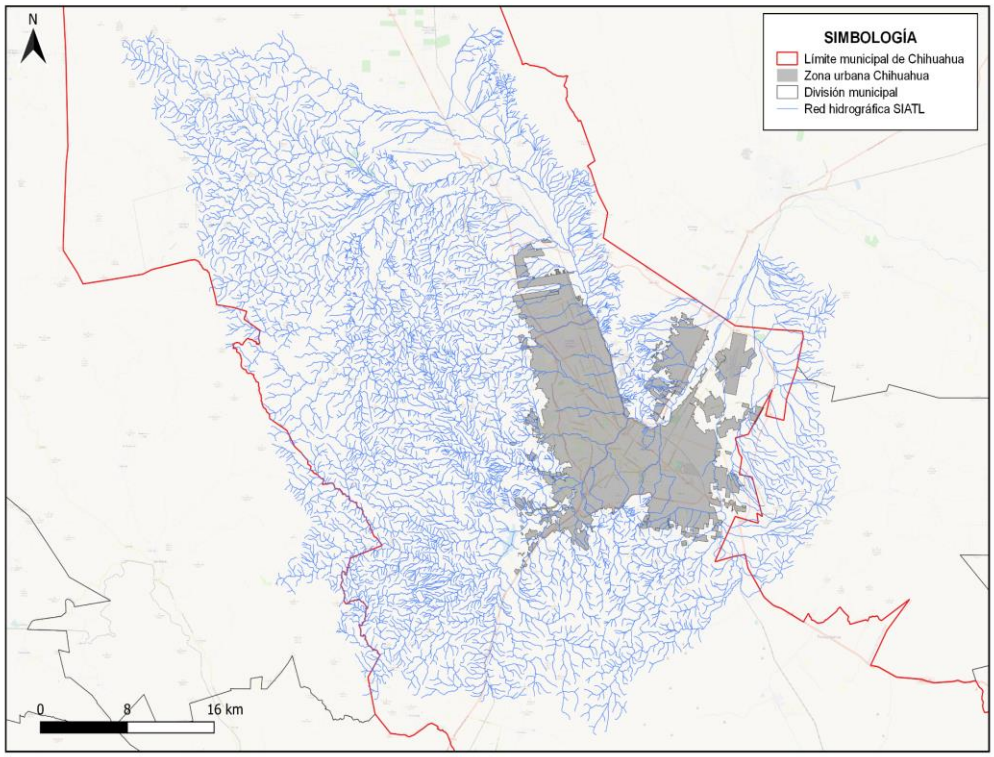


Figura 9. Red hidrográfica de la ciudad de Chihuahua. Elaboración propia con información del INEGI (2023) [(9)].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

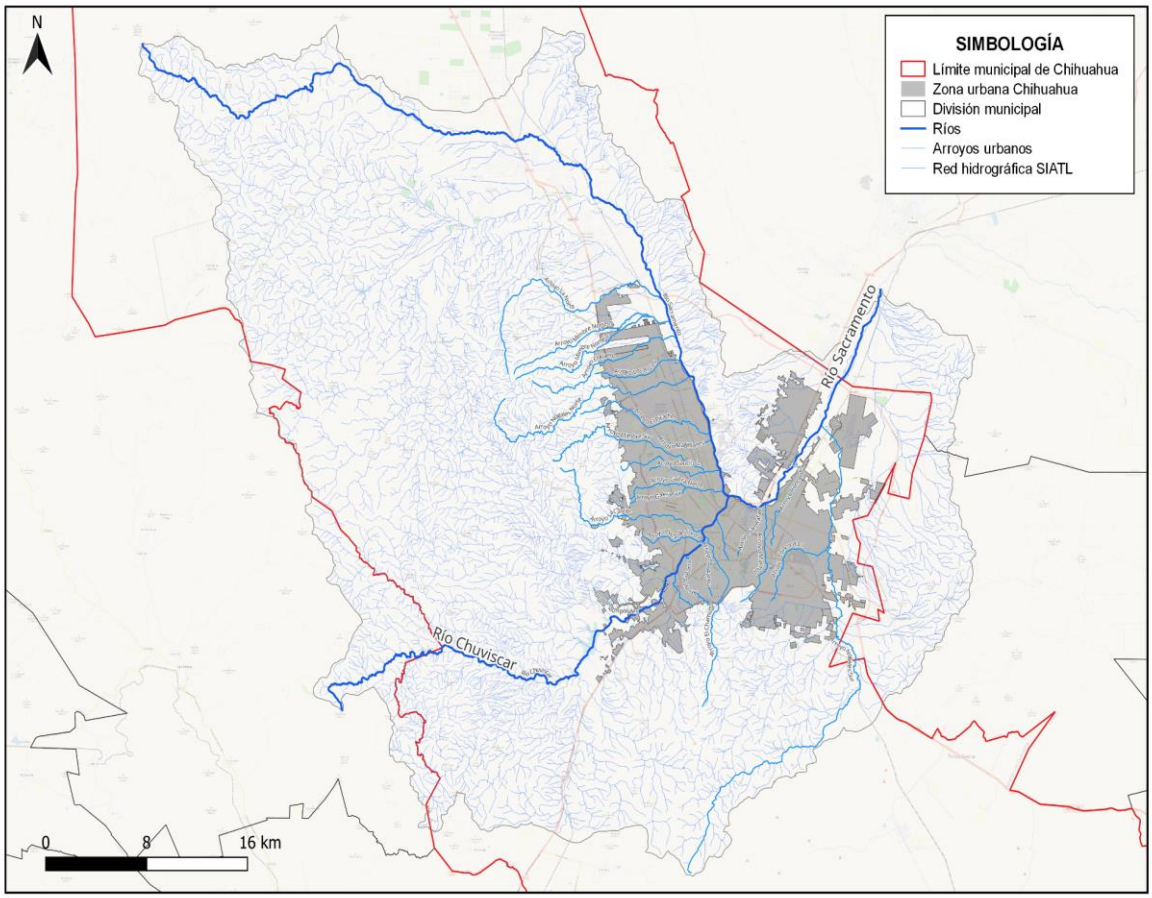


Figura 10. Ríos y arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2023) [9].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

3. Hidrografía

La Región Hidrológica Administrativa a la que pertenece la mayor parte del estado de Chihuahua es la correspondiente al Río Bravo VI de acuerdo con la nomenclatura de CONAGUA (Figura 11), localizándose el municipio de Chihuahua en la subregión RH24K, la cual abarca los escurrimientos de los ríos Chuvíscar y Sacramento hasta la boquilla de Aldama. El territorio del municipio de Chihuahua se inscribe en la vertiente occidental del Golfo de México, representada por el Río Conchos, que se configura como la principal arteria hidrológica del estado. Todas las corrientes de agua significativas en el municipio son afluentes del Río Conchos. El municipio forma parte de las Cuencas Cerradas del Norte, distribuyéndose en un 54.5% en la Cuenca de Casas Grandes y un 45.5% en la Cuenca Bravo-Conchos. La fuente del Río Conchos se encuentra en las montañas de la Sierra Tarahumara, fluyendo hasta desembocar en el Río Bravo, al que nutre como su principal afluente.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org



Figura 11. Representación de la Región Hidrológica del Río Bravo. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

El municipio de Chihuahua tiene su principal núcleo urbano en la ciudad del mismo nombre. La ciudad de Chihuahua se encuentra en el centro del estado de Chihuahua, ubicado al norte de México, en una región semiárida con pocos cuerpos de agua. La Figura 12 muestra la ubicación del núcleo urbano en la subregión hidrológica RH24K.

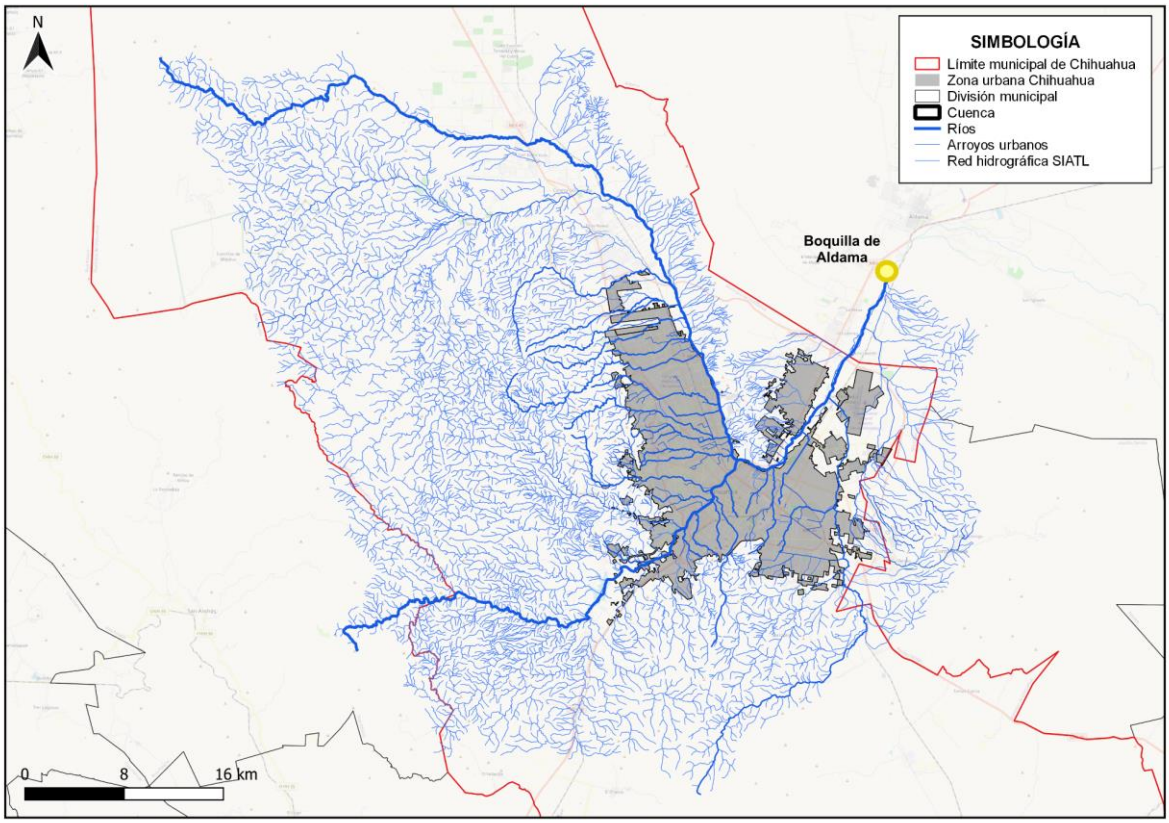


Figura 12. Chihuahua capital y subregión hidrológica RH24K. Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2023) [(9)].

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Chihuahua (2040) (10), la subregión RH24K está definida por las coordenadas 28° 35’ a 28° 51’ de latitud norte y 106° 03’ a 106° 17’ de longitud este, cubriendo una superficie de 2,682 km^2. Esta subregión incluye las subcuencas de los arroyos La Cantera, El Rejón, El Saucito, Picacho, El Mimbre Norte, El Mimbre Sur, Galeras Norte, Galeras Sur, Magallanes, Las Malvinas, El Barro, La Canica, Chamizal, La Manteca, San Jorge, Los Nogales Norte, Los Nogales Sur y Cacahuatal, entre otros de menor influencia. Políticamente, esta

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

subregión se encuentra principalmente dentro del municipio de Chihuahua, con una menor proporción en los municipios de Aldama y Aquiles Serdán.

Asimismo, la ciudad de Chihuahua pertenece a la cuenca del Río Conchos, la cual cubre el 30% del Estado. El cauce de dicho río nace en las montañas de la Sierra Tarahumara y desemboca en la cuenca del río Bravo, de la cual es el principal tributario [(10)], siendo parte de las cuencas incluidas en el tratado de aguas internacionales de 1944. lo largo del recorrido del río Conchos, el agua de esta cuenca es aprovechada en las tres zonas en las que se divide: cuenca alta, media y baja (ver Figura 13). El ecosistema de esta cuenca se caracteriza mayormente por ser semidesértico, con precipitaciones medias anuales en torno a los 350 mm.



Figura 13. Cuenca del río Conchos. Fuente: Programa de Manejo Integral de la Cuenca del Río Conchos (2006) [(11)].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Para este estudio, se han identificado como principales cuencas las que ejercen influencia en la zona urbana de Chihuahua, incluyendo las de los dos ríos que atraviesan la ciudad y confluyen en ella, el Chuvíscar y el Sacramento, así como la del arroyo Nogales Sur (Figura 14). La inclusión de este último se justifica por su importancia a pesar de ser intermitente y estar clasificado como arroyo en lugar de río. Como se puede observar en la Figura 14, de todos los arroyos urbanos, el arroyo Nogales Sur es notablemente el más extenso, abarcando un área considerable y, por ende, un caudal y volumen de escurrimiento significativos.

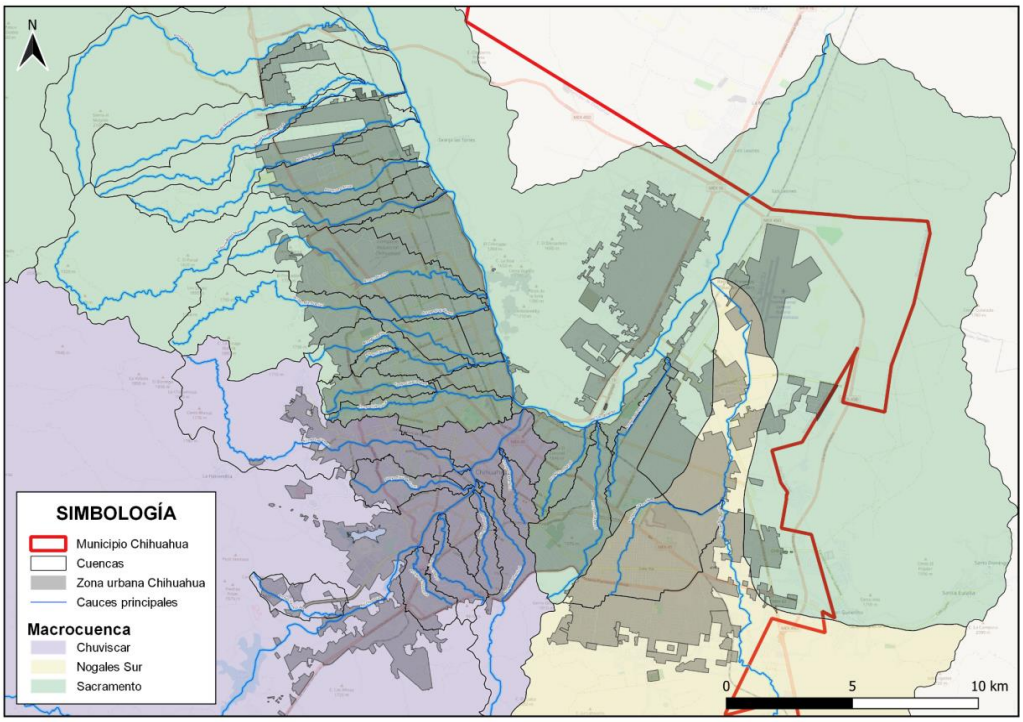


Figura 14. Cuencas principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

En el municipio de Chihuahua, las cuatro presas principales, Chuvíscar, El Rejón, Chihuahua y San Marcos, desempeñan un papel crucial en la regulación del caudal para el control de avenidas. Estas presas, también conocidas como "rompe-picos", tienen la función de almacenar agua durante períodos de lluvia intensa para luego liberarla de manera controlada, evitando así inundaciones en la zona urbana de Chihuahua. La Figura 15 proporciona una representación visual de la ubicación de estas presas en el municipio.

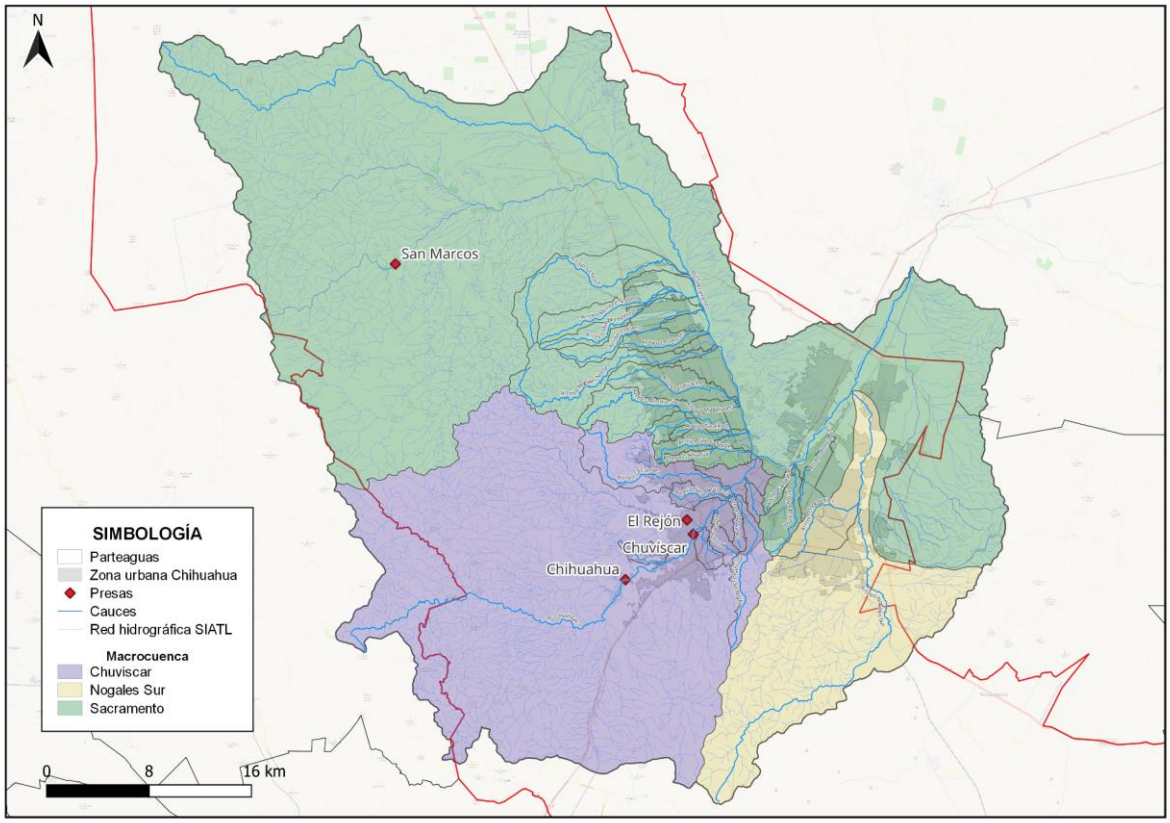


Figura 15. Presas en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Las dos primeras presas se encuentran dentro de la zona urbana y forman parte de la cuenca de aportación del río Chuvíscar. La Presa Chihuahua, en particular su cortina, está ubicada en una zona semiurbana y también forma parte de la cuenca del río Chuvíscar, aguas arriba de la Presa Chuvíscar. Por otro lado, la Presa San Marcos está situada fuera de la ciudad, al norte de esta, en la cuenca de aportación del río Sacramento. A continuación, se muestra la descripción de estas presas de [8]:

Presa El Rejón: se terminó de construir en el año de 1965, sobre el arroyo del mismo nombre. Consta de una cortina de 33 m de altura, una longitud de corona de 320 m y una capacidad máxima de descarga de 80 m^3/s. La obra de toma es tipo conducto con un gasto máximo de diseño de 35 m^3/s y la capacidad útil de la presa es de 6.6 millones de m^3, y una capacidad útil de NAMO de 6.19 millones de m^3.

Aun cuando uno de sus propósitos originales era el aprovechamiento del agua para uso urbano, en la actualidad su obra de toma no se encuentra en funcionamiento, por lo que sus usos principales son recreativos y control de avenidas. En la Figura 16 se puede observar una imagen del vertedor de la presa y en la Figura 17 una imagen del vaso.



Figura 16. Vertedor Presa El Rejón. Fuente: propia.



Figura 17. Vaso presa El Rejón. Fuente: propia.

Presa Chihuahua: ubicada sobre el río Chuvíscar, se terminó de construir en 1960, con el propósito de suministrar agua potable a la ciudad, riego y controlar las avenidas. Otros usos secundarios son recreativos, pecuarios y pesca. Consta de una cortina de 35 metros de altura y una longitud de corona de 817 m. La capacidad máxima de descarga de su obra de protección ante excedencias (vertedor) es 146 m³/seg. La obra de toma es de tubería de acero con un diámetro de 0.457 m (18”), controlada por una compuerta metálica y diseñada para gasto de 190 lt/seg. La cortina presenta filtraciones del orden de 3.24 lt/seg y la capacidad útil de la presa es de 32 millones de m³. Tiene un volumen al NAMO (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias) de 25.8420 hm^3 y al NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) de 37.7640 hm3. Registra un súper almacenamiento de 11.9220 hm^3 y un gasto máximo de diseño de 700 m^3/s.

La presa cuenta con el único vertedor tipo embudo del país, que actualmente se encuentra fuera de servicio. En la Figura 18 se puede observar una imagen del vertedor de la presa y en la Figura 19 una imagen del vaso.



Figura 18. Vertedor presa Chihuahua. Fuente: propia.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org



Figura 19. Vertedor tipo embudo de presa Chihuahua, fuera de operación. Fuente: propia.

Presa Chuvíscar: esta presa fue construida en 1910. Consta de una cortina, estructuralmente de tipo gravedad, de mampostería, de 20 m de altura y 250 m de longitud (Figura 20). El vertedor es de tipo cresta recta en la margen izquierda, con una longitud de cresta de 100 m, una elevación de 1483 msnm, tiene una capacidad máxima de descarga de 140 m³/s. Sus niveles y capacidad del vaso son: al NAME de 0.9040 hm^3 y al NAMO de 0.8100 hm^3. Asimismo, un volumen de azolves de 0.0200 hm^3 y un super-almacenamiento de 0.0940 hm^3. La obra de toma consta de ocho tuberías de acero de 1.0 m de diámetro, operadas por dos válvulas tipo compuerta, no se pueden operar por el azolve que las tiene cubiertas. Según información de la Unidad Municipal de Protección Civil de Chihuahua, el azolve de la presa se encuentra muy cercano al nivel del vertedero, por lo que la capacidad de almacenaje y de regulación de avenidas, repentinas es muy limitada.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Actualmente se encuentra prácticamente azolvada en su totalidad, manteniendo un nivel igual al NAMO prácticamente constante. Por lo que, aun ante de lluvias ligeras, el escurrimiento producto de las estas no se almacena y, sino que directamente vierte por la obra de excedencias. Por lo anterior, su capacidad de regulación de avenidas es muy limitada, pudiendo considerarse prácticamente inexistente.

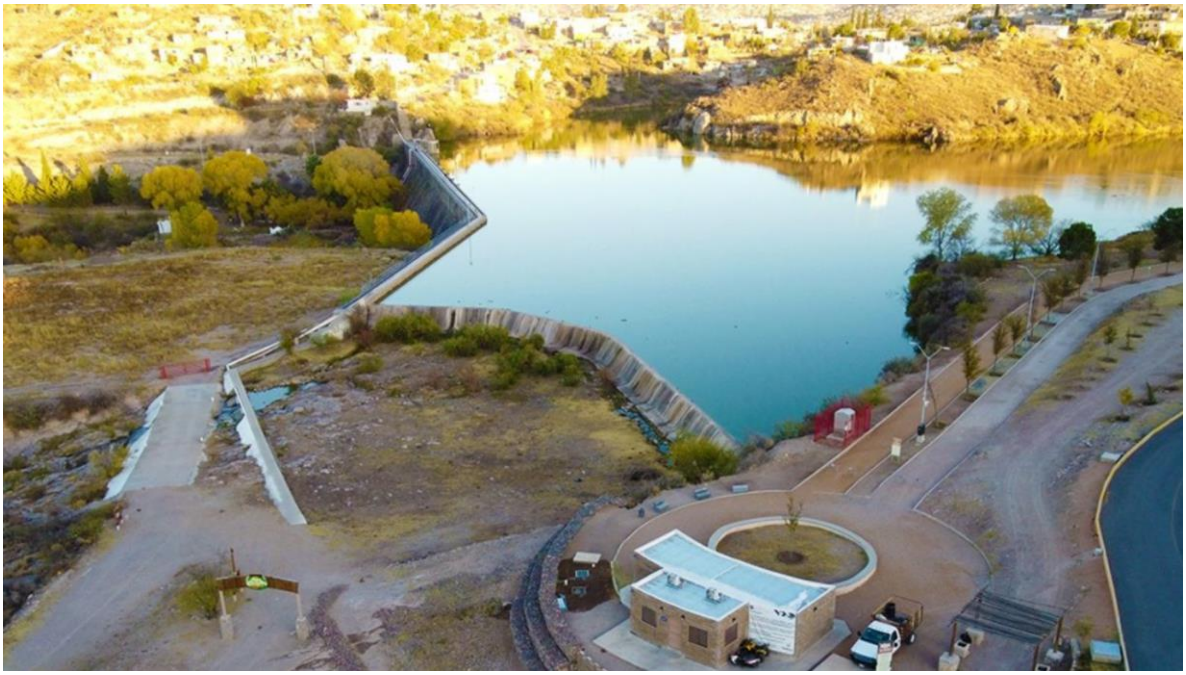


Figura 20. Cortina, vertedor y vaso de Presa Chuvíscar. Fuente: Parque Metropolitano Tres Presas [(12)].

Presa San Marcos: se construyó en 1905 y se encuentra fuera del área metropolitana del municipio de Chihuahua, pertenece a la cuenca Río Sacramento. Tiene un volumen de NAMO de 4.4500 hm^3 y de NAME 4.4500 hm^3. Fue construida para usos de riego y control de avenidas. Tiene un área de 89.50 km^2 y una cortina rígida construida con material de mampostería de 15 m, con una altura de 24 m. La elevación de la corona es de 1229.10 msnm, una longitud de 252 m. y 3.10 m de ancho. Cuenta con un dique de gavión de 2.30 m de altura y la elevación de la corona de 1229 m, con una longitud de 82 m. Tiene un vertedor tipo libre localizado en la margen izquierda de la cortina, con una capacidad de 73 m^3/s. El Volumen de azolve es de .02100 hm^3 y volumen útil de 4.4500 hm^3. Cuenta con una toma de tubería con la capacidad de 0.640 m^3/s y dos compuertas de .80 m de ancho.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Es importante mencionar que, las presas Chuvíscar, El Rejón y Chihuahua comparten características importantes, pudiendo considerarlas como un sistema de presas. Las tres se ubican en zona urbana o semi-urbana, forman parte de la cuenca del río Chuvíscar aguas arriba de que cruce la mayor parte de la zona urbana de la ciudad de Chihuahua, su principal función es el control de avenidas y forman parte del Parque Metropolitano Tres Presas (Figura 21).

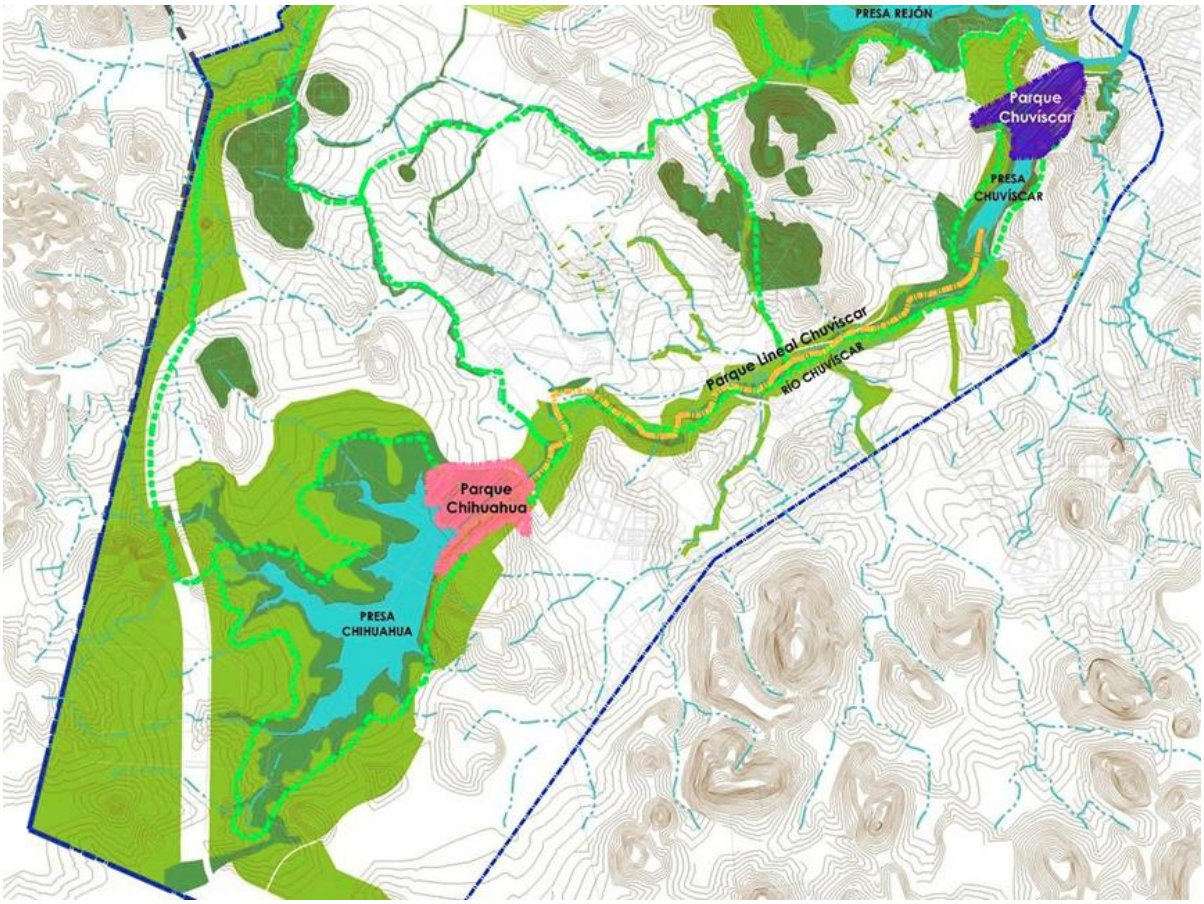


Figura 21. Mapa de Parque Metropolitano Tres Presas. Fuente: PDU 2040 [(10)].

Es importante mencionar que, desde aproximadamente el año 2012, ha habido un cambio significativo en el uso del suelo en las cuencas de estas presas debido a la urbanización (Figura 22). Este cambio en el uso del suelo tiene un impacto directo en la cantidad de caudal y volumen de agua que fluye, lo que podría resultar en que las obras de excedencia de las presas se queden subdimensionadas. Esto, a su vez, podría representar un riesgo significativo en caso de que estas obras no puedan manejar el exceso de agua en caso de inundaciones.

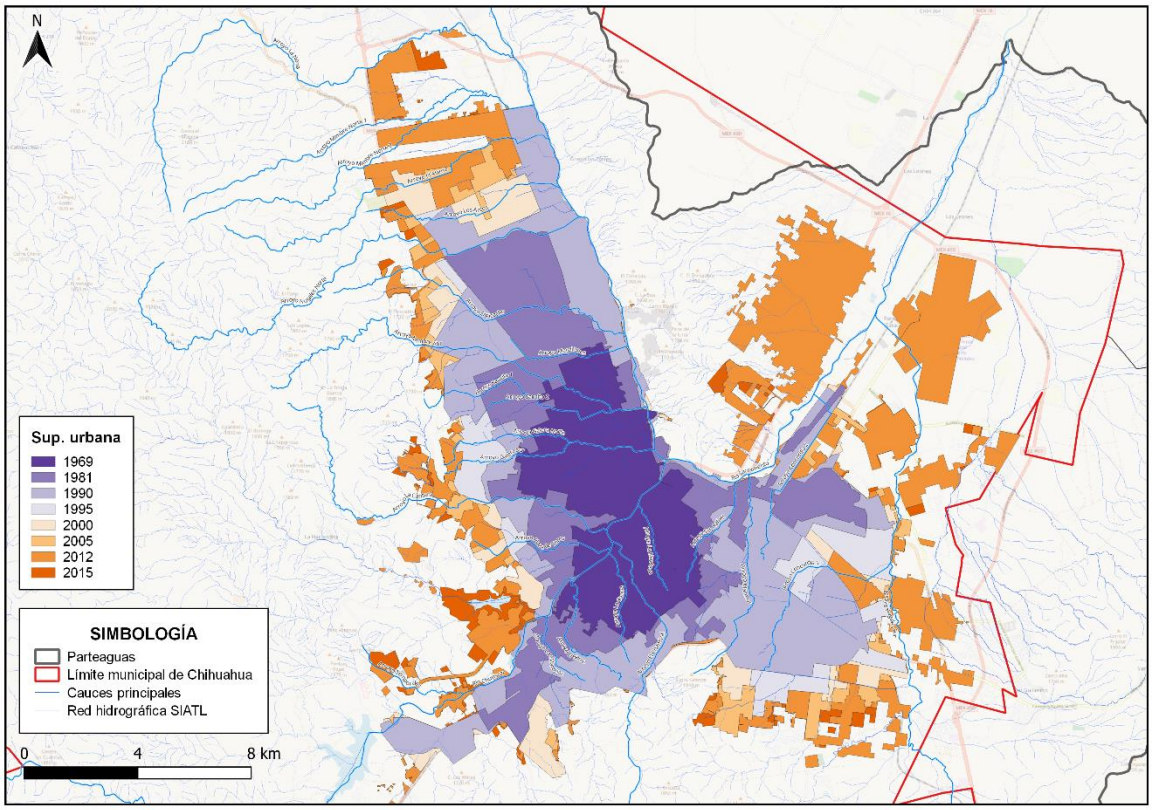


Figura 22. Crecimiento de superficie urbana de la ciudad de Chihuahua del año 1969 a 2015. Fuente: elaboración propia con datos del IMPLAN PDU (2040) [(10)].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

3.1. Delimitación de las Cuencas y Subcuencas

Para este informe, se llevó a cabo la delimitación de los parteaguas con el objetivo de definir las cuencas de aportación de los 2 ríos y 26 arroyos analizados. Para este fin, se utilizó información del archivo tipo ráster del Continuo Mexicano de Elevaciones (CEM) del INEGI (Figura 23) y del Modelo Digital de Terreno (MDT) del IMPLAN, generado a partir de un vuelo fotogramétrico de la ciudad en 2014 proporcionado por el mismo instituto (Figura 24).

Se priorizó el uso del MDT del IMPLAN debido a su mayor precisión espacial (1m*1m) en comparación con el CEM del INEGI (15m*15m). Sin embargo, en áreas donde no fue posible utilizar el MDT, se recurrió al CEM para delinear los parteaguas.

Con el fin de garantizar la exactitud de la delimitación de las cuencas, se llevó a cabo un trazado manual de los parteaguas de las 28 cuencas con la asistencia del Sistema de Información Geográfica (SIG) Quantum GIS (QGIS) versión 3.8.2. Este proceso se basó en los parteaguas considerados por la plataforma SIATL. Las Figuras 25 y 26 presentan los parteaguas de las cuencas y arroyos con mayor influencia.

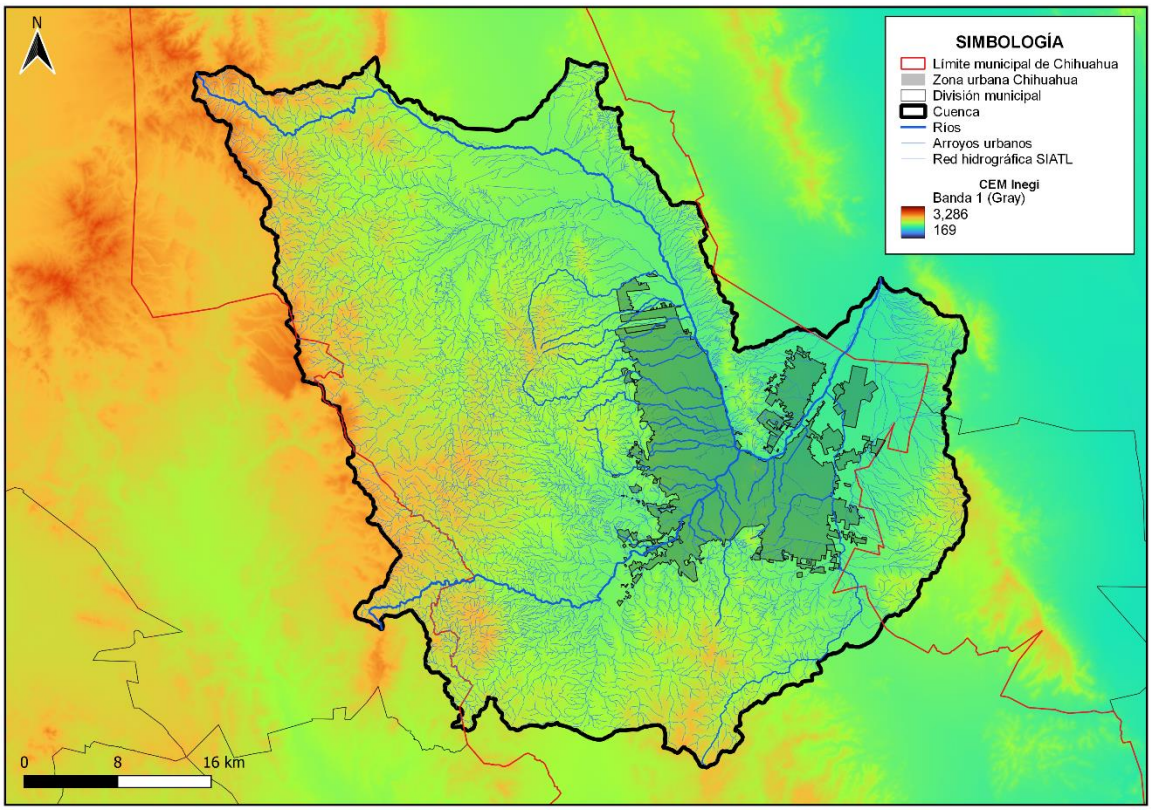


Figura 23. Modelo Digital de Elevaciones de INEGI (CEM). Fuente: INEGI (2023) [13].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

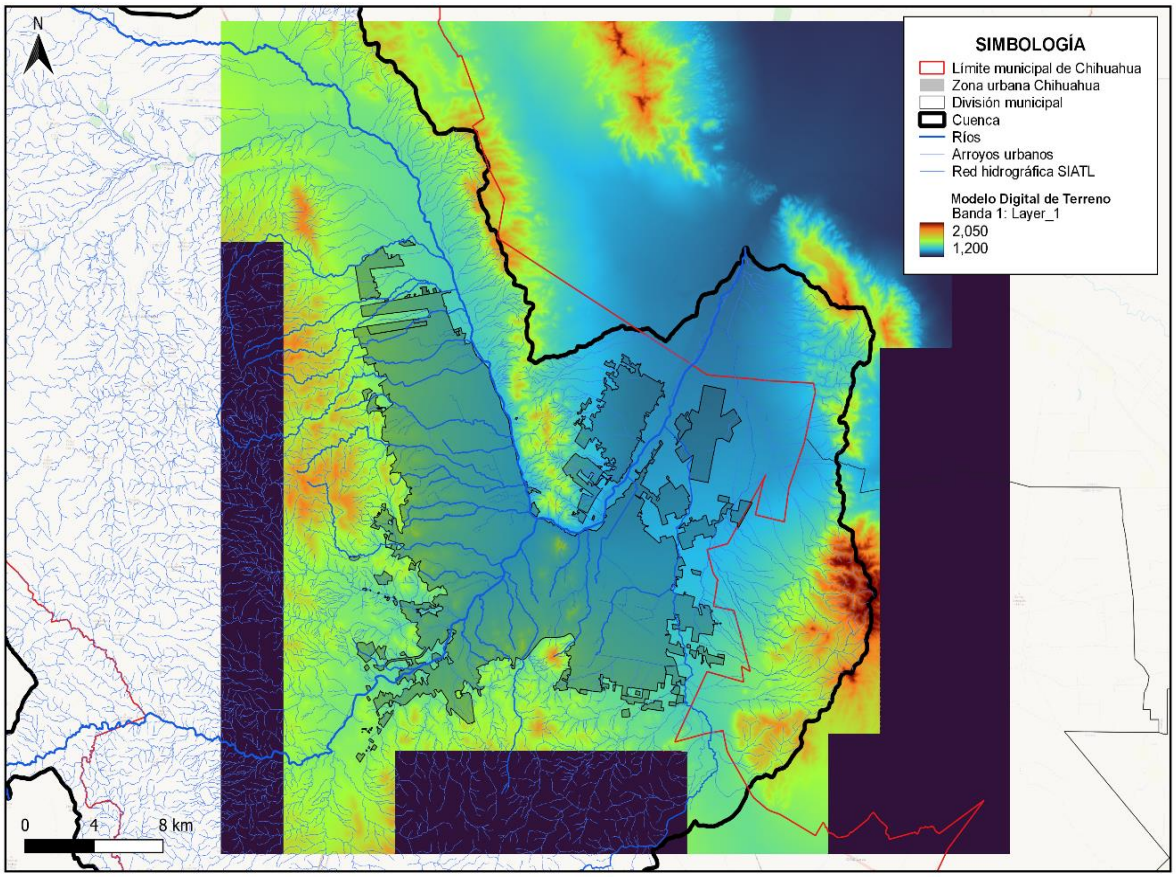


Figura 24. Modelo Digital de Terreno del Implan. Fuente: IMPLAN (2014).

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

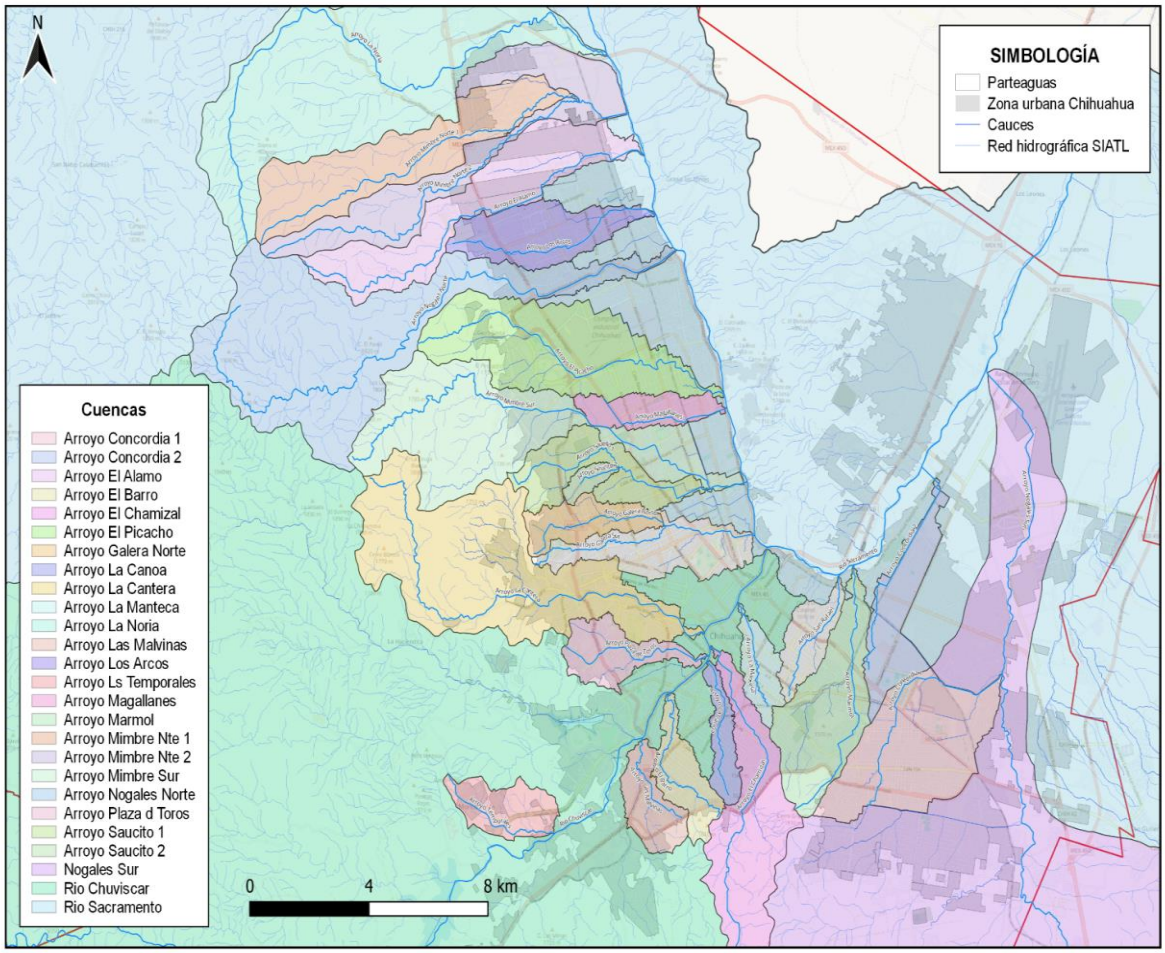


Figura 25. Cuencas de las principales ríos y arroyos que afectan el área urbana de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

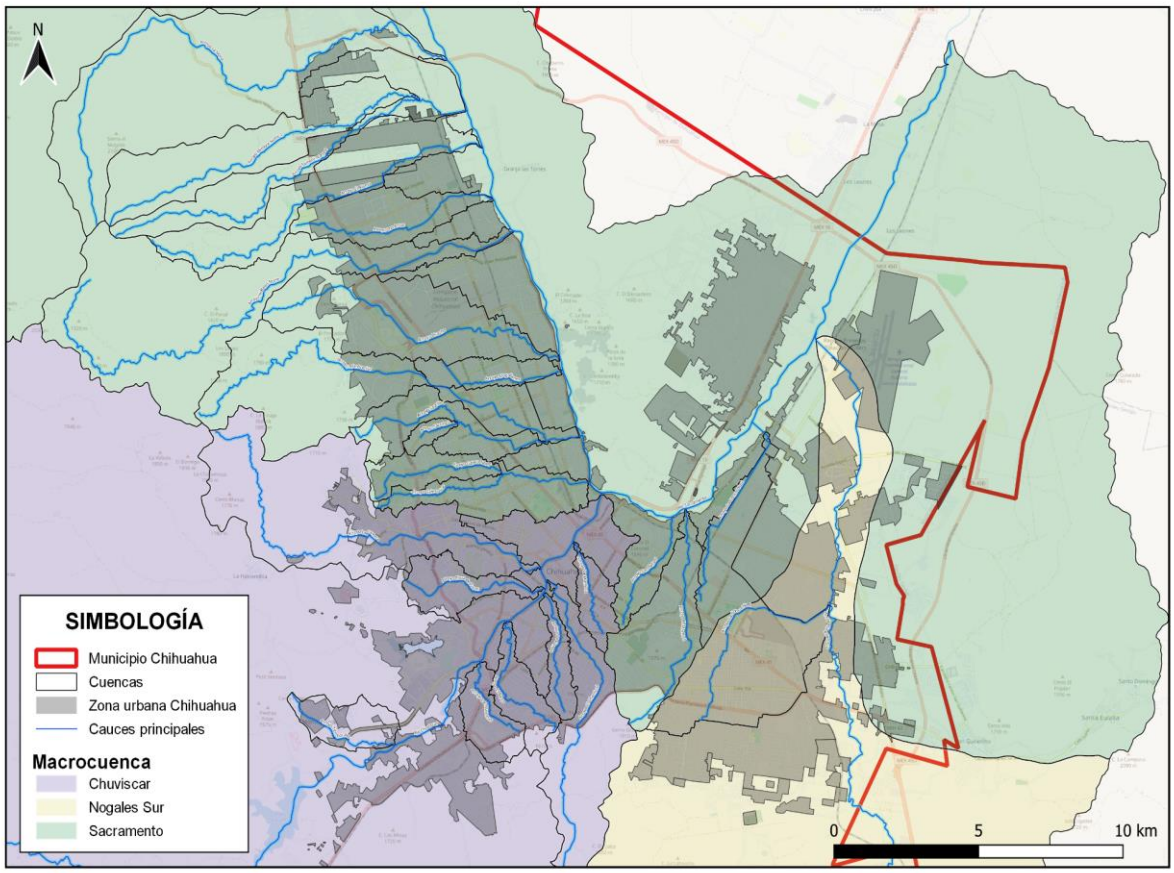


Figura 26. Cuencas con incidencia en el área urbana de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

4. Análisis de Precipitación

Se realizó un análisis detallado de la precipitación en la zona de estudio como parte integral del estudio hidrológico. Este análisis tenía como objetivo principal determinar la intensidad de tormenta (en mm/hr) para diferentes periodos de retorno, lo que es crucial para el cálculo de los caudales máximos esperados en cada cauce durante eventos extremos.

Además, se calculó la precipitación acumulada anual promedio (en mm) en cada cuenca, lo que permite evaluar el volumen total de agua pluvial disponible en la región. Esta información es fundamental para comprender la disponibilidad y el potencial hídrico en cada área, lo que a su vez es vital para la planificación y gestión adecuada de los recursos hídricos en la zona de estudio.

4.1. Histórico de Precipitación

Existe diversa información disponible respecto a la zona de estudio [(14)], se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo con el fin de determinar la mejor información a utilizar. Actualmente existen cuatro fuentes de información en la zona de estudio:

1. **Isoyetas de precipitación Cenapred-UNAM**: elaboradas en el 2006 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM con el fin de ser usadas para la creación de mapas y atlas de riesgo por inundaciones en el país. La información utilizada para su elaboración fue obtenida del *CLICOM* del SMN correspondiente a 2,243 estaciones pluviométricas en todo el país con más de 20 años de datos, en el estado de Chihuahua se usaron 58 estaciones. Se identificaron los valores máximos diarios de cada estación, se validaron dichos valores con lo que se creó una regionalización de cuencas homogéneas y mediante un análisis estadístico de funciones de distribución de probabilidad, extrapolaron los datos normalizados para diferentes periodos de retorno, posteriormente aplicaron el método de Chen Cheng-Lung y distribuyeron los datos de manera espacial con una resolución de 1km^2 apoyándose en un sistema de información geográfica [(15)].

2. **Isoyetas de precipitación Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):** fueron creadas con base en información pluviográfica y de alturas máximas de lluvia de las estaciones pluviométricas del país, cubriendo aquellas regiones donde la información es muy escasa [(16)]. Sin embargo, no se menciona que dependencia las realizó, la cantidad de estaciones utilizadas, periodos de registro, técnicas de manejo de datos ni método de creación de las isoyetas.

3. **Red de EMAs de la zona de estudio:** conformada por 10 EMAs de la UACh y 1 del aeropuerto General Roberto Fierro Villalobos (CUU). Cuentan con datos de altura de precipitación acumulada (mm) a cada 10 minutos, la del aeropuerto tiene registros desde 1973 (42 años de registro) y las demás a partir del 2015 o posterior (9 años de registro o menos) [17] (Figura 27).

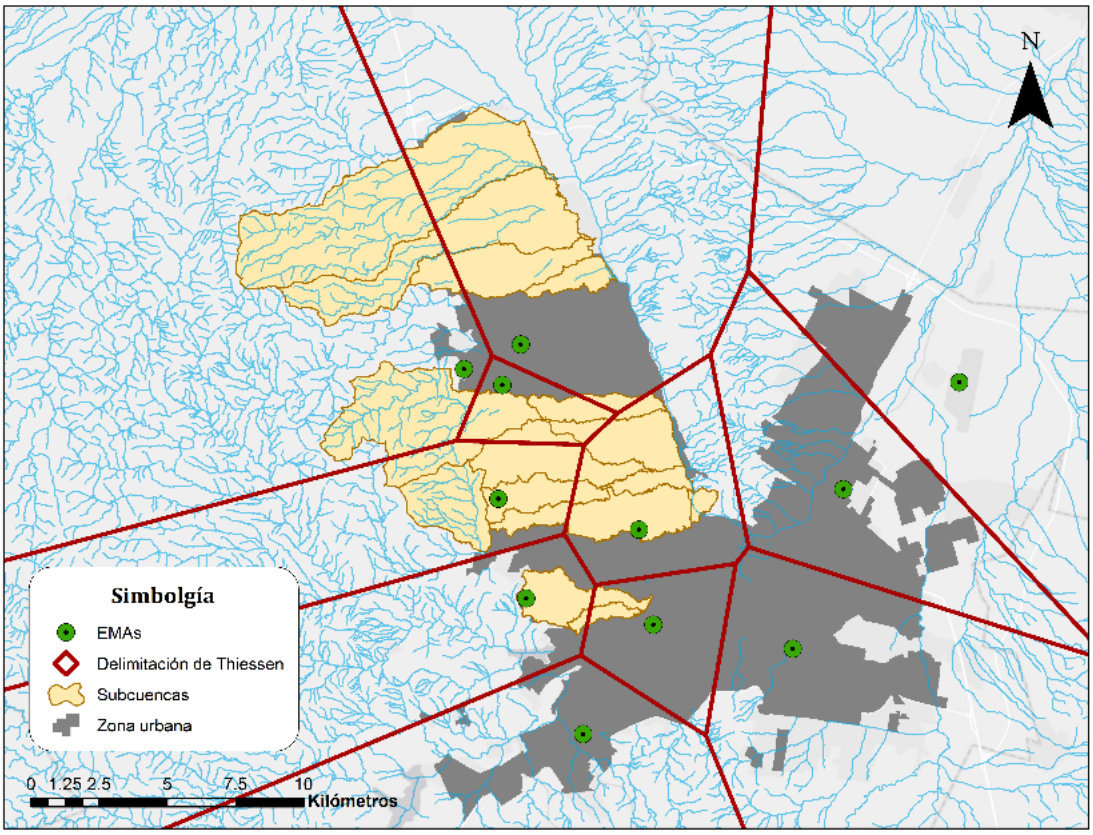


Figura 27. Red de EMAs de zona de estudio. Fuente: Hernández-Samaniego (2018) [14].

4. **Red climatológica convencional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), CONAGUA:** cuenta con cinco estaciones climatológicas convencionales cerca de la zona de estudio con información de altura de precipitación diaria acumulada (mm) de 1960 a 2023 (64 años de registro).

Las diversas fuentes de información analizadas proporcionan una visión completa de la precipitación en la zona de estudio. Sin embargo, la fiabilidad de las isoyetas SCT es incierta debido a la falta de detalles sobre su elaboración. Además, la red de EMAs no cuenta con suficientes años de registro para la creación de la tormenta de diseño, siendo necesario al menos 10 años de datos [18].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

En el caso de las isoyetas Cenapred-UNAM, a pesar de utilizar información de fuente oficial y seguir un proceso de manejo de datos adecuado, no se dispone de información detallada sobre las estaciones cercanas consideradas para su elaboración, y se basaron únicamente en 20 años de registro [(3)].

Por lo anterior, se seleccionó la información de la red de estaciones climatológicas convencionales de CONAGUA, que cuenta con la mayor cantidad de años de registro en la zona de estudio y es una fuente oficial confiable.

Las estaciones climatológicas utilizadas, su clave, coordenadas y años de registro se muestran en la Tabla 1, y su ubicación se muestra en la Figura 28.

Tabla 1. Estaciones climatológicas convencionales. Fuente: elaboración propia.

Estación	Clave Conagua	Clave CLICOM	Latittud	Longitud	Años de registro
Chihuahua (Observatorio)	CIJCH	-	28.67077°	-106.0306	64
La Mesa	C08270	-	28.77306°	-105.9636°	62
Majálca	C08099	-	28.80324°	-106.4859°	55
El Rejón	ERECH	-	28.61333°	-106.1199°	50
Presa Chihuahua	-	8270	28.56914	-106.1663°	51

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

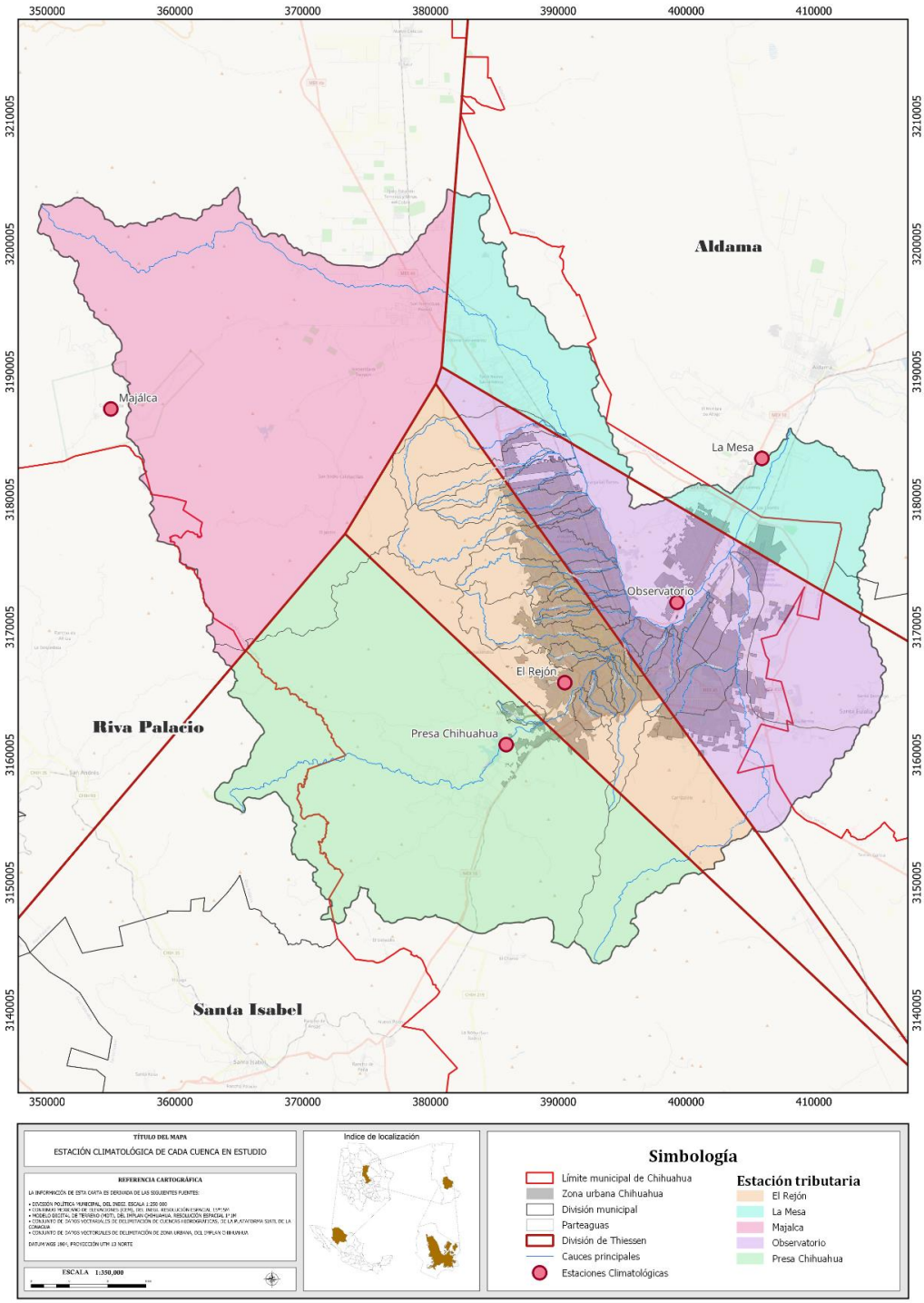


Figura 28. Estaciones climatológicas convencionales de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA [19] [20].

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua | Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820 | https://implanchihuahua.org

Se seleccionaron las estaciones mencionadas en la Tabla 1 debido a la distribución espacial. En el caso de la estación Majálca, se encuentra a 50km de la parte alta de las cuencas de aportación, sin embargo, se seleccionó debido a que por su ubicación serrana presenta precipitaciones similares a la zona serrana de las cuencas de aportación de la zona de estudio.

Los datos de las estaciones fueron obtenidos de la página de Internet de Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la subdirección General Técnica de la Conagua [(20)].

De cada estación se obtuvo el valor de precipitación acumulada en milímetros de lluvia (mm) de cada día. Posteriormente mediante un manejo de datos en una hoja de cálculo se obtuvieron para cada año y para cada una de las 5 estaciones, dos datos: precipitación acumulada anual y el mayor valor de precipitación acumulada en un día. En la Tabla 2 y 3 se muestran dichos valores.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Tabla 2. Precipitación máxima diaria de cada año (mm). Fuente: elaboración propia.

Año	Chihuahua	La Mesa	Majalca	El Rejón	P. Chihuahua
1960	25.82	-	12.20	-	-
1961	31.14	14.10	15.60	-	7.50
1962	23.07	12.90	26.10	-	21.00
1963	36.68	18.50	60.00	-	42.00
1964	23.66	18.90	28.00	-	27.50
1965	33.20	21.60	60.00	-	52.50
1966	83.85	24.20	50.00	-	116.50
1967	48.79	19.00	55.00	-	34.00
1968	61.22	31.60	49.00	-	73.00
1969	51.20	32.80	40.00	55.00	44.00
1970	37.62	27.10	45.00	36.00	28.00
1971	29.06	19.90	52.00	28.50	58.00
1972	33.43	23.00	50.00	30.00	25.50
1973	37.07	25.50	110.00	43.00	56.50
1974	44.87	54.70	46.00	51.00	65.00
1975	38.26	26.60	46.00	27.00	37.50
1976	49.53	80.00	53.00	74.00	93.00
1977	27.75	58.00	35.40	30.00	40.00
1978	37.28	33.00	80.00	70.00	65.00
1979	70.06	70.00	27.50	65.00	73.00
1980	60.23	40.00	120.00	63.00	39.50
1981	83.61	66.00	64.00	65.00	50.50
1982	24.55	36.00	20.10	38.00	32.00
1983	30.40	25.00	16.10	17.00	40.00
1984	22.20	35.00	21.30	21.50	45.00
1985	53.04	47.00	40.80	50.00	46.00
1986	54.40	80.00	24.50	55.00	51.00
1987	51.80	48.00	25.40	15.50	69.50
1988	35.00	68.00	37.30	-	31.50
1989	65.90	98.50	34.60	-	50.50
1990	80.00	45.00	47.00	-	101.00
1991	37.80	35.00	24.40	-	51.00
1992	44.30	26.00	24.10	36.00	40.80
1993	28.20	32.00	28.40	-	30.20
1994	32.20	14.90	13.30	24.30	20.00
1995	112.90	12.50	77.20	86.50	88.40
1996	85.30	68.00	35.10	77.60	57.70
1997	32.60	20.00	21.50	32.00	28.60
1998	30.40	31.00	23.30	28.90	30.50
1999	71.30	23.00	29.40	55.00	40.00
2000	60.00	27.00	34.20	68.00	39.50
2001	61.00	25.00	26.00	12.30	63.20
2002	33.00	22.50	50.00	43.60	43.60
2003	45.00	70.20	45.00	62.50	91.50
2004	91.40	22.50	63.00	91.50	59.10
2005	62.10	37.00	52.00	59.10	45.50
2006	27.00	46.00	55.00	27.00	29.60
2007	28.20	42.00	66.00	29.60	59.10
2008	47.50	36.00	45.00	59.10	27.50
2009	26.70	63.00	14.00	27.50	60.00
2010	60.00	33.00	27.20	60.00	38.80
2011	38.80	34.00	42.00	16.90	38.80
2012	64.70	36.00	36.00	64.70	-
2013	92.00	63.00	69.00	92.00	-
2014	50.50	63.00	80.00	48.80	-
2015	35.00	42.00	78.00	35.00	-
2016	56.40	33.00	100.00	56.40	-
2017	54.90	44.20	55.00	54.90	-
2018	24.40	58.00	56.00	24.40	-
2019	44.80	36.50	24.00	44.80	-
2020	23.80	58.00	38.00	23.80	-
2021	55.20	57.00	38.60	55.20	-
2022	31.40	38.50	0.00	31.20	-
2023	21.30	-	-	21.30	-

Tabla 3. Precipitación acumulada de cada año (mm). Fuente: elaboración propia.

Promedio	395.98	304.23	411.12	361.66	411.57
Año	Chihuahua	La Mesa	Majalca	El Rejón	P. Chihuahua
1960	309.84	-	218.10	-	-
1961	297.94	151.10	272.40	-	21.50
1962	381.99	178.00	326.80	-	380.50
1963	485.29	210.10	343.10	-	553.50
1964	278.54	243.20	119.30	-	297.50
1965	250.04	196.90	188.00	-	381.00
1966	486.89	168.00	219.50	-	523.00
1967	453.06	235.90	428.30	-	414.00
1968	426.81	277.20	677.80	-	676.50
1969	357.93	475.50	392.60	324.50	292.00
1970	277.20	230.40	440.60	252.20	315.50
1971	315.35	296.10	636.00	308.00	431.50
1972	525.76	351.90	911.60	533.20	510.00
1973	411.35	488.60	383.00	385.10	475.50
1974	451.80	305.50	212.00	479.00	573.00
1975	317.02	293.30	154.00	259.80	294.00
1976	480.17	211.70	178.00	578.50	602.00
1977	344.14	407.40	300.30	339.00	356.50
1978	506.40	235.10	294.00	636.00	623.50
1979	361.26	448.70	327.20	351.50	473.00
1980	471.45	295.10	424.00	441.00	447.00
1981	660.08	414.90	222.00	614.50	565.00
1982	214.47	552.20	306.60	276.00	245.50
1983	361.84	353.60	394.30	166.50	309.50
1984	444.17	408.40	510.50	404.10	492.30
1985	469.47	556.70	423.20	353.00	434.00
1986	668.90	425.50	574.70	727.90	752.60
1987	639.20	467.00	431.70	76.80	569.10
1988	292.30	209.10	390.40	-	356.80
1989	251.45	530.30	310.60	-	328.50
1990	510.47	272.90	536.50	-	905.40
1991	499.24	464.30	414.50	-	686.00
1992	500.24	195.30	340.20	299.50	412.90
1993	266.51	166.60	356.80	-	235.00
1994	170.30	221.20	222.20	154.81	183.10
1995	352.24	149.40	296.40	338.83	273.90
1996	517.95	269.00	390.50	526.19	421.00
1997	493.73	229.80	317.70	433.47	274.90
1998	344.09	203.10	268.10	274.88	199.40
1999	397.41	143.60	338.10	409.57	268.40
2000	504.11	216.80	383.50	452.29	144.50
2001	269.21	216.80	276.90	78.99	326.20
2002	495.20	215.00	518.00	316.70	392.70
2003	354.82	331.20	427.60	315.93	593.70
2004	640.15	281.50	615.10	665.62	708.20
2005	431.90	299.80	723.50	455.18	386.90
2006	330.87	277.00	499.50	334.81	257.00
2007	298.00	254.20	501.00	278.70	499.60
2008	488.90	404.50	341.50	484.98	338.60
2009	316.23	341.00	308.40	304.25	419.50
2010	488.12	186.10	418.90	410.36	184.80
2011	180.38	359.60	311.30	118.12	183.92
2012	344.78	146.00	417.80	342.91	-
2013	563.70	280.00	673.50	542.08	-
2014	399.16	501.20	894.50	144.21	-
2015	372.33	296.50	824.00	337.62	-
2016	563.39	290.30	754.00	534.07	-
2017	362.75	491.60	718.00	366.65	-
2018	293.11	314.40	695.50	285.81	-
2019	395.17	270.10	225.51	392.55	-
2020	162.83	434.97	587.00	162.53	-
2021	410.56	284.12	294.15	412.16	-
2022	401.31	236.96	0.00	370.98	-

4.2. Manejo de Información de las Estaciones Climatológicas

Antes de proceder al análisis de los datos de las estaciones climatológicas, se realizó la prueba de homogeneidad de Helmert en la estación Chihuahua (Observatorio) con el objetivo de verificar la coherencia de la serie de datos. Esta prueba determina si los datos pertenecen a una única serie homogénea y pueden ser tratados como una sola muestra para análisis posteriores. La estación fue reubicada en 1982 a una distancia de 5.4 km en el plano horizontal y 33 m en el plano vertical, lo cual está dentro del rango recomendado por el Servicio de Datos Ambientales de Estados Unidos (U.S.E.D.S.): menos de 8 km en el plano horizontal y 30 m en el plano vertical para considerar la homogeneidad de la serie de datos [(18)].

Prueba de estadística de Helmert

Esta prueba permite identificar "saltos" en la serie de datos respecto a su promedio o tendencia. Consiste en un análisis del signo de las desviaciones de cada evento de la serie respecto a su valor medio, identificando secuencias (*S*), cuando la desviación de cierto signo es seguida por otra del mismo signo, y cambios (C), cuando la desviación es seguida por otra de signo contrario. Cada año, excepto el primero, definirá un cambio o secuencia. Entre menor sea la diferencia entre el número de Cambios y Secuencias, mayor será la homogeneidad. Al comparar la diferencia entre Cambios y Secuencias, la serie será homogénea o no según la ecuación ***Ec. 1***, dónde *n* es el número de datos analizados:

$$S - C \leq \pm\sqrt{n-1} \qquad \textit{Ec. 1}$$

En total se tuvieron 28 cambios y 22 series:

$$28 - 22 \leq \pm\sqrt{51-1}$$

$$6 \leq \pm 7.07$$

Debido a que se cumple la relación se determina una muestra homogénea.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Datos faltantes

Se completaron las series de las cuatro estaciones que presentaban registros incompletos, aplicando la técnica de Relación Normalizada aplicando la ***Ec. 2*** [18].

$$P_x = \frac{1}{n} * \sum_{1}^{n} \frac{N_x}{N_i} * P_c \qquad \textit{Ec. 2}$$

Donde:

- P_x= Dato que se desea completar, en este caso la precipitación diaria máxima anual o acumulada de la estación faltante;
- n= Cantidad de datos con los que se va a completar; es decir, con cuantas estaciones auxiliares se va a completar la estación faltante;
- N_x= Valor promedio de la serie de datos de la estación faltante;
- N_i= Valor promedio de una estación auxiliar;
- P_c= Valor de la estación auxiliar en el año o mes, según sea el caso, en el que se quiere completar el dato.

Los datos completados de precipitación máxima diaria anual se muestran en la Tabla 4 y de manera gráfica en la Figura 29.

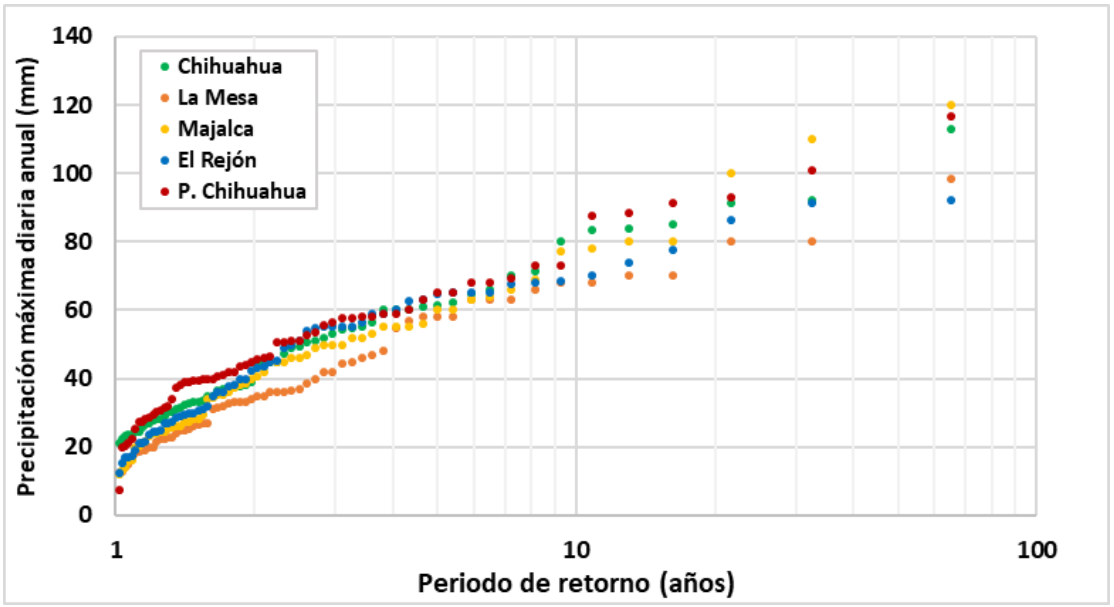


Figura 29. Precipitación máxima diaria de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Precipitación máxima diaria de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia.

Precipitación máxima diaria de cada año (mm)					
Año	Chihuahua	La Mesa	Majalca	El Rejón	P. Chihuahua
1960	25.82	**16.40**	12.20	**18.96**	**20.34**
1961	31.14	14.10	15.60	**17.49**	7.50
1962	23.07	12.90	26.10	**21.05**	21.00
1963	36.68	18.50	60.00	**39.72**	42.00
1964	23.66	18.90	28.00	**24.94**	27.50
1965	33.20	21.60	60.00	**42.21**	52.50
1966	83.85	24.20	50.00	**67.64**	116.50
1967	48.79	19.00	55.00	**39.65**	34.00
1968	61.22	31.60	49.00	**53.86**	73.00
1969	51.20	32.80	40.00	55.00	44.00
1970	37.62	27.10	45.00	36.00	28.00
1971	29.06	19.90	52.00	28.50	58.00
1972	33.43	23.00	50.00	30.00	25.50
1973	37.07	25.50	110.00	43.00	56.50
1974	44.87	54.70	46.00	51.00	65.00
1975	38.26	26.60	46.00	27.00	37.50
1976	49.53	80.00	53.00	74.00	93.00
1977	27.75	58.00	35.40	30.00	40.00
1978	37.28	33.00	80.00	70.00	65.00
1979	70.06	70.00	27.50	65.00	73.00
1980	60.23	40.00	120.00	63.00	39.50
1981	83.61	66.00	64.00	65.00	50.50
1982	24.55	36.00	20.10	38.00	32.00
1983	30.40	25.00	16.10	17.00	40.00
1984	22.20	35.00	21.30	21.50	45.00
1985	53.04	47.00	40.80	50.00	46.00
1986	54.40	80.00	24.50	55.00	51.00
1987	51.80	48.00	25.40	15.50	69.50
1988	35.00	68.00	37.30	**45.26**	31.50
1989	65.90	98.50	34.60	**65.34**	50.50
1990	80.00	45.00	47.00	**68.32**	101.00
1991	37.80	35.00	24.40	**37.59**	51.00
1992	44.30	26.00	24.10	36.00	40.80
1993	28.20	32.00	28.40	**30.57**	30.20
1994	32.20	14.90	13.30	24.30	20.00
1995	112.90	12.50	77.20	86.50	88.40
1996	85.30	68.00	35.10	77.60	57.70
1997	32.60	20.00	21.50	32.00	28.60
1998	30.40	31.00	23.30	28.90	30.50
1999	71.30	23.00	29.40	55.00	40.00
2000	60.00	27.00	34.20	68.00	39.50
2001	61.00	25.00	26.00	12.30	63.20
2002	33.00	22.50	50.00	43.60	43.60
2003	45.00	70.20	45.00	62.50	91.50
2004	91.40	22.50	63.00	91.50	59.10
2005	62.10	37.00	52.00	59.10	45.50
2006	27.00	46.00	55.00	27.00	29.60
2007	28.20	42.00	66.00	29.60	59.10
2008	47.50	36.00	45.00	59.10	27.50
2009	26.70	63.00	14.00	27.50	60.00
2010	60.00	33.00	27.20	60.00	38.80
2011	38.80	34.00	42.00	16.90	38.80
2012	64.70	36.00	36.00	64.70	**55.51**
2013	92.00	63.00	69.00	92.00	**87.57**
2014	50.50	63.00	80.00	48.80	**68.20**
2015	35.00	42.00	78.00	35.00	**53.37**
2016	56.40	33.00	100.00	56.40	**68.06**
2017	54.90	44.20	55.00	54.90	**58.17**
2018	24.40	58.00	56.00	24.40	**46.56**
2019	44.80	36.50	24.00	44.80	**41.77**
2020	23.80	58.00	38.00	23.80	**41.22**
2021	55.20	57.00	38.60	55.20	**57.72**
2022	31.40	38.50	**25.52**	31.20	**38.04**
2023	21.30	**18.20**	**20.20**	21.30	**22.58**

Los datos completados de precipitación acumulada anual se muestran en la Tabla 5 y de manera gráfica en la Figura 30.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Tabla 5. Precipitación acumulada de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia.

Promedio	395.98	298.25	409.80	353.12	411.76
Año	Chihuahua	La Mesa	Majalca	El Rejón	P. Chihuahua
1960	309.84	**199.72**	218.10	**232.77**	**270.18**
1961	297.94	151.10	272.40	**174.08**	21.50
1962	381.99	178.00	326.80	**289.79**	380.50
1963	485.29	210.10	343.10	**363.04**	553.50
1964	278.54	243.20	119.30	**223.01**	297.50
1965	250.04	196.90	188.00	**235.94**	381.00
1966	486.89	168.00	219.50	**317.91**	523.00
1967	453.06	235.90	428.30	**351.67**	414.00
1968	426.81	277.20	677.80	**468.15**	676.50
1969	357.93	475.50	392.60	324.50	292.00
1970	277.20	230.40	440.60	252.20	315.50
1971	315.35	296.10	636.00	308.00	431.50
1972	525.76	351.90	911.60	533.20	510.00
1973	411.35	488.60	383.00	385.10	475.50
1974	451.80	305.50	212.00	479.00	573.00
1975	317.02	293.30	154.00	259.80	294.00
1976	480.17	211.70	178.00	578.50	602.00
1977	344.14	407.40	300.30	339.00	356.50
1978	506.40	235.10	294.00	636.00	623.50
1979	361.26	448.70	327.20	351.50	473.00
1980	471.45	295.10	424.00	441.00	447.00
1981	660.08	414.90	222.00	614.50	565.00
1982	214.47	552.20	306.60	276.00	245.50
1983	361.84	353.60	394.30	166.50	309.50
1984	444.17	408.40	510.50	404.10	492.30
1985	469.47	556.70	423.20	353.00	434.00
1986	668.90	425.50	574.70	727.90	752.60
1987	639.20	467.00	431.70	76.80	569.10
1988	292.30	209.10	390.40	**287.38**	356.80
1989	251.45	530.30	310.60	**348.52**	328.50
1990	510.47	272.90	536.50	**504.46**	905.40
1991	499.24	464.30	414.50	**484.16**	686.00
1992	500.24	195.30	340.20	299.50	412.90
1993	266.51	166.60	356.80	**235.74**	235.00
1994	170.30	221.20	222.20	154.81	183.10
1995	352.24	149.40	296.40	338.83	273.90
1996	517.95	269.00	390.50	526.19	421.00
1997	493.73	229.80	317.70	433.47	274.90
1998	344.09	203.10	268.10	274.88	199.40
1999	397.41	143.60	338.10	409.57	268.40
2000	504.11	216.80	383.50	452.29	144.50
2001	269.21	216.80	276.90	78.99	326.20
2002	495.20	215.00	518.00	316.70	392.70
2003	354.82	331.20	427.60	315.93	593.70
2004	640.15	281.50	615.10	665.62	708.20
2005	431.90	299.80	723.50	455.18	386.90
2006	330.87	277.00	499.50	334.81	257.00
2007	298.00	254.20	501.00	278.70	499.60
2008	488.90	404.50	341.50	484.98	338.60
2009	316.23	341.00	308.40	304.25	419.50
2010	488.12	186.10	418.90	410.36	184.80
2011	180.38	359.60	311.30	118.12	183.92
2012	344.78	146.00	417.80	342.91	**343.04**
2013	563.70	280.00	673.50	542.08	**567.03**
2014	399.16	501.20	894.50	144.21	**538.94**
2015	372.33	296.50	824.00	337.62	**501.22**
2016	563.39	290.30	754.00	534.07	**588.26**
2017	362.75	491.60	718.00	366.65	**546.61**
2018	293.11	314.40	695.50	285.81	**439.49**
2019	395.17	270.10	225.51	392.55	**364.38**
2020	162.83	434.97	587.00	162.53	**383.49**
2021	410.56	284.12	294.15	412.16	**395.99**
2022	401.31	236.96	**291.76**	370.98	**389.43**

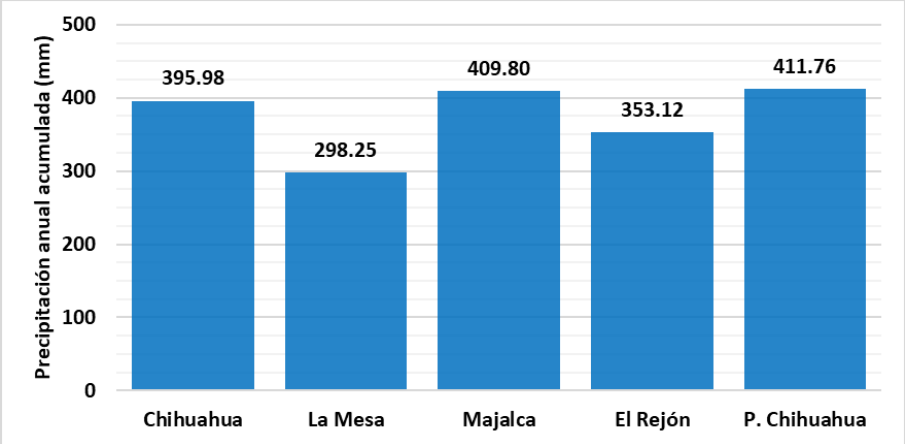


Figura 30. Precipitación acumulada de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia.

Análisis de frecuencias

Se realizó un análisis de frecuencias a los datos de precipitación diaria máxima anual. Para esto, se utilizaron funciones de distribución de probabilidad (FDP) para poder extrapolar los datos más allá de los 66 años de registro con los que se contaba.

Se aplicaron las siguientes FDP (18):

- Distribución Normal (Gauss);
- Log-Normal con 3 parámetros;
- Exponencial con 2 parámetro;
- Gumbel;
- Gumbel doble;
- Pearson o Gamma III;

Para la selección de la FDP a utilizar se le aplicó a cada una de las mismas la ***Ec. 3*****:** el error estándar de ajuste (EEA). En la Tabla 6 se muestra de cada estación cual fue su FDP con menor error estándar de ajuste, por tanto, de la cual se obtuvieron los valores extrapolados de precipitación máxima diaria.

$$EEA = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - X_0)^2}{n - np}} \qquad \textbf{Ec. 3}$$

Donde:

- ***n:*** número de datos analizados;
- ***np:*** Número de parámetros de la FDP;
- X_i**:** Es el igésimo dato registrado en la serie de tiempo;
- X_0**:** Es el iégsimo dato calculado con la FDP.

Tabla 6. Error Estándar de Ajuste de FDP por estación en porcentaje. Fuente: elaboración propia.

Estación	Distribución Normal	Log Normal 2 parámetros	Log Normal 3 parámetros	Exponencial 1 parámetro	Exponencial 2 parámetros	Gumbel	Gumbel doble	Pearson o Gamma III
Chihuahua	0.780	0.388	0.531	2.809	0.454	0.386	0.547	**0.370**
La Mesa	0.669	**0.351**	0.482	2.087	0.514	0.366	0.471	0.369
Majálca	0.873	**0.351**	0.609	2.195	0.517	0.424	0.456	0.412
El Rejón	0.473	0.583	0.407	2.787	0.797	0.458	0.609	**0.380**
Presa Chihuahua	0.641	**0.322**	0.478	3.071	0.599	0.335	0.816	0.368

En la Tabla 7 se muestran los datos de la máxima precipitación diaria anual de cada estación obtenidas con su FDP que tuvo menor error estándar de ajuste.

Tabla 7. Datos de precipitación diaria máxima anual (mm), extrapolados con Funciones de Distribución de Probabilidad. Fuente: elaboración propia.

Periodo de retorno (años)	FDP con el menor EEA				
	Pearson	Log Normal 2 P	Log Normal 2 P	Pearson	Log Normal 2 P
	Chihuahua (Observatorio)	La Mesa	Majálca	El Rejón	Presa Chihuahua
1000	140.628	158.207	189.767	118.841	184.393
500	131.377	142.490	170.108	112.711	167.352
200	118.878	122.745	145.551	104.219	145.746
100	109.169	108.529	127.980	97.428	130.033
50	99.174	94.872	111.196	90.232	114.795
20	85.364	77.539	90.056	79.868	95.220
10	74.257	64.815	74.670	71.087	80.646
5	62.226	52.169	59.514	60.984	65.951
2	43.323	34.441	38.559	43.232	44.885

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

De las Figuras 31 a la Figura 35 se muestra cada estación utilizada con su función de distribución de probabilidad (FDP) para los valores de precipitación diaria máxima anual.

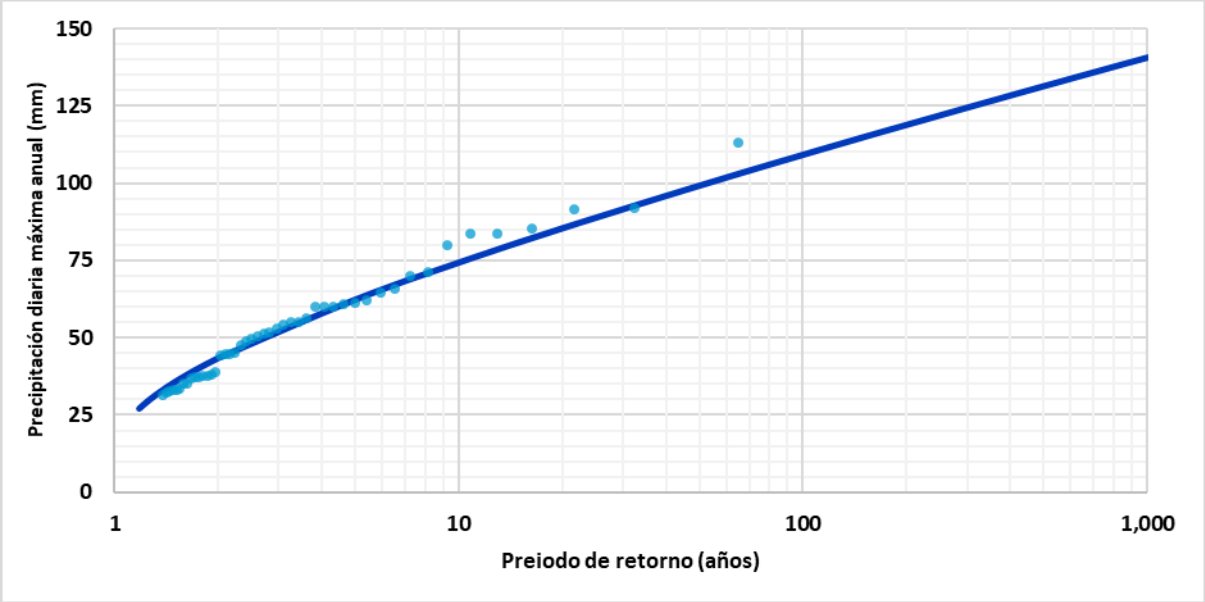


Figura 31. FDP Pearson en estación Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

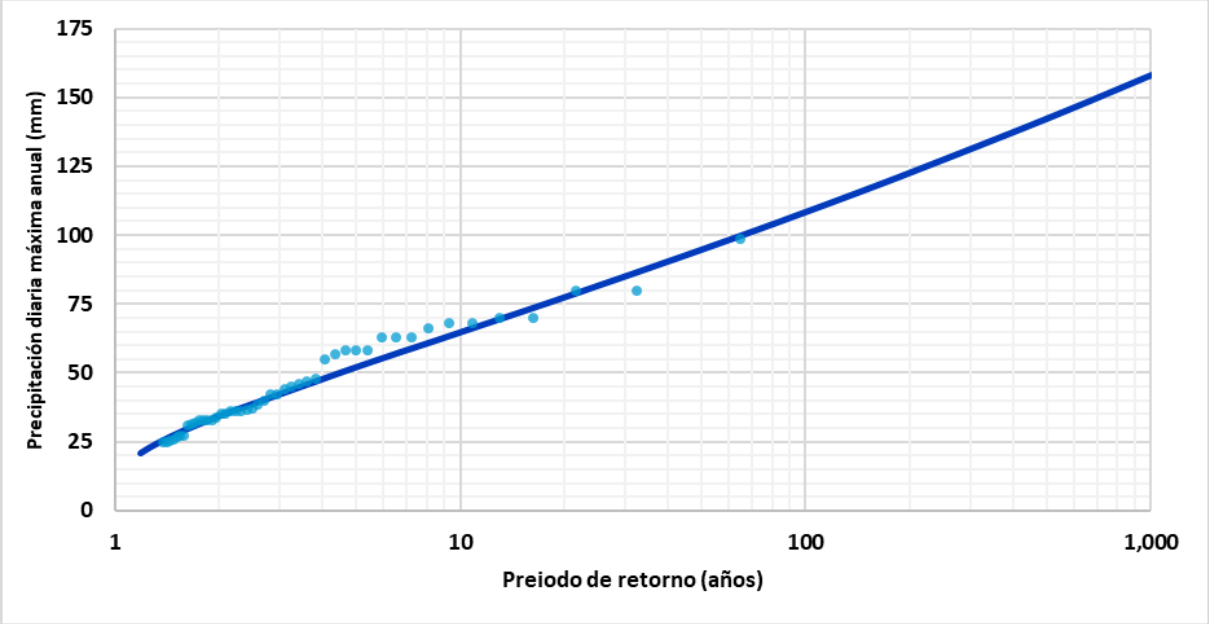


Figura 32. FDP Log Normal 2 parámetros en estación La Mesa. Fuente: elaboración propia.

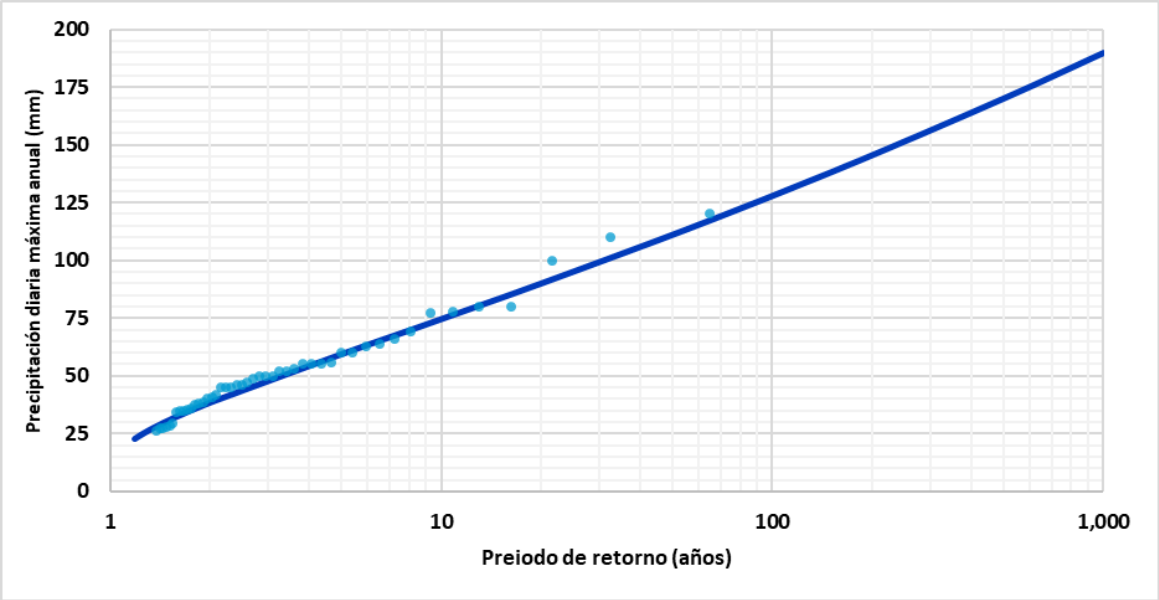


Figura 33. FDP Log Normal 2 parámetros en estación Majálca. Fuente: elaboración propia.

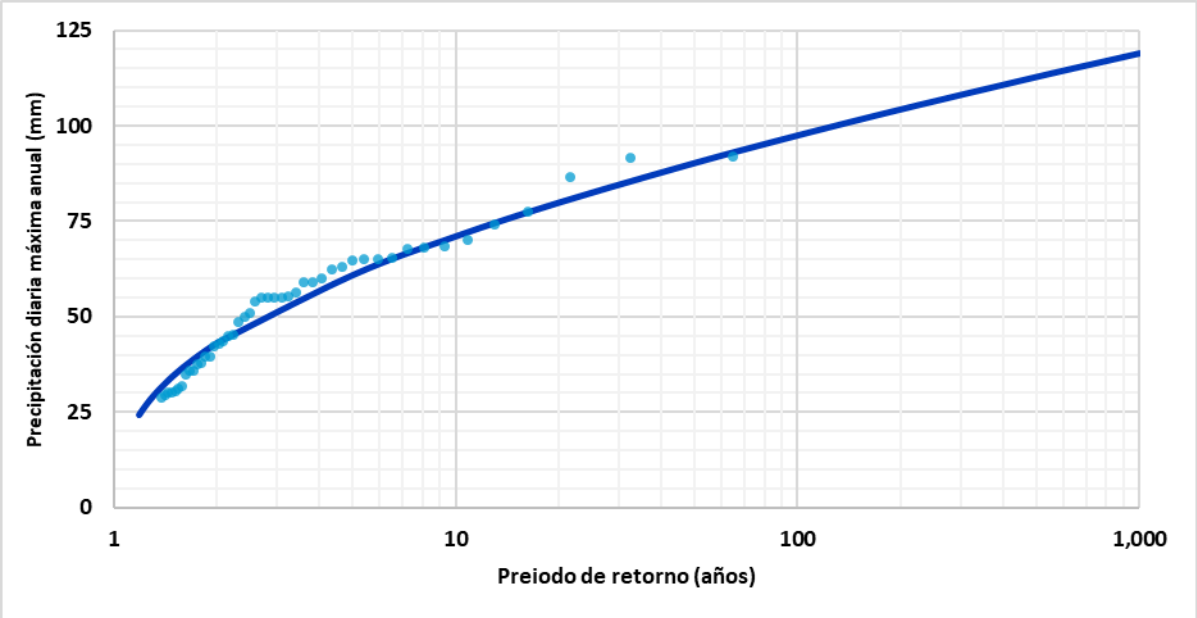


Figura 34. FDP Pearson en estación El Rejón. Fuente: elaboración propia.

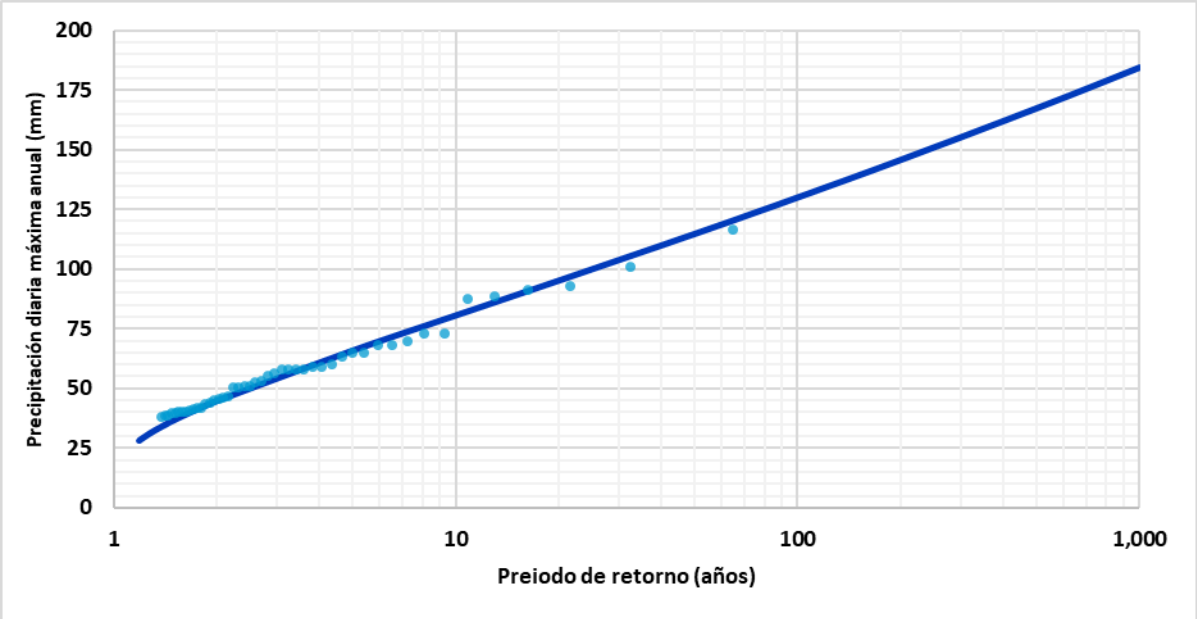


Figura 35. FDP Log Normal 2 parámetros en estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

En la Figura 36 se muestran los datos de precipitación máxima diaria anual de las 5 estaciones extrapolados con su función de distribución de probabilidad (FDP).

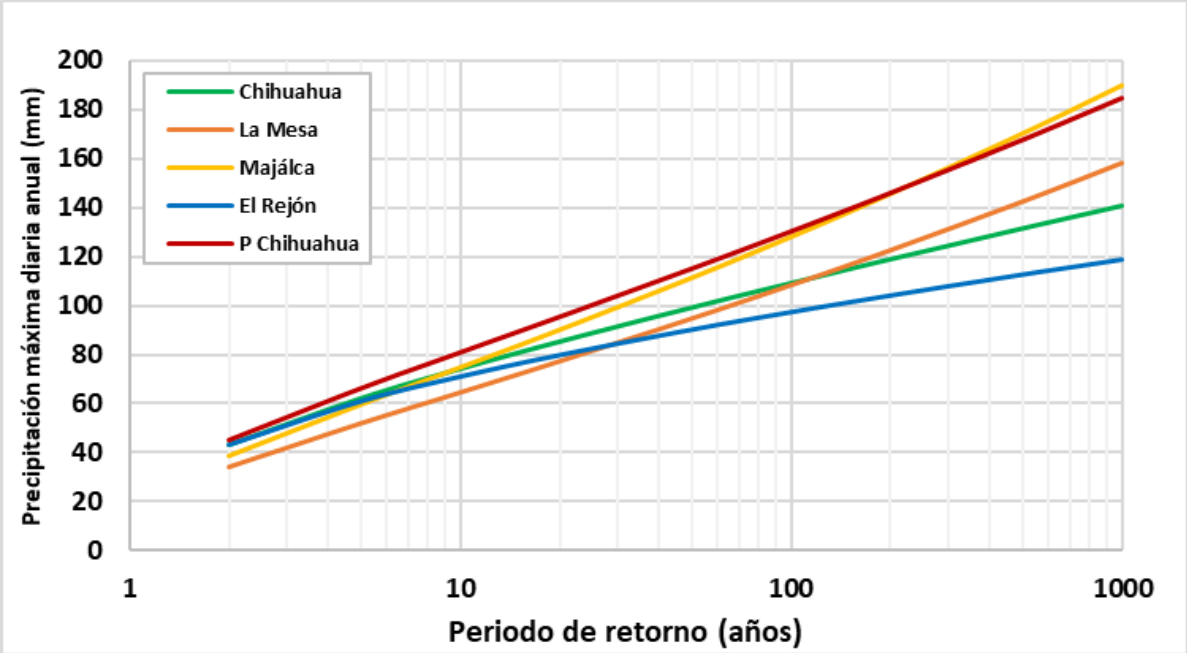


Figura 36. Datos de precipitación máxima diaria anual de las 5 estaciones, extrapolados con FDP. Fuente: elaboración propia.

Con el fin de revisar el orden de magnitud de los datos de precipitación máxima diaria calculados mediante las FDP, se compararon, para cuatro de las cinco estaciones analizadas, los datos calculados en el presente estudios, con los calculados previamente para el Plan Sectorial de Agua Pluvial, en el año 2009 para el IMPLAN [(21)], así como las calculados para el Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua (2022) [(8)]. De la Figura 37 a la Figura 40 se muestra una comparación gráfica de dichos valores calculados en este estudio en los otros dos estudios previos ya mencionados.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

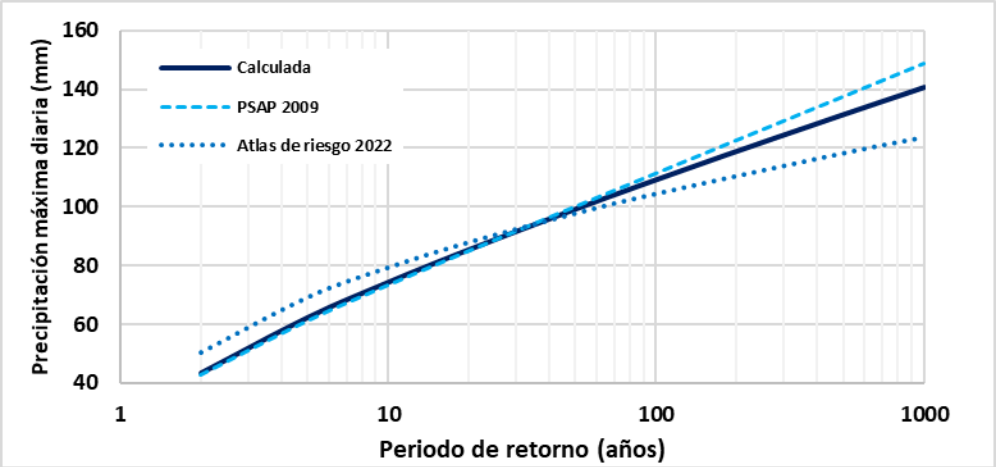


Figura 37. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Observatorio. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) [21] [8].

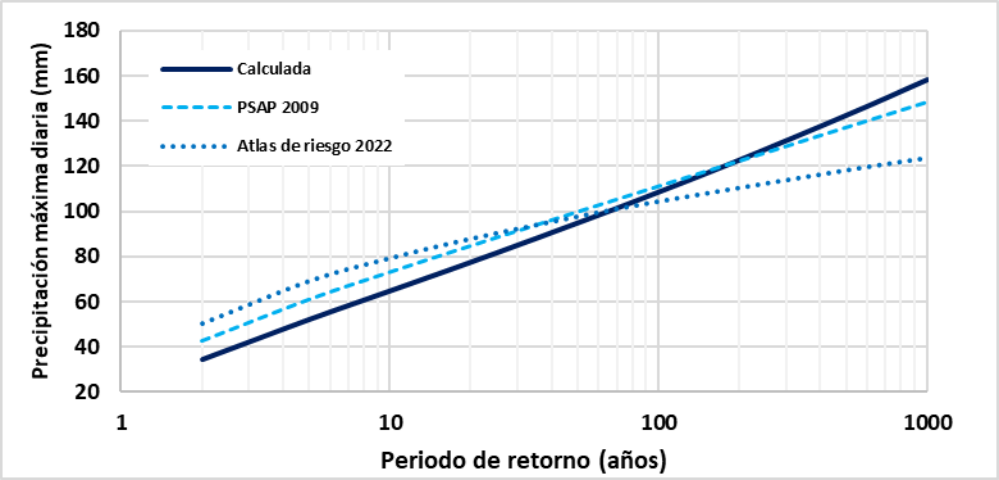


Figura 38. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación La Mesa. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) [21] [8].

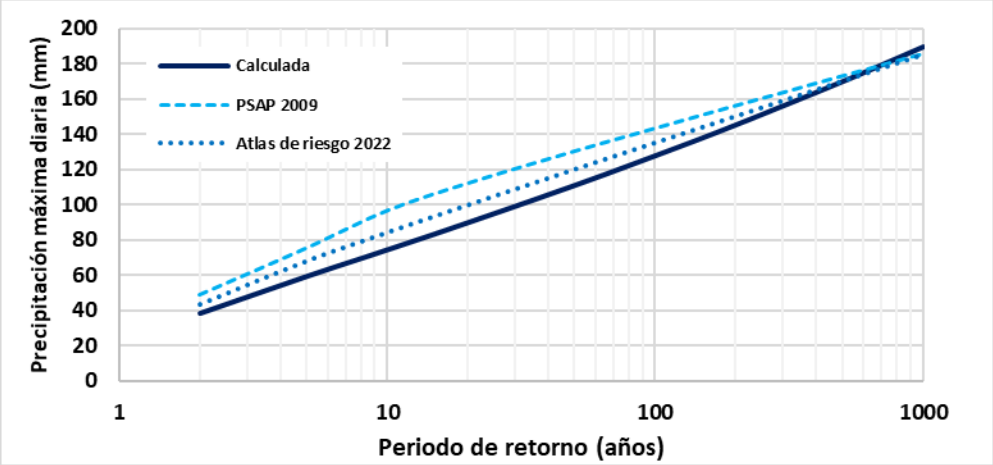


Figura 39. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Majálca. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) [21] [8].

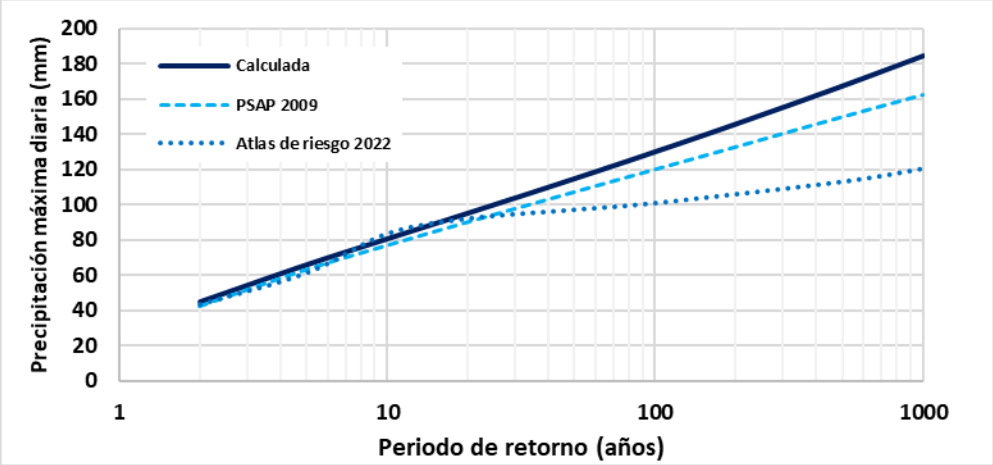


Figura 40. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) [21] [8].

Se observa que el orden de magnitud de los tres cálculos es similar, por lo que se considera que los datos son adecuados para llevar a cabo el análisis hidrológico con los mismos.

Curvas intensidad-duración-periodo de retorno (I-D-Tr)

Para la obtención de las curvas I-D-Tr se aplicó el método de Chen-Lung (1983) [22], quién para su cálculo propuso un método con base en los avances de Bell (1969) [23], válido para periodos de retorno mayores a 1 año y duraciones de tormenta de hasta 24 horas. La base del método es la ***Ec. 4*** presentada por Campos Aranda (2010) [3]:

$$i_D^{Tr} = \frac{a * P_1^{10} * log(10^{2-F} * Tr^{F-1})}{(D+b)^c} \qquad \textbf{Ec. 4}$$

Dónde:

- $\boldsymbol{i_D^{Tr}}$ **:** Intensidad de la lluvia a un periodo de retorno y duración dados (mm/h);
- $\boldsymbol{P_1^{10}}$**:** Precipitación asociada con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 1 hora (mm);
- $\boldsymbol{F}$**:** Cociente Lluvia-Frecuencia;
- $\boldsymbol{D}$**:** Duración a la que se asocia la intensidad (minutos);
- $\boldsymbol{Tr}$**:** Periodo de retorno al que se asocia la intensidad (años);

Los parámetros *a*, *b* y *c* que asoció Cheng-Lung a su fórmula se basan en una regresión polinomial, pueden ser obtenidos de sus gráficas o con la ***Ec. 5*** y la ***Ec. 6*****,** respetando sus dominios de aplicación (3):

$$a = 2.297536 + 100.0389R - 432.5438R^2 + 1256.228R^3 - 1028.902R^4$$
$$b = -9.845761 + 96.94864R - 341.4349R^2 + 757.9172R^3 - 598.7461R^4 \qquad \textbf{Ec. 5}$$
$$c = -0.06498345 + 5.069294R - 16.08111\,R^2 + 29.09596R^3 - 20.06288R^4$$

Válida para 0.10<= R <= 0.60

$$a = 21.03453 - 186.4683R + 825.4915R^2 - 1{,}084.846R^3 + 524.06R^4$$
$$b = 3.487775 - 68.13976R + 389.4625R^2 - 612.4041R^3\ 315.8721R^4 \qquad \textbf{Ec. 6}$$
$$c = 0.2677553 + 0.9481759R + 2.109415\,R^2 - 4.827012R^3 + 2.459584R^4$$

Válida para 0.20<= R <= 0.70

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua | Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820 | https://implanchihuahua.org

Dicho parámetro *R* es el cociente lluvia duración, obtenido con ***Ec. 7***:

$$R = \frac{P_1^2}{P_{24}^2} \qquad \textbf{\textit{Ec. 7}}$$

Donde:

- $\boldsymbol{P_1^2}$**:** Precipitación máxima con periodo de retorno de 2 años y duración de 1 hora; horaria (mm);
- $\boldsymbol{P_{24}^2}$**:** Precipitación máxima con periodo de retorno de 2 años y duración de 24 horas; diaria (mm);

La P_{24}^2 se obtuvo de los valores estimados con la FDP, La P_1^2 se obtuvo al multiplicar la P_{24}^2 por el factor de convectividad (Fc), el cual relaciona la precipitación acumulada diaria con la precipitación acumulada en una hora de tormenta.

Para determinar el factor de convectividad para la zona de estudio, se tomaron en cuenta las investigaciones relacionadas a este tema realizadas por Baeza (2007) [(24)] y por Dominguez-Mora y otros (2020) [(25)]. Baeza comenta que para la zona de estudio el valor de convectividad es superior a 0.55, tomando como valor estándar 0.65 (Figura 41).

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

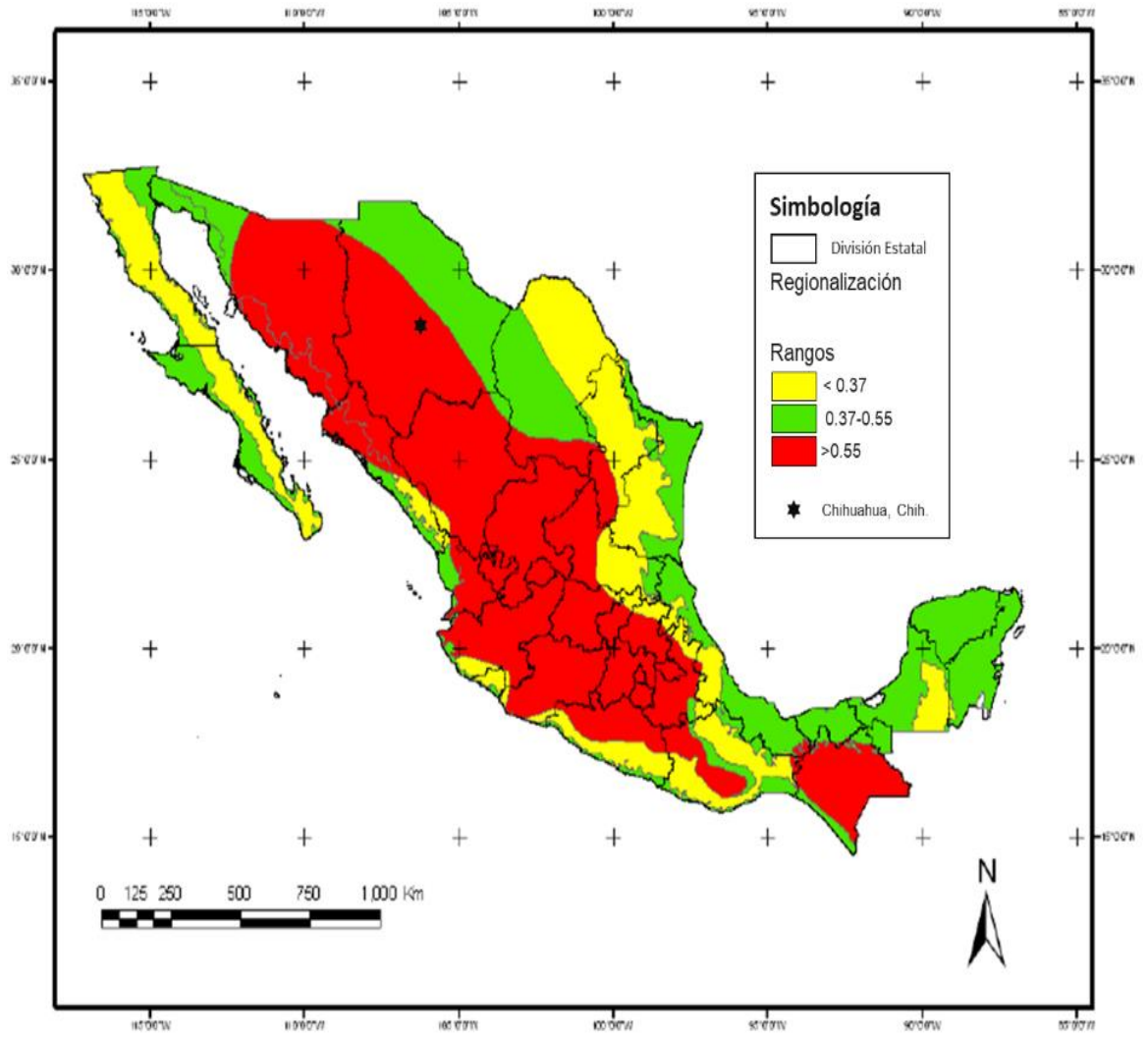


Figura 41. Factor de convectividad para Chihuahua, Chih. Fuente: adaptación de (Baeza, 2007) [24].

Por otra parte, Domínguez-Mora y otros, tras realizar un análisis regional a nivel nacional en 59 zonas hidrológicas y, por tanto, separa la zona serrana del Estado de Chihuahua del resto del mismo, calcularon para la zona no serrana o región hidrológica "Chihuahua-Bajos", la cual incluye al municipio de Chihuahua (Figura 42), un valor de convectividad que varía entre un mínimo de 0.22 y un máximo de 0.43.

Dado que en la investigación de Domínguez-Mora y otros (2020) [25] se realizó en un análisis regional basado en características hidrológicas de la República Mexicana, se utilizó como factor de convectividad el valor de 0.43 calculado en dicha investigación.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org



Figura 42. Regiones hidrológicas de la República Mexicana. Fuente: Domínguez-Mora y otros (2020) [25].

En la Tabla 8 se muestran los valores de precipitación máxima horaria anual correspondientes a diversos periodos de retorno para las estaciones en estudio obtenidas al aplicar el factor de convectividad.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Tabla 8. Precipitación diaria máxima horaria (mm), obtenidas con factor de convectividad. Fuente: elaboración propia.

Periodo de retorno (años)	Chihuahua	La Mesa	Majálca	El Rejón	P Chihuahua
1000	60.47	68.03	81.60	51.10	79.29
500	56.49	61.27	73.15	48.47	71.96
200	51.12	52.78	62.59	44.81	62.67
100	46.94	46.67	55.03	41.89	55.91
50	42.64	40.79	47.81	38.80	49.36
20	36.71	33.34	38.72	34.34	40.94
10	31.93	27.87	32.11	30.57	34.68
5	26.76	22.43	25.59	26.22	28.36
2	18.63	14.81	16.58	18.59	19.30

Después de calculada la precipitación diaria máxima horaria con el factor de convectividad, el cociente lluvia-Frecuencia *F* se obtuvo con la ***Ec. 8***:

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} \qquad \textbf{Ec. 8}$$

Donde:

- $\boldsymbol{P_{24}^{100}}$**:** Precipitación máxima en 24 horas a un periodo de retorno de 100 años (mm);
- $\boldsymbol{P_{24}^{10}}$**:** Precipitación máxima en 24 horas a un periodo de retorno de 10 años (mm);

De la Tabla 9 a la Tabla 13 se muestran los valores de precipitación máxima horaria y diaria para los periodos de retorno de 2, 10 y 100 años utilizados para la generación de las curvas I-D-Tr.

Tabla 9. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.

Tr (años)	P^{TR}_{h}	P^{TR}_{D}	$P^{TR}_{24\ máx}$	R	F
2	18.63	43.32	48.95	0.38	1.47
10	31.93	74.26	83.91	-	-
100	-	109.17	123.36	-	-

Tabla 10. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación La Mesa. Fuente: elaboración propia.

Tr (años)	P^{TR}_{h}	P^{TR}_{D}	$P^{TR}_{24\ máx}$	R	F
2	14.81	34.44	38.92	0.38	1.67
10	27.87	64.82	73.24	-	-
100	-	108.53	122.64	-	-

Tabla 11. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación Majálca. Fuente: elaboración propia.

Tr (años)	P^{TR}_{h}	P^{TR}_{D}	$P^{TR}_{24\ máx}$	R	F
2	16.58	38.56	43.57	0.38	1.71
10	32.11	74.67	84.38	-	-
100	-	127.98	144.62	-	-

Tabla 12. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación El Rejón. Fuente: elaboración propia.

Tr (años)	P^{TR}_{h}	P^{TR}_{D}	$P^{TR}_{24\ máx}$	R	F
2	18.59	43.23	48.85	0.38	1.37
10	30.57	71.09	80.33	-	-
100	-	97.43	110.09	-	-

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Tabla 13. Valores R y F, para método I-D-Tr de Cheng-Lung para estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

Tr (años)	P^{TR}_{h}	P^{TR}_{D}	$P^{TR}_{24\ máx}$	R	F
2	19.30	44.88	50.72	0.38	1.81
10	34.68	80.65	91.13	-	-
100	-	145.75	164.69	-	-

Asimismo, en la Tabla 14 se muestran los valores de los parámetros “a”, “b” y “c” utilizados para las 5 estaciones, los cuales son los mismos para las 5 estaciones.

Tabla 14. Valores a, b y c para método I-D-Tr de Cheng-Lung de todas las estaciones. Fuente: elaboración propia.

Parámetros	Obsrvatorio
a=	20.783
b=	6.814
c=	0.718

De acuerdo con el análisis realizado se obtuvieron las intensidades de lluvia mediante las curvas I-D-Tr para cada una de las 5 estaciones analizadas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1,000 años, las cuales se muestran de la Figura 43 a la Figura 47.

Dichos datos serán utilizados en apartados posteriores de este informe para el análisis hidrológico y determinación de caudales esperados a diversos periodos de retorno mediante el método de transformación lluvia-escurrimiento.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

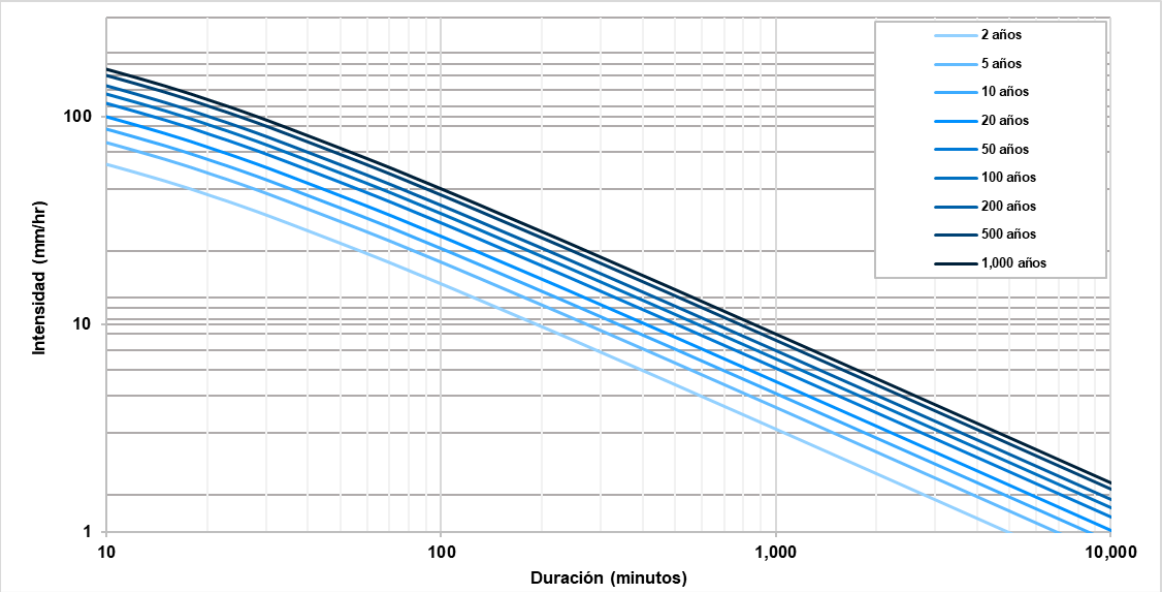


Figura 43. Curvas I-D-Tr de estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.

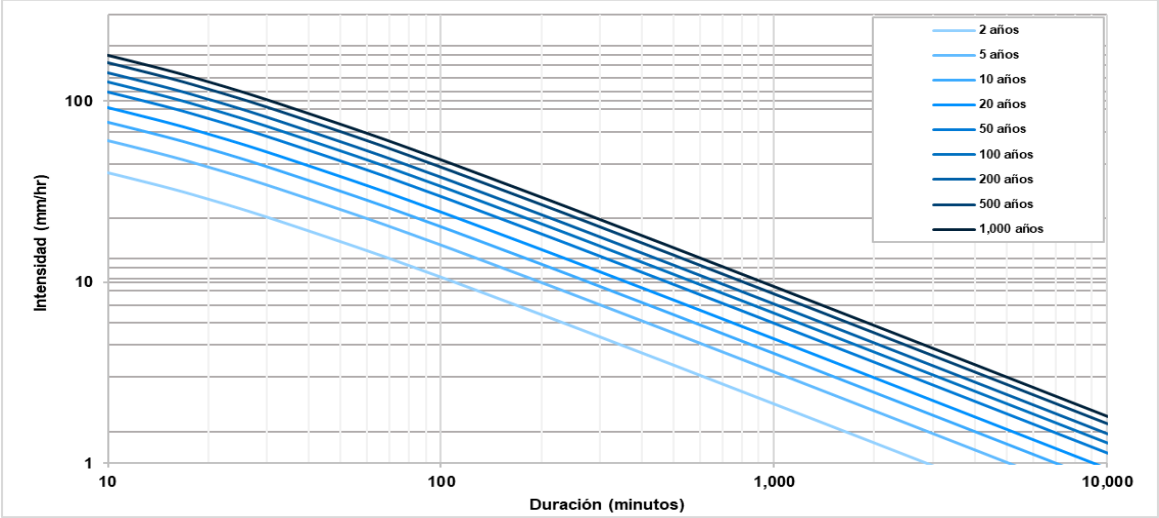


Figura 44. Curvas I-D-Tr de estación La Mesa. Fuente: elaboración propia.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

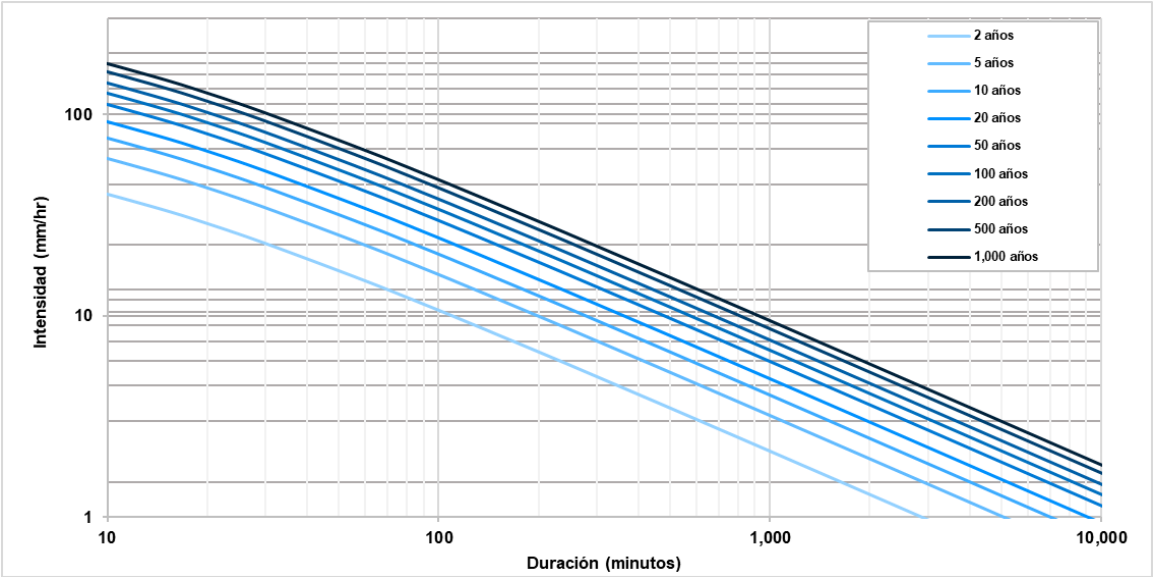


Figura 45. Curvas I-D-Tr de estación Majálca. Fuente: elaboración propia.

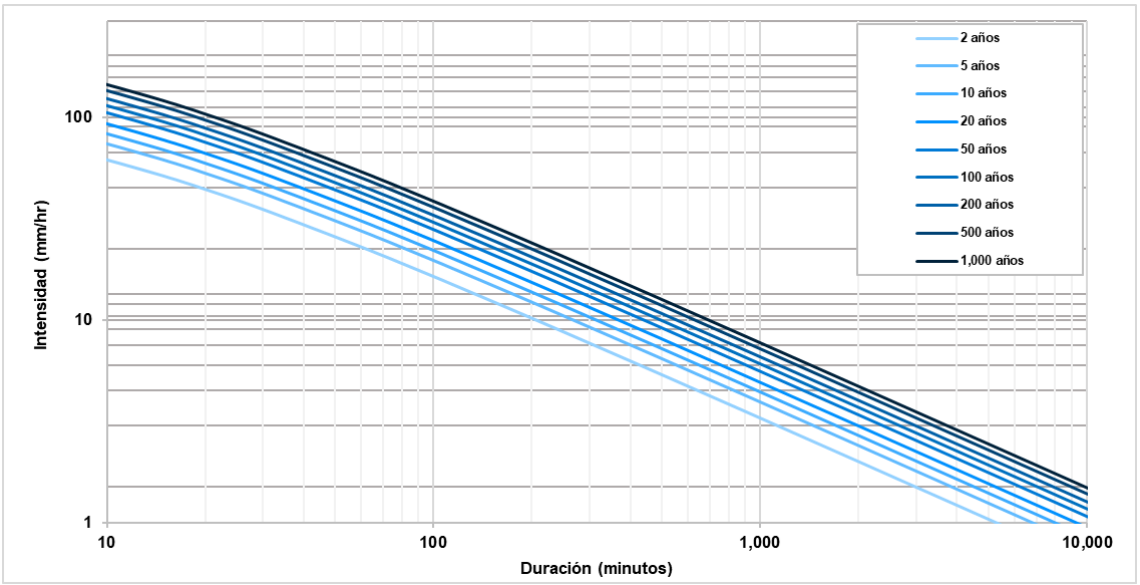


Figura 46. Curvas I-D-Tr de estación El Rejón. Fuente: elaboración propia.

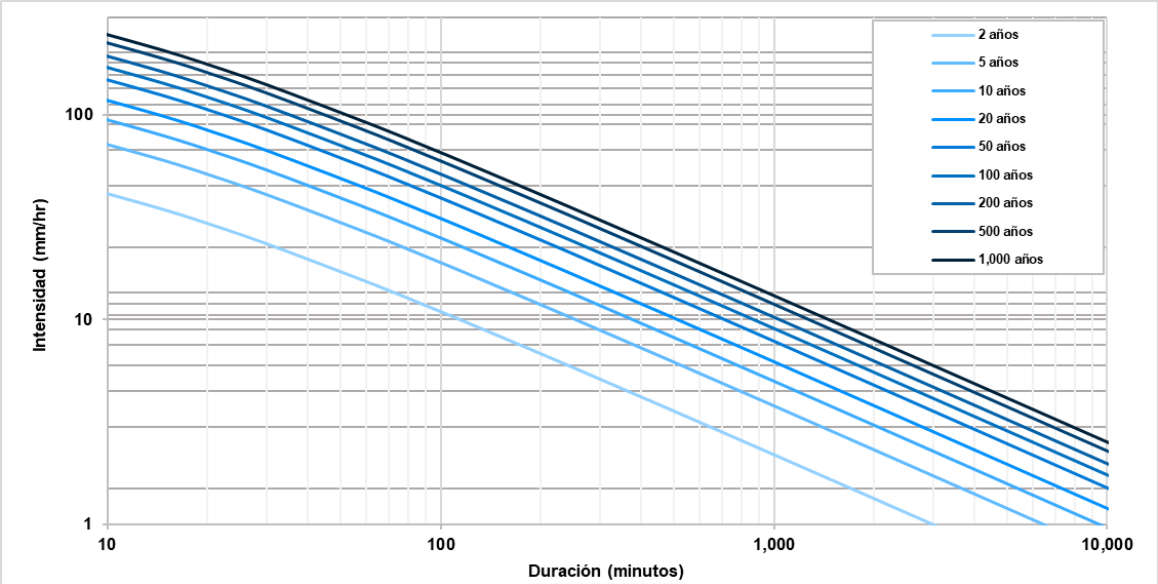


Figura 47. Curvas I-D-Tr de estación Presa Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

5. Análisis de Escurrimientos

5.1. Definición de Orden de Tributarios

Para efecto del presente análisis se tomó en cuenta que algunos de los arroyos analizados son tributarios a alguno de los dos ríos u otro arroyo en análisis. Específicamente, se consideró que la totalidad de los escurrimientos forman parte del área tributaria del Río Sacramento, incluyendo al Río Chuvíscar, el cual a su vez incluye diversos arroyos tributarios. Por tanto, para fines del análisis se consideró el siguiente orden de ríos y arroyos tributarios:

1. Río Sacramento, que incluye:
    1.1. Arroyo La Noria
    1.2. Arroyo Mimbre Norte 2, que incluye:
        1.2.1. Arroyo Mimbre Norte 1
    1.3. Arroyo El Álamo
    1.4. Arroyo Los Arcos
    1.5. Arroyo Nogales Norte
    1.6. Arroyo El Pichacho
    1.7. Arroyo Magallanes
    1.8. Arroyo Mimbre Sur, que incluye:
        1.8.1. Arroyo Saucito 1, que incluye:
            1.8.1.1. Arroyo Saucito 2
    1.9. Arroyo Galera Sur, que incluye:
        1.9.1. Arroyo Galera Norte
    1.10. Arroyo San Rafael
    1.11. Arroyo Mármol
    1.12. Arroyo Concordia 2
    1.13. Río Chuvíscar, que incluye:
        1.13.1. Arroyo La Cantera
        1.13.2. Arroyo Plaza de Toros
        1.13.3. Arroyo Los Temporales
        1.13.4. Arroyo Las Malvinas
        1.13.5. Arroyo El Barro
        1.13.6. Arroyo La Canoa
        1.13.7. Arroyo El Chamizal
        1.13.8. Arroyo La Manteca
    1.14. Arroyo Nogales Sur, que incluye
        1.14.1. Arroyo Concordia 1

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

En la Figura 48 se muestra el orden tributario de los cauces en estudio, así como su identificador (ID).

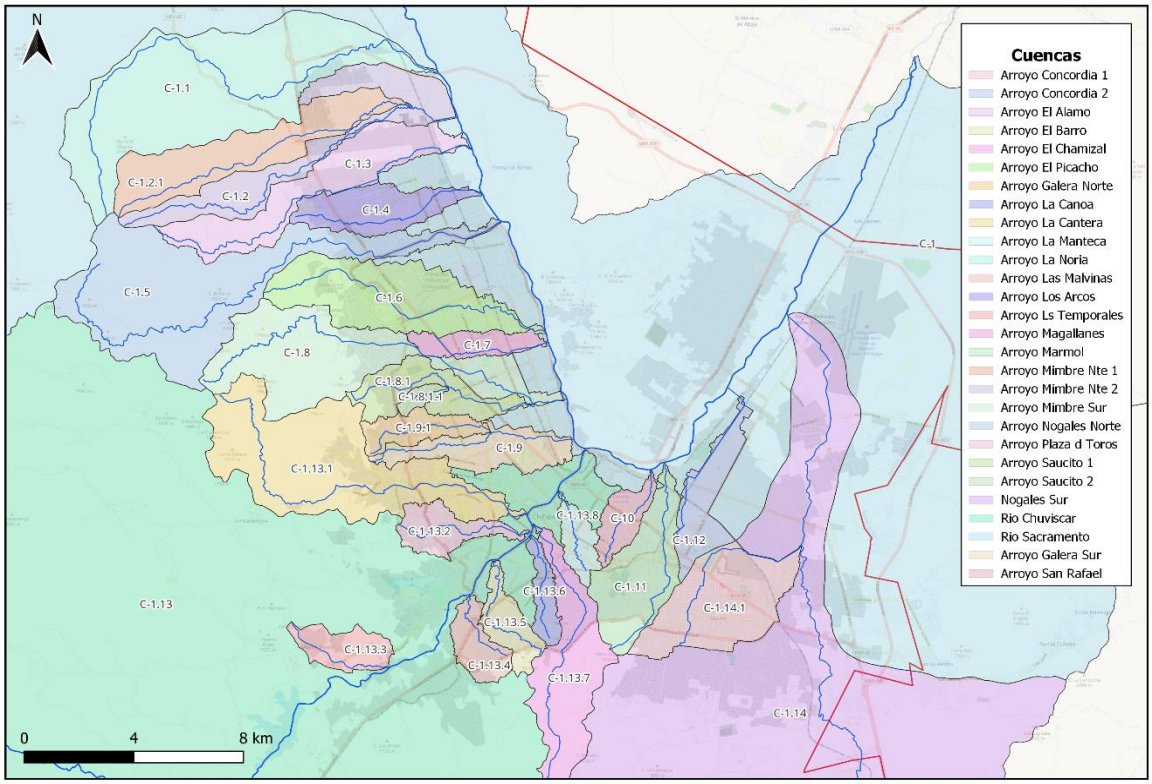


Figura 48. Identificador (ID) por cuenca. Fuente: elaboración propia.

5.2. Geomorfología

Con el objetivo de calcular los caudales para cada periodo de retorno, se realizaron previamente cálculos de parámetros geomorfológicos de cada cuenca y cauce. Estos incluyeron el área de la cuenca y el porcentaje de área urbana y no urbana, la longitud del cauce principal, el tiempo de concentración y el coeficiente de escurrimiento.

Para determinar el área de la cuenca de aportación de cada cauce y su longitud, se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) Quantum GIS (QGIS) versión 3.8.2. El cálculo de los demás parámetros se describe a continuación.

Tiempo de concentración

Es un parámetro requerido para diversos métodos de transformación lluvia-escurrimiento, representa el tiempo necesario para que una gota de agua escurra desde la parte del parteaguas más alejada de la salida de la cuenca hasta la misma; es decir, el mayor tiempo que le puede tomar a una gota de agua precipitada sobre la cuenca salir de la misma [(24)].

Asimismo, el tiempo de concentración representa el lapso en el cual cada superficie tributaria de la cuenca contribuye con su caudal a la salida de esta durante una tormenta hipotética de intensidad constante. En teoría, este tiempo marca el momento en el cual el caudal se vuelve constante y alcanza su máximo valor.

Para su cálculo se aplicó la fórmula “SCS del Servicio de Conservación de Suelo de Estados Unidos de América (***Ec. 9***), recomendada por la Conagua en el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de la Conagua (MAPAS) [(26)]:

$$Tc = \frac{L^{1.15}}{3085 * \Delta H^{0.38}} \qquad \textit{Ec. 9}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas);

L: Longitud del cauce principal (m)

ΔH: Desnivel entre el inicio y el final del cauce principal (m)

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Coeficiente de escurrimiento

Este parámetro hidrológico describe el porcentaje de lluvia efectiva, es decir, el agua que, durante un evento de tormenta, no es captada por la vegetación, no se acumula en depresiones, no se evapora ni se infiltra en el suelo, sino que escurre directamente.

Se utilizaron los coeficientes de escurrimiento calculados para la ciudad de Chihuahua en el trabajo "Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas" [27]. Para ello, se diferenció entre la zona urbana de la ciudad de Chihuahua y la zona no urbanizada. Previamente al cálculo del coeficiente de escurrimiento para cada cuenca de aportación de cada cauce en estudio, se determinó el porcentaje de cada cuenca en zona urbana y no urbana con base en información obtenida del IMPLAN (ver Figura 49).

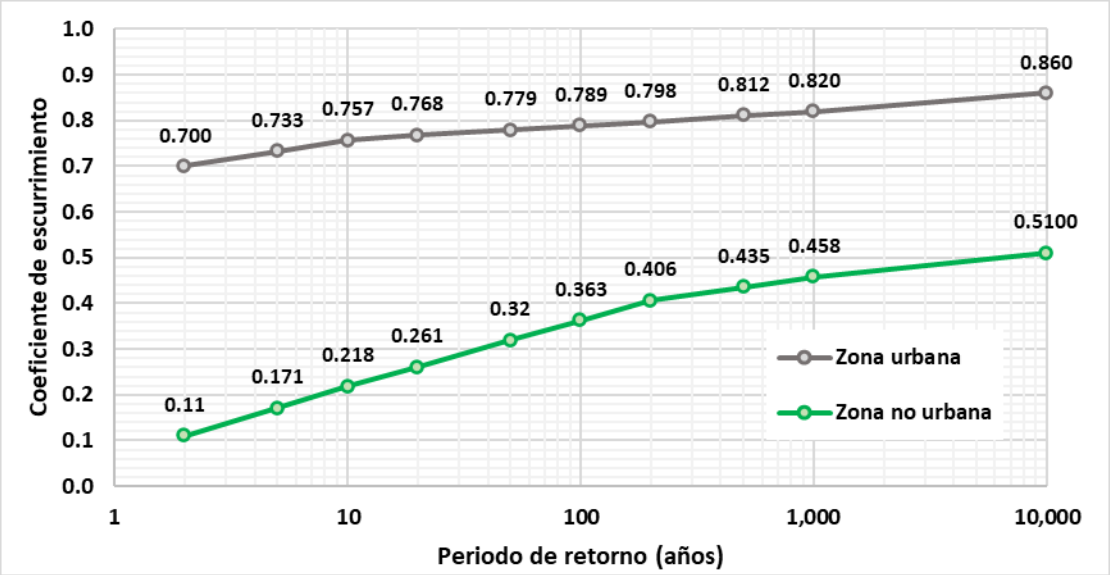


Figura 49. Coeficientes de escurrimiento de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas" [27].

Cabe destacar que, para el caso de las zonas semi-urbanas o sub-urbanas, se consideró el coeficiente de escurrimiento promedio entre los valores correspondientes a la zona urbana y no urbana. En la Figura 50 se muestran los valores de coeficientes de escurrimiento considerados para el análisis, para zona urbana y zona no urbana, para diferentes periodos de retorno.

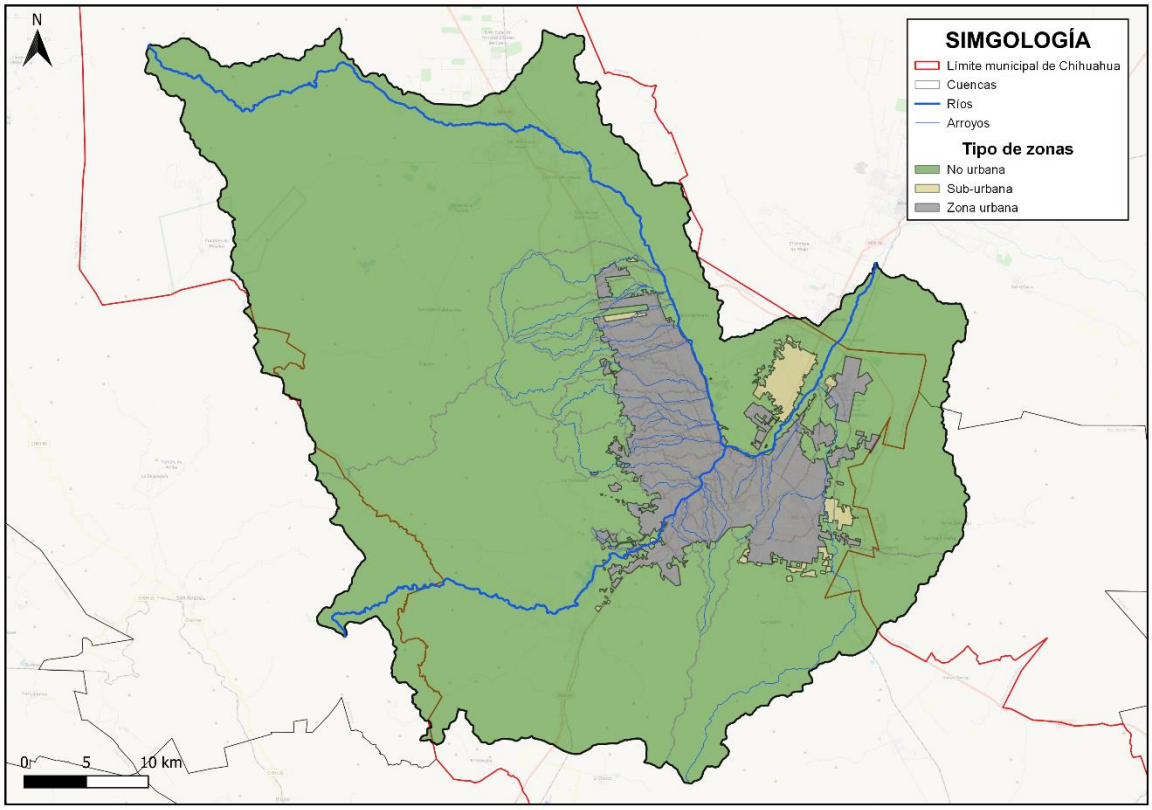


Figura 50. Zonas urbana, no urbana y sub-urbana de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del IMPLAN.

En la Tabla 15 se muestran los valores de los parámetros geomorfológicos calculados y en la Tabla 16 se muestran los coeficientes de escurrimientos considerados para cada una de las cuencas de aportación de cada cauce analizado.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Factor de reducción por área

Dada la variación en cuanto a las áreas de las diversas cuencas en estudio, se calculó para cada una de ellas un factor de reducción por área con base en la ***Ec. 10*** presentada por Campos Aranda (2010) [3]:

$$FRA = 1.0 - 0.3549 * (e^{-0.42723}) \, (1.0 - \, e^{-0.005794*A}) \qquad \textbf{\textit{Ec. 10}}$$

Donde:

- FRA: Factor de reducción por área (adimensional)
- A: Área de la cuenca en (km^2);

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Tabla 15. Parámetros geomorfológicos de las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia.

ID	Nombre	Longitud Cauce principal (km)	Máxima elevación (msnm)	Mínima elevación (msnm)	ΔH (m)	Tiempo de concentración (horas)	Tiempo de concentración (min)	FRA	Área (km²)						
									No urbana	(%)	Sub-urbana	(%)	urbana	(%)	Total
	Río Sacramento	**98.313**	2512	1298	1214	12.03	721.76	0.768	2,059.93	*88.72%*	26.15	*1.13%*	235.74	*10.15%*	2,321.83
C-1.1	Arroyo La Noria	22.399	2016	1476	540	2.99	179.20	0.950	41.46	*97.83%*	0.17	*0.40%*	0.75	*1.77%*	42.38
C-1.2	Arroyo Mimbre Norte 2	16.023	2015	1464	551	2.02	120.98	0.980	12.63	*82.44%*	0.01	*0.05%*	2.68	*17.51%*	15.32
C-1.2.1	Arroyo Mimbre Norte 1	13.255	2106	1480	626	1.54	92.67	0.979	14.94	*92.72%*	0.00	*0.00%*	1.17	*7.28%*	16.12
C-1.3	Arroyo El Alamo	14.929	2020	1459	561	1.85	110.77	0.980	9.55	*61.71%*	1.26	*8.16%*	4.66	*30.13%*	15.47
C-1.4	Arroyo Los Arcos	7.840	1640	1450	190	1.33	79.70	0.989	0.73	*8.78%*	0.00	*0.00%*	7.60	*91.22%*	8.34
C-1.5	Arroyo Nogales Norte	23.886	2083	1439	644	3.01	180.46	0.956	32.17	*88.68%*	0.00	*0.00%*	4.11	*11.32%*	36.27
C-1.6	Arroyo El Picacho	12.664	1761	1419	342	1.84	110.64	0.976	4.53	*24.06%*	0.00	*0.00%*	14.30	*75.94%*	18.84
C-1.7	Arroyo Magallanes	4.798	1508	1417	91	1.00	59.93	0.995	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	3.93	*100.00%*	3.93
C-1.8	Arroyo Mimbre Sur	18.122	1850	1402	448	2.51	150.78	0.960	17.21	*52.63%*	0.00	*0.00%*	15.49	*47.37%*	32.70
C-1.8.1	Arroyo Saucito 1	8.632	1739	1419	320	1.22	73.03	0.989	1.03	*11.77%*	0.00	*0.00%*	7.69	*88.23%*	8.72
C-1.8.1.1	Arroyo Saucito 2	1.471	1519	1467	52	0.32	19.04	0.999	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	1.10	*100.00%*	1.10
C-1.9	Arroyo Galera Sur	5.427	1608	1385	223	0.82	49.12	0.984	0.33	*2.67%*	0.00	*0.00%*	12.14	*97.33%*	12.48
C1.9.1	Arroyo Galera Norte	8.777	1633	1441	192	1.51	90.38	0.994	0.30	*6.68%*	0.00	*0.00%*	4.17	*93.32%*	4.46
C-1.10	Arroyo San Rafael	4.539	1462	1379	83	0.97	58.23	0.995	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	3.77	*100.00%*	3.77
C-1.11	Arroyo Marmol	8.685	1897	1378	519	1.02	61.19	0.984	1.59	*13.11%*	0.00	*0.00%*	10.53	*86.89%*	12.12
C-1.12	Arroyo Concordia 2	7.508	1450	1364	86	1.71	102.48	0.991	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	7.20	*100.00%*	7.20
C-1.13	**Río Chuvíscar**	**50.056**	2335	1394	941	6.10	365.86	0.773	631.06	*90.51%*	0.55	*0.08%*	65.64	*9.41%*	697.25
C-1.13.1	Arroyo La Cantera	17.002	1920	1419	501	2.24	134.29	0.963	20.81	*68.30%*	0.00	*0.00%*	9.66	*31.70%*	30.48
C-1.13.2	Arroyo Plaza de Toros	5.774	1579	1420	159	1.00	59.99	0.993	0.23	*4.45%*	0.00	*0.00%*	4.85	*95.55%*	5.07
C-1.13.3	Arroyo Los Temporales	4.663	1593	1483	110	0.90	53.97	0.994	3.05	*64.74%*	0.00	*0.00%*	1.66	*35.26%*	4.71
C-1.13.4	Arroyo Las Malvinas	3.603	1601	1444	157	0.58	35.05	0.994	0.48	*11.33%*	0.00	*0.00%*	3.78	*88.67%*	4.26
C-1.13.5	Arroyo El Barro	6.089	1619	1431	188	1.00	59.83	0.994	0.66	*14.69%*	0.00	*0.00%*	3.84	*85.31%*	4.50
C-1.13.6	Arroyo La Canoa	4.537	1618	1421	197	0.70	41.90	0.996	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	2.85	*100.00%*	2.85
C-1.13.7	Arroyo El Chamizal	14.744	1982	1419	563	1.82	109.04	0.978	13.16	*74.66%*	0.00	*0.00%*	4.47	*25.34%*	17.62
C-1.13.8	Arroyo La Manteca	3.771	1480	1410	70	0.84	50.19	0.996	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	3.07	*100.00%*	3.07
C-1.14	**Arroyo Nogales Sur**	**47.021**	2210	1342	868	5.85	351.07	0.827	195.11	*81.69%*	4.98	*2.09%*	38.74	*16.22%*	238.84
C-1.14.1	Arroyo Concordia 1	7.921	1664	1409	255	1.20	72.11	0.980	0.00	*0.00%*	0.00	*0.00%*	15.49	*100.00%*	15.49

Tabla 16. Coeficientes de escurrimiento de cada cuenca a diversos periodos de retorno. Fuente: elaboración propia.

ID	Nombre	Periodo de retorno en años									Ponderado por prob. de excedencia
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000	
C-1	**Río Sacramento**	0.175	0.233	0.277	0.317	0.371	0.410	0.449	0.477	0.498	0.193
C-1.1	Arroyo La Noria	0.122	0.183	0.229	0.272	0.330	0.372	0.414	0.443	0.466	0.148
C-1.2	Arroyo Mimbre Norte 2	0.214	0.270	0.313	0.350	0.401	0.438	0.475	0.501	0.522	0.226
C-1.2.1	Arroyo Mimbre Norte 1	0.153	0.212	0.257	0.298	0.353	0.394	0.435	0.462	0.484	0.174
C-1.3	Arroyo El Alamo	0.325	0.376	0.414	0.446	0.487	0.518	0.549	0.573	0.592	0.320
C-1.4	Arroyo Los Arcos	0.648	0.684	0.710	0.723	0.739	0.752	0.764	0.779	0.788	0.596
C-1.5	Arroyo Nogales Norte	0.177	0.235	0.279	0.318	0.372	0.411	0.450	0.478	0.499	0.194
C-1.6	Arroyo El Picacho	0.558	0.598	0.627	0.646	0.669	0.687	0.704	0.721	0.733	0.520
C-1.7	Arroyo Magallanes	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641
C-1.8	Arroyo Mimbre Sur	0.389	0.437	0.473	0.501	0.537	0.565	0.592	0.614	0.629	0.376
C-1.8.1	Arroyo Saucito 1	0.631	0.667	0.694	0.708	0.725	0.739	0.752	0.768	0.777	0.581
C-1.8.1.1	Arroyo Saucito 2	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641
C-1.9	Arroyo Galera Sur	0.684	0.718	0.743	0.754	0.767	0.778	0.788	0.802	0.810	0.627
C1.9.1	Arroyo Galera Norte	0.661	0.695	0.721	0.734	0.748	0.761	0.772	0.787	0.796	0.607
C-1.10	Arroyo San Rafael	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641
C-1.11	Arroyo Marmol	0.623	0.659	0.686	0.702	0.719	0.733	0.747	0.763	0.773	0.575
C-1.12	Arroyo Concordia 2	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641
C-1.13	**Río Chuvíscar**	0.166	0.224	0.269	0.309	0.363	0.403	0.443	0.471	0.492	0.185
C-1.13.1	Arroyo La Cantera	0.297	0.349	0.389	0.422	0.466	0.498	0.530	0.555	0.573	0.297
C-1.13.2	Arroyo Plaza de Toros	0.674	0.708	0.733	0.745	0.759	0.770	0.781	0.795	0.804	0.618
C-1.13.3	Arroyo Los Temporales	0.318	0.369	0.408	0.440	0.482	0.513	0.544	0.568	0.586	0.315
C-1.13.4	Arroyo Las Malvinas	0.633	0.669	0.696	0.711	0.727	0.741	0.754	0.769	0.779	0.584
C-1.13.5	Arroyo El Barro	0.613	0.650	0.678	0.694	0.712	0.726	0.740	0.757	0.767	0.567
C-1.13.6	Arroyo La Canoa	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641
C-1.13.7	Arroyo El Chamizal	0.259	0.313	0.355	0.389	0.436	0.471	0.505	0.531	0.550	0.265
C-1.13.8	Arroyo La Manteca	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641
C-1.14	**Arroyo Nogales Sur**	0.215	0.271	0.314	0.351	0.402	0.439	0.476	0.502	0.523	0.227
C-1.14.1	Arroyo Concordia 1	0.700	0.733	0.757	0.768	0.779	0.789	0.798	0.812	0.820	0.641

5.3. Intensidad de Precipitación

Para el cálculo de la intensidad de lluvia a cada periodo de retorno para cada una de las cuencas de aportación de los cauces en estudio, primeramente, se determinó el porcentaje de área tributaria de cada cuenca que es influenciada por cada una de las 5 estaciones climatológicas analizadas previamente. En la Tabla 17 se muestra el porcentaje de área tributaria de cada estación climatológica. En la Figura 51 se puede observar la distribución de dichas áreas tributarias para cada cuenca correspondiente.

Tabla 17. Porcentaje de área tributaria de cada estación climatológica en las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia.

ID	Nombre	Majálca	Presa Chihuahua	El Rejón	Observatorio	La Mesa
C-1	**Río Sacramento**	27.59%	27.37%	15.94%	18.74%	10.35%
C-1.1	Arroyo La Noria	0.00%	0.00%	64.28%	32.15%	3.57%
C-1.2	Arroyo Mimbre Norte 2	0.00%	0.00%	46.14%	53.59%	0.27%
C-1.2.1	Arroyo Mimbre Norte 1	0.00%	0.00%	67.57%	32.43%	0.00%
C-1.3	Arroyo El Alamo	0.00%	0.00%	48.30%	51.70%	0.00%
C-1.4	Arroyo Los Arcos	0.00%	0.00%	24.12%	75.88%	0.00%
C-1.5	Arroyo Nogales Norte	0.00%	0.00%	91.71%	8.29%	0.00%
C-1.6	Arroyo El Picacho	0.00%	0.00%	57.27%	42.73%	0.00%
C-1.7	Arroyo Magallanes	0.00%	0.00%	20.40%	79.63%	0.00%
C-1.8	Arroyo Mimbre Sur	0.00%	0.00%	85.37%	14.63%	0.00%
C-1.8.1	Arroyo Saucito 1	0.00%	0.00%	89.87%	10.13%	0.00%
C-1.8.1.1	Arroyo Saucito 2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
C-1.9	Arroyo Galera Sur	0.00%	0.00%	77.94%	22.06%	0.00%
C1.9.1	Arroyo Galera Norte	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
C-1.10	Arroyo San Rafael	0.00%	0.00%	0.04%	99.96%	0.00%
C-1.11	Arroyo Marmol	0.00%	0.00%	30.64%	69.36%	0.00%
C-1.12	Arroyo Concordia 2	0.00%	0.00%	0.00%	100.09%	0.00%
C-1.13	**Río Chuvíscar**	0.37%	79.15%	19.66%	0.79%	0.00%
C-1.13.1	Arroyo La Cantera	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
C-1.13.2	Arroyo Plaza de Toros	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
C-1.13.3	Arroyo Los Temporales	0.00%	80.80%	19.20%	0.00%	0.00%
C-1.13.4	Arroyo Las Malvinas	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
C-1.13.5	Arroyo El Barro	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
C-1.13.6	Arroyo La Canoa	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
C-1.13.7	Arroyo El Chamizal	0.00%	9.04%	90.96%	0.00%	0.00%
C-1.13.8	Arroyo La Manteca	0.00%	0.00%	60.98%	39.02%	0.00%
C-1.14	**Arroyo Nogales Sur**	0.00%	24.32%	27.96%	47.80%	0.00%
C-1.14.1	Arroyo Concordia 1	0.00%	0.00%	6.07%	94.67%	0.00%

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

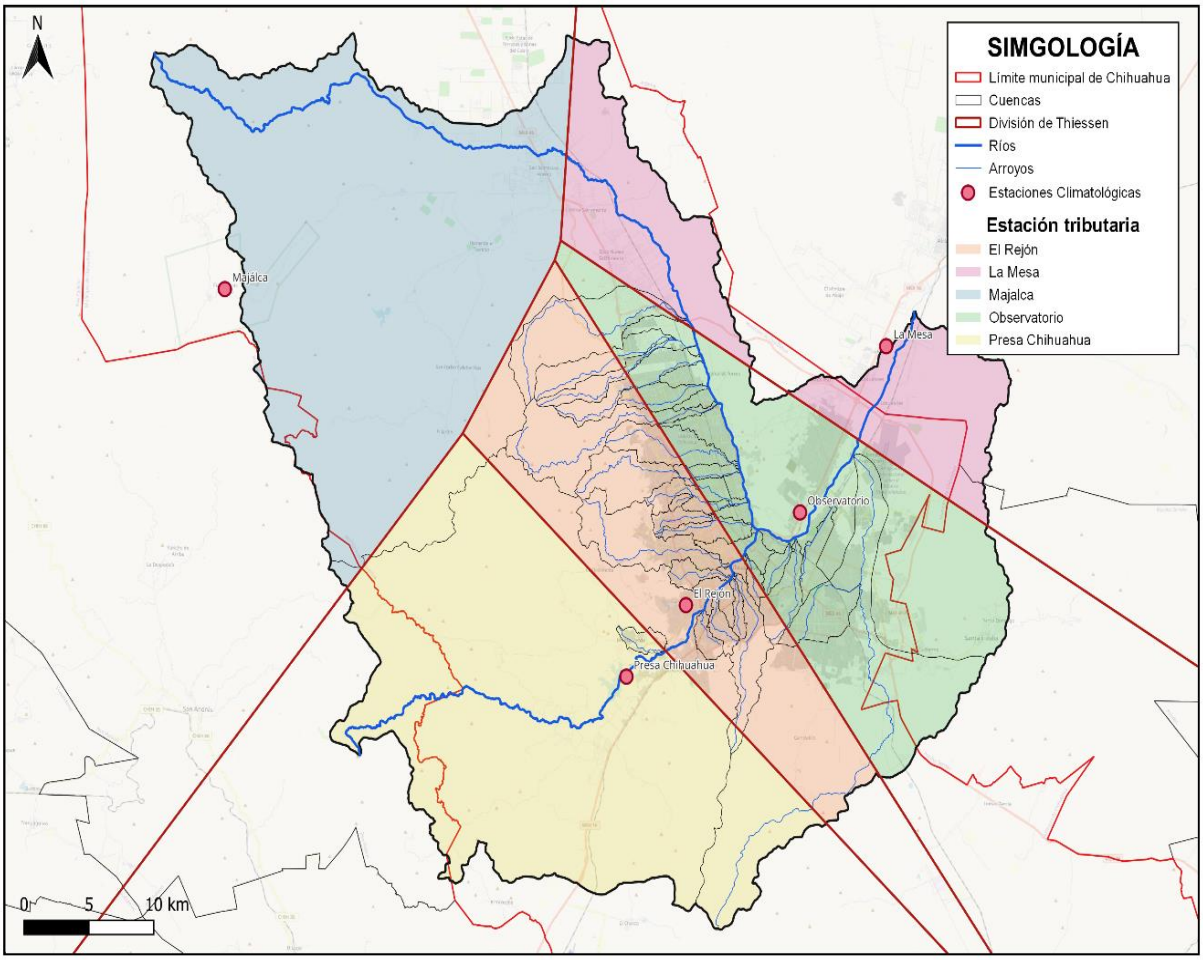


Figura 51. Área tributaria de cada estación climatológica para cada cuenca en estudio. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, en la Tabla 18, se muestran las intensidades de lluvia en mm/h para cada una de las cuencas en estudio para diversos periodos de retorno, considerando la distribución del porcentaje de área tributaria de cada estación en cada una de las cuencas en estudio.

Tabla 18. Intensidad de lluvia a cada periodo de retorno para cada una de las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia.

ID	Nombre	Intensidad de lluvia a cada Tr (mm)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
C-1	**Río Sacramento**	3.29	4.69	5.74	6.80	8.20	9.25	10.31	11.70	12.76
C-1.1	Arroyo La Noria	10.72	13.20	15.07	16.95	19.43	21.31	23.18	25.66	27.54
C-1.2	Arroyo Mimbre Norte 2	14.04	17.42	19.98	22.54	25.93	28.49	31.05	34.44	37.00
C-1.2.1	Arroyo Mimbre Norte 1	17.01	20.82	23.70	26.58	30.39	33.28	36.16	39.97	42.85
C-1.3	Arroyo El Alamo	14.93	18.50	21.20	23.90	27.47	30.17	32.87	36.44	39.14
C-1.4	Arroyo Los Arcos	18.36	23.11	26.71	30.30	35.05	38.64	42.23	46.98	50.57
C-1.5	Arroyo Nogales Norte	10.94	13.19	14.89	16.59	18.84	20.54	22.24	24.48	26.18
C-1.6	Arroyo El Picacho	15.02	18.50	21.13	23.77	27.25	29.89	32.52	36.01	38.64
C-1.7	Arroyo Magallanes	22.08	27.86	32.23	36.61	42.39	46.76	51.13	56.91	61.28
C-1.8	Arroyo Mimbre Sur	12.35	14.94	16.90	18.86	21.46	23.42	25.38	27.98	29.94
C-1.8.1	Arroyo Saucito 1	20.17	24.33	27.49	30.64	34.81	37.96	41.11	45.28	48.43
C-1.8.1.1	Arroyo Saucito 2	45.56	54.62	61.48	68.34	77.41	84.26	91.12	100.19	107.05
C-1.9	Arroyo Galera Sur	25.87	31.45	35.68	39.90	45.48	49.71	53.93	59.51	63.74
C1.9.1	Arroyo Galera Norte	17.60	21.11	23.76	26.41	29.91	32.56	35.21	38.72	41.37
C-1.10	Arroyo San Rafael	22.23	28.43	33.11	37.80	43.99	48.68	53.37	59.56	64.25
C-1.11	Arroyo Marmol	21.91	27.46	31.65	35.85	41.40	45.60	49.80	55.35	59.54
C-1.12	Arroyo Concordia 2	15.33	19.60	22.83	26.06	30.34	33.57	36.80	41.07	44.30
C-1.13	**Río Chuvíscar**	5.16	7.58	9.42	11.25	13.67	15.51	17.34	19.77	21.60
C-1.13.1	Arroyo La Cantera	13.47	16.15	18.18	20.21	22.89	24.92	26.94	29.62	31.65
C-1.13.2	Arroyo Plaza de Toros	16.37	25.65	32.67	39.69	48.97	55.99	63.01	72.29	79.31
C-1.13.3	Arroyo Los Temporales	18.89	27.85	34.64	41.42	50.39	57.17	63.95	72.92	79.70
C-1.13.4	Arroyo Las Malvinas	32.23	38.65	43.50	48.35	54.77	59.62	64.47	70.89	75.74
C-1.13.5	Arroyo El Barro	23.08	27.68	31.15	34.63	39.22	42.70	46.17	50.77	54.24
C-1.13.6	Arroyo La Canoa	28.91	34.66	39.01	43.36	49.12	53.47	57.82	63.57	67.93
C-1.13.7	Arroyo El Chamizal	15.11	18.49	21.04	23.59	26.97	29.52	32.07	35.45	38.00
C-1.13.8	Arroyo La Manteca	25.28	31.08	35.46	39.84	45.63	50.01	54.39	60.18	64.57
C-1.14	**Arroyo Nogales Sur**	6.25	8.18	9.64	11.10	13.03	14.49	15.95	17.88	19.35
C-1.14.1	Arroyo Concordia 1	19.56	24.91	28.96	33.01	38.36	42.41	46.46	51.81	55.86

6. Cálculo de Caudales Máximos

Para el cálculo de los caudales de diseño de cada uno de los cauces en estudio se aplicó, de manera simplificada, el método Racional, al ser uno de los métodos recomendados para estos fines por parte de la CONAGUA [26].

Método Racional

Es ampliamente usado para el cálculo de caudal de escurrimiento pluvial en zonas urbanas, especialmente en cuencas pequeñas donde las variaciones espaciales de la lluvia son reducidas y donde los efectos del almacenamiento en los cauces son aún despreciables [3].

Su aplicación es válida en cuencas área desde 0.89km^2 a 12.59km^2 de acuerdo con CONAGUA [26]; es decir, es aplicable a microcuencas y algunas subcuencas.

Este análisis se basa en las siguientes hipótesis fundamentales:

1. La intensidad de precipitación es uniforme en el espacio y en el tiempo;
2. La duración de la precipitación que produce el caudal máximo es igual al tiempo de concentración;
3. El tiempo de concentración es el que tarda toda el área de la cuenca en contribuir al escurrimiento;
4. El coeficiente de escurrimiento se mantiene uniforme en el tiempo.

A pesar de estas simplificaciones, se ha demostrado que este método racional da resultados adecuados para el cálculo de caudales de diseño para obras de manejo de aguas de lluvia en zonas urbanas (26). Ya que el cálculo de caudales con este método aplica para cuencas con área menor a la mayoría de las cuencas analizadas en el estudio, se incluyó el factor de reducción por área para el cálculo de los caudales. Por tanto, incluyendo dicho factor, el cálculo de caudal máximo con este método se basa en la ***Ec. 11***, modificada de lo propuesto por CONAGUA [26] para incluir dicho factor:

$$Q_{máx} = \text{FRA} * 0.278 * Ce * i * A \qquad \textbf{\textit{Ec. 11}}$$

Donde:

- $Q_{máx}$= Caudal máximo de desalojo de la cuenca (m^3/s);
- FRA= Factor de reducción por área (adimensional)
- *Ce*= Coeficiente de escurrimiento (adimensional);
- *i*= Intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración (mm/h);
- *A*= Área de la cuenca (km^2);

El valor *0.278* es un factor de conversión de unidades.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

En la Tabla 19 se muestran los caudales calculados para cada cuenca en estudio a diversos periodos de retorno.

Tabla 19. Caudales máximos de escurrimiento a diferentes periodos de retorno con base en el método racional (m^3/s). Fuente: elaboración propia.

ID	Nombre	Periodo de retorno en años								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
C-1	**Río Sacramento**	285.80	541.76	790.30	1,068.75	1,506.33	1,880.97	2,296.65	2,767.05	3,152.51
C-1.1	Arroyo La Noria	14.66	26.97	38.65	51.49	71.63	88.64	107.42	127.16	143.46
C-1.2	Arroyo Mimbre Norte 2	12.52	19.62	26.09	32.95	43.38	52.09	61.57	72.08	80.59
C-1.2.1	Arroyo Mimbre Norte 1	11.42	19.36	26.76	34.75	47.13	57.53	68.94	81.10	91.06
C-1.3	Arroyo El Alamo	20.42	29.30	37.00	44.89	56.38	65.85	76.06	88.07	97.63
C-1.4	Arroyo Los Arcos	27.28	36.22	43.44	50.24	59.34	66.57	73.92	83.88	91.37
C-1.5	Arroyo Nogales Norte	18.66	29.84	40.06	50.93	67.55	81.42	96.56	112.76	125.96
C-1.6	Arroyo El Picacho	42.83	56.52	67.76	78.48	93.12	104.87	116.97	132.74	144.75
C-1.7	Arroyo Magallanes	16.80	22.19	26.51	30.55	35.88	40.08	44.33	50.21	54.60
C-1.8	Arroyo Mimbre Sur	41.96	57.01	69.82	82.51	100.65	115.45	131.08	149.82	164.48
C-1.8.1	Arroyo Saucito 1	30.46	38.87	45.66	51.98	60.44	67.18	74.04	83.26	90.19
C-1.8.1.1	Arroyo Saucito 2	9.78	12.28	14.27	16.10	18.49	20.39	22.30	24.95	26.92
C-1.9	Arroyo Galera Sur	60.40	77.06	90.40	102.72	119.00	131.89	144.92	162.85	176.23
C1.9.1	Arroyo Galera Norte	14.35	18.11	21.14	23.92	27.62	30.56	33.53	37.59	40.62
C-1.10	Arroyo San Rafael	16.23	21.73	26.14	30.27	35.74	40.05	44.41	50.43	54.93
C-1.11	Arroyo Marmol	45.22	60.01	72.02	83.38	98.66	110.82	123.25	139.91	152.49
C-1.12	Arroyo Concordia 2	21.27	28.48	34.26	39.67	46.84	52.49	58.20	66.10	72.00
C-1.13	**Río Chuvíscar**	128.11	254.59	379.37	520.60	744.29	936.72	1,150.81	1,393.36	1,592.47
C-1.13.1	Arroyo La Cantera	32.63	45.99	57.65	69.50	86.89	101.20	116.51	133.96	147.84
C-1.13.2	Arroyo Plaza de Toros	15.44	25.43	33.53	41.43	52.02	60.38	68.88	80.51	89.29
C-1.13.3	Arroyo Los Temporales	7.82	13.39	18.40	23.71	31.61	38.20	45.31	53.91	60.77
C-1.13.4	Arroyo Las Malvinas	24.02	30.45	35.64	40.44	46.87	51.99	57.19	64.19	69.45
C-1.13.5	Arroyo El Barro	17.62	22.40	26.27	29.88	34.73	38.59	42.54	47.79	51.75
C-1.13.6	Arroyo La Canoa	16.00	20.08	23.34	26.32	30.24	33.35	36.47	40.80	44.03
C-1.13.7	Arroyo El Chamizal	18.78	27.75	35.73	44.00	56.35	66.58	77.62	90.06	100.04
C-1.13.8	Arroyo La Manteca	15.03	19.34	22.79	25.98	30.19	33.51	36.86	41.50	44.96
C-1.14	**Arroyo Nogales Sur**	73.75	121.73	166.12	214.04	287.32	349.04	416.67	493.17	555.26
C-1.14.1	Arroyo Concordia 1	57.80	77.09	92.55	107.02	126.15	141.26	156.51	177.60	193.36

En la Figura 52 se presentan gráficamente los caudales máximos de escurrimiento de los dos ríos principales de la ciudad de Chihuahua, el Sacramento y el Chuvíscar, así como del arroyo Nogales Sur. En la Figura 53 se muestran los caudales de diseño de los demás cauces principales de la ciudad. En ambas se presentan los caudales calculados para cada cuenca en estudio en varios periodos de retorno.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

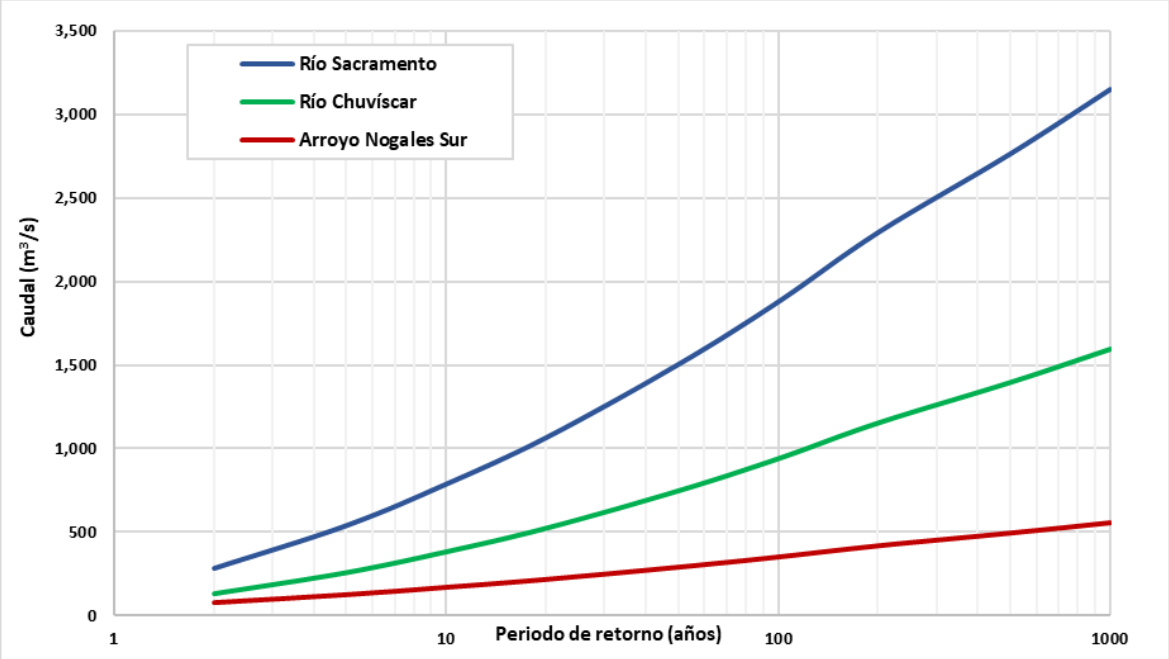


Figura 52. Caudales máximos de escurrimiento a diversos periodos de retorno de los ríos Sacramento, Chuvíscar y arroyo Nogales Sur. Fuente: elaboración propia.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

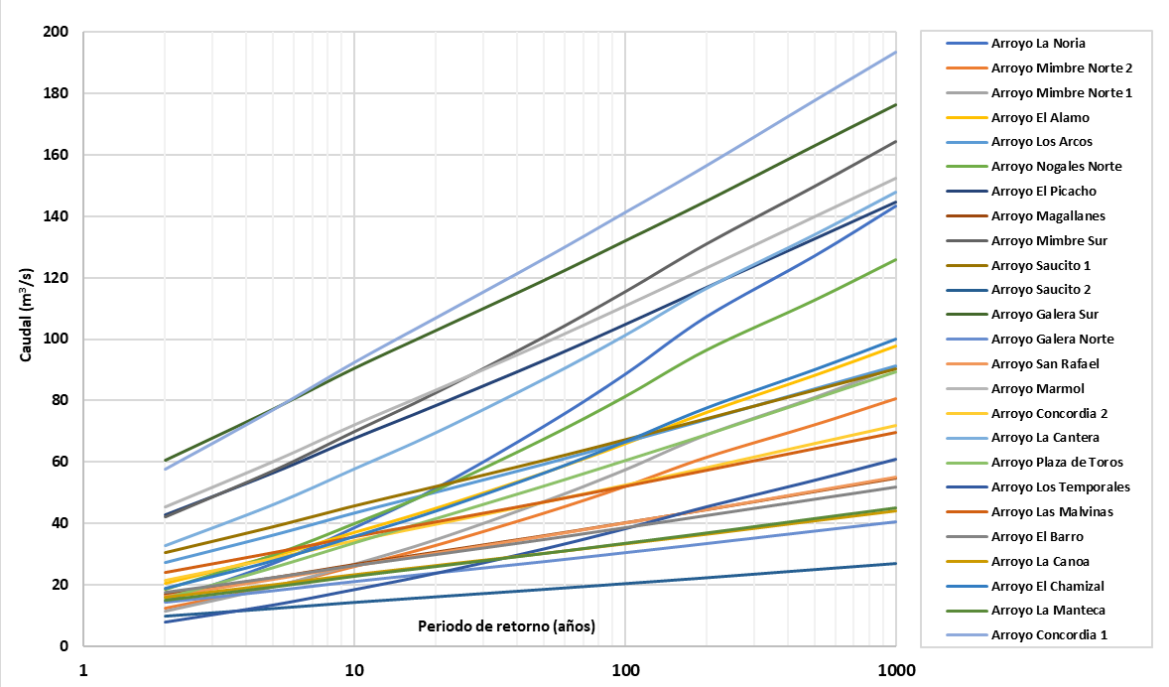


Figura 53. Caudales máximos de escurrimiento a diversos periodos de los principales arroyos urbanos. Fuente: elaboración propia.

6.1. Volúmenes Anuales Esperados de Escurrimiento por Subcuenca

Se calculó la cantidad de agua pluvial escurrida por cada uno de los 28 cauces en estudio (subcuenca), mediante la aplicación de la siguiente ecuación ***Ec. 12*** [(26)].

$$VAEE = \frac{A * P * Ce}{1{,}000} \qquad \textbf{Ec. 12}$$

Donde:

VAEE: Volumen anual esperado de escurrimiento de la subcuenca (Hm^3);

A: Área de la subcuenca (km^2);

P: Precipitación anual promedio de la subcuenca (mm);

Ce: Coeficiente de escurrimiento de la subcuenca.

Por tanto, como se muestra en la ***Ec. 12*** se multiplicó el área de la subcuenca de cada cauce por el promedio de precipitación acumulada de la misma, teniendo en cuenta el porcentaje de influencia tributaria de cada estación en cada una de las cuencas; es decir, se multiplicó el porcentaje que cada estación influye en cada subcuenca por el promedio de precipitación de la estación dada.

Asimismo, se consideró un coeficiente de escurrimiento ponderado por probabilidad de excedencia de cada periodo de retorno; es decir, se aplicó la ***Ec. 13*** siendo, para cada cauce, la sumatoria de los productos de multiplicar cada valor del coeficiente de escurrimiento de cada periodo de retorno por la probabilidad de excedencia de periodo de retorno dado (***Ec. 13***)

$$Ce\ ponderado = \frac{Ce_{Tr2}}{2} + \frac{Ce_{Tr5}}{5} + \frac{Ce_{Tr10}}{10} \ldots \qquad \textbf{Ec. 12}$$

$$Prob\ de\ excedencia = \frac{1}{Periodo\ de\ retorno} \qquad \textbf{Ec. 13}$$

En la Tabla 16 se presentan los coeficientes de escurrimiento ponderados por probabilidad de excedencia para 4 periodos de retorno de cada una de las cuencas de los cauces estudiados. Asimismo, en la Tabla 20 se muestran los volúmenes anuales esperados en promedio en cada uno de los cauces.

Tabla 20. Volúmenes de escurrimiento promedio por cada uno de los cauces en estudio. Fuente: elaboración propia.

ID	Nombre	Volumen de escurrimiento promedio por cuenca (hm^3)
C-1	**Río Sacramento**	**172.757**
C-1.13	**Río Chuvíscar**	**50.028**
C-1.14	**Arroyo Nogales Sur**	**21.254**
C-1.8	Arroyo Mimbre Sur	4.445
C-1.14.1	Arroyo Concordia 1	4.082
C-1.6	Arroyo El Picacho	3.701
C-1.13.1	Arroyo La Cantera	3.196
C-1.9	Arroyo Galera Sur	2.864
C-1.11	Arroyo Marmol	2.741
C-1.5	Arroyo Nogales Norte	2.524
C-1.1	Arroyo La Noria	2.319
C-1.4	Arroyo Los Arcos	1.977
C-1.3	Arroyo El Alamo	1.901
C-1.12	Arroyo Concordia 2	1.900
C-1.8.1	Arroyo Saucito 1	1.819
C-1.13.7	Arroyo El Chamizal	1.667
C-1.2	ırroyo Mimbre Norte 2	1.330
C-1.13.2	Arroyo Plaza de Toros	1.285
C-1.2.1	ırroyo Mimbre Norte 1	1.044
C-1.7	Arroyo Magallanes	1.007
C-1.10	Arroyo San Rafael	0.994
C1.9.1	Arroyo Galera Norte	0.957
C-1.13.5	Arroyo El Barro	0.901
C-1.13.4	Arroyo Las Malvinas	0.878
C-1.13.8	Arroyo La Manteca	0.739
C-1.13.6	Arroyo La Canoa	0.646
C-1.13.3	Arroyo Los Temporales	0.575
C-1.8.1.1	Arroyo Saucito 2	0.250

En la Figura 54 se muestran los volúmenes anuales esperados de escurrimiento de los tres principales cauces de la ciudad de Chihuahua.

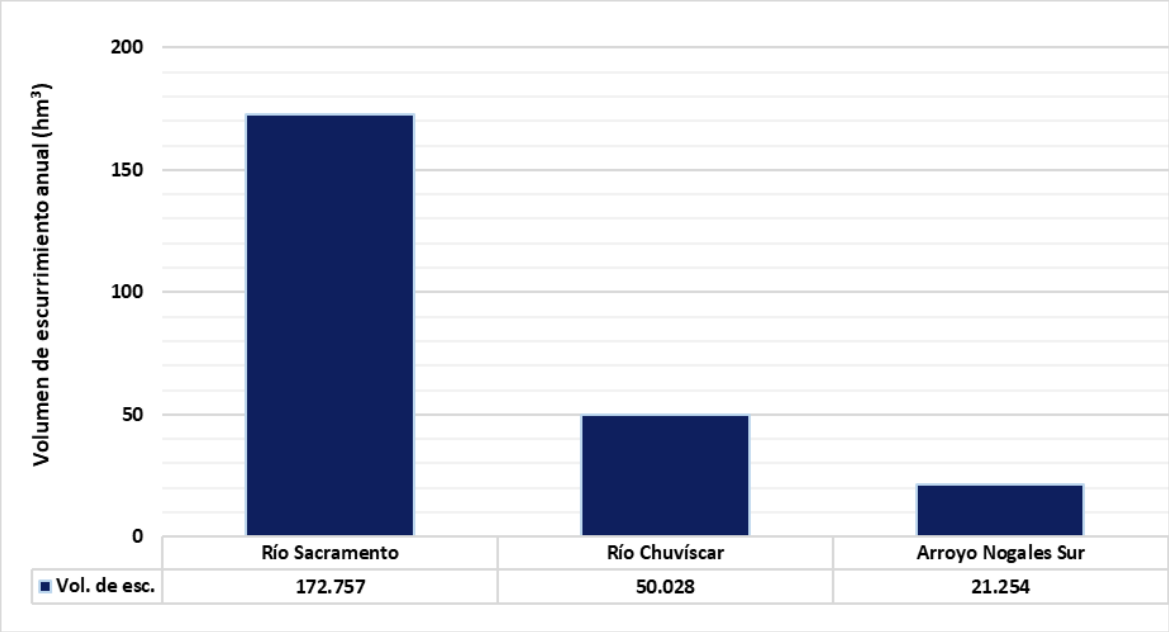


Figura 54. Volúmenes de escurrimiento promedio de los tres cauces principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia

En la Figura 55 se muestran los valores para los arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Es importante señalar que, debido al orden tributario considerado para el análisis de los cauces, los volúmenes de estos no deben ser sumados para obtener un total. El volumen total escurrido corresponde al del río Sacramento, considerado como el cauce principal en estudio. Además, a modo de ejemplo, el volumen escurrido por el arroyo Saucito 2 está incluido en el volumen escurrido por el arroyo Saucito 1, y ambos a su vez están considerados en el volumen escurrido por el arroyo Mimbre Sur.

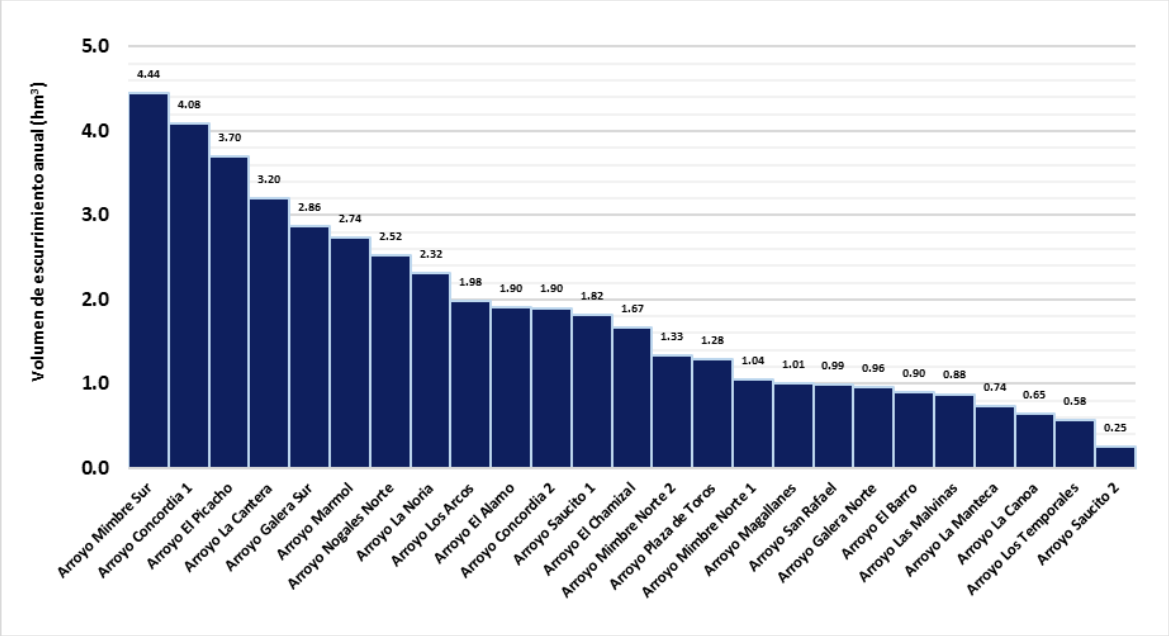


Figura 55. Volúmenes de escurrimiento promedio de arroyos principales. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las Figuras anteriores es notorio que el volumen de escurrimiento de los diversos ríos y arroyos varia ampliamente con valores desde 0.25 y 0.58 Hm^3 al año en algunos de los cauces más pequeños en análisis, hasta 172.75, 50.03 y 21.25 Hm^3 al año en los tres cauces principales. Por tanto, al momento de analizar opciones de manejo y aprovechamiento de volumen, deberá tenerse en cuenta las particularidades del cauce que se desee intervenir.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

7. Zonas Críticas y Vulnerables a Inundaciones

En el municipio de Chihuahua, en específico en la zona urbana de la ciudad de Chihuahua se han presentado precipitaciones que han provocado inundaciones en diversas partes de la mancha urbana. Estas lluvias han provocado desbordes de ríos y arroyos, que a su vez han tenido impactos en la sociedad. El Atlas de riesgos del municipio de Chihuahua (2022) [28] sintetizo de manera cronológica los fenómenos perturbadores de origen natural en específico del tipo hidrometeorológico y geológico del periodo 2014 a 2022, la detección y acopio de estos fenómenos se realizó de manera sistemática, a partir de la información recabada por el Sistema de Información Procesada (INPRO) “Hemeroteca Digital de Chihuahua”. Los fenómenos de tipo hidrometeorológicos detectados incluyen fenómenos tales como inundaciones pluviales y fluviales, sequías, heladas, ondas gélidas, y tormentas de nieve, eléctricas y de polvo. Por su parte, los fenómenos geológicos incluyen fenómenos tales como inestabilidad de laderas, hundimientos y agrietamiento del terreno y sismos. Cada evento registrado en la Tabla 21 refiere la ubicación de los hechos y la fuente hemerográfica de donde el Atlas de riesgo obtuvo la información.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Tabla 21. Fenómenos perturbadores de origen natural en el Municipio de Chihuahua, registrados de 2014 al 2022. Fuente: Atlas de riesgos del Municipio de Chihuahua (2022) [28].

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
07/10/2014	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Les llueven carencias. La lluvia les convierte las calles lodosas y les falta agua potable	Colonia La Soledad	El Heraldo de Chihuahua
08/10/2014	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Deja tormenta afectaciones en nueve colonias. En tres horas se registraron 58 milímetros en la zona Norte	Zona Norte de la Ciudad (Villa Juárez, Zona Aeropuerto, Col. El Porvenir I, II y III, Vida Digna, Los Arcos, 20 Aniversario, Vicente Guereca, Av. La Cantera, San Felipe, Mirador, Campesina y Ampliación Nuevo Triunfo	El Diario
08/26/2014	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	En riesgo por lluvias más de 27 mil personas: "La ciudad está asentada sobre arroyos"	Causes de ríos, arroyos y zonas inundables de la ciudad	El Diario
09/08/2014	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Ríos en calles de colonia Cerro de la Cruz; Av. Universidad desde el cruce con la avenida Las Américas hasta llegar a la avenida José Escudero	Calle 51, Cerro de la Cruz; Av. Universidad desde el cruce con la Av. Las Américas hasta llegar a la Av. José Escudero; Av. Tecnológico; Calle Paseo del Norte y Talamantes, y el Periférico R. Almada y Buenavista	El Heraldo de Chihuahua

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
10/21/2014	Geológicos	Hundimientos y agrietamiento del terreno	Siguen las grietas y hundimientos en vialidad Sacramento	Vialidad Sacramento	Crónica
12/08/2014	Hidrometeorológicos	Ondas gélidas	Pronostican onda gélida al estado	Ciudad de Chihuahua	El Heraldo de Chihuahua
12/25/2014	Hidrometeorológicos	Ondas gélidas	Azota onda gélida al estado	Ciudad de Chihuahua	El Diario
06/17/2015	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Corriente de agua causó hundimientos en escuela	Primaria Agustín Melgar; Cruce de la Vialidad Ch-P con el bulevar Fuentes Mares	El Diario
06/30/2015	Hidrometeorológicos	Tormentas de polvo	Sorprende tormenta de polvo en Chihuahua	Ciudad de Chihuahua	Tiempo
07/06/2015	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Se inundan cada vez que llueve fuerte en Santo Niño	Colonia Santo Niño	El Heraldo de Chihuahua
07/07/2015	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Destroza lluvia calle en Punta Oriente	Calle Quinta Real, Colonia Punta Oriente	Tiempo
07/08/2015	Hidrometeorológicos	Tormentas eléctricas	Pega tormenta eléctrica: inundaciones y apagones	Ciudad de Chihuahua	Crónica
07/09/2015	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Corriente de arroyo inundó dos viviendas	Calle Álamos y 11a, Colonia Chulavista II Etapa	El Diario
09/12/2015	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Inundan aguas negras viviendas en la Zubirán	Calle Zubirán, 2106, 2018 y 2109	El Heraldo de Chihuahua
12/17/2015	Hidrometeorológicos	Heladas	Helada en la capital y nieve en la sierra	Ciudad de Chihuahua	El Diario

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
01/25/2016	Hidrometeorológicos	Ondas gélidas	Hasta -15°C el pronóstico para onde gélida que viene	Ciudad de Chihuahua	El Heraldo de Chihuahua
02/11/2016	Hidrometeorológicos	Sequías	Declaran desastre natural en 17 municipios por sequía	Municipio de Chihuahua	Entre Líneas
06/18/2016	Hidrometeorológicos	Sequías	Sequía baja el nivel del agua de la presa El Rejón	Presa El Rejón	La Opción
07/31/2016	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	En 13 años se ha inundado 6 veces, afirma señor Víctor	Calle Bosque, Colonia Viñedos California	El Heraldo de Chihuahua
08/14/2016	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Arrastra la corriente tres vehículos	Av. Independencia 715; Callé José Martí y Fresno, Col. Granjas; Calle Haciendas del Valle	El Heraldo de Chihuahua
09/07/2016	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Lluvias inundan juventud a la altura de la Egipto	Periférico de la Juventud y Calle Egipto	Tiempo
12/09/2016	Hidrometeorológicos	Heladas	Cae primera helada. Cientos de vehículos amanecieron con los vidrios helados por las bajas temperaturas que se vuelven congelantes en la ciudad	Ciudad de Chihuahua	La Opción
01/18/2017	Hidrometeorológicos	Heladas	Cae helada durante la madrugada; se cubren autos con hielo	Ciudad de Chihuahua	La Opción

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
01/30/2017	Hidrometeorológicos	Ondas gélidas	Por condiciones climatológicas atienden albergues más de 50 personas	Gimnasio Tricentenario; Centro Comunitario Barousse	La Opción
06/08/2017	Geológicos	Sismos	Se registra temblor de 4.1 grados en Ojo Laguna	Ojo Laguna	El Diario
07/25/2017	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Se mete el agua hasta la sala de Carmen Almeida. Resultan inútiles los trapos que coloca en la puerta.	Colonia El Álamo	El Heraldo de Chihuahua
08/21/2017	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Salvan a familia de arrastre por tormenta. Sorprendida por la furiosa corriente. Acuden bomberos a peligroso crucero de Río Aros y Tecnológico	Río Aros y Tecnológico	El Heraldo de Chihuahua
07/28/2017	Geológicos	Sismos	Confirman sismo en el ejido Sacramento. El Sistema Sismológico Nacional indica que fue de 3.7 grados en la escala de "Richter"	Ejido Sacramento	El Diario
07/15/2017	Geológicos	Inestabilidad de laderas	Lluvias provocan deslave en estacionamiento de Universidad de Durango	Universidad de Durango, Av. Cantera	Tiempo
12/23/2017	Hidrometeorológicos	Heladas	Pega la helada; amanece 0 grados, -4 sensación térmica	Ciudad de Chihuahua	Tiempo

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
04/12/2018	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Se desborda drenaje en CDP que inunda y causa olores fétidos en casas	Colonia CDP	La Opción
07/10/2018	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Zona oriente de la ciudad sigue con inundaciones	Avenida Equus, del tramo Punta los Naranjos a Jardines de Oriente; Arroyo Cacahuatal; Puente del Arroyo Los Nogales; Parque Drago	Entre Líneas
08/27/2018	Hidrometeorológicos	Tormentas eléctricas	Azota tormenta eléctrica a la ciudad	Ciudad de Chihuahua	El Diario
09/03/2018	Hidrometeorológicos	Tormentas eléctricas	Tormenta eléctrica causa estragos en la ciudad	Ciudad de Chihuahua	El Diario
09/27/2018	Hidrometeorológicos	Inestabilidad de suelos	Lluvias 'Sacan a Flote' Socavón. En riesgo de colapsar viviendas en Santo Niño	Escudero 2305; entre las calles 25 y 23	El Diario
10/17/2018	Hidrometeorológicos	Heladas	Sorprende helada a chihuahuenses; Registra el estado temperaturas bajo cero en algunas regiones; Condiciones climatológicas prevalecerán durante las próximas horas	Ciudad de Chihuahua	El Diario
12/10/2018	Hidrometeorológicos	Heladas	Cae helada en frío amanecer	Ciudad de Chihuahua	La Opción
12/29/2018	Hidrometeorológicos	Heladas	Se registra helada en la capital	Ciudad de Chihuahua	La Opción

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
03/13/2019	Hidrometeorológicos	Tormentas de nieve	Caos por nieve, lluvia y viento. Entrada de frente frío al estado provoca derrumbes, caída de señalamientos, incendios y vehículos dañados	Ciudad de Chihuahua	El Diario
09/24/2019	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Lleva primaria Agustín Melgar 45 años inundándose	Av. Fundición 1003, Colonia Desarrollo Urbano	El Diario
10/04/2019	Hidrometeorológicos	Inundaciones fluviales	Dejan lluvias caos, daños y un muerto	Río Sacramento; Calle Manuel Aguilar	El Heraldo de Chihuahua
07/23/2020	Hidrometeorológicos	Inundaciones fluviales	Alertan posibles tormentas en la ciudad e inundaciones del Río Chuvíscar	Ciudad de Chihuahua; Precipitaciones de 63 a 75 mm	Puente Libre
07/20/2021	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	En Chihuahua, tormenta causa inundaciones y levanta techo del Hospital Central	Hospital Central y Mercado de la Niños Héroes	El Heraldo de Chihuahua
07/28/2021	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Declaran zona desastre siete colonias en Chihuahua por las lluvias	Colonias Cerro de la Cruz, Los Pinos, Campesina Nueva, Campesina, Margarita Maza de Juárez, Villa Juárez, Valle de la Madrid y Rosario	El Heraldo de Chihuahua
08/19/2021	Hidrometeorológicos	Inundaciones fluviales	Tromba azota Chihuahua; se desborda el río Chuvíscar	Canal Chuvíscar	El Heraldo de Chihuahua
08/20/2021	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Chihuahua bajo el agua por lluvias, hay un muerto	Zona centro y suroeste (50 a 75 mm)	El Heraldo de Chihuahua

Fecha	Tipo de Fenómeno	Fenómeno	Nota	Ubicación	Fuente
08/17/2022	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	La lluvia deja inundaciones en varios puntos de la capital	Av. Juan Escutia; Av. Cantera (Paso a desnivel); Periférico de la Juventud; Av. Francisco Villa; C. José María Mata; C. Sicomoro; C. José María Iglesias; C. Ignacio Rodríguez.	La Lista
09/03/2022	Hidrometeorológicos	Inundaciones pluviales	Tormenta dejó acumulado de 42 mm de agua hacia el norte de la capital	C. Batalla de Zacatecas; Av. Buenavista, C. J.J. Calvo y Samaniego (Arroyo desbordado), y Periférico R. Almada.	El Heraldo

Fuente: Consulta hemerográfica, INPRO, www.inpro.com.mx

En el **informe 10 Integración del análisis del drenaje pluvial** de este estudio se profundizará en las zonas críticas y vulnerables propensas a inundaciones, además de analizar las capacidades de los drenajes pluviales existentes para conducir el flujo de agua durante eventos de lluvia intensa.

Como se comentó en la sección anterior el volumen total escurrido es el que corresponde al del río Sacramento, que es considerado como el cauce principal en este estudio. El río Chuvíscar por igual también es alimentado por numerosos arroyos y por lo tanto ambos necesitan de un análisis detallado de sus condiciones de conducción, control y manejo, en donde sea posible analizar de manera actual cual es la red de drenaje de cada uno de sus tributarios.

De acuerdo con la información obtenida con el cálculo de caudales máximos y corroborando los resultados con el Atlas de riesgo (2022) [28] los arroyos de mayor impacto sobre la ciudad son: El Mimbre Sur, La Concordia, El Picacho, La Cantera y Nogales Norte.

Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
Calle Victoria #14, sexto piso, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih. Tel. 614 200 4820
https://implanchihuahua.org

8. Recomendaciones para Aprovechar el Agua Superficial

El aprovechamiento del agua de lluvia y superficial en el municipio de Chihuahua es fundamental para garantizar un suministro adecuado de agua en la región. Según lo observado con los caudales máximos que se generan además de generar grandes caudales de agua pluvial, también se propician grandes volúmenes de arrastre de suelos y sedimentos, por lo que es importante tener en consideración estos factores que ingresan a la zona urbana a través de los arroyos canalizados y rústicos, los cuales requieren ser adaptados con obras complementarias para ralentizar los caudales y sedimentar el arrastre de suelos erosionados, provenientes de las áreas rurales y que causan conflictos de azolvamiento y colmatación en los arroyos e incluso en las redes del drenaje sanitario de las colonias.

En el análisis de este estudio, y en referencia al municipio de Chihuahua, existe la posibilidad debido a las condiciones de la zona de estudio de utilizar el agua superficial excedente provocada por lluvias extraordinarias mediante [29] [1] [28]:

- **Presas de almacenamiento:** El propósito principal de las presas es almacenar el agua en exceso que hay en la época de lluvias, para utilizarla en época de secas y así garantizar el riego, abastecimiento de agua potable o generación de energía eléctrica durante todo el año. Sin embargo, también se construyen presas con el único objeto de controlar avenidas. Las presas constan de un dique principal o cortina que se construye en el río, o en un cauce para cerrar el paso del agua y almacenarla, es así como se forma el vaso regulador donde se almacena el agua. Todas las presas en mayor o menor grado, cualquiera que sea su propósito principal, ayudan en el control de inundaciones, ya que los gastos máximos que salen de sus obras de excedencias son menores que los máximos de entrada al vaso.
- **Presas rompe-picos:** Son presas de dimensiones reducidas que no poseen gran capacidad de almacenamiento. Su propósito es reducir el gasto pico de una avenida, ya que son diseñadas para retener cierta cantidad de agua durante la avenida y luego permitir su descarga más lenta hacia aguas abajo, están formadas generalmente por una cortina de poca altura, una obra de excedencia y un desagüe. Sirven para proteger poblaciones que son atravesadas por arroyos o ríos y son económicas cuando se tienen condiciones geológicas y topográficas adecuadas y el fondo del río es rocoso o resistente a la erosión.
- **Presas para retener azolves:** Son pequeños diques interpuestos a la corriente que se colocan en arroyos y ríos. Generalmente tienen una altura entre 2 y 10 m, aunque también las hay mayores. Es importante destacar la pertinencia de realizar programas de mantenimiento de desazolve, con el fin de mantener la vida útil de estas estructuras. Consisten en un dique construido de concreto o mampostería, gaviones o elementos prefabricados en cuya corona, se forma una escotadura que sirve como obra de excedencias o vertedor. La función de estas obras consiste en retener parte de los sedimentos que proceden desde aguas arriba, y puesto que sus vasos usualmente son reducidos, se construyen varias en

cascada. Las presas retenedoras de azolve que tienen poca altura se llenan muy pronto, pero aun así tienen un efecto positivo, ya que disminuyen la pendiente del fondo del cauce y ocasionan una pérdida de carga hidráulica cuando el agua pasa por el vertedor y choca con el fondo del cauce o el fondo del tanque que se coloca aguas abajo de ellas.

- **Canalización o entubamiento de un cauce**: Canalizar, recubrir un cauce o entubarlo con un conducto subterráneo son soluciones técnicamente factibles cuando se tienen bajos niveles de agua en los arroyos o ríos que pasen cerca de una zona urbana. La función de cualquiera de estas soluciones consiste en conducir el agua a niveles menores que los que se presentan en condiciones naturales o confinarlos. Con ello, se logra reducir las inundaciones y aprovechar los terrenos aledaños a las obras de conducción.

Además de estas acciones mencionadas se pueden llevar a cabo diversas obras para aprovechar estos volúmenes excedentes de agua [30] [31] [27]:

- **Recarga de acuíferos:** Se puede utilizar el agua superficial para recargar los acuíferos subterráneos, lo que ayuda a aumentar la disponibilidad de agua en épocas secas y reduce la extracción de aguas subterráneas.
- **Humedales artificiales:** Se pueden crear humedales artificiales para tratar el agua superficial contaminada antes de su infiltración o descarga, lo que mejora la calidad del agua y proporciona hábitats para la fauna y flora local.
- **Balsas de infiltración:** Construir balsas de infiltración en áreas estratégicas para captar y infiltrar el agua superficial en el suelo, recargando así los acuíferos y reduciendo la escorrentía superficial.
- **Sistemas de drenaje sostenible:** Implementar sistemas de drenaje sostenible, como zanjas de infiltración, pavimentos permeables y áreas verdes, que permitan la infiltración del agua superficial y reduzcan la carga en los sistemas de drenaje convencionales.
- **Reutilización del agua:** Reutilizar el agua superficial tratada para usos no potables, como riego agrícola, riego de parques y jardines, y usos industriales, reduciendo así la demanda de agua potable.
- **Cosecha de agua de lluvia en superficies pavimentadas:** Instalar sistemas de captación de agua de lluvia en superficies pavimentadas, como calles y plazas, para dirigir el agua hacia áreas de infiltración o almacenamiento.
- **Técnicas de captación de agua de escorrentía:** Implementar técnicas como zanjas de infiltración, terrazas de retención y micro-presas para captar y retener la escorrentía superficial, permitiendo su infiltración en el suelo y recarga de acuíferos.
- **Manejo de suelos y vegetación:** Implementar prácticas de conservación del suelo, como la construcción de terrazas y la siembra de cobertura vegetal, para mejorar la infiltración del agua de lluvia y reducir la erosión.

En el **informe 10. Integración del análisis del drenaje pluvial**, así como en el **informe 11. Interpretación integral del estado que guarda el agua en el municipio de**

Chihuahua y en el **informe 12. Propuesta de visión, objetivos estratégicos y específicos, prospectiva, cartera de proyectos y acciones** se especificarán de manera más detallada propuestas que de ser llevadas a cabo permitirán mejorar las condiciones para retener y aprovechar el agua superficial de manera sostenible

9. Referencias

1. CEPAL. Avances en la Gestión Integrada del Agua Urbana y Rural en América Latina y el Caribe. [Online].; 2014 [cited 2024 02 12.

2. Calderón FM. (GIRH) Alcances de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sector Agrícola de México. FINGUACH. Revista De Investigación Científica De La Facultad De Ingeniería De La Universidad Autónoma De Chihuahua. 2019; 3(7).

3. Campos Aranda DF. Introducción a la Hidrología Urbana. 2nd ed. San Luis Potosí: Printego; 2010.

4. Inegi. SINCE. [Online].; 2020 [cited 2022 mayo 15. Available from: https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/.

5. Inegi. Delimitación de las zonas Metropolitanas de México 2015 México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía; 2015.

6. Implan Chihuahua. Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua-Diagnóstico. Chihuahua, Chih.:; 2009.

7. Municipio de Chihuaua. Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua 2014 Ciudad de México: Desarrollo de Proyectos de Gobernabilidad S.C.; 2014.

8. Mpio. Chihuahua. ATLAS DE RIESGO DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA Chihuahua: Chihuahua; 2022.

9. Inegi. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. [Online]. México; -. Available from: https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/.

10. Implan Chihuahua. Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Chihuahua: Visión 2040 Chihuahua: Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua; 2009.

11. GIT. Programa de Manejo Integral de la Cuenca del Río Conchos Chihuahua; 2006.

12. Parque Metropolitano Tres Presas. Parque Metropolitano Tres Presas. [Online].; 2023. Available from: https://trespresas.com.mx/galeria/.

13. Inegi. Continuo Mexicano de Elevaciones. [Online]. Available from: https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/.

14. Herández-Samaniego E. Tesis - Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2018.

15. Cenapred/II UNAM. MAPAS ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO CON DISTINTAS DURACIONES. México:; 2006.

16. SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. [Online].; 2015 [cited 2017 10 14. Available from: http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/.

17. Wundermap. Wundermap. [Online].; 2017 [cited 2017 10 14. Available from: https://www.wunderground.com/wundermap.

18. Campos Aranda DF. Procesos del Ciclo Hidrológico San Luis Potosí: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí; 1998.

19. Sistema Metorológico Nacional. Normales Climatológicas por Estado. [Online]. [cited 2023. Available from: https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=chih.

20. Conagua. Sistema de Información Hidrológica (SIH). [Online].; 2023. Available from: https://sih.conagua.gob.mx/.

21. Chavarría Licón S. Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua-Diagnóstico. Chihuahua, Chih.:; 2009.

22. Chen-Lung C. Rainfall Intensity-Duration-Frecuency formulas. Journal of hydraulics engineering. 1983; 109: 1603-1621.

23. Bell FC. Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. Journal of the Hydraulics Division - ASCE. 1969; 95: 311-327.

24. Baeza Ramírez C. Estimación Regional de Factores de Convectividad para el Cálculo de las Relaciones Intensidad-Duración-Freciencia Ciudad de México: UNAM; 2007.

25. Dominguez-Mora R, Carrizosa E, Fuente GE, Arganis ML, Osnaya J, Galván-Torres AE. Análisis Regional para Estimar Precipitaciones de Diseño en la República Mexicana. Tecnología y Ciencias del Agua. 2020 Noviembre 24; 9(1).

26. CONAGUA. Drenaje Pluvial Urbano. In Agua CNd. Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Ciudad de México; 2015.

27. Hernández-Samaniego E. Tesis - Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2018.

28. Gobierno Municipal de Chihuahua, Protección Civil Chihuahua, Centro Nacional de Prevención de desastres (CENAPRED). Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua. Atlas de Riesgo. Chihuahua:; 2022.

29. Water footprint network. Water footprint network. [Online].; 2024 [cited 2024 02 12. Available from: https://www.waterfootprint.org/.

30. Briseño H, Sánchez A. Decentralization, consolidation, and crisis of urban water management in Mexico. Tecnología y Ciencias del Agua. 2018; 9.

31. CONAGUA, OECD, and IMTA. Financing water resources management in Mexico. [Online].; 2010 [cited 2023 January 19. Available from: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/OECD.pdf.

32. H. AYUNTAMIENTO de CHIHUAHUA. PLAN DE ACCION CLIMATICA MUNICIPAL (PACMUN®) MUNICIPIO DE CHIHUAHUA 2019. Chihuahua:; 2019.

33. Gleick PH. Water and conflict. Annual Review of Enviroment and Resources. 2019; 44: 97-117.

34. Garrido A, LLamas MR. Groundwater, environment, and society: Distinctive challenges in Iberia (Spain and Portugal). Groundwater. 2018; 56(2): 153-159.

35. Tsur Y, Dinar A. The role of scarcity in the choice of water institutions. Water Resources Research. 2015; 51(4): 2434-2446.