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

INTERPRETACIÓN INTEGRAL DEL ESTADO QUE GUARDA EL AGUA EN EL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA

INFORME XI

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

CAPÍTULO UNDÉCIMO: INTERPRETACIÓN INTEGRAL DEL ESTADO QUE GUARDA EL AGUA EN EL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA

1.	**Introducción**	**19**
1.1.	Objetivo, Procedimiento y Estructura del Informe	20
1.2.	Metodología	20
2.	**Integración del Análisis del Medio Natural**	**22**
2.1.	Marco Físico	22
2.2.	Hidrología	24
2.3.	Hidrología Subterránea	27
2.4.	Clima	29
3.	**Integración del Análisis Sociodemográfico**	**32**
3.1.	Análisis Poblacional	33
3.2.	Calidad de Agua	35
3.3.	Vivienda	38
3.4.	Infraestructura, Sistema de Agua Potable y Servicio de Drenaje	39
3.5.	Análisis de Dotación y Consumo	45
3.6.	Proyección de Población 2040 para el Municipio de Chihuahua	49
3.7.	Proyección de la Demanda de Agua Potable al año 2040	51
3.8.	Inversión en Infraestructura de Agua Potable y Alcantarillado	57
4.	**Integración del Análisis Socioeconómico en el Ámbito del Uso del Agua**	**59**
4.1.	Empleo Formal	59
4.2.	Análisis por Sector	61
4.3.	Sector Hídrico	66
5.	**Integración del Análisis Urbano y Rural en el Ámbito del Uso del Agua**	**68**
5.1.	Fuentes de Abasto y Usos	69
5.2.	Escenario Base o Tendencial	73
5.3.	Escenario Optimo Posible	93

6. Integración de Análisis de Riesgos y Resiliencia Hídrica 107

6.1. Patrones de Precipitación y Temperatura 107

6.2. Posibles Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos 109

7. Integración del Análisis de Problemas y Oportunidades en Materia de Disponibilidad, Uso, Calidad y Acceso al Agua 116

7.1. Problemas 116

7.2. Áreas de Oportunidad 121

8. Integración del Análisis del Marco Normativo 127

8.1. Marco Normativo Federal 128

8.2. Marco Normativo Estatal 137

8.3. Marco Normativo Municipal 143

8.4. Estructura Institucional y Legal para la Administración del Agua en México 146

8.5. Contribución del Estudio que sirva como Herramienta Base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo con relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 149

9. Integración del Análisis de Aguas Subterráneas 155

9.1. Acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS) 156

9.2. Acuífero Tabalaopa-Aldama (ATA) 166

9.3. Acuífero El Sauz-Encinillas (ASE) 174

10. Integración del Análisis de Aguas Superficiales 183

10.1. Hidrografía 186

10.2. Delimitación de las Cuencas y Subcuencas 188

10.3. Análisis de Precipitación 190

10.4. Análisis de Escurrimientos 197

10.5. Cálculo de Caudales Máximos 201

10.6. Volúmenes Anuales Esperados de Escurrimiento por Subcuenca 203

10.7. Recomendaciones para Aprovechar el Agua Superficial 206

11. Integración del Análisis del Drenaje Pluvial 208

11.1. Análisis de Vulnerabilidad ante Inundaciones 209

11.2. Índice de Población Vulnerable (IPV) 210

11.3. Vulnerabilidad de Viviendas ante Inundaciones (IVNS) 212

11.4. Análisis de la Vulnerabilidad ante Inundaciones 214

11.5. Definición de Zonas Críticas de Vulnerabilidad ante Inundaciones 217

11.6. Análisis de Drenajes Pluviales 218
11.7. Análisis de los Drenajes Pluviales Existentes 228
11.8. Alteraciones Hidrológicas en Cuencas de Ríos y Arroyos por Urbanización 238
11.9. Zonas Críticas de Inundación 249
11.10. Acciones Propuestas para Zonas de Inundación 254
12. Interpretación Integral del Estado del Agua 260
13. Referencias 266

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 Figuras

Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 23
Figura 2. Representación de los arroyos principales del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 26
Figura 3. Representación de los acuíferos dentro del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua, CONAGUA e INEGI. 28
Figura 4. Representación Cartográfica Climatológica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 30
Figura 5. Distribución de geográfica de las localidades en el municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI (2010). 34
Figura 6. Ubicación de pozos destinados al abastecimiento de agua potable en el municipio de Chihuahua. Fuente: Inventario estatal de fuentes de suministro de agua potable en el estado de Chihuahua (20). 37
Figura 7. Porcentaje de viviendas con suministro de agua por red o pipa. Fuente: Censo de Población y Vivienda, INEGI 2020 (13). 38
Figura 8. Mapa de diferentes tipos de suministro de agua potable en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales del tipo de suministro de agua de la JMAS (2023). 40
Figura 9. Imagen de la ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información de CONAGUA (23). 42
Figura 10. Mapa de la red de distribución de agua residual tratada en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales de la red de agua tratada y plantas de tratamiento de la JMAS (2023). 44
Figura 11. Porcentajes por tipo de usuario en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del JMAS y PIGOO-IMTA (24). 45
Figura 12. Dotación a los usuarios domésticos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del JMAS y PIGOO-IMTA (24). 46
Figura 13. Tendencia de variabilidad y crecimiento de la población en la ciudad de Chihuahua Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (13). 46

Figura 14. Mapa de calor del consumo al mes de los usuarios domésticos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS (2023). 48
Figura 15. Consumo de los usuarios domésticos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS y el PIGOO (24). 52
Figura 16. Eficiencia Física 2 (EF2) del sistema de agua potable obtenida por el organismo operador (JMAS). Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS y el PIGOO (24). 54
Figura 17. Zonificación primaria Plan de Desarrollo Urbano del centro de población Chihuahua. Fuente: Suelo artificializado y huella urbana, IMPLAN (2021) (30,27). 58
Figura 18. Comportamiento del empleo en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023 (35). 60
Figura 19. Cultivos de la región centro-Chihuahua. Fuente: Comisión de Desarrollo Económico Regional Chihuahua con datos del SIAP 2022 (32) (36). 62
Figura 20. Evolución de la productividad agrícola en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023 (35) (36). 62
Figura 21. Producción pecuaria anual de la región centro- Chihuahua. Fuente: Comisión de Desarrollo Económico Regional Chihuahua con datos del SIAP 2022 (32) (36). 63
Figura 22. Evolución de la productividad pecuaria en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023 (35) (36). 64
Figura 23. Volúmenes de extracción de aguas nacionales en el municipio de Chihuahua por tipo de fuente. Fuente: Elaboración propia con información del REPDA (38). 69
Figura 24. Volúmenes destinados a diversos usos de agua en el municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del REPDA (2023) (38). 70
Figura 25. Vedas de los acuíferos que abastecen de agua al municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del SINA (42) 3.0 (2022). 71
Figura 26. Porcentaje que representa la cantidad de pozos emplazados en los acuíferos, que son utilizados para el suministro de agua potable en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023). 74

Figura 27. Porcentaje del caudal aportado por los pozos emplazados en cada acuífero, utilizados para el suministro de agua potable a la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023). 75
Figura 28. Porcentaje de los títulos de concesión en el municipio de Chihuahua por su tipo de uso. Fuente: elaboración propia con información del REPDA (38) (2023). 76
Figura 29. Localización de los pozos en el municipio de Chihuahua por su tipo de uso. Fuente: elaboración propia con información del REPDA (38) (2023). 77
Figura 30. Porcentaje de producción de suministro de pozos para abasto de agua potable de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023). 79
Figura 31. Mapa de operación hidráulica de la red de agua potable en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la JMAS (2023). 82
Figura 32. Ubicación de la red de distribución de agua residual tratada utilizada en parques urbanos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS (2023). 85
Figura 33. Clasificación de sistemas de riego en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2022) (45). 89
Figura 34. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con un consumo de 160 l/hab/día. Fuente: elaboración propia. 97
Figura 35. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con un consumo de 220 l/hab/día. Fuente: elaboración propia. 98
Figura 36. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con una dotación de 220 l/hab/día. Fuente: elaboración propia. 99
Figura 37. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con una dotación de 401 l/hab/día. Fuente: elaboración propia. 100
Figura 38. Volumen de agua anual requerido por los cultivos agrícolas en el Municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 106
Figura 39. Grafica del comportamiento de las temperaturas medias, mínimas y máximas para los 7 periodos evaluados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del IMPLAN Chihuahua y CONAGUA. 108

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 40. Grafica de acumulación de precipitación media multianual para los 7 periodos evaluados de 1960 al 2023. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del IMPLAN Chihuahua y CONAGUA. 109
Figura 41. Gráfica de los resultados de las amenazas, de mayor a menor grado de riesgo, detectados por el grupo de expertos que participó en los talleres de los siete sectores productivos identificados en el PACMUN (2019) (52). 115
Figura 42. Diagrama de la estructura institucional y legal para la administración del agua en México. Fuente: elaboración propia. 149
Figura 43. Mapa del acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI (117) y CONAGUA (118). 158
Figura 44. Volúmenes autorizados por uso de forma anual en el ACHS. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA (53). 161
Figura 45. Profundidad del nivel estático para el año 2023 del ACHS. Fuente: elaboración propia con datos de la JMAS (2023). 163
Figura 46. Mapa del Acuífero Tabalaopa-Aldama. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI (117) y CONAGUA (118). 167
Figura 47. Volúmenes autorizados por uso de forma anual en el ATA. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA (38). 170
Figura 48. Profundidad del nivel estático para el año 2023 del ATA. Fuente: elaboración propia con datos de la JMAS (2023). 171
Figura 49. Mapa del acuífero El Sauz - Encinillas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI (117) y CONAGUA (118). 176
Figura 50. Volúmenes autorizados por uso de forma anual en el ASE. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA (38). 179
Figura 51. Profundidad del nivel estático para el año 2023 del ASE. Fuente: elaboración propia con datos de la JMAS (2023). 180
Figura 52. Zona Metropolitana de Chihuahua. Fuente: INEGI (2015) (132). 184
Figura 53. Ríos y arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2023) (136). 186
Figura 54. Presas en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. 187

Figura 55. Crecimiento de superficie urbana de la ciudad de Chihuahua del año 1969 a 2015. Fuente: elaboración propia con datos del IMPLAN PDU (2040) (137). 188
Figura 56. Cuencas de las principales ríos y arroyos que afectan el área urbana de Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 189
Figura 57. Precipitación acumulada de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia. 193
Figura 58. Datos de precipitación máxima diaria anual de las 5 estaciones, extrapolados con FDP. Fuente: elaboración propia. 194
Figura 59. 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) (143) (135). 195
Figura 60. Curvas I-D-Tr de estación Observatorio. Fuente: elaboración propia..... 196
Figura 61. Identificador (ID) por cuenca. Fuente: elaboración propia. 198
Figura 62. Área tributaria de cada estación climatológica para cada cuenca en estudio. Fuente: elaboración propia. 200
Figura 63. Caudales máximos de escurrimiento a diversos periodos de retorno de los ríos Sacramento, Chuvíscar y arroyo Nogales Sur. Fuente: elaboración propia. 203
Figura 64. Volúmenes de escurrimiento promedio de los tres cauces principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia..... 205
Figura 65. Volúmenes de escurrimiento promedio de arroyos principales. Fuente: elaboración propia. 206
Figura 66. Mapa: Índice de Personas Vulnerables. Fuente: elaboración propia con base en análisis de datos de INEGI (2020) (152). 211
Figura 67. Mapa de distribución espacial de los niveles de vulnerabilidad por nivel socioeconómico (IVNS) para la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con base en análisis de datos de INEGI (2020). 213
Figura 68. Mapa 3 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020). 214
Figura 69. Mapa 4 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020). 215

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 70. Mapa 5 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020). 215
Figura 71. Mapa 6 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020). 216
Figura 72. Mapa 7 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020). 216
Figura 73. Ubicación de los puntos de análisis hidráulico en el Municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 219
Figura 74. Ubicación de los puntos de análisis hidráulico con desbordamiento, por periodo de retorno. Fuente: elaboración propia..... 223
Figura 75. Ubicación de los puntos de análisis hidráulico con velocidad alta, por periodo de retorno. Fuente: elaboración propia. 227
Figura 76. Mapa de la infraestructura de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Chihuahua, que incluye ríos, arroyos y canales pluviales. Fuente: elaboración propia. 232
Figura 77. Estructuras de detención pluvia (regulación) en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 233
Figura 78. Ubicación de mapas de flujo sobre vialidades. Fuente: elaboración propia. 234
Figura 79. Flujo pluvial sobre vialidades (8/23). Fuente: elaboración propia. 235
Figura 80. Flujo pluvial sobre vialidades (14/23). Fuente: elaboración propia. 236
Figura 81. Flujo pluvial sobre vialidades (16/23). Fuente: elaboración propia. 237
Figura 82. Variación del coeficiente de escurrimiento a diversos periodos de retorno en zona urbana y no urbana de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con datos de Hernández-Samaniego, (2018) (163). 239
Figura 83. Ejemplo esquemático del aumento de caudal de escurrimiento en una cuenca tras urbanización. Fuente: elaboración propia. 240
Figura 84. Aumento de superficie urbanizada de cuencas de cauces urbanos de la ciudad de Chihuahua: Fuente: elaboración propia con información del IMPLAN. 241
Figura 85. Crecimiento urbano en la cuenca del arroyo La Cantera. Fuente: elaboración propia con información del IMPLAN. 243

Figura 86. Variación del área urbanizada y no urbanizada en la cuenca del arroyo La Cantera del año 1969 al año 2040. Fuente: elaboración propia. 244
Figura 87. Aumento de los caudales del arroyo La Cantera, a diferentes periodos de retorno desde el año 1969 al año 2040, a causa del aumento del área urbanizada-3. Fuente: elaboración propia. 246
Figura 88. Urbanización de cuencas de presas El Rejón, Chuvíscar y Chihuahua-a. Fuente: elaboración propia. 248
Figura 89. Localización en la ciudad de Chihuahua de sectores de riesgo. Fuente: recreación con datos del Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua (2022) (135). 250
Figura 90. Zonas de inundación de atlas de riesgos del municipio de Chihuahua 2022, Sector 3. Fuente: recreación con datos del Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua (2022) (135). 251
Figura 91. Índice Pérdida-Posesión Anual Esperado, promedio por vivienda afectada por cuenca sector. Fuente: Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas (2018) (163). 252
Figura 92. Arroyo en colonias San Felipe I y II, San Felipe Viejo y Santo Niño. Fuente: elaboración propia. 253
Figura 93. Ubicación de las propuestas de obras de regulación pluvial en el municipio de Chihuahua: Fuente: elaboración propia. 255

Índice de Tablas

Tabla 1. Localidades y porcentajes de población distribuidas en el municipio de Chihuahua. Fuente: INEGI (13) y Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 (14)..... 33

Tabla 2. Consumos por tipo de usuarios para el mes de diciembre del 2022. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA (24)..... 47

Tabla 3.Resultados de proyección de población por distintos métodos. Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de los censos de población del INEGI (13), y los resultados de los estudios del Programa Estatal de Población 2017-2021 (25) y Proyección de Población por Municipios CONAPO (26). 49

Tabla 4.Resultados de proyección de población por distintos métodos. Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de los censos de población del INEGI (13), y los resultados de los estudios del IMPLAN y PDU de la Cd. de Chihuahua (27)..... 50

Tabla 5. Número de cuentas/usuarios por tipo de facturación que presenta el organismo operador (JMAS) para el año 2022. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA (24)..... 53

Tabla 6. Consumo en m3 por día de acuerdo con las proyecciones estimadas. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA (28)..... 55

Tabla 7. Balance entre la demanda y oferta para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA (28). 56

Tabla 8. Balance entre la demanda y oferta para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA (24). 56

Tabla 9. Cantidad de empleos por sector en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023..... 61

Tabla 10. Comparativo del VAB sector hídrico 2022. Fuente: elaboración propia, VAB del sector hídrico se basan en la metodología de las Cuentas Nacionales de México del INEGI (33)..... 67

Tabla 11. Volumen suministrado de agua potable a la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023)..... 74

Tabla 12. Producción de gastos por fuente de abastecimiento para el año 2023. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023)..... 78

Tabla 13. Líneas de conducción del sistema primario de agua potable en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023)..... 80
Tabla 14. Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación en el municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información de la CONAGUA (2022). 84
Tabla 15. Usuarios de la red morada en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023). 84
Tabla 16. Estimación de calidad y demanda por tipo de industria, elaboración propia..... 87
Tabla 17. Títulos a cargo de organizaciones que son supervisadas por la JCAS de acuerdo con datos del REPDA. Elaboración propia con información del REPDA (2023) (44). 88
Tabla 18. Características de producción de los cultivos más importantes del municipio de Chihuahua. Elaboración propia con información del SIAP (45) (46). 90
Tabla 19. Resultados del estudio realizado por la JCAS en pozos para abasto de comunidades en el municipio de Chihuahua (20). 92
Tabla 20. Estimación de población rural distribuidas en el municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información de INEGI y el PDU (27) (13). 94
Tabla 21. Proyección de la demanda de agua potable en la zona urbana al 2040. Fuente: elaboración propia. 96
Tabla 22. Estadísticas de caudal facturado por tipo de usuarios de la JMAS. Fuente: elaboración propia con información del PIGOO (24) y de la JMAS (2023). 100
Tabla 23. Proyección de la demanda de agua potable por tipo de usuario proporcionado por la JMAS Chihuahua al 2040. Fuente: elaboración propia con información del PIGOO (24) y de la JMAS (2023). 101
Tabla 24. Demanda anual actual de agua estimada por sector. Fuente: elaboración propia con información del PIGOO (24) y de la JMAS (2023)..... 102
Tabla 25. Proyección de la demanda de agua para el sector industrial independiente de la JMAS Chihuahua. Fuente: elaboración propia. 102
Tabla 26. Proyección de la población de las localidades rurales para estimación de demanda de agua potable. Fuente: elaboración propia con información de INEGI (13) (47). 104
Tabla 27. Proyección de la demanda de agua potable en la zona rural al 2040. Fuente: elaboración propia con información de INEGI (13) (47). 105

Tabla 28. Temperatura media, mínima y máxima para los periodos de 1960-2023. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la estación climatológica Chihuahua (Observatorio). 107
Tabla 29. Amenazas hidrometeorológicas identificadas para el municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN (2019) (52). 112
Tabla 30. Espectro de riesgo utilizado en el Plan de Acción Climática Municipal (2019). Fuente: PACMUN (2019) (52). 113
Tabla 31. Amenazas y grado de riesgo asignado por los 7 sectores productivos identificados para el municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN (2019) (52). 114
Tabla 32. Artículos relevantes en la Constitución Mexicana para la gestión hídrica. 128
Tabla 33. Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) vigentes de la CONAGUA en materia hídrica (18). 133
Tabla 34. Normas Oficiales Mexicanas vigentes de la COFEPRIS en materia hídrica (20). 134
Tabla 35. Normas Oficiales mexicanas vigentes de la SEMARNAT en materia hídrica. 135
Tabla 36. Artículos relevantes en la Constitución del estado de Chihuahua para la gestión hídrica. 137
Tabla 37. Vinculación del Estudio que sirva como Herramienta Base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030. 151
Tabla 38. Resumen de aprovechamientos con folio 8 registrados en el ACHS. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA (38). 160
Tabla 39. Resumen de aprovechamientos con folio 8 registrados en el ATA. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA (38). 169
Tabla 40. Resumen de aprovechamientos con folio 8 registrados en el ASE. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA (38). 178
Tabla 41. Estaciones climatológicas convencionales. Fuente: elaboración propia. 191
Tabla 42. Precipitación máxima diaria de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia. 192
Tabla 43. Datos de precipitación diaria máxima anual (mm), extrapolados con Funciones de Distribución de Probabilidad. Fuente: elaboración propia. 194
Tabla 44. Precipitación diaria máxima horaria (mm), obtenidas con factor de convectividad. Fuente: elaboración propia. 196

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 45. Coeficientes de escurrimiento de cada cuenca a diversos periodos de retorno. Fuente: elaboración propia. 199
Tabla 46. Intensidad de lluvia a cada periodo de retorno para cada una de las cuencas en estudio. Fuente: elaboración propia. 201
Tabla 47. Caudales máximos de escurrimiento a diferentes periodos de retorno con base en el método racional (m3/s). Fuente: elaboración propia. 202
Tabla 48. Volúmenes de escurrimiento promedio por cada uno de los cauces en estudio. Fuente: elaboración propia. 204
Tabla 49. Relación entre nivel socioeconómico y vulnerabilidad ante inundaciones simplificada para vivienda. Fuente: adaptación de por Hernández-Samaniego (2018) (151). 212
Tabla 50. Puntos de análisis hidráulico con desbordamiento a cada periodo de retorno analizado a. Fuente: elaboración propia. 222
Tabla 51. Puntos de análisis hidráulico con problemas por velocidad a cada periodo de retorno analizado. Fuente: elaboración propia 226
Tabla 52. Variación del área urbanizada y no urbanizada en la cuenca del arroyo La Cantera del año 1969 al año 2040. Fuente: elaboración propia. 243
Tabla 53. Coeficientes de escurrimiento de la cuenca del arroyo La Cantera a diversos periodos de retorno del año 1969 al año 2040. Fuente: elaboración propia. 244
Tabla 54. Caudales de escurrimiento del arroyo La Cantera a 9 periodos de retorno desde el año 1969 hasta el año 2040. Fuente: elaboración propia. 245
Tabla 55. Acciones estructurales de manejo de agua de lluvia propuestas en el Atlas de Riesgo Municipal de Chihuahua (2022). Fuente: Atlas de Riesgos (2022) (135). 256

Acrónimos

Acrónimo	Significado
ANP	Áreas Naturales Protegidas
OMM	Organización Meteorológica Mundial
CSIS	Sistema de Información de Servicios Climáticos
SEV	Sondeos Eléctricos Verticales
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
PIB	Producto Interno Bruto
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).
lps	Litros por segundo
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LFD	Ley Federal de Derechos
ACHS	Acuífero Chihuahua-Sacramento
ATA	Acuífero Tabalaopa-Aldama
ASE	Acuífero El Sauz-Encinillas
As	Arsénico
CF	Coliformes Fecales
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIES	Centro de Información Económica y Social
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

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

COESPRIS	Comisión Estatal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPRED	Consejo Nacional Para Prevenir la Discriminación
CONAZA	Comisión Nacional de las Zonas Áridas
COP	Conferencia de las Partes (países que se encuentran dentro del CMNUCC)
DBO5	Demanda Biológica de Oxigeno
DQO	Demanda Química de Oxigeno
ENSO	El Niño Oscilación del Sur
FONDEN	Fondo de Desastres Naturales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
ICLEI	Gobiernos Locales por la Sustentabilidad
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial
IMPLAN	Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático
JCAS	Junta Central de Agua y Saneamiento

JMAS	Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la Ciudad de Chihuahua
MSM	Monitor de Sequia en México
NADM	Monitor de Sequia de América del Norte
NO3	Nitratos
NOAA	Centro Nacional de Información Climática de la Administración Nacional Oceánica y atmosférica de los Estados Unidos de América
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PACMUN	Plan de Acción Climática Municipal de Chihuahua
PEH	Plan Estatal Hídrico
PNH	Plan Nacional Hídrico 2020-2024
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SDT	Solidos Disueltos totales
SE	Secretaría de Economía
SECTUR	Secretaría de Turismo
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEGOB	Secretaría de Gobernación

SEMAR	Secretaría de Marina
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía de México
SEP	Secretaría de Educación Pública
SER	Secretaría de Relaciones Exteriores
SSPC	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana
SST	Solidos Suspendidos Totales

CAPÍTULO UNDÉCIMO: INTERPRETACIÓN INTEGRAL DEL ESTADO QUE GUARDA EL AGUA EN EL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA

En este capítulo se integra la interpretación integral del estado que guarda el municipio de Chihuahua. Se integran los diversos capítulos desarrollados en este estudio que permite establecer una herramienta base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo. Se desarrolló una interpretación integral que contiene una evaluación de la disponibilidad de agua en el Municipio de Chihuahua, así como el análisis de la demanda de agua.

1. Introducción

El presente documento se basa en los estudios realizados para establecer una herramienta fundamental para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo. El Plan Municipal busca incluir políticas y acciones en materia de agua superficial, agua subterránea, drenaje pluvial, así como la posibilidad de nuevas fuentes e infraestructura para lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos en el Municipio de Chihuahua.

El análisis se realizó mediante la interpretación de cada capítulo entregado. Se citan los documentos y se presentan las referencias a los informes de los estudios realizados, donde se puede acceder a dicha información. Las fuentes de información utilizadas incluyen dependencias de gobierno federal, estatal y municipal, así como organismos normativos, organizaciones civiles y no gubernamentales, universidades, centros de investigación públicos y privados, y la sociedad civil. Se consultaron estudios e investigaciones existentes sobre la totalidad de los temas hídricos contemplados y se incorporó información sobre problemáticas y propuestas de los mismos sectores.

Algunos temas fueron abordados con mayor profundidad debido a la disponibilidad y existencia de información, mientras que otros se presentan como una primera aproximación o una propuesta para futuras investigaciones más detalladas

1.1. Objetivo, Procedimiento y Estructura del Informe

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una herramienta base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico (PMH) de largo plazo en el Municipio de Chihuahua. Este plan deberá articular un conjunto de acciones específicas destinadas a lograr una gestión sostenible del agua en la región. En este informe, se busca desarrollar una interpretación integral que contiene una evaluación exhaustiva de la disponibilidad de agua en el municipio de Chihuahua y sus alrededores, así como una interpretación detallada de la demanda de agua.

1.2. Metodología

La metodología adoptada para este estudio se estructuró en diez capítulos, cada uno centrado en un aspecto específico de la gestión del agua. A continuación, se describe el enfoque de cada capítulo:

1. Integración del análisis del medio natural: Se evaluaron las características geográficas, climáticas y ecológicas que afectan la disponibilidad y calidad del agua.
2. Integración del análisis sociodemográfico en el ámbito del uso del agua: Se analizaron las tendencias poblacionales y sus implicaciones en la demanda de agua.
3. Integración del análisis socioeconómico en el ámbito del uso del agua: Se consideraron los aspectos económicos que influyen en el consumo y la gestión del agua.
4. Integración del análisis urbano y rural en el ámbito del uso del agua: Se diferenciaron las dinámicas de uso del agua en áreas urbanas y rurales.
5. Integración del análisis de riesgos y resiliencia hídrica: Se identificaron y evaluaron los riesgos asociados al recurso hídrico y las capacidades de resiliencia existentes.
6. Integración del análisis de problemas y oportunidades en materia de disponibilidad, uso, calidad y acceso al agua: Se realizó un diagnóstico detallado de los problemas actuales y las oportunidades de mejora.
7. Integración del análisis del marco normativo: Se revisaron las leyes y regulaciones que rigen la gestión del agua.
8. Integración del análisis de aguas subterráneas: Se evaluó el estado y la gestión de los acuíferos.
9. Integración del análisis de aguas superficiales: Se examinó el estado de las fuentes de agua superficial y su manejo.
10. Integración del análisis del drenaje pluvial: Se analizó la infraestructura y gestión del drenaje pluvial.

Posteriormente, se llevó a cabo una interpretación integral que incluyó una evaluación exhaustiva de la disponibilidad de agua en el municipio de Chihuahua y sus alrededores, así como una

interpretación detallada de la demanda de agua. Esta interpretación permitió identificar las interrelaciones entre los diferentes factores estudiados y desarrollar una visión holística de la situación hídrica.

En el **informe 12. Propuesta de visión, objetivos estratégicos y específicos, prospectiva, cartera de proyectos y acciones**, se presentarán las estrategias y proyectos destinados a garantizar un suministro adecuado y sostenible para el municipio, teniendo en cuenta tanto el desarrollo futuro como la preservación del medio ambiente.

En el **informe 13. Propuesta de sistema de información, monitoreo y evaluación del Plan y del estado que guarda el agua en el municipio de Chihuahua**, se detallará el sistema de información, monitoreo y evaluación diseñado para el plan de manejo del agua en el municipio de Chihuahua.

2. Integración del Análisis del Medio Natural

En el **capítulo 1. Integración del Análisis del Medio Natural**, se abordan los factores primarios necesarios para comprender la interrelación de los sistemas atmosférico, hidrológico e hidrogeológico. Estos factores son fundamentales para la cuantificación y representación precisa de la condición de los sistemas. A continuación, se presentan los puntos del medio natural que permiten conocer una perspectiva de las circunstancias de la zona de estudio para un análisis integral de estado de los recursos hídricos que servirá como herramienta base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo.

2.1. Marco Físico

Este marco abarca una serie de elementos y variables que influyen directamente en la gestión del agua a nivel local.

El municipio de Chihuahua se encuentra estratégicamente ubicado en el corazón geográfico del estado (Figura 1). Sus principales conexiones viales lo vinculan con Cuauhtémoc al suroeste, Juan Aldama al noreste, Ciudad Juárez al noroeste y Delicias al sureste.

Geográficamente, abarca los paralelos 28° 05’ y 29° 48’ de latitud Norte, así como los meridianos 105° 41’ y 106° 38’ de longitud Oeste de Greenwich [(1)]. Limita al norte con los municipios de Ahumada y Aldama, al sur con Rosales, Riva Palacio y al suroeste con Santa Isabel y Satevó. Al este colinda con Rosales, Aquiles Serdán y Aldama, mientras que al oeste limita con Namiquipa, Buenaventura y Riva Palacio. Con una extensión total de 8,384.37 km², que representa el 3.4 % del territorio estatal, el municipio exhibe altitudes que oscilan entre los 1,200 y 2,800 msnm, con una altitud media de 1,440 msnm.

El municipio abarca dos provincias fisiográficas principales: "Las Sierras y Llanuras del Norte" y "La Sierra Madre Occidental". La Ciudad de Chihuahua, situada en el corazón del estado, exhibe tres subprovincias fisiográficas: el Bolsón de Mapimí en la parte central y oriental, las Sierras y Llanuras de Durango al suroeste, y las Sierras y Llanuras Tarahumaras en la parte occidental del territorio [(2)].

Los rasgos geológicos en el municipio de Chihuahua son notoriamente estables, ya que se ubica en una región sin actividad sísmica, firmemente situada en el centro de una extensa meseta, flanqueada por los sistemas orográficos del norte del continente. La composición litológica se basa principalmente en conglomerados sedimentarios, aunque en menor cantidad, se encuentran afloramientos de rocas ígneas, principalmente amalgamas de riolita y toba andesítica en cerros de considerable altura [(2)]. Estas rocas ígneas son exclusivamente de naturaleza volcánica y abarcan edades desde el precámbrico hasta épocas recientes.

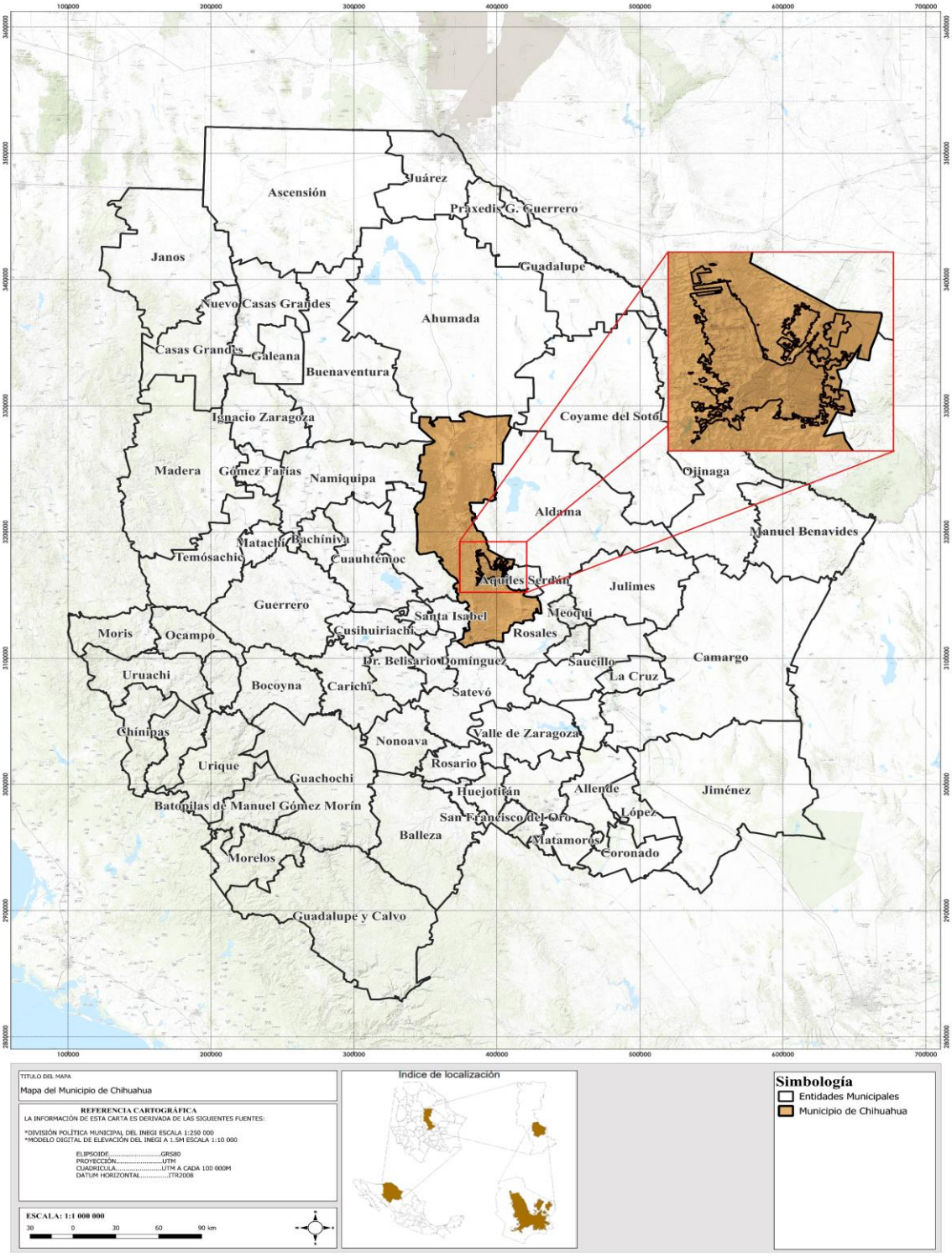


Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

La comprensión de las características del suelo es fundamental para evaluar su idoneidad para diferentes usos, como la agricultura, ganadería, silvicultura, construcción y otros. Los suelos se forman debido a la interacción de factores como el material parental, clima, materia orgánica, relieve y tiempo. En las áreas cercanas a los ríos Sacramento y Chuvíscar, se encuentran suelos de origen aluvial con alta permeabilidad, compuestos por fragmentos líticos y minerales [(3)]. Destacan cuatro tipos principales de suelos en la región: Xerosoles, Regosol, Feozem y Litosol, cada uno con características distintivas. Los Xerosoles son el tercer tipo más común en el país y suelen ser superficiales y pobres en materia orgánica. Los Regosoles tienen un desarrollo limitado y suelen ser de color claro y empobrecidos en materia orgánica. Los Feozem son ricos en materia orgánica y nutrientes, pero carecen de las capas ricas en cal de otros suelos similares. Los Litosoles son suelos superficiales, con una profundidad inferior a 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido [(4)].

El uso del suelo y la vegetación en el municipio de Chihuahua abarca la distribución del suelo agrícola y la vegetación natural e inducida, incluyendo usos pecuarios, forestales y otros relacionados con la cubierta vegetal. A pesar de ser predominantemente rural, con una destacada presencia de vegetación natural diversificada, el municipio también cuenta con una extensa área urbana, principalmente en su parte este-central. El suelo agrícola es uno de los usos más relevantes, abarcando casi todo el territorio, rodeado principalmente por suelos con cobertura vegetal, especialmente pastizales. Los pastizales ocupan la mayor parte del municipio, seguidos por matorrales y áreas boscosas. Las áreas urbanas representan un 3.4% del municipio, pero son significativas en comparación con la superficie urbana total del estado. La vegetación varía desde bosques templados de encino y pino-encino en áreas de mayor altitud hasta plantas características del desierto en zonas de clima cálido desértico, con una diversidad que incluye gramíneas, arbustos, agaves, yucas, cactáceas y leguminosas [(5)] [(1)].

2.2. Hidrología

La Región Hidrológica Administrativa a la que pertenece la mayor parte del estado de Chihuahua es la correspondiente al Río Bravo VI [(6)]. El municipio de Chihuahua se encuentra en la subregión hidrológica RH24 Bravo-Conchos, en la cuenca hidrológica Río Conchos-Presa El Granero.

El 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.

En el ámbito de las regiones hidrológicas estatales, destacan dos vertientes fundamentales: los Ríos Chuvíscar y Sacramento, que convergen en las cercanías del municipio. El Río

Chuvíscar se origina en la Sierra de "El Tambor" a unos 2,300 msnm, dirigiéndose hacia el noreste. Tras ser represado en la Presa Chihuahua, fluye a través de la ciudad antes de unirse al Río Conchos en el municipio de Aldama. Por otro lado, el Río Sacramento se forma en la Sierra Alta al noroeste de la ciudad de Chihuahua, recorriendo una trayectoria hacia el noreste y embalsándose principalmente en la Presa San Marcos. Posteriormente, cruza la ciudad, se alimenta de afluentes intermitentes y, aguas abajo, gira hacia el sureste antes de unirse al Río Chuvíscar [3] [2].

Además, existe una pequeña cuenca cerrada al norte del municipio, caracterizada por la Laguna de Encinillas, conocida popularmente como "Ojo Laguna", una laguna estacional que recibe aportes de pequeños arroyos provenientes de las serranías circundantes.

En total, el municipio cuenta con arroyos de importancia que atraviesan el área urbana, entre ellos: Arroyo Los Arcos, Arroyo Nogales Norte, Arroyo El Picacho, Arroyo Magallanes, Arroyo El Mimbre, Arroyo El Saucito, Arroyo Galera Norte, Arroyo Galera Sur, Arroyo La Cantera, Arroyo Plaza de Toros, Arroyo Malvinas (Acueducto), Arroyo El Barro, Arroyo La Canoa, Arroyo El Chamizal, Arroyo La Manteca, Arroyo San Rafael, Arroyo San Jorge, Arroyo El Mármol, Arroyo Villa Juárez, Arroyo Concordia, Arroyo Tabalaopa, Arroyo Nogales Sur [3] [2].

La longitud total de los Ríos Chuvíscar y Sacramento, junto con los arroyos de la ciudad (Figura 2), alcanza los 191 km, de los cuales aproximadamente 108 km de cauce no están revestidos.

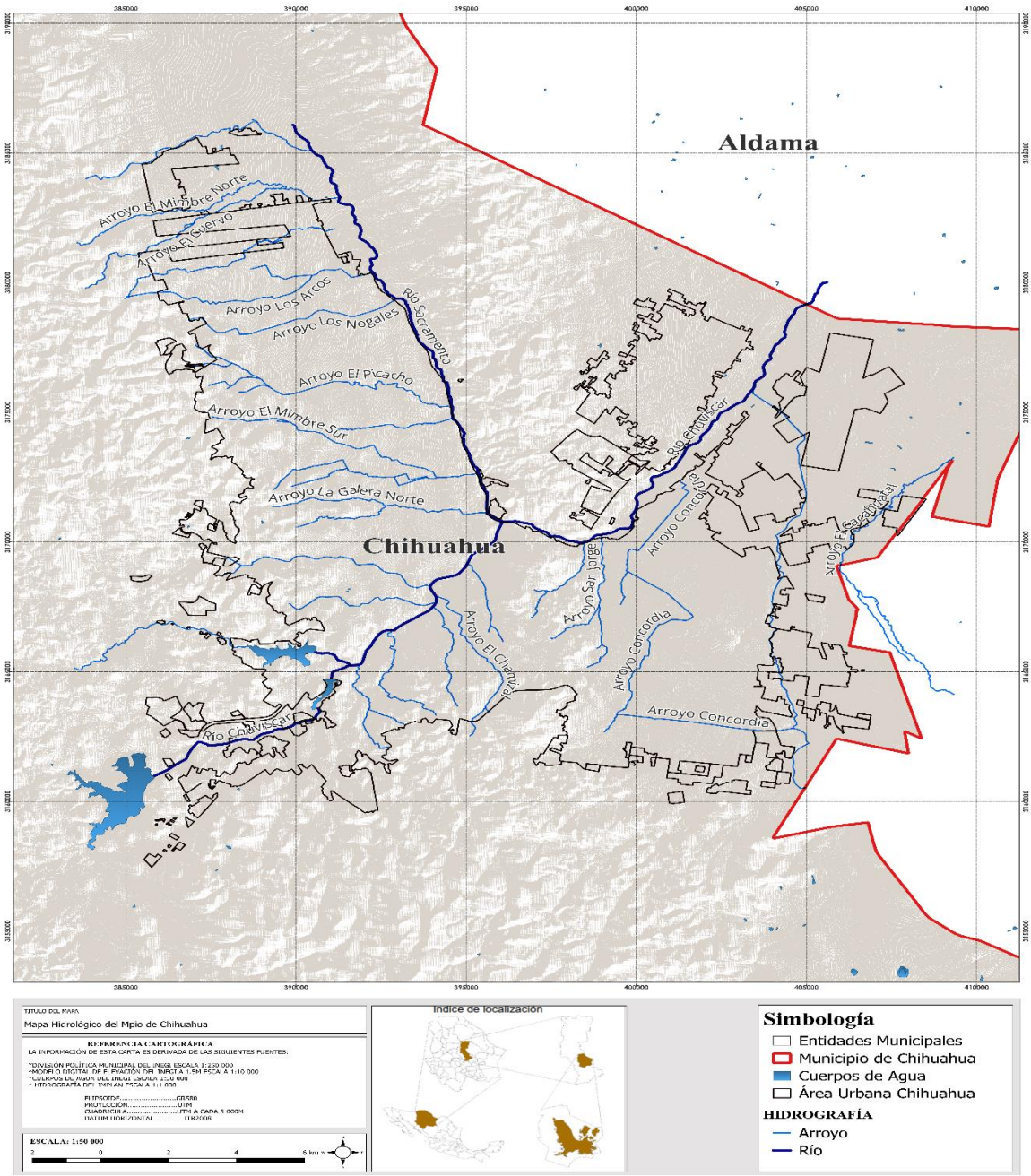


Figura 2. Representación de los arroyos principales del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

2.3. Hidrología Subterránea

Según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el agua renovable per cápita en el municipio de Chihuahua es de 1 012 m^3 por año.

El municipio de Chihuahua depende en gran medida del agua subterránea para su suministro de agua potable, con más del 99% de su abasto proveniente de esta fuente.

Geográficamente, en la zona norte del municipio se ubican los acuíferos de Sauz-Encinillas, Laguna El Diablo, Laguna de Hormigas, Flores Magón-Villa Ahumada y Santa Clara. En la región central se encuentran los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Tabalaopa-Aldama y Aldama-San Diego. Hacia el sur, destacan los acuíferos Alto Río San Pedro y Villalba, como se muestra en la Figura 3. Sin embargo, solo los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Sauz-Encinillas y Tabalaopa-Aldama son los principales proveedores de agua para todas las actividades en el municipio de Chihuahua.

La caracterización detallada de los acuíferos de Chihuahua se basa en tres informes elaborados por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua. Estos informes, titulados “Determinación de la disponibilidad de agua en los Acuíferos de Chihuahua–Sacramento, El Sauz–Encinillas y Tabalaopa-Aldama [7] [8] [9]”, evalúan los balances hídricos y la disponibilidad de agua de los acuíferos siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 [10].

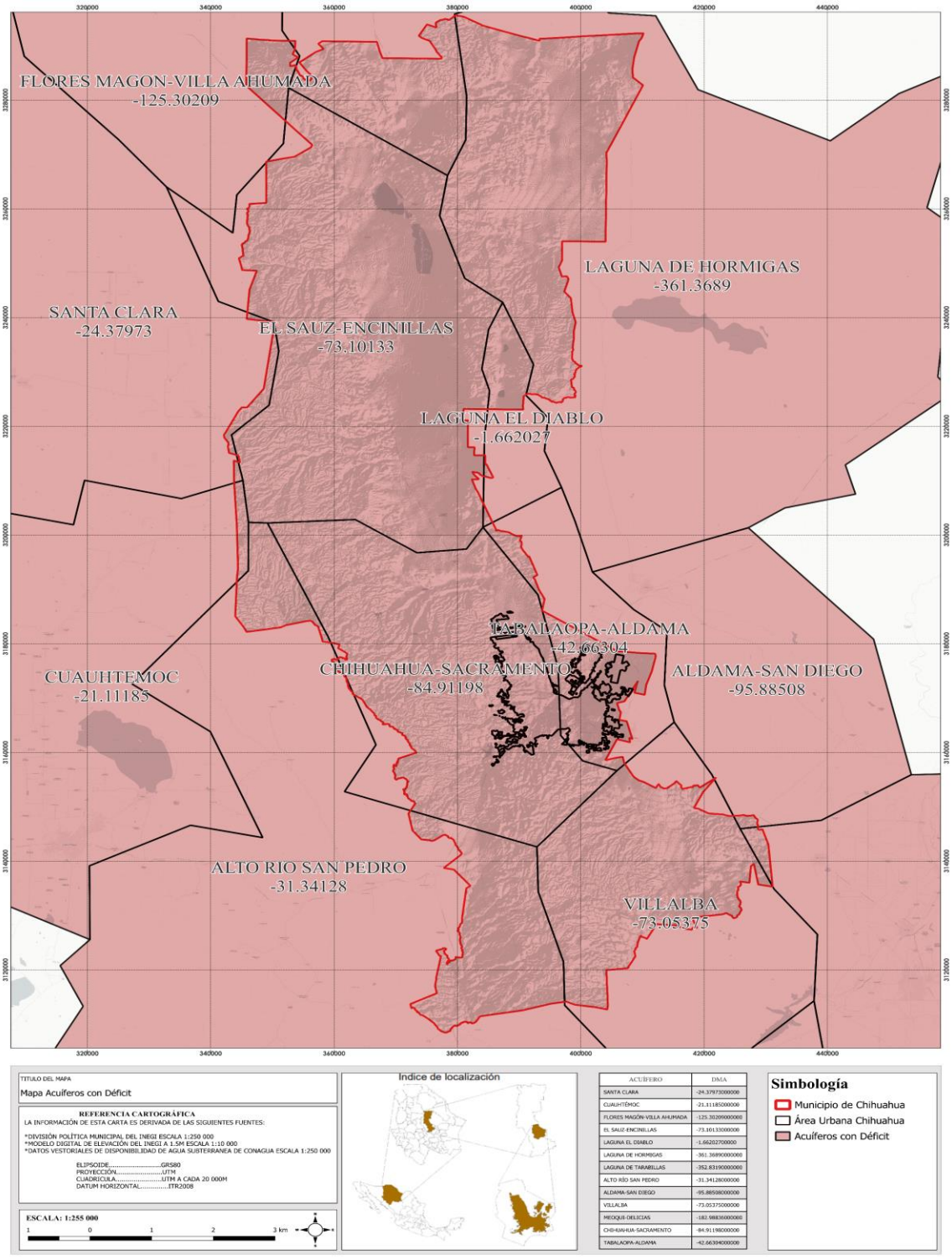


Figura 3. Representación de los acuíferos dentro del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua, CONAGUA e INEGI.

2.4. Clima

Según la clasificación climática de Köppen [11], adaptada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, el municipio de Chihuahua se encuentra en una extensa región climática considerada semiárida, específicamente catalogada como "B". Esta clasificación lo identifica como un área de clima seco, y se subdivide en tres posibles designaciones: "BS" para seco semiárido, "BW" para seco desértico o árido, y "C" para templado. Dentro del municipio, se identifican siete variantes climáticas distribuidas en su territorio [11] (Figura 4).

En cuanto a las estadísticas climáticas para el municipio de Chihuahua, el 37.52% del territorio presenta un clima semiseco templado, el 35% corresponde al clima seco templado, y el 16.35% se clasifica como clima muy seco templado.

La temperatura promedio anual, según los datos recopilados de la estación climatológica Observatorio durante el periodo de 1980 a 2019, se establece en 18.3°C. Asimismo, se destaca una temperatura máxima promedio de 38.7°C y una temperatura mínima promedio de -5.3°C para el mismo intervalo temporal. Existe una notable variabilidad en las temperaturas mínimas, con la identificación de años que muestran valores excepcionalmente bajos. Es importante señalar el año 2011, que sobresale al presentar una temperatura mínima extraordinariamente baja de -19.3°C.

La tendencia general al alza en la temperatura media anual, a pesar de las fluctuaciones, plantea consideraciones importantes. Este patrón ascendente podría tener repercusiones significativas en diversos ámbitos, como la vegetación, la salud humana y la gestión de recursos. La variación en la temperatura media anual destaca la dinámica cambiante del clima y la necesidad de abordar adaptaciones en diversos sectores.

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

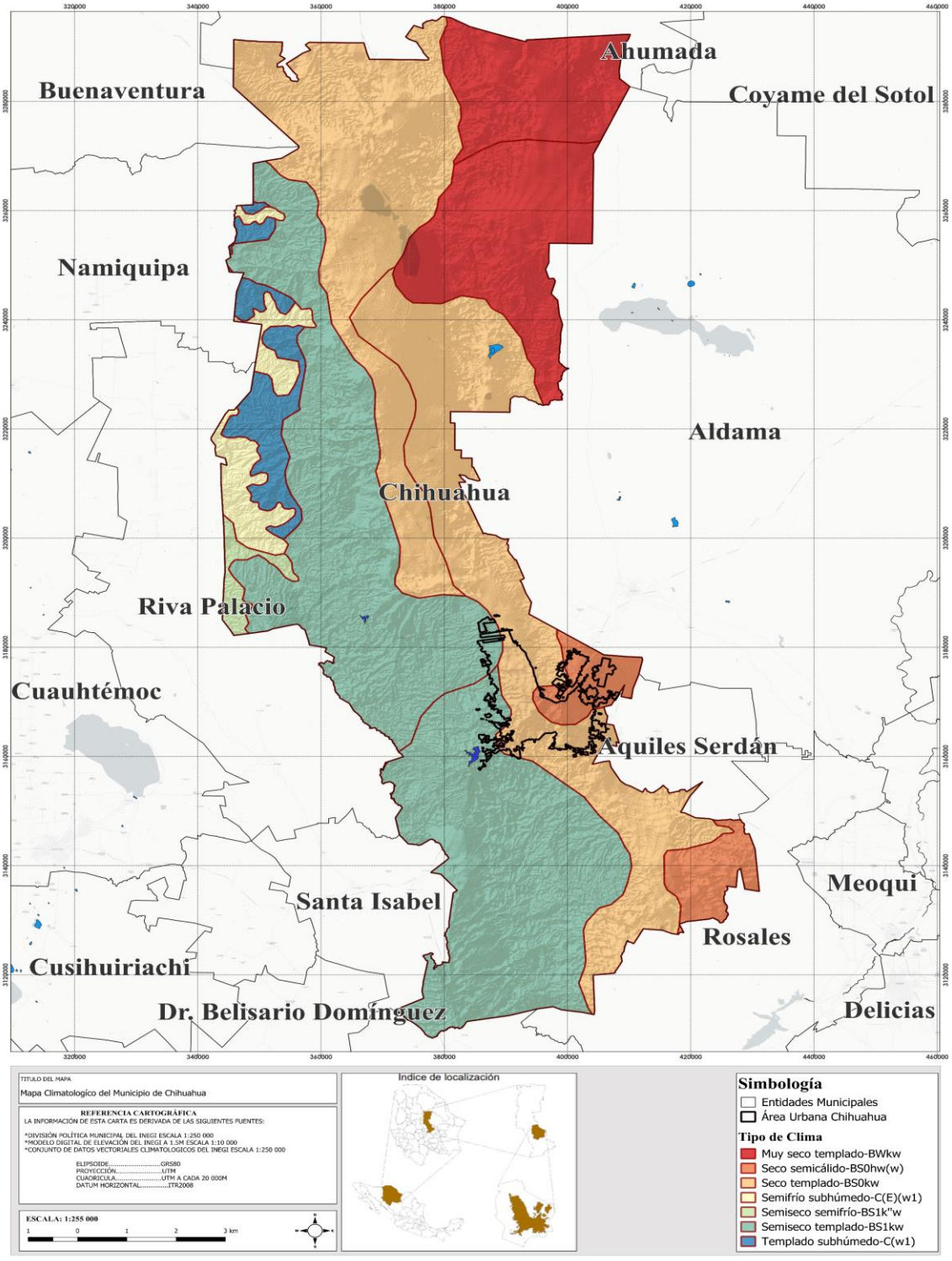


Figura 4. Representación Cartográfica Climatológica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

A partir de los datos de precipitación anual generado por el IMPLAN del periodo de 1980 a 2019 se puede analizar y obtener una visión detallada de la variabilidad climática en la región. Se puede observar una marcada variabilidad en la precipitación media acumulada, por ejemplo, de la serie de tiempo se presenta que entre (1960-1980), la precipitación media acumulada fue 437 mm, mientras que en el periodo (1980-2000) descendió a 417 mm, y en el último periodo de (2000-2020) fue de 373 mm; tendencia al descenso, aunque en promedio en la serie de tiempo analizada nos da 407 mm.

La mayor cantidad de lluvia se registra en julio y agosto, desempeñando un papel significativo en el total anual. Asimismo, los meses de marzo, abril y mayo exhiben valores notables, señalando una concentración de precipitaciones durante la temporada primavera-verano. La humedad relativa sigue un patrón estacional, alcanzando su punto máximo en julio y agosto, mientras que los valores más bajos se registran en marzo, abril y mayo, indicando condiciones más secas en esa época del año. La concentración de lluvia en los meses estivales es crucial para la gestión del agua y la planificación agrícola, mientras que las variaciones estacionales en las velocidades del viento pueden ser relevantes para sectores como la energía eólica. Por último, el patrón estacional de la humedad relativa, siendo más alta en verano, juega un papel vital en la salud de los ecosistemas locales y la calidad del aire.

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. Integración del Análisis Sociodemográfico

En el **capítulo 2. Integración del Análisis Sociodemográfico,** se aborda el análisis del ámbito sociodemográfico en relación con el uso del agua en la zona de estudio. Incorporar el estudio sociodemográfico en la gestión del agua es crucial para entender la complejidad de la relación entre la sociedad y los recursos hídricos. El segundo capítulo se dedica a examinar detalladamente factores clave como la dinámica poblacional, características residenciales, influencias culturales, niveles de educación, salud comunitaria, infraestructura disponible y consumo de agua per cápita. Mediante este enfoque integral, se pretende desvelar la interacción dinámica entre estos elementos y la disponibilidad de agua, estableciendo una base robusta para la creación de estrategias de gestión sostenible del agua alineadas con las necesidades específicas de la comunidad en estudio.

Este análisis sociodemográfico no solo proporciona una comprensión más detallada de la situación local, sino que también se posiciona como una herramienta indispensable para la formulación de políticas y acciones dirigidas a una gestión eficiente y equitativa del agua, un recurso esencial.

El agua, fundamental para la existencia de la vida, ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo económico y comercial desde los albores de la civilización. A lo largo de la historia, la ingeniería y la construcción de infraestructuras artificiales han contribuido significativamente a la gestión y aprovechamiento de este recurso, impulsando el crecimiento de poblaciones y la industrialización.

Esto ha conllevado un aumento en la demanda de agua, así como a la expansión de las zonas urbanas en lugares con escasez hídrica, generando la necesidad de desarrollar mayor infraestructura para satisfacer las demandas de la población [(12)].

La evolución y diversificación de la demanda de agua resaltan la relevancia de los censos como instrumentos vitales para entender la cantidad, estructura y distribución de la población.

Los censos, debido a su naturaleza, emergen como iniciativas estratégicas y cruciales que apoyan la implementación y evaluación de políticas públicas, además de proveer información vital para la toma de decisiones en diversos sectores, dirigida tanto a autoridades gubernamentales de todos los niveles como a la sociedad en general, incluyendo académicos, organizaciones civiles y el sector privado. Dentro de este marco, las proyecciones sobre el volumen, crecimiento y estructura poblacional se establecen como herramientas indispensables para la planificación en los ámbitos demográfico, económico y social. Estas proyecciones son esenciales para anticipar necesidades sociales y económicas futuras, y fundamentales para estimar requerimientos en sectores clave como la educación, el empleo, la vivienda, la salud y la seguridad social, además de su impacto en la distribución territorial.

3.1. Análisis Poblacional

La población del Municipio de Chihuahua se estima en un total de 937,674 habitantes, según el último censo realizado por el INEGI [(13)] en 2020. Esto representa aproximadamente el 25.1% de la población total del Estado. Esta población se encuentra distribuida en una superficie de 8,382 km^2, lo que da como resultado una densidad de población de aproximadamente 111.87 habitantes por km^2. Dentro del municipio, se pueden identificar 391 localidades, que se dividen en una zona clasificada como urbana, que corresponde a la ciudad de Chihuahua, y 390 zonas rurales.

En estas áreas rurales, se estima una concentración de aproximadamente el 1.27% de la población total del Municipio, mientras que, para la ciudad de Chihuahua, se valora una concentración mucho mayor, representando el 98.73% de la población total que habita en el Municipio de Chihuahua. En la Tabla 1 se puede observar las localidades con mayor concentración de habitantes dentro del Municipio de Chihuahua.

Tabla 1. Localidades y porcentajes de población distribuidas en el municipio de Chihuahua. Fuente: INEGI [(13)] y Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 [(14)].

Localidad	Población	Población %
Total del Municipio	**937,674**	**100%**
Chihuahua	925,762	98.73%
El Sauz	1,474	0.16%
San Isidro (Los Hoyos)	931	0.10%
Colonia Nuevo Delicias	708	0.08%
Ejido Nuevo Sacramento	462	0.05%
Ejido Estación Terrazas y Minas del Cobre	445	0.05%
El Charco	340	0.04%
Colonia Agrícola Francisco Villa	337	0.04%
La Casita	318	0.03%
La Esperanza	260	0.03%
Colonia Sacramento	244	0.03%
Rancho Enmedio (Estación Müller)	213	0.02%
El Vallecillo	213	0.02%
Batalla de Sacramento	202	0.02%
La Noria (San Isidro)	187	0.02%
Granjas Familiares Sacramento	186	0.02%

En la Figura 5 se puede apreciar la distribución urbana y rural dentro del Municipio de Chihuahua, así como las entidades municipales colindantes.

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

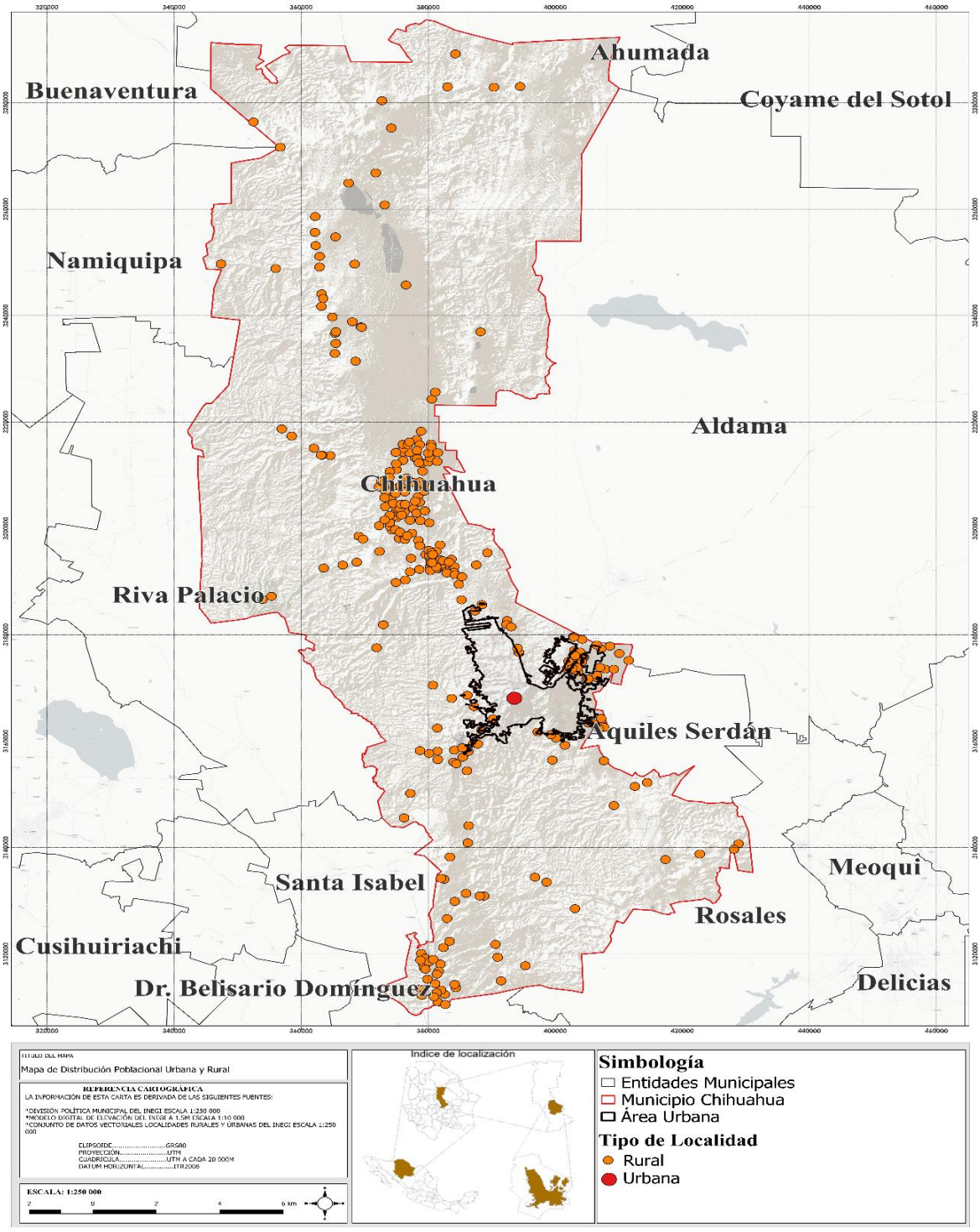


Figura 5. Distribución de geográfica de las localidades en el municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI (2010).

En el caso del Municipio de Chihuahua, se destaca como el segundo más poblado del estado, según los datos de los censos de Población y Vivienda. En concreto, la población ha experimentado un crecimiento significativo, pasando de 819,543 habitantes en 2010 a 937,674 habitantes en 2020, lo que representa un aumento del 14.41% en la cantidad de habitantes en el municipio [(15)].

Del total de 937,674 habitantes en el Municipio de Chihuahua, se calcula que 480,434 pertenecen al género femenino, lo que representa aproximadamente el 51.24% de la población total del municipio. Por otro lado, se estima que el género masculino cuenta con un total de 457,240 habitantes, lo que equivale al 48.76% de la población total.

Dentro de este conjunto de habitantes, se estima que casi el 98% reside en la ciudad de Chihuahua, que es la cabecera municipal y la capital del estado. El resto de la población, un poco más del 2%, vive en las demás comunidades del municipio, la mayoría de las cuales son pequeñas y se ubican en entornos rurales. La única localidad que supera los mil habitantes es El Sauz. Se estima que la mediana de edad de los residentes en el municipio es de 31 años, lo que indica que la mitad de la población es joven y tiene menos de 30 años.

3.2. Calidad de Agua

El Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE) [(16)], documentó para el año 2022, el municipio de Chihuahua ocupó el lugar 17 a nivel nacional en casos de enfermedades diarreicas, con un total de 12,345 casos. El municipio con mayor número de casos de enfermedades diarreicas fue Ciudad de México, con 126,256 casos. En cuanto a fiebre tifoidea, se ubicó en el lugar 15 con 1,234 casos, y en hepatitis A en el lugar 14 con 2,345 casos. A pesar de esta incidencia relativamente alta, se observa una disminución de casos en comparación con el año anterior. Las enfermedades diarreicas, la fiebre tifoidea y la hepatitis A son las más comunes en el municipio, pero esta tendencia a la baja puede atribuirse a mejoras en el tratamiento del agua, educación en higiene y mejores condiciones sanitarias. Estas enfermedades son prevenibles mediante medidas de higiene como lavado de manos, tratamiento del agua y adecuada eliminación de excretas.

El agua superficial es más vulnerable a la contaminación por actividades agrícolas e industriales, así como por falta de saneamiento de aguas residuales domésticas, lo que se refleja en parámetros químicos como cianuros totales, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos, sólidos disueltos totales y sulfatos.

Aunque en Chihuahua el abastecimiento de agua es principalmente subterráneo, la salud está estrechamente relacionada con la ingesta acumulativa de contaminantes, que pueden tener efectos inmediatos o a largo plazo. Los metales pesados presentes en el agua pueden causar una variedad de problemas de salud, desde náuseas y vómitos hasta enfermedades crónicas como cáncer, defectos de nacimiento y enfermedades cardíacas.

La presencia de metales pesados en el agua potable se ha convertido en un problema significativo. Según un estudio efectuado en el 2022 por la Universidad Autónoma de Chihuahua [16], que analizó 202 fuentes de suministro, se determinó que el 33.66% de estos excede los límites establecidos para el Arsénico (As), mientras que el 59.90% rebasa los límites permitidos para el Flúor (F) de acuerdo con las regulaciones vigentes. Además, el 31.18% de los suministros presenta niveles elevados tanto de Arsénico como de Flúor de forma simultánea.

A pesar de que este y la mayoría de los estudios realizados sugieren la posible peligrosidad en la ingesta de agua, es importante destacar que no se realiza un diagnóstico basado en el muestreo en los puntos de entrega, sino en los de suministro. Idealmente, se debería llevar a cabo un análisis en los puntos de entrega para obtener una imagen precisa de la posible peligrosidad. Esto se debe a que, en muchas ocasiones, especialmente en la ciudad de Chihuahua, el organismo operador mezcla agua de diferentes fuentes, como pozos, en tanques de almacenamiento y distribución. Como resultado, la concentración de sustancias en el agua que se consume puede diferir de la que se encuentra en la fuente original.

Es importante señalar que la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de Chihuahua cumple con la NOM-179-SSA1-2020 [18], que establece el control de calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua. Sin embargo, es responsabilidad de la JMAS proporcionar agua potable únicamente a la red de su propiedad que atiende a la zona urbana.

En el municipio de Chihuahua, se extraen anualmente 158.68 millones de metros cúbicos (Mm^3) de agua subterránea de un volumen total de 274.16 Mm^3 destinado para fuentes de agua potable, según los registros del REPDA para el año 2022. En lo que respecta a la captación de agua superficial, el REPDA autorizó un total de 15.600 Mm3 al año para uso potable, concesionados a la JMAS Chihuahua [19]. Estos recursos hídricos se distribuyen en 3 puntos de captación que suman 15.727 Mm^3 al año, los cuales abastecen a las comunidades rurales del municipio y propiedades privadas. La ubicación de estos puntos de muestra en la Figura 6 y se encuentran dispersos por toda la región, lo que dificulta su monitoreo y control debido a la falta de recursos económicos para llevar a cabo análisis de calidad del agua.

No obstante, es relevante destacar que, en el año 2022, la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) del Estado de Chihuahua, en colaboración con la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), realizó un inventario de las fuentes de agua potable por municipio, permitiendo el acceso para muestrear la calidad del agua y medir la piezometría [20].

Es importante resaltar que en el municipio de Chihuahua existen 391 comunidades, lo que significa que se pudo obtener información sobre la fuente de abastecimiento de agua potable únicamente para el 45% de estas comunidades. La Figura 6 muestra la ubicación de los puntos identificados como fuentes de agua potable en este estudio, de los cuales se clasifican de la siguiente manera: 208 pozos, 3 norias, 3 galerías filtrantes y 2 manantiales, sumando un total de 216 puntos identificados.

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

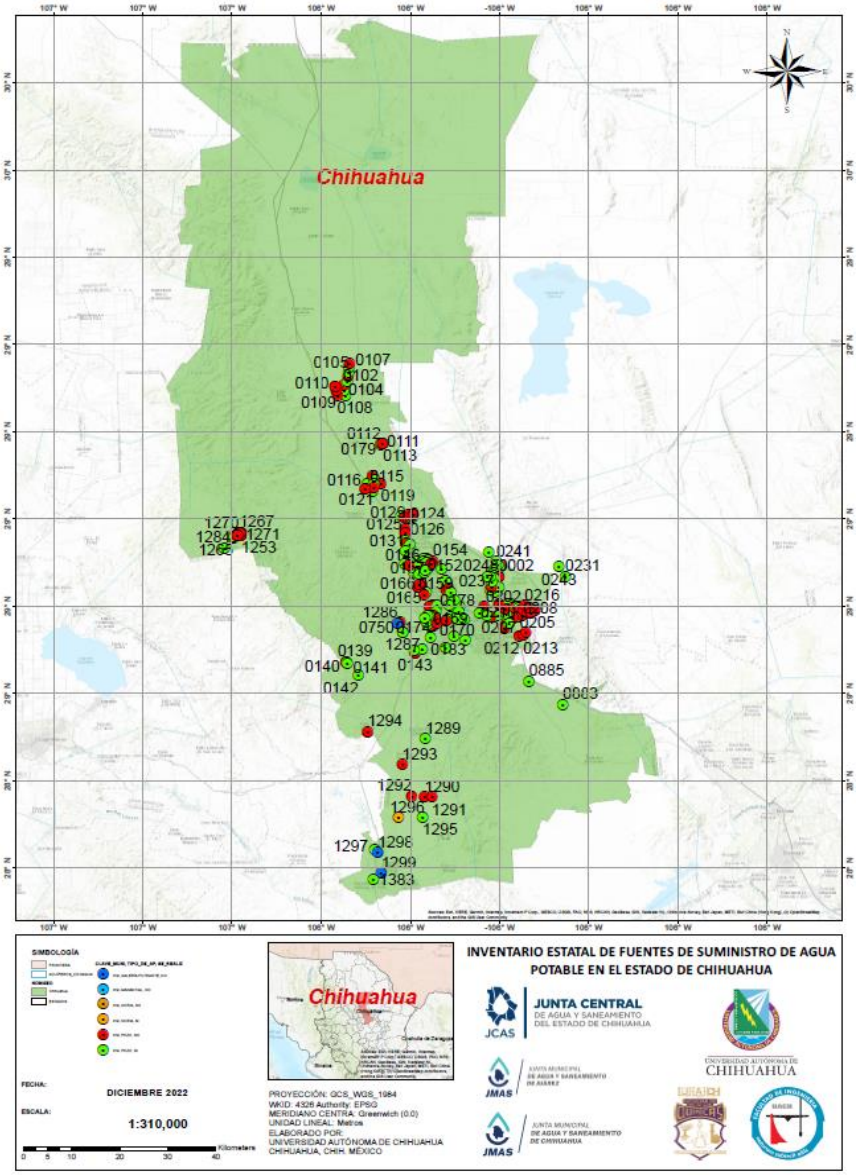


Figura 6. Ubicación de pozos destinados al abastecimiento de agua potable en el municipio de Chihuahua. Fuente: Inventario estatal de fuentes de suministro de agua potable en el estado de Chihuahua [20].

3.3. Vivienda

De acuerdo con datos de los indicadores de vivienda proporcionados por el INEGI (10) y la Comisión Nacional de Población (CONAPO) sugieren que, en el municipio de Chihuahua, se estima un total de 300,786 casas particulares habitadas, con un promedio de 3.1 ocupantes por vivienda. De este conjunto de hogares, el 97.9% tiene acceso a agua entubada, el 76.3% cuenta con un tinaco, y un 8.1% dispone de una cisterna o aljibe en su propiedad, como se muestra en la Figura 7.

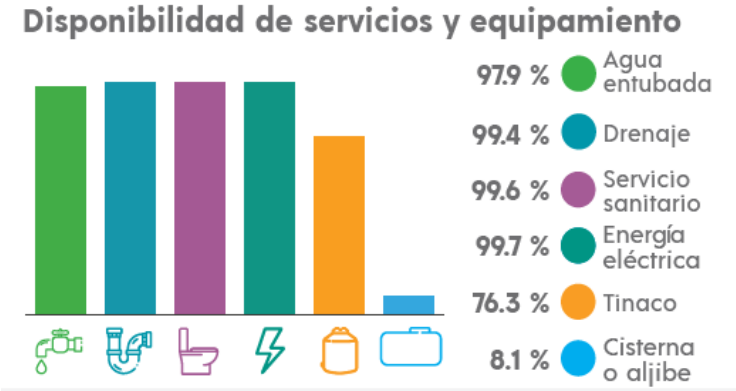


Figura 7. Porcentaje de viviendas con suministro de agua por red o pipa. Fuente: Censo de Población y Vivienda, INEGI 2020 [13].

Estos indicadores resultan insuficientes para evaluar el impacto en la demanda y la gestión del servicio de suministro de agua, que es necesario satisfacer por parte de las entidades responsables. En el caso de la ciudad de Chihuahua, la JMAS de Chihuahua, y en el ámbito rural, las juntas rurales o comités de vecinos son los encargados de esta tarea.

Es crucial considerar aspectos adicionales, como la capacidad de almacenamiento en los hogares que cuentan con sistemas de almacenamiento doméstico. Además, en el caso de los domicilios que reciben agua a través de la distribución en pipa, es importante analizar la frecuencia y el volumen de agua que se les suministra. Para aquellos habitantes que obtienen agua a través de la red del organismo operador, se debe también evaluar la frecuencia y la calidad del servicio que se les proporciona, teniendo en cuenta aspectos como el tiempo y la regularidad de los horarios de servicio.

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

3.4. Infraestructura, Sistema de Agua Potable y Servicio de Drenaje

La infraestructura y el equipamiento de agua potable y servicio de drenaje son una inversión en el futuro de México. Al invertir en esta infraestructura, estamos contribuyendo a mejorar la salud, el bienestar y el desarrollo social y económico de nuestro país [(21)].

En las localidades rurales, no existe un sistema que garantice el cumplimiento de los volúmenes de extracción de agua. En su lugar, cada comunidad se encarga de administrar el recurso hídrico a través de Comités del Agua o el Ayuntamiento, dividiendo el suministro por zonas o colonias. En algunos casos, también se utiliza un sistema de racionamiento basado en turnos de tiempo. Estas prácticas se han vuelto más comunes debido a la creciente crisis del agua que ha estado empeorando desde 2009 [(22)].

En el caso de la infraestructura de alcantarillado y drenaje sanitario, es menos la información existente, es hasta los años recientes que la JMAS de Chihuahua, ha impulsado de forma permanente de la sustitución de tramos de alcantarillado sanitario y su registro.

La infraestructura del suministro de la red de agua potable para ciudad de Chihuahua se encarga de abastecer una superficie de 273.26 km^2, equivalente al 92.6% de la superficie total de la ciudad, mientras que tan solo 21.73km^2 son abastecidos mediante el empleo de camiones de tipo pipa o cisterna, como se muestra en la Figura 8.

Estas características catastrales impactan en identificar necesidades y priorizar la inversión, así como en la cobertura en crecimiento y/o rehabilitación de la infraestructura en: agua potable, alcantarillado y drenaje, saneamiento. Para lo cual se debe clasificar la atención de servicios a la infraestructura hidrosanitaria como: operación, mantenimiento, sustitución y crecimiento. A continuación, se presenta la radiografía que corresponde a lo urbano y que es responsabilidad de la JMAS Chihuahua.

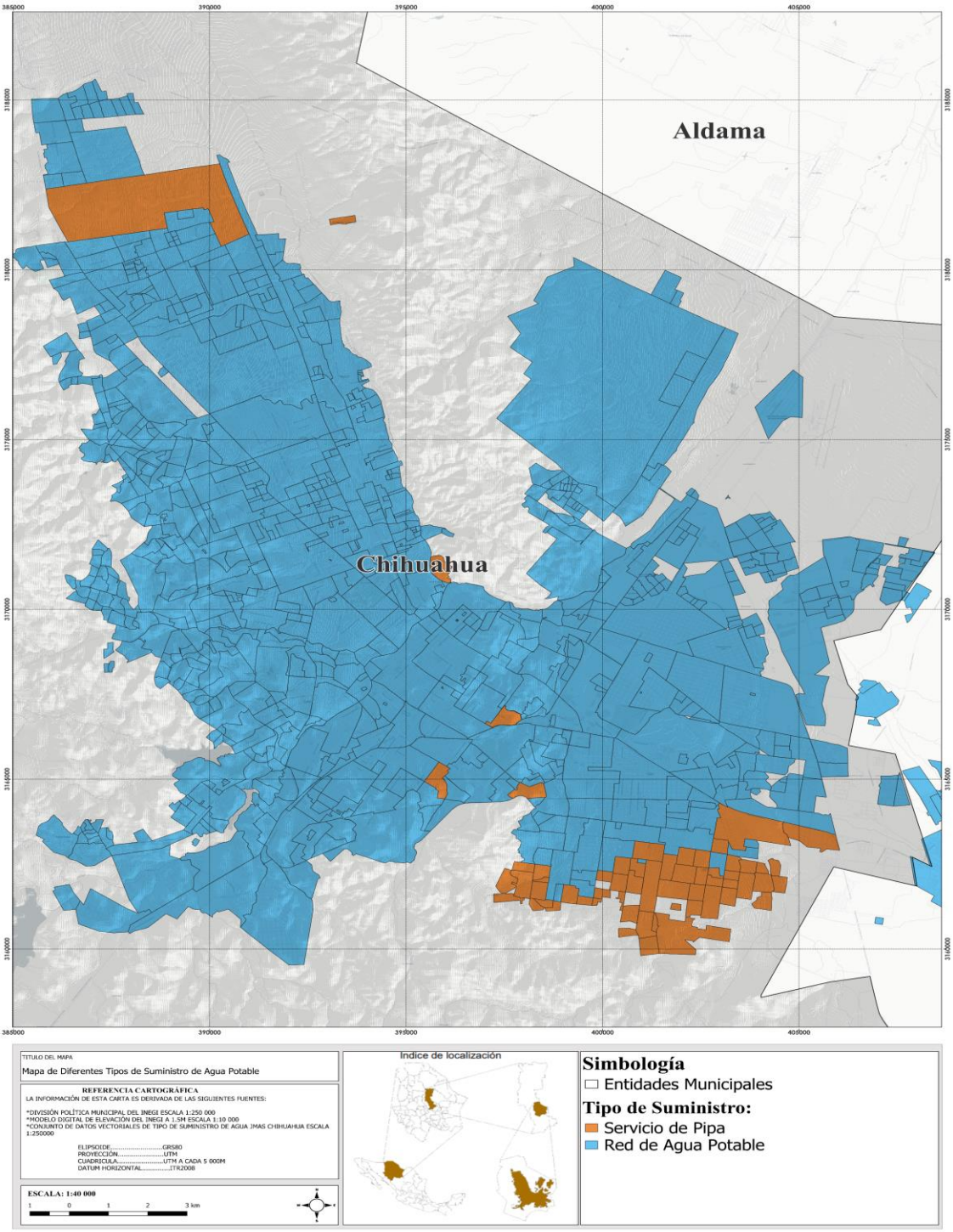


Figura 8. Mapa de diferentes tipos de suministro de agua potable en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales del tipo de suministro de agua de la JMAS (2023).

La superficie abastecida por agua incluye una red de agua potable con una longitud de 3926.01 km. Esta red mayoritariamente se compone de tuberías con diámetros de 3 y 4 pulgadas, ya que estas tuberías secundarias se utilizan para conectar las tomas de los usuarios.

La operación de la red de agua potable se ha vuelto cada vez más compleja debido a varios factores clave:

1. El crecimiento de la mancha urbana en áreas situadas por encima de la cota de 1560 msnm. Hasta el año 2000, esta elevación marcaba el límite y la base para el suministro de agua potable en la ciudad. Sin embargo, después de ese año, se autorizó el desarrollo de zonas por encima de esta elevación. En particular, la zona poniente, que se encuentra en expansión, requiere rebombeo y al menos un tanque de regulación y distribución para su funcionamiento.
2. En la década de los ochenta, debido al crecimiento acelerado de la ciudad y la falta de nuevas fuentes de abastecimiento y de infraestructura primaria para distribuir agua, el organismo operador comenzó a utilizar el suministro intermitente o tandeo como estrategia de operación.
3. La falta de capacidad económica y técnica para reemplazar la tubería que ha superado su vida útil.

Para distribuir eficazmente el agua, el organismo operador divide la ciudad en zonas o áreas de influencia, principalmente asociadas a los tanques de almacenamiento. Esto requiere la instalación de instrumentos como válvulas que limitan y controlan el flujo de agua.

En el año 2018, la JMAS llevó a cabo un diagnóstico exhaustivo del servicio de agua potable. Este estudio involucró la utilización de equipos autónomos equipados con registradores de datos, que se desplegaron en el terreno con el propósito de evaluar de manera precisa la calidad del servicio proporcionado a la población. El objetivo principal de esta evaluación era comprender la situación actual y buscar soluciones efectivas para mejorar, optimizar y garantizar la equidad en el suministro de agua. Esto se hizo considerando tanto la cantidad como la duración de tiempo durante la cual los usuarios tenían acceso a una presión y un caudal adecuados para el funcionamiento de sus instalaciones domésticas.

Los resultados de este diagnóstico revelaron que solamente el 12% de los usuarios registrados disfrutaba de un servicio de agua continua o 24/7. La ubicación del servicio de suministro continuo se presenta en detalle en la Figura 30 que se muestra a continuación.

En lo que respecta al sistema de alcantarillado que se tiene en el municipio de Chihuahua, gestionado por el organismo operador (JMAS) de la ciudad, se extiende a lo largo de una longitud total de 2,777.24 km. Las atarjeas, que forman parte secundaria del sistema de alcantarillado, tienen diámetros de 8 pulgadas y sirven como puntos de conexión de las viviendas de los usuarios al sistema. Estas atarjeas se conectan a colectores que varían en diámetro desde 10 pulgadas o más y

finalmente descargan en las dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales, denominadas PTAR Norte y PTAR Sur. La PTAR Norte tiene una capacidad de tratamiento de 1200 lps, mientras que la PTAR Sur tiene una capacidad de 2500 lps.

La JMAS de Chihuahua informa que la cobertura de alcantarillado en la ciudad alcanza el 97%, lo que significa que el 97% de las aguas residuales de la ciudad son tratadas en estas PTAR.

En el municipio de Chihuahua, según datos proporcionados por CONAGUA [23] para el año 2022, se encuentran operativas 5 plantas de tratamiento de aguas residuales (Figura 9). Entre estas plantas, las tres gestionadas por la JMAS utilizan un proceso de tratamiento secundario con lodos activados, con capacidades y caudales tratados específicos.



Figura 9. Imagen de la ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información de CONAGUA [23].

La ciudad de Chihuahua se ha destacado como una de las pioneras en México en la reutilización del agua residual tratada, comenzando esta práctica a finales de la década de los noventa con la PTAR Norte. Actualmente, la ciudad cuenta con una extensa red de agua tratada que se extiende a lo largo de 324.15 km, conectando las PTAR Norte y Sur. Esta red se encarga de la distribución de agua tratada en gran parte de la ciudad, la cual se destina principalmente a actividades y usos que no requieren

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 agua potable de alta calidad, como el riego de áreas verdes, campos de golf y la construcción de terracerías. Para incentivar su uso, el organismo operador (JMAS) ha establecido tarifas más bajas por volumen de agua tratada en comparación con el agua potable. A partir de enero de 2024, el costo por m^3 de agua potable es de $21.1, mientras que el agua tratada tiene un costo de $9.27 por m^3. La infraestructura encargada de brindar este servicio se muestra en la Figura 10.

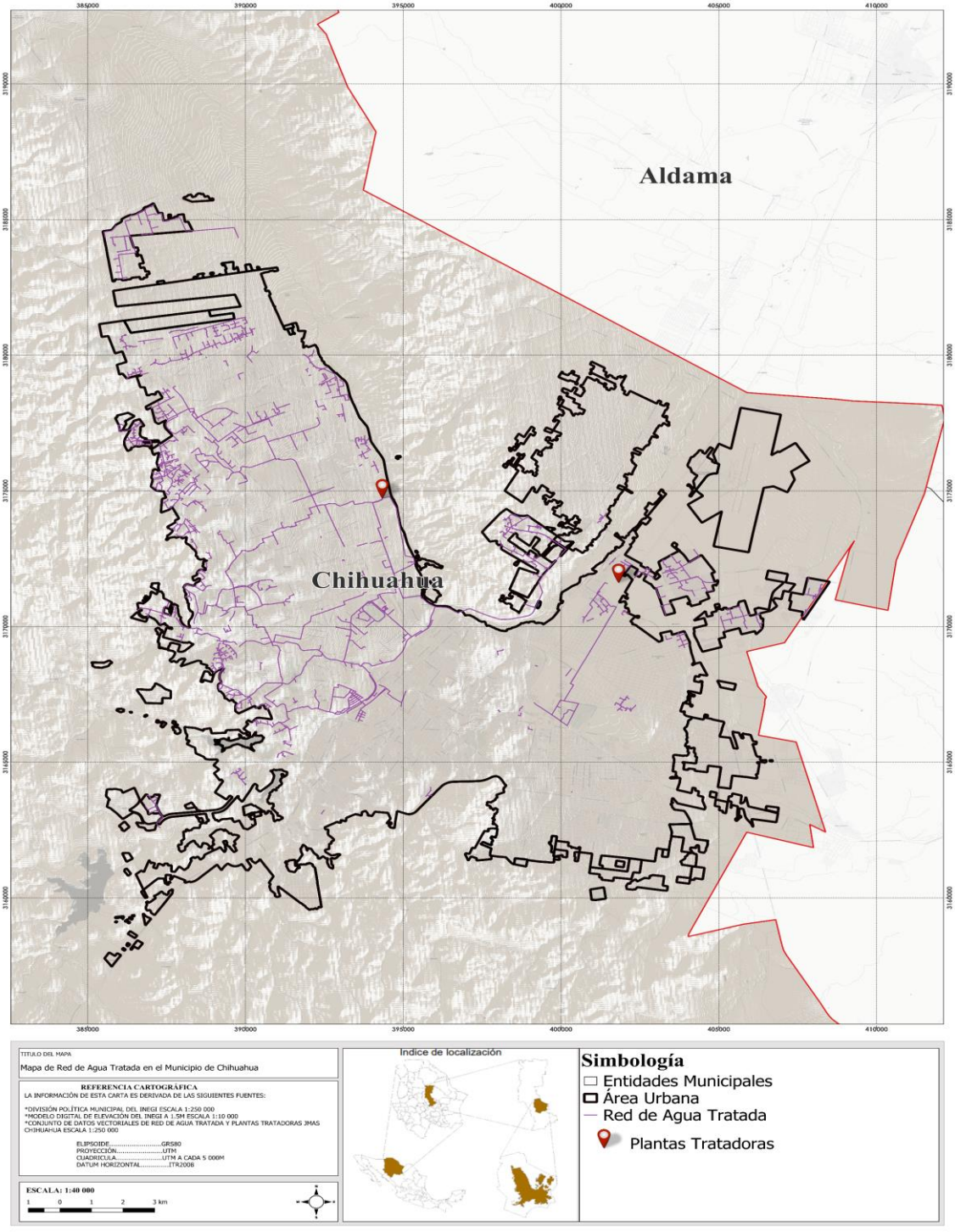


Figura 10. Mapa de la red de distribución de agua residual tratada en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir del conjunto de datos vectoriales de la red de agua tratada y plantas de tratamiento de la JMAS (2023).

Es importante destacar que actualmente no se cuenta con un registro completo o catastro de la infraestructura presente en las 391 comunidades que conforman el municipio de Chihuahua. No obstante, es evidente que estas comunidades disponen de alguna infraestructura relacionada con el suministro de agua. Por lo tanto, es altamente recomendable establecer una metodología efectiva para generar y dar seguimiento a esta información de manera sistemática y actualizada.

3.5. Análisis de Dotación y Consumo

Según la clasificación de la JMAS, los usuarios a los que se brinda servicio se dividen en las siguientes categorías: domésticos, comerciales, industriales, escolares y edificios que prestan servicio público. En la Figura 11, se muestra la representación histórica de la distribución de estos tipos de usuarios.

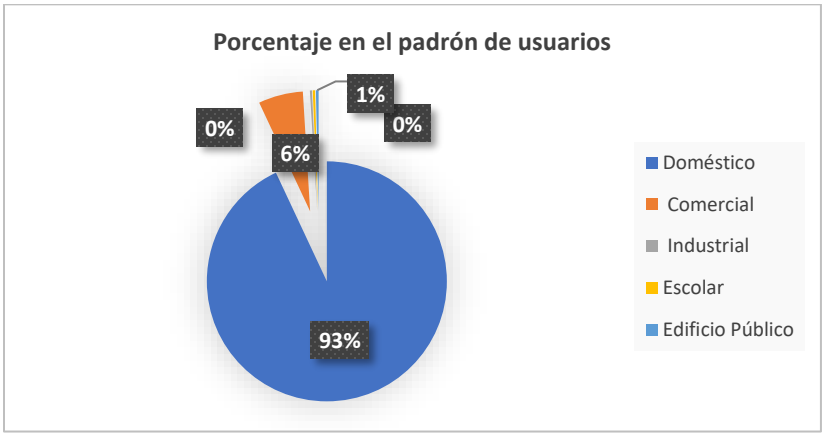


Figura 11. Porcentajes por tipo de usuario en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del JMAS y PIGOO-IMTA [24].

Históricamente, el tipo de usuario que ha recibido la mayor cantidad de servicio por parte del organismo operador (JMAS) es el doméstico, seguido por los usuarios comerciales e industriales. Los usuarios de edificios públicos y escolares tienen una representación similar en términos de magnitud. En la Figura 12, se muestra la evolución histórica de la dotación en la ciudad de Chihuahua para los usuarios domésticos. Esta dotación se calcula como la relación entre el volumen producido y suministrado y el número de habitantes, que se determina a partir del número de cuentas registradas en la JMAS y el índice de hacinamiento definido por el INEGI para cada intervalo de tiempo.

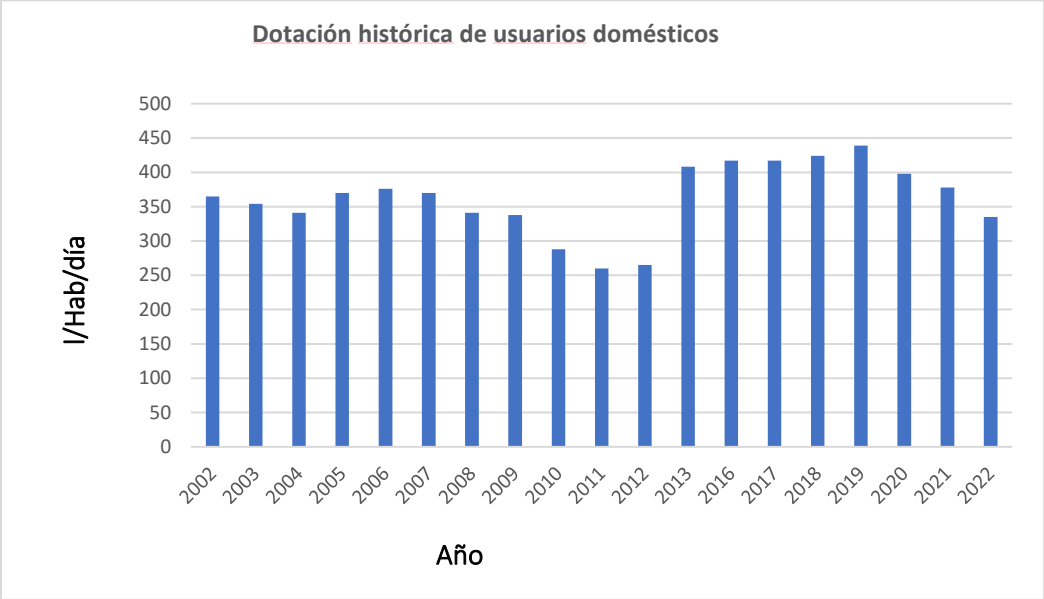


Figura 12. Dotación a los usuarios domésticos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del JMAS y PIGOO-IMTA [24].

La mayor dotación en los últimos 20 años es en el 2019, con magnitud de 439 l/hab/día, en los años 2011 y 2012 se tienen las dotaciones menores con magnitud de 260-265 l/hab/día respectivamente. Como se puede observar la tendencia de dotación tiene variabilidad desde el 2002 al 2018, lo cual no responde a la tendencia de crecimiento de población como se muestra en la Figura 13.

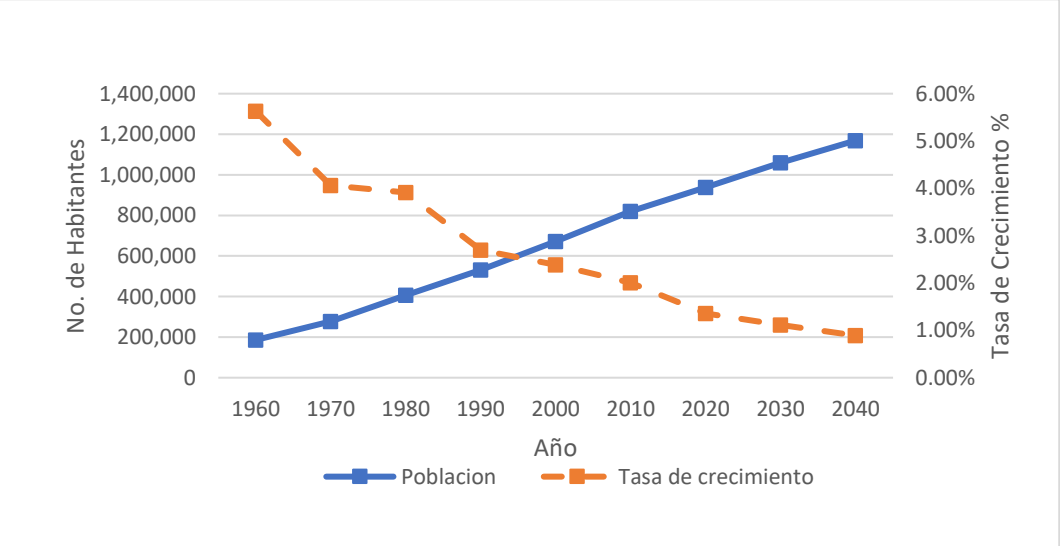


Figura 13. Tendencia de variabilidad y crecimiento de la población en la ciudad de Chihuahua Fuente: Elaboración propia con información del INEGI [13].

En la Figura 12, se evidencia claramente que el año 2019 marcó un punto de inflexión en la tendencia alcista, ya que comenzó a disminuir la dotación. Esto se atribuye a los primeros resultados del reordenamiento de la red de agua potable, incluyendo la sectorización y la gestión de presiones. Se observa una tendencia anual a reducir la dotación en aproximadamente 25 l/hab/día.

Para el cálculo del consumo per cápita se obtuvieron los consumos por tipo de usuario para el mes de diciembre del 2022, así como el número de usuarios. El consumo per cápita para usuarios de tipo doméstico es de 23 m^3/usuario/mes, si se considera un índice de hacinamiento de 3.11 hab/casa, el consumo per cápita para uso doméstico es de 244 l/hab/día. En la Figura 14 se muestra un mapa de calor donde se concentran los usuarios de acuerdo con su consumo mensual.

El consumo per cápita para los usuarios comerciales es de 1,124 l/comercio/día, mientras que para el de uso industrial es de 36,172 l/industria/día. Para el tipo escolar, se registra un consumo de 3,186 l/escuela/día y para los servicios públicos, el consumo asciende a de 5,798 l/servicio público/día, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumos por tipo de usuarios para el mes de diciembre del 2022. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA [(24)].

Tipo de usuario	Usuarios	Consumo			Consumo	
		(m^3/mes)	m^3/usuario/mes	m^3/hab/mes	per cápita	Unidades
Doméstico	325,216	7,398,765	23	7	244	l/hab/día
Comercial	21,876	1,983,522	91	91	1,124	l/comercio/día
Industrial	1,340	1,454,115	1,085	1,085	36,172	l/industria/día
Escolar	1,134	128,063	113	96	3,186	l/escuela/día
Servicios públicos	1,289	197,241	153	174	5,798	l/servicio público/día

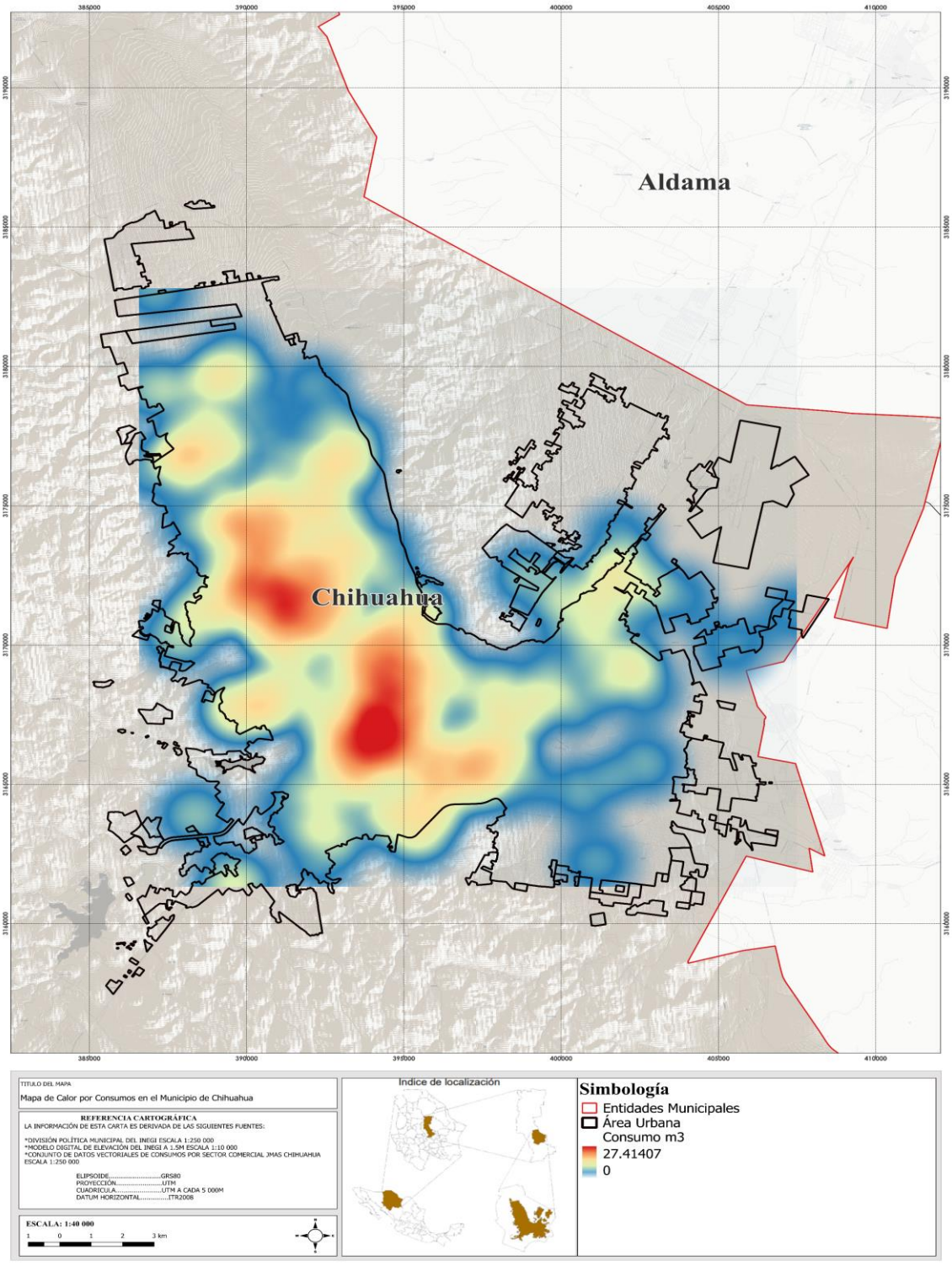


Figura 14. Mapa de calor del consumo al mes de los usuarios domésticos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS (2023).

3.6. Proyección de Población 2040 para el Municipio de Chihuahua

Se compararon los resultados de las proyecciones de población estimadas (Tabla 3) por el Programa Estatal de Población [25] y la Proyección de Población por Municipios (CONAPO) [26] los valores del resultado obtenido por la tendencia de la recta equivalente se asemejan mucho a los obtenidos en las proyecciones de estudio de la COESPO, cabe mencionar que por este método se estaría proyectando una estabilización de la población para el Municipio para el año 2038, disminuyendo de 1,036,738 a 1,035,909 para el año 2040 según su tendencia y una tasa de decrecimiento esperada de -0.07%.

Tabla 3.Resultados de proyección de población por distintos métodos. Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de los censos de población del INEGI [13], y los resultados de los estudios del Programa Estatal de Población 2017-2021 [25] y Proyección de Población por Municipios CONAPO [26].

Proyección de población del Municipio de Chihuahua para el 2040					
Año	**Población función exponencial**	**Población función potencial**	**Población Recta equivalente**	**COESPO, 2017**	**CONAPO**
1960	186,089	186,089	186,089		
1970	277,099	277,099	277,099		
1980	406,830	406,830	406,830		
1990	530,783	530,783	530,783		
2000	671,790	671,790	671,790		
2010	819,543	819,543	819,543		897,876
2020	937,674	937,674	937,674	954,487	939,772
2021	950,374	955,817	947,707		
2022	962,967	974,229	957,279		
2023	975,448	992,916	966,373		
2024	987,816	1,011,880	974,974		
2025	1,000,069	1,031,126	983,066	987,184	970,162
2026	1,012,203	1,050,658	990,636		
2027	1,024,218	1,070,481	997,669		
2028	1,036,111	1,090,598	1,004,154		
2029	1,047,879	1,111,013	1,010,079		
2030	1,059,523	1,131,731	1,015,432	1,013,190	993,554
2031	1,071,040	1,152,757	1,020,205		
2032	1,082,428	1,174,094	1,024,387		

Año	Población función exponencial	Población función potencial	Población Recta equivalente	COESPO, 2017	CONAPO
2033	1,093,688	1,195,747	1,027,973		
2034	1,104,817	1,217,721	1,030,954		
2035	1,115,814	1,240,020	1,033,325		
2036	1,126,679	1,262,648	1,035,082		
2037	1,137,412	1,285,611	1,036,220		
2038	1,148,010	1,308,912	1,036,738		
2039	1,158,475	1,332,557	1,036,635		
2040	1,168,806	1,356,550	1,035,909		

Al ser la ciudad de Chihuahua, la localidad del municipio con el 98.73% de la concentración de la población en el municipio; se realizó una proyección de población con el fin de estimar sus necesidades hídricas a futuro (Tabla 4).

Tabla 4.Resultados de proyección de población por distintos métodos. Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de los censos de población del INEGI [(13)], y los resultados de los estudios del IMPLAN y PDU de la Cd. de Chihuahua [(27)].

Proyección de población para la ciudad de Chihuahua para el 2040					
Año	Población función exponencial	Población función potencial	Población Recta equivalente	IMPLAN (2016)	Plan de desarrollo urbano de la cd. de Chihuahua 2040 (2016)
1960	150,430	150,430	150,430		
1970	257,027	257,027	257,027		
1980	385,603	385,603	385,603		
1990	516,153	516,153	516,153		
2000	657,876	657,876	657,876		
2010	809,232	809,232	809,232		
2020	925,762	925,762	925,762	911,109	957,482
2021	938,897	943,670	938,630		
2022	952,193	961,819	951,020		
2023	965,334	980,212	962,908		
2024	978,319	998,853	974,270		
2025	991,143	1,017,744	985,084	948,706	1,024,907
2026	1,003,806	1,036,889	995,329		
2027	1,016,304	1,056,292	1,004,984		

Año	Población función exponencial	Población función potencial	Población Recta equivalente	IMPLAN (2016)	Plan de desarrollo urbano de la cd. de Chihuahua 2040 (2016)
2028	1,028,637	1,075,955	1,014,029		
2029	1,040,802	1,095,883	1,022,445		
2030	1,052,798	1,116,077	1,030,216	977,517	1,101,054
2031	1,064,624	1,136,542	1,037,324		
2032	1,076,280	1,157,282	1,043,756		
2033	1,087,763	1,178,299	1,049,496		
2034	1,099,074	1,199,597	1,054,534		
2035	1,110,212	1,221,180	1,058,858	1,006,849	1,169,276
2036	1,121,177	1,243,050	1,062,458		
2037	1,131,969	1,265,213	1,065,326		
2038	1,142,588	1,287,671	1,067,457		
2039	1,153,035	1,310,427	1,068,845		
2040	1,163,309	1,333,486	1,069,486	1,037,061	1,242,688

Comparando el resultado obtenido por la tendencia de la curva de la función exponencial tenemos para el 2040 una proyección para la población de la ciudad de Chihuahua de 1,163,309 habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional del 0.89%, 79,379 habitantes menos que en el estimado por el Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chihuahua Visión 2040, estudio realizado el año 2016.

3.7. Proyección de la Demanda de Agua Potable al año 2040

La proyección de la dotación y el gasto de suministro para Chihuahua se realizó para el año 2040, teniendo como base el pronóstico de crecimiento de la población presentado.

Los **consumos teóricos** por tipo de usuario y el total para la ciudad se obtuvieron a partir de los datos de población de CONAPO [(26)] y los volúmenes teóricos establecidos por CONAGUA [(28)], así como del Padrón de Usuarios del Organismo Operador (JMAS).

Por otro lado, los **consumos reales** por tipo de usuario y el total para la ciudad se calcularon utilizando las proyecciones de población y los volúmenes entregados a la población. Estos volúmenes incluyen los valores medidos (para usuarios con este servicio) y los valores estimados de volúmenes entregados a usuarios con servicio de cuota fija.

En la Figura 15 se presenta el comportamiento del consumo en la ciudad de Chihuahua para usuarios domésticos en los últimos 20 años. Se observa un incremento en el consumo a partir del año 2019, lo cual puede atribuirse a una reducción en las pérdidas y, por lo tanto, a una mayor cantidad de agua efectivamente utilizada por los usuarios, resultado del reordenamiento del sistema de agua potable.



Figura 15. Consumo de los usuarios domésticos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS y el PIGOO [24].

En la Tabla 5 se muestran la clasificación del padrón de usuarios y su tipo de facturación para el 2022 de la JMAS publicados en el PIGOO.

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. Número de cuentas/usuarios por tipo de facturación que presenta el organismo operador (JMAS) para el año 2022. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA [24].

TIPO DE SERVICIO	No. cuentas con Servicio Medido (SM)	No. De cuentas con Cuota Fija	Cuentas Totales
Domésticas	309,650	15,566	325,216
Comerciales	19,971	1,905	21,876
Industriales	946	394	1,340
Escolar	1,072	62	1,134
Servicios	1,221	68	1,289
TOTALES	**332,860**	**17,995**	**350,855**

El Consumo per cápita Doméstico se consideró igual a 244 l/hab/día para el año 2022, lo equivalente a 23 m^3/usuario/mes, con éste, además de los Además de los Consumos Comercial, Industrial y de Servicios Públicos, obtenidos a partir de datos estadísticos, se debe tener en cuenta un porcentaje de pérdidas. En este caso, es importante considerar lo que el IMTA [24] define como eficiencia física 2 (EF2). A continuación, se describe este indicador y se explica la diferencia con la eficiencia física 1 (EF1).

- La EF1 mide la relación entre la cantidad de agua que se produce y suministra a la red y la cantidad de agua que se pierde debido a fugas, roturas y otros factores. Este indicador se expresa en forma de porcentaje.
- Por otro lado, la EF2 mide la relación entre la cantidad de agua que se produce y suministra a la red y la cantidad de agua que realmente se consume y se factura a los usuarios. También se expresa como un porcentaje.

La principal diferencia entre la EF1 y la EF2 radica en que la EF1 abarca todas las pérdidas de agua en la red, incluyendo las pérdidas en las redes de distribución y de transporte. En cambio, la EF2 se centra únicamente en las pérdidas de agua en las redes de distribución, excluyendo las pérdidas en las redes de transporte.

La Figura 16 muestra el comportamiento histórico del porcentaje de EF2, que para el año 2022 se sitúa en un 53%. Esto significa que el 47% del agua producida y suministrada se pierde debido a diversas razones.

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

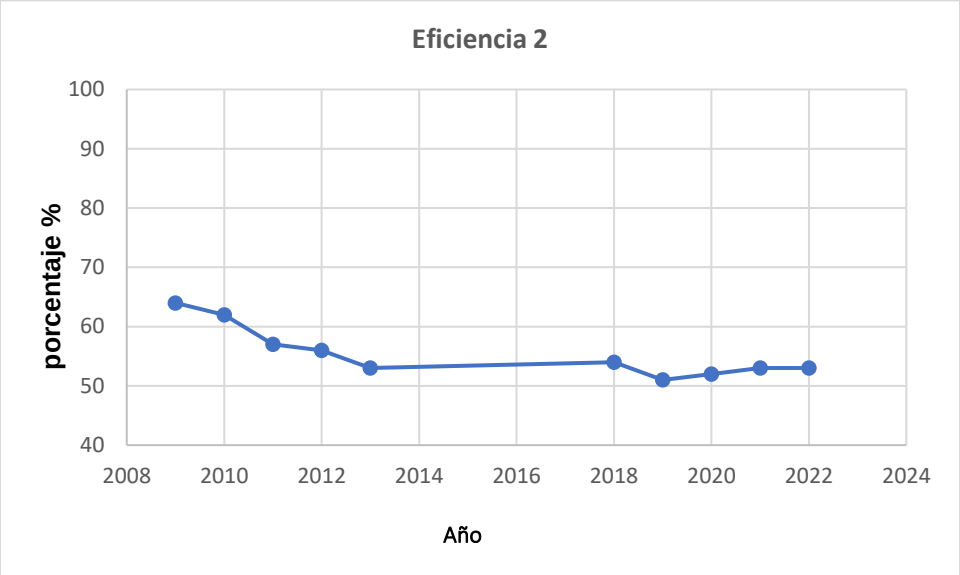


Figura 16. Eficiencia Física 2 (EF2) del sistema de agua potable obtenida por el organismo operador (JMAS). Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS y el PIGOO [24].

Para calcular la proyección de lotes comerciales, industriales y de servicios públicos, se asumió que su crecimiento sería proporcional al que ha experimentado la Ciudad. Utilizando una proporcionalidad, se estimaron los lotes correspondientes para los años siguientes. Este mismo proceso se aplicó para calcular los lotes industriales y de servicios públicos. Para los lotes comerciales se tiene un consumo per cápita promedio de 91 m^3/comercio/mes o 1,124 l/comercio/día, para los lotes industriales su consumo per cápita promedio de 1,085 m^3/industria/mes o 36,172 l/industria/día y para los lotes de servicios públicos se tiene un consumo per cápita promedio de 174 m^3/servicio público/mes o 5,798 l/servicio público/día, para las instalaciones escolares se tiene un consumo per cápita promedio de 96 m^3/escuela/mes o 3,186 l/escuela/día.

El Consumo Total de agua en la Ciudad es la suma de todos los consumos y es igual a 372,057 m^3 al día, los componentes para este resultado se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Consumo en m^3 por día de acuerdo con las proyecciones estimadas. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA [(28)].

Tipo de usuario	Consumo (m^3/dia)
Doméstico	246,626
Comercial	66,117
Industrial	48,470
Escolar	4,269
Servicios públicos	6,575
Total	**372,057**

Del análisis de comportamiento de demanda de agua en función de los datos del organismo operador (JMAS), durante la época de invierno, la demanda de agua de la población se corresponde con el **Gasto Medio Diario**.

No obstante, en épocas de mayor demanda, como el verano debido a condiciones climáticas, esta demanda aumenta significativamente, llegando a alcanzar el **Gasto Máximo Diario**. Por lo tanto, en el análisis de proyección de la demanda de agua, se calculan dos tipos de gasto: el Gasto Medio Diario, que debe ser suministrado durante el invierno para satisfacer la demanda de agua, y el Gasto Máximo Diario, destinado a cubrir la demanda de agua generada por las variaciones estacionales, especialmente en verano.

Esta dualidad tiene un impacto en la operación del sistema, ya que se presentan "usuarios ficticios" que requieren un tipo de enfriamiento por aire lavado. Es importante considerar esto como un área de mejora y oportunidad en términos de diseño de edificaciones, almacenamiento de agua y equipamiento de confort.

En el siguiente escenario, se contempla una disminución en la dotación de agua, un aumento en la población de acuerdo con las proyecciones realizadas y se mantiene constante la oferta, como se muestra en la Tabla 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

Tabla 7. Balance entre la demanda y oferta para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA [28].

Tipo de caudal		2022	2025	2030	2040
Demanda	Gasto Medio Diario/invierno (l/s)	3640	3570	3501	3400
	Gasto Máximo Diario/verano (l/s)	5096	4998	4901	4760
	Gasto máximo horario (l/s)	7899	7747	7597	7378
Oferta	Gasto Máximo Suministrado (l/s)	4222	4222	4222	4222
Comparativo entre el Gasto Suministrado	Balance en Invierno (l/s)	582	652	721	822
	Balance en Verano (l/s)	-874	-776	-679	-538

En el siguiente escenario se considera que la dotación se mantiene, la población incrementa de acuerdo con las proyecciones y la oferta se mantiene (Tabla 8).

Tabla 8. Balance entre la demanda y oferta para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia, con información de la JMAS y PIGOO-IMTA [24].

Tipo de caudal		2022	2025	2030	2040
Demanda	Gasto Medio Diario/invierno (l/s)	3640	3678	3790	4021
	Gasto Máximo Diario/verano (l/s)	5096	5150	5306	5629
	Gasto máximo horario (l/s)	7899	7982	8225	8726
Oferta	(Gasto Máximo Suministrado (l/s)	4222	4222	4222	4222
Comparativo entre el Gasto Suministrado	Balance en Invierno (l/s)	582	544	432	201
	Balance en Verano (l/s)	-874	-928	-1084	-1407

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 primer escenario, se destaca el impacto significativo de la disminución de la dotación, lo que equivale a un aumento en la eficiencia. Esto podría prolongar la sostenibilidad del suministro de agua a la ciudad y retrasar la necesidad de incrementar la oferta de nuevas fuentes de agua.

Por otro lado, en el segundo escenario, se observa una diferencia significativa en comparación con el primero. En ausencia de un impacto en la dotación, se vuelve imperativo buscar nuevas fuentes de agua.

Ambos escenarios muestran que es posible satisfacer la demanda de invierno. Sin embargo, en el caso del verano, se evidencia un déficit debido a los "usuarios ficticios" mencionados anteriormente. Esto ha llevado a que el sistema opere actualmente en un patrón híbrido: suministro continuo en invierno y tandeo en verano. Este patrón podrá disminuir a medida que se reordene el sistema, se mejore la eficiencia y se implementen alternativas más adecuadas para el enfriamiento y la optimización del almacenamiento doméstico. No obstante, es esencial que los usuarios adquieran una mayor conciencia y responsabilidad en cuanto al uso y consumo del agua.

3.8. Inversión en Infraestructura de Agua Potable y Alcantarillado

Según el Índice de Competitividad Estatal del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) 2023, la inversión en infraestructura de agua potable y alcantarillado en el municipio de Chihuahua fue de $194.5 millones de pesos en 2022 [(29)]. Esto representa el 0.4% del PIB municipal.

El IMCO estima que la inversión necesaria para sustituir el envejecimiento de la infraestructura de agua potable y alcantarillado en el municipio de Chihuahua es de $1,000 millones de pesos [(29)]. Esta inversión se necesitaría para reemplazar tuberías envejecidas, rehabilitar sistemas de alcantarillado sanitario y mejorar la eficiencia de la operación de los sistemas.

Para ampliar la infraestructura de agua potable y alcantarillado para atender el crecimiento de la población, el IMCO estima que se necesitaría una inversión de $500 millones de pesos [(29)]. Esta inversión se necesitaría para construir nuevas redes de agua potable y alcantarillado, así como para ampliar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En total, el IMCO estima que la inversión necesaria para mejorar la infraestructura de agua potable y alcantarillado en el municipio de Chihuahua es de $1,500 millones de pesos. Esta inversión se necesitaría para garantizar el acceso a agua potable segura y al servicio de drenaje eficiente para toda la población.

Cabe señalar que la inversión y la priorización del tipo de infraestructura hidrosanitaria, en el municipio de Chihuahua tiene que estar acorde a su clasificación catastral, de acuerdo con el IMPLAN existen zonificaciones primarias y secundarias las cuales determinan los polígonos de área urbana y reserva de crecimiento (Figura 17).

Estas características catastrales impactan en identificar necesidades y priorizar la inversión, así como en la cobertura en crecimiento y/o rehabilitación de la infraestructura en: agua potable, alcantarillado y drenaje, saneamiento. Para lo cual se debe clasificar la atención de servicios a la infraestructura hidrosanitaria como: operación, mantenimiento, sustitución y crecimiento. A continuación, se presenta la radiografía que corresponde a lo urbano y que es responsabilidad de la JMAS Chihuahua.

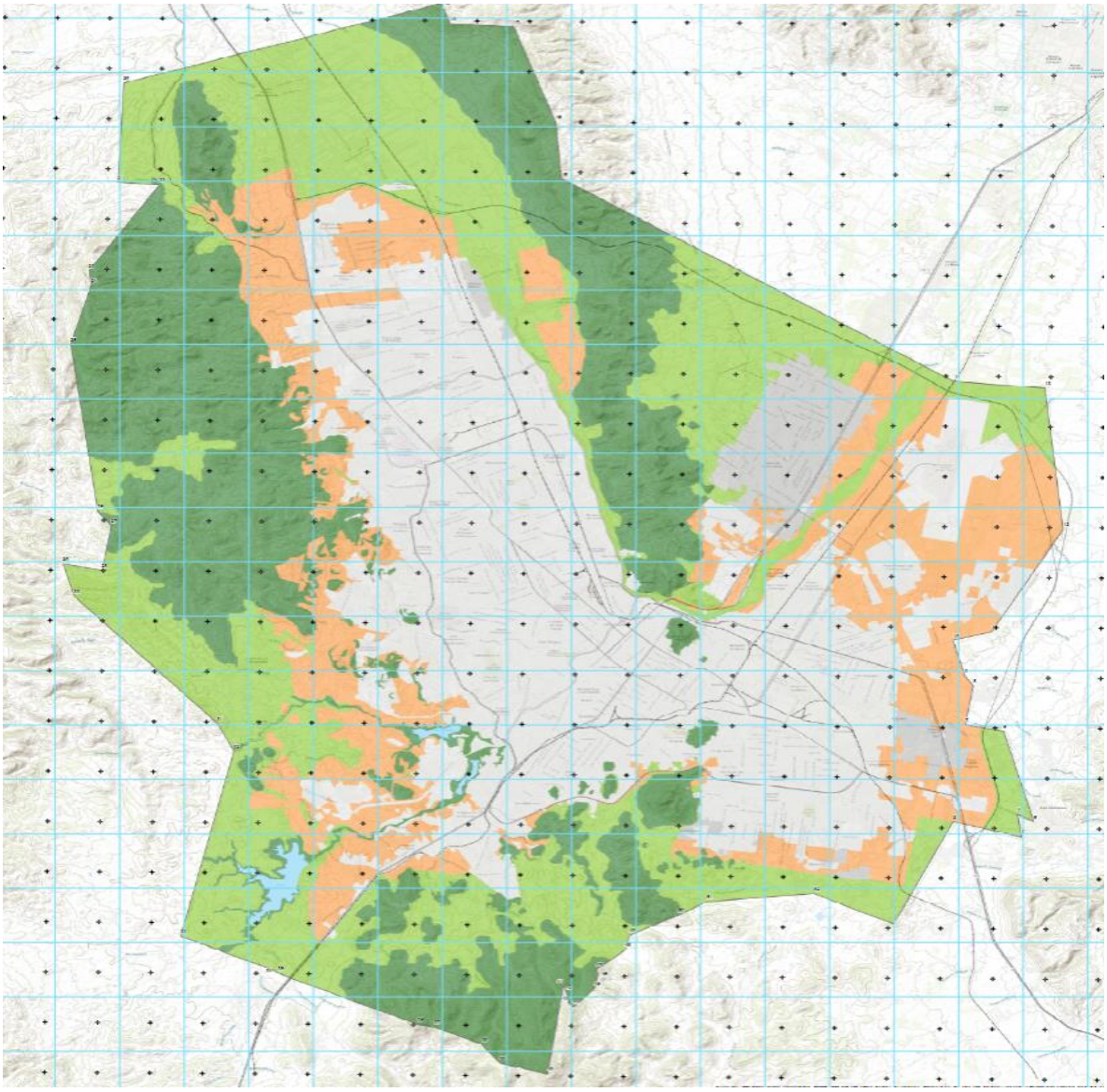


Figura 17. Zonificación primaria Plan de Desarrollo Urbano del centro de población Chihuahua. Fuente: Suelo artificializado y huella urbana, IMPLAN (2021) [30,27].

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. Integración del Análisis Socioeconómico en el Ámbito del Uso del Agua

En el **capítulo 3. Integración del Análisis Socioeconómico en el Ámbito del Uso del Agua**, se aborda la conexión que existe entre los factores socioeconómicos con el uso del agua. La relación entre el valor económico productivo de los municipios y el grado de presión o sobreexplotación del agua de sus fuentes de abasto es crucial para entender cómo la gestión del agua afecta a la actividad económica y viceversa. En primer lugar, los municipios con un alto valor económico productivo suelen tener una mayor demanda de agua para sus actividades industriales, agrícolas y de servicios [(31)] [(32)]. Esta alta demanda puede ejercer una presión considerable sobre las fuentes de abasto de agua, especialmente en regiones donde los recursos hídricos son limitados o están siendo sobreexplotados.

La falta de acción o el entendimiento insuficiente de los sectores productivos frente a la problemática del agua puede tener consecuencias devastadoras. La escasez o mala calidad del agua puede afectar la producción industrial, reducir la productividad agrícola e incluso obstaculizar el desarrollo de nuevas empresas y proyectos.

El municipio de Chihuahua se sitúa en el lugar 14 a nivel nacional desde el punto de vista económico [(31)], lo cual compromete más a los sectores productivos a aportar y asumir su corresponsabilidad para la sostenibilidad del recurso hídrico.

Los estudios socioeconómicos en el municipio de Chihuahua han sido fundamentales para comprender la dinámica y el desarrollo de esta región. Los sectores productivos del municipio de Chihuahua han experimentado un crecimiento constante en los últimos 20 años. Este crecimiento ha sido impulsado por varios factores, entre los que destacan el aumento de la población, la expansión de la frontera agrícola y ganadera, y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Los sectores productivos más importantes del municipio de Chihuahua son la agricultura, la ganadería y la manufactura. Estos sectores representan alrededor del 70% del PIB municipal de acuerdo con información del INEGI (2022) [(33)].

4.1. Empleo Formal

El empleo en el municipio de Chihuahua ha tenido una tendencia creciente en el periodo 2011-2023. En 2011, la población ocupada en el municipio era de 355,000 personas, mientras que en 2023 [(34)] fue de 504,000 personas. Esto significa que el empleo en el municipio aumentó en 40.1% en los últimos 12 años.

Este aumento del empleo se debe a varios factores, entre los que destacan:

- El crecimiento económico del municipio.
- La inversión en infraestructura.
- La expansión de la industria manufacturera.

El crecimiento económico del municipio ha generado nuevas oportunidades de empleo en diversos sectores, como el comercio, los servicios, y la industria. La inversión en infraestructura ha facilitado el comercio y la inversión, lo que ha generado más empleos. La expansión de la industria manufacturera, impulsada por la inversión extranjera directa, ha creado nuevos empleos en el municipio

El Municipio cuenta con un total de 294,386 empleos a finales del tercer trimestre del 2023, y una tasa de crecimiento de 4.6% en comparación al año anterior, como se muestra en la Figura 18 [35].

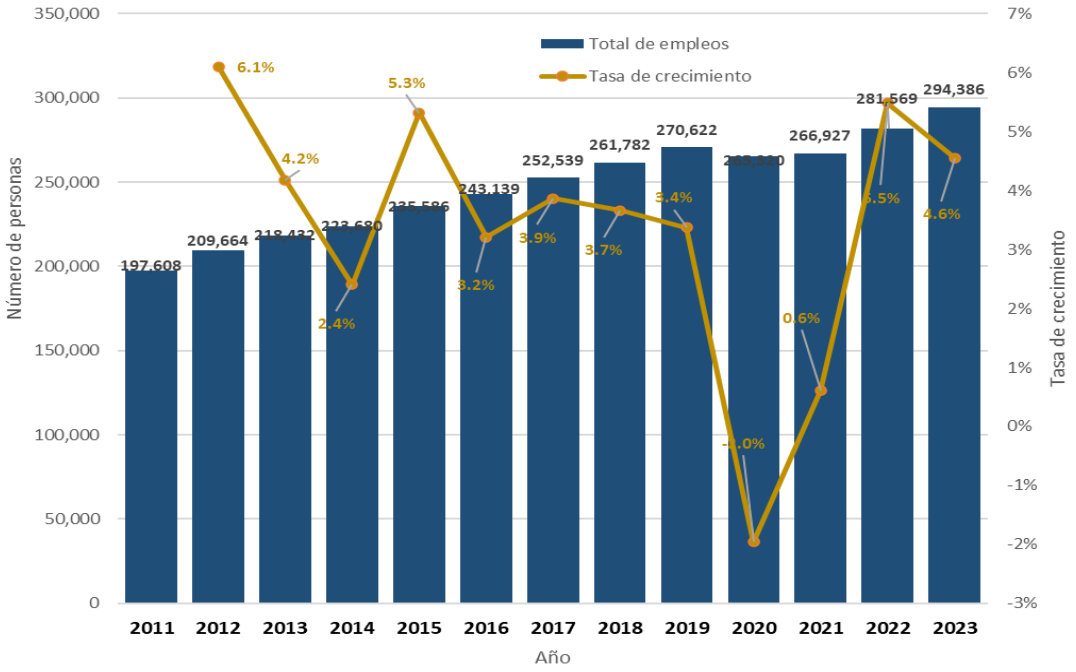


Figura 18. Comportamiento del empleo en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023 [35].

4.2. Análisis por Sector

Se proyecta que, de los 294,386 empleos hasta septiembre de 2023, el 51.5% pertenezca al sector terciario [34]. Dentro de este sector, el subsector de servicios ocupa una proporción significativa, representando el 25.8% del total de empleos en el municipio. Por otro lado, el sector secundario contribuye con el 48.3% del empleo total, distribuido principalmente en cuatro subsectores. Destaca la industria de transformación como el subsector más extenso, representando el 39.9% del empleo total en el municipio. En la Tabla 9 se puede observar el número de empleos estimados por sector para el Municipio de Chihuahua.

Tabla 9. Cantidad de empleos por sector en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023.

Sector	Empleos	Porcentaje
Primario	1,642	0.6%
Secundario	142,212	48.3%
Terciario	151,532	51.5%
Total	**294,386**	**100%**

4.2.1. Sector primario

Conforme a la información proporcionada por el SIAP [36], el sector primario en el municipio de Chihuahua contribuyó con un 7.4% al Producto Interno Bruto (PIB) total del municipio en el año 2023, lo que representa una cifra monetaria de $24,800 millones de pesos.

De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el municipio de Chihuahua se sembraron un total de 128,216 hectáreas en 2022. Esta superficie representa un aumento de 3.6% respecto a 2021.

En cuanto a la región Chihuahua Centro, se evidenció un incremento en la producción agrícola durante el año 2022; no obstante, se observó una disminución en su valor económico, como se ilustra en la Figura 19.

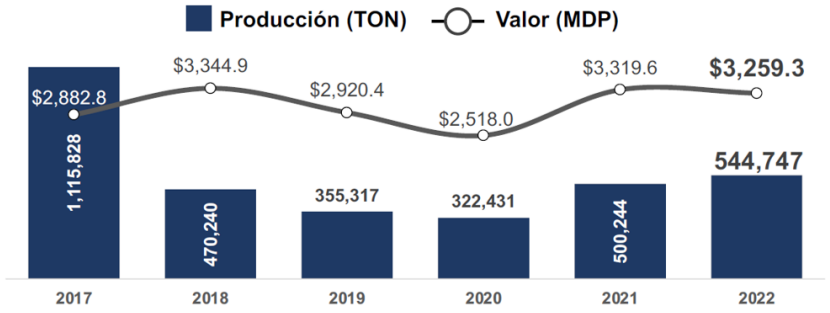


Figura 19. Cultivos de la región centro-Chihuahua. Fuente: Comisión de Desarrollo Económico Regional Chihuahua con datos del SIAP 2022 [32] [36].

En el año 2022, el Municipio de Chihuahua experimentó un notable incremento tanto en la producción agrícola como en su valor monetario en comparación con los años 2020 y 2021 [35]. Se destaca una tendencia general de crecimiento en el volumen de producción.

La Figura 20 ilustra claramente esta evolución, representando en las barras el volumen de producción agrícola medido en toneladas. Además, los marcadores proporcionan información precisa sobre el valor correspondiente en millones de pesos.

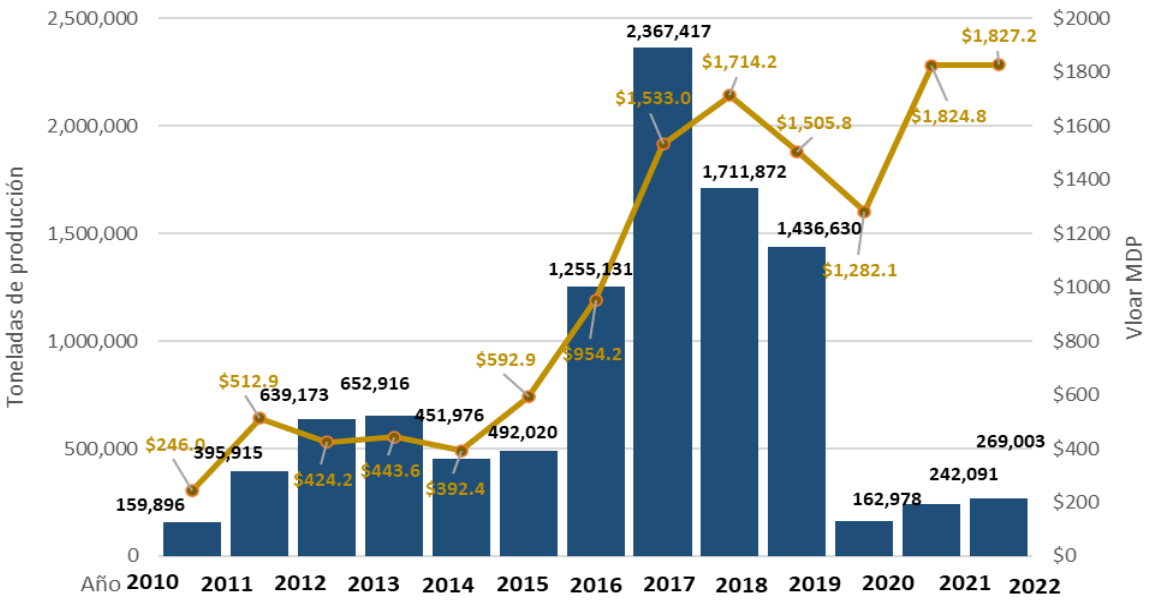


Figura 20. Evolución de la productividad agrícola en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023 [35] [36].

Según los datos proporcionados por el SIAP [36], en 2023, el municipio de Chihuahua contaba con un hato ganadero que comprendía un total de 1,170,000 cabezas de ganado. De esta cantidad, 700,000 cabezas correspondían al ganado bovino, 270,000 cabezas al ganado porcino y 200,000 cabezas al ganado ovino y caprino.

Es relevante destacar que el año 2022 marcó un hito en la región, registrando la mayor cantidad de producción y valor en la actividad pecuaria en la última década, con un incremento total del 2.9% y un significativo 16.7% en comparación con el año anterior, tal como se puede observar en la Figura 21.

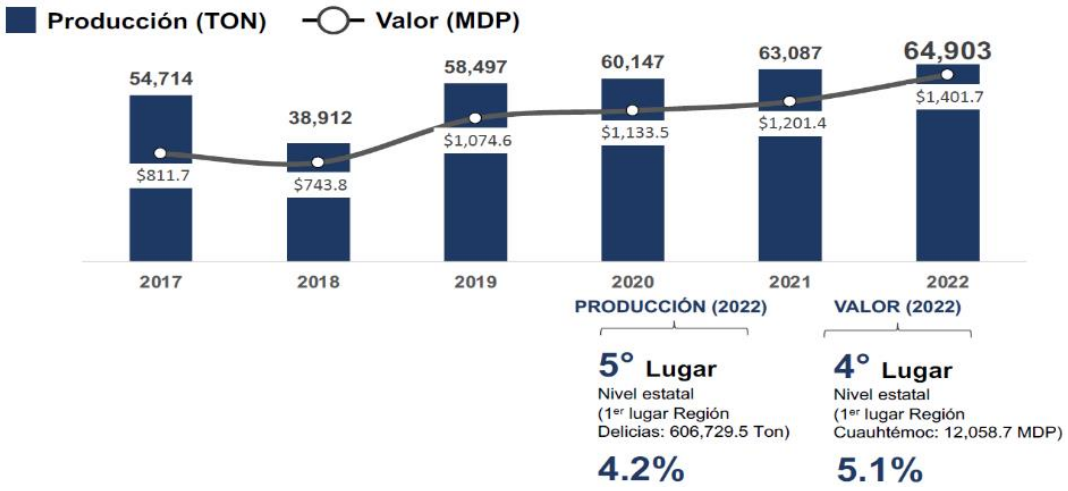


Figura 21. Producción pecuaria anual de la región centro- Chihuahua. Fuente: Comisión de Desarrollo Económico Regional Chihuahua con datos del SIAP 2022 [32] [36].

De acuerdo con los datos del SIAP, la mayor huella hídrica de la producción pecuaria por especie en el municipio de Chihuahua es la del ganado bovino, con una huella hídrica de 2,700 m^3 por tonelada de carne producida. La menor huella hídrica es la del ganado ovino, con una huella hídrica de 1,200 m^3 por tonelada de carne producida.

En el ámbito ganadero del Municipio, se registró una producción total de 43,390.1 toneladas en el año 2022, con un valor estimado de 957 millones de pesos [37] [36]. La Figura 22 presenta la producción del sector ganadero para el período comprendido entre 2011 y 2022, junto con los valores monetarios correspondientes a cada año [36].

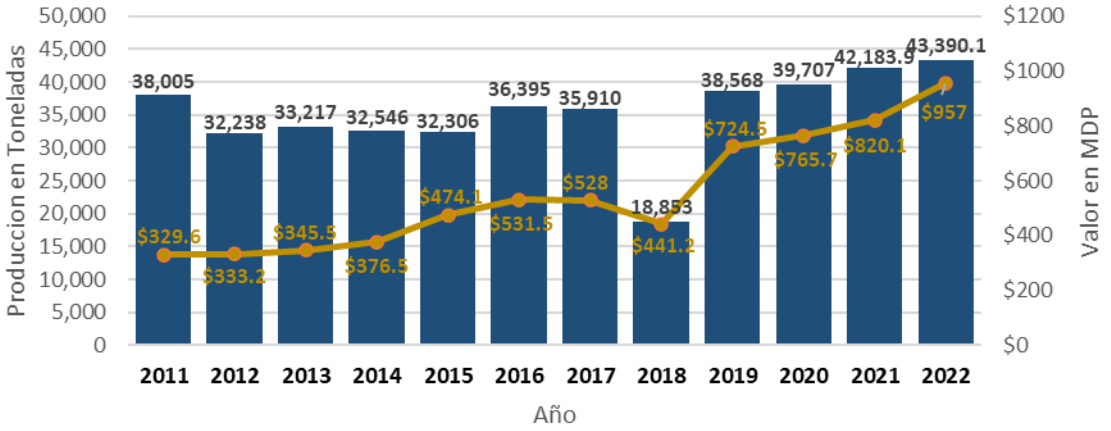


Figura 22. Evolución de la productividad pecuaria en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del Panorama Económico – Social Municipio de Chihuahua 2023 [35] [36].

A continuación, se presentan algunas estadísticas sobre el sector primario en el municipio de Chihuahua [35]:

1. Población ocupada en el sector primario: En 2023, la población ocupada en el sector primario en el municipio de Chihuahua fue de 63,200 personas, lo que representa el 12.9% del empleo total en el municipio.
2. Producto interno bruto (PIB) del sector primario: En 2023, el PIB del sector primario en el municipio de Chihuahua fue de 24,800 millones de pesos, lo que representa el 7.4% del PIB total del municipio.
3. Exportaciones del sector primario: En 2023, las exportaciones del sector primario en el municipio de Chihuahua fueron de 12,200 millones de dólares, lo que representa el 22.3% de las exportaciones totales del municipio.

4.2.2. Sector secundario

En el caso del Municipio de Chihuahua, se destaca la presencia de 22 parques industriales, siendo el Complejo Industrial Chihuahua el de mayor extensión con 673.9 hectáreas, albergando un total de 106 empresas.

El sector secundario del municipio de Chihuahua representó el 30.2% del PIB total del municipio en 2023. En términos monetarios, esto equivale a $94,600 millones de pesos [32] [33] [34]. El sector secundario está conformado por las actividades económicas que se relacionan con la transformación

de bienes. En el municipio de Chihuahua, las principales actividades económicas del sector secundario son:

- Industria manufacturera: La industria manufacturera es la actividad económica más importante del sector secundario en el municipio de Chihuahua.
- Construcción: La construcción es otra actividad económica importante del sector secundario en el municipio de Chihuahua.
- Minería: La minería es una actividad económica de menor importancia en el municipio de Chihuahua.

La huella hídrica de la producción industrial en el municipio de Chihuahua asciende a 1,500 millones de m^3 por año, distribuyéndose de la siguiente manera: el 33% corresponde a la producción de equipo de transporte, el 25% a la producción de alimentos y bebidas, el 20% a la producción de productos minerales no metálicos, el 15% a la producción de productos metálicos y el 7% a la producción de productos químicos.

La huella hídrica de la producción industrial se erige como un indicador crucial del impacto ambiental de esta actividad.

4.2.3. Sector terciario

El sector terciario en el municipio de Chihuahua es el sector económico que comprende las actividades de servicios. Este sector es el más importante en el municipio, representando el 64.4% del PIB municipal en 2023 [34] [33] [35].

Las principales actividades del sector terciario en el municipio de Chihuahua son:

- Comercio: El comercio es la actividad terciaria más importante en el municipio, representando el 28.8% del PIB municipal. El comercio al por menor es la actividad comercial más importante, representando el 70% del comercio total.
- Servicios sociales: Los servicios sociales son la segunda actividad terciaria más importante en el municipio, representando el 16.78% del PIB municipal. Los servicios de salud son la actividad social más importante, representando el 40% de los servicios sociales.
- Servicios diversos: Los servicios diversos son la tercera actividad terciaria más importante en el municipio, representando el 14.25% del PIB municipal. Los servicios de transporte y almacenamiento son la actividad diversa más importante, representando el 30% de los servicios diversos.

A continuación, se presentan algunos datos específicos sobre el sector terciario en el municipio de Chihuahua:

- El municipio cuenta con más de 100,000 empresas del sector terciario.

- El sector terciario genera más de 300,000 empleos en el municipio.
- El sector terciario es responsable de la mayoría de las exportaciones del municipio.

El sector terciario en el municipio de Chihuahua tiene un gran potencial de crecimiento en los próximos años. Este sector se beneficiará de la creciente población del municipio, de la expansión de la economía regional, y de la inversión extranjera directa.

4.3. Sector Hídrico

La economía se vincula con el sector hídrico de diversas maneras, cabe puntualizar que el Valor Agregado Bruto (VAB) es una medida de la producción económica que tiene en cuenta el valor de los bienes y servicios producidos, así como el valor de los insumos utilizados.

En el sector hídrico, el VAB se considera como una medida de la contribución del sector a la economía. Se calcula sumando el VAB de todas las empresas y organismos públicos que operan en el sector. Los principales componentes del sector hídrico son [38]:

- Provisión de agua potable: Esta actividad incluye la captación, tratamiento, almacenamiento, y distribución de agua potable.
- Gestión de aguas residuales: Esta actividad incluye la recolección, tratamiento, y disposición de aguas residuales.
- Protección de los recursos hídricos: Esta actividad incluye la conservación y restauración de los recursos hídricos.

El VAB del sector hídrico es una medida importante para evaluar la importancia del sector en la economía. También se puede utilizar para comparar el rendimiento del sector en diferentes regiones o países.

Según el INEGI, el VAB del sector hídrico en el municipio de Chihuahua ha tenido una tendencia creciente en los últimos años. En 2018, el VAB del sector hídrico en el municipio de Chihuahua fue de 2,500 millones de pesos. En 2022, el VAB del sector hídrico en el municipio de Chihuahua fue de 3,000 millones de pesos [24] [39].

Esta tendencia creciente se debe a varios factores, entre los que se incluyen:

a) El crecimiento de la población en el municipio de Chihuahua, lo que ha aumentado la demanda de servicios de agua potable y saneamiento.
b) La inversión en infraestructura hidráulica, que ha mejorado la eficiencia en la provisión de agua potable y el tratamiento de aguas residuales.

En comparación con otros municipios en el país, el VAB del sector hídrico en el municipio de Chihuahua es relativamente alto. En 2022, el VAB del sector hídrico representó el

6.9% del PIB municipal de Chihuahua. A continuación, se presenta la Tabla 10 que compara el VAB del sector hídrico en el municipio de Chihuahua con otros municipios en el país:

Tabla 10. Comparativo del VAB sector hídrico 2022. Fuente: elaboración propia, VAB del sector hídrico se basan en la metodología de las Cuentas Nacionales de México del INEGI [33].

Municipio	VAB del sector hídrico (Miles de millones de pesos)	VAB del sector hídrico / PIB municipal (%)
Chihuahua	3	6.9
Monterrey	2	5.2
Hermosillo	1,5	4.3
San Luis Potosí	1,2	4.1
Puebla	1	3.1
Querétaro	900	3.2
León	800	3.0

5. Integración del Análisis Urbano y Rural en el Ámbito del Uso del Agua

En el **capítulo 4. Integración del Análisis Urbano y Rural en el Ámbito del Uso del Agua**, se analiza la integración del uso del agua en el espacio urbano y rural. La importancia de integrar el análisis urbano y rural en el ámbito del uso del agua radica en reconocer que todos los usos y usuarios, independientemente de su ubicación geográfica o su clasificación como urbano o rural, tienen un impacto significativo en la gestión de las fuentes de agua. Esto implica que tanto las áreas urbanas como rurales dependen de recursos hídricos compartidos y están interconectadas en términos de su disponibilidad y calidad del agua.

Al considerar esta integración, se reconoce la interdependencia entre los diferentes sectores y usuarios del agua, lo que subraya la necesidad de abordar los desafíos hídricos de manera colaborativa y coordinada. Además, se resalta la importancia de una gestión inclusiva y equitativa del agua, que tenga en cuenta las necesidades y preocupaciones de todas las comunidades, tanto urbanas como rurales.

Este enfoque integrado también permite identificar y abordar de manera más efectiva los conflictos y tensiones que pueden surgir entre los diferentes usuarios del agua, así como desarrollar estrategias de gestión que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia de los recursos hídricos en el largo plazo.

En Chihuahua, se han realizado escasos estudios o publicaciones con este enfoque integrado. Los existentes son principalmente documentos de investigación o derivados de tesis de posgrado, como lo menciona Calderón [(40)], y rara vez tienen un impacto social o institucional significativo. En el año 2022, la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS) presentó la segunda edición del Plan Estatal Hídrico (PEH) [(41)] para el estado de Chihuahua al 2040 el cual busca correlacionarse con el Plan Municipal Hídrico de Chihuahua (PMH) en diversos aspectos.

En el Plan Estatal Hídrico para el estado de Chihuahua al 2040 (PEH 2040) [(41)], se aborda el diagnóstico y las soluciones relacionadas con los desafíos del agua en el municipio de Chihuahua. Destaca que la disponibilidad per cápita de agua es baja, con acuíferos sobreexplotados y contaminación por nitratos, flúor y arsénico. La eficiencia de la red de agua potable es del 70%, con pérdidas significativas por fugas. La gestión del agua se ve afectada por la fragmentación institucional y la falta de coordinación entre actores. Para abordar estos desafíos, el PEH 2040 propone medidas como fortalecer la gobernanza del agua, implementar un Plan Municipal de Agua integral y a largo plazo, modernizar la infraestructura hidráulica, promover el uso eficiente del agua, proteger las fuentes de agua y adaptarse al cambio climático. Se propone también la construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales y programas de tecnificación del riego.

Estas medidas específicas para Chihuahua se alinean con las estrategias de inversión y proyectos estratégicos detallados en el PEH 2040, que se financiarán con recursos del gobierno federal, estatal y municipal, así como con la participación del sector privado y la cooperación internacional.

5.1. Fuentes de Abasto y Usos

En este apartado, se describen las situaciones de los acuíferos desde el punto de vista legal y administrativo. Para este análisis, se consideró la base de datos de inscritos que se publican en el REPDA, con respecto a los volúmenes de extracción de aguas nacionales (m³/año), con fecha de corte al 31 de diciembre del 2023. En el municipio, se tiene autorizada la extracción de 300,276,046.25 m³/año. La Figura 23 muestra la distribución de los volúmenes autorizados de extracción por tipo de fuente.



Figura 23. Volúmenes de extracción de aguas nacionales en el municipio de Chihuahua por tipo de fuente. Fuente: Elaboración propia con información del REPDA [(38)].

La importancia del agua subterránea en el municipio de Chihuahua es fundamental para sostener la vida, la agricultura, la industria y el medio ambiente en general. La extracción de agua subterránea constituye una parte significativa del suministro de agua en la región, como lo demuestra el hecho de que el 80% del volumen destinado a los usos consuntivos proviene de fuentes subterráneas, mientras que el resto proviene de fuentes superficiales. En la Figura 25 se pueden observar los tres acuíferos que aportan agua para los distintos usos en el municipio.

El REPDA registra un volumen total de extracción autorizado en el municipio de Chihuahua de 300,276,046.25 m3. De este total, el 92% corresponde a agua subterránea. La clasificación de usos para la cual está destinada destaca que en el municipio es mayoritariamente para público urbano y doméstico, con un 58%. Le sigue el uso agrícola con un 35% y en tercer lugar el industrial con un 3%, como se muestra en la Figura 24.

Es importante tener en cuenta que los volúmenes mencionados son los autorizados y no necesariamente los ejercidos. Esta aclaración es especialmente relevante para el agua superficial, ya que, aunque exista autorización, como en el caso de la ciudad de Chihuahua, el porcentaje que se utiliza debido a su disponibilidad llega apenas al 10%.

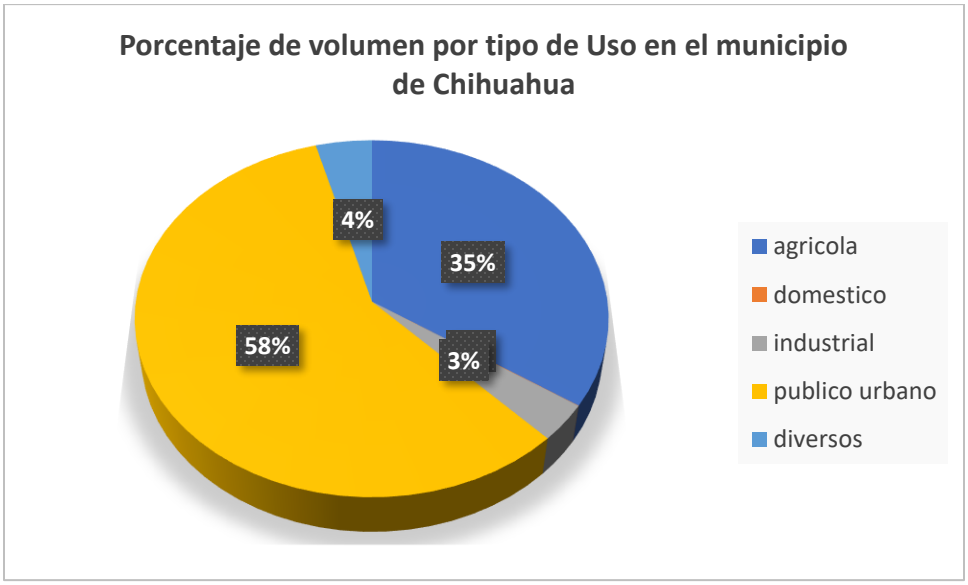


Figura 24. Volúmenes destinados a diversos usos de agua en el municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información del REPDA (2023) [38].

La descripción de los acuíferos se basa en tres informes de la Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua. Estos informes se titulan “Determinación de la disponibilidad de agua en los Acuíferos de: Chihuahua – Sacramento; Tabalaopa – Aldama y El Sauz – Encinillas" (0830, 0835 y 0807 respectivamente) [7] [8] [9].

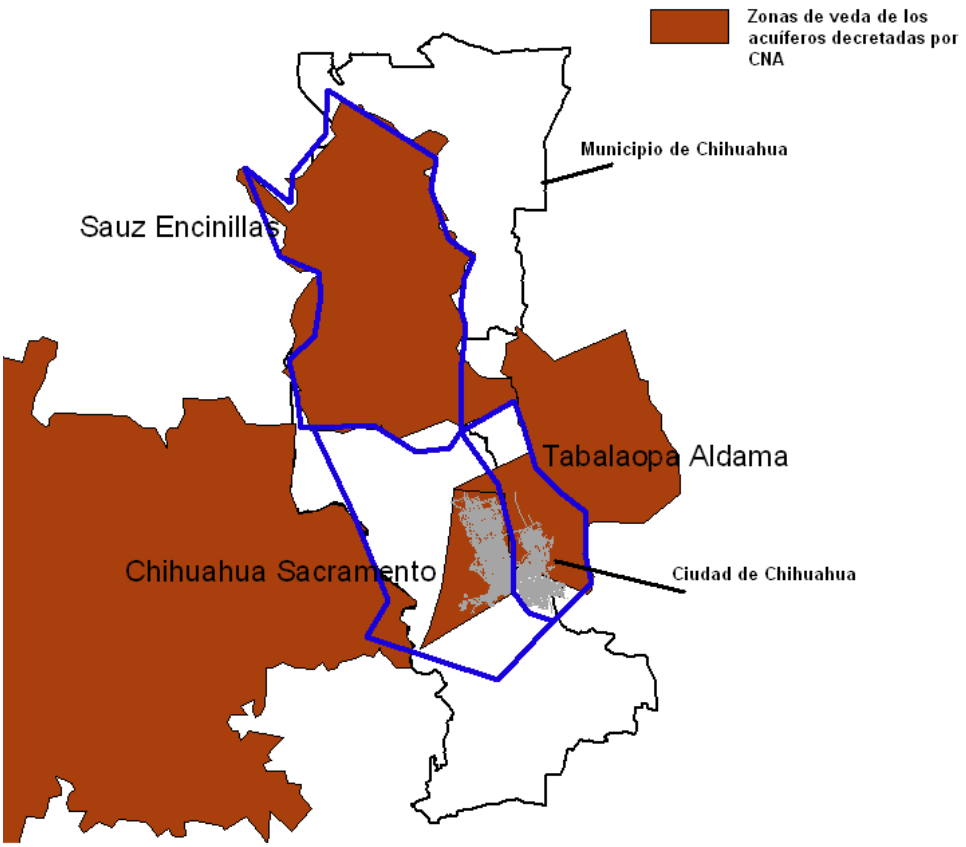


Figura 25. Vedas de los acuíferos que abastecen de agua al municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del SINA [42] 3.0 (2022).

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF) información sobre la disponibilidad de aguas subterráneas, siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. Esta norma establece un método para determinar la disponibilidad de agua subterránea, considerando aspectos como la recarga del acuífero, la demanda y concesiones de agua.

En el caso del municipio de Chihuahua, los principales acuíferos que lo abastecen son el Chihuahua-Sacramento, Tabalaopa-Aldama y El Sauz-Encinillas. Estos acuíferos presentan sobreexplotación y tienen decretos de veda que limitan la extracción de agua en ciertas áreas. El acuífero Chihuahua-Sacramento, por ejemplo, tiene cuatro decretos de veda que restringen la extracción para usos domésticos, industriales, de riego y otros. En el Tabalaopa-Aldama y El Sauz-Encinillas, también existen decretos de veda que limitan la extracción de agua.

El sector público-urbano, a través de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS), es el usuario principal de estos acuíferos. Las vedas y regulaciones buscan proteger la disponibilidad de agua subterránea en el municipio y garantizar un uso sostenible de este recurso.

En el caso de las captaciones de aguas superficiales cercanas a la ciudad de Chihuahua se encuentran en la parte poniente de la mancha urbana, sobre los tributarios del Río Chuvíscar. Estas incluyen la Presa El Rejón, la Presa Chuvíscar y la Presa Chihuahua, con capacidades de almacenamiento de 6.6, 2.4 y 32.3 millones de metros cúbicos (Mm3) respectivamente.

Las dos primeras presas estaban destinadas a regular y almacenar avenidas, pero actualmente están completamente azolvadas y se consideran sin capacidad hidráulica. La Presa Chihuahua, ubicada en el Río Chuvíscar, tiene el propósito de prevenir inundaciones y suministrar agua para abasto potable en la ciudad. La cuarta captación se encuentra en la parte nor-poniente de la mancha urbana, a aproximadamente 30 km en terrenos ejidales, en el cauce del Río Sacramento llamado San Marcos. Tiene una capacidad de 9.0 Mm3 y está destinada a la irrigación agrícola.

Debido al régimen de precipitación de la región, se considera que estas fuentes de agua son no seguras e irregulares para el abasto de agua potable. Además, todas las presas fueron construidas a principios de los años 1900 y al no contar con mantenimiento, están prácticamente inoperables.

5.2. Escenario Base o Tendencial

En el municipio de Chihuahua, la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) ha liderado estudios para satisfacer la demanda de agua potable, principalmente en el área urbana. Estos estudios se centran en:

- Mejoras en la infraestructura para almacenamiento y distribución de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- Aprovechamiento y reutilización de agua tratada en plantas de tratamiento.
- Mejora en la eficiencia de medición del agua, tanto a nivel macro como micro.
- Exploración de capacidades y alternativas de abastecimiento de agua potable.

Estos análisis se utilizaron para establecer los escenarios base y óptimos, considerando los análisis sociodemográficos y socioeconómicos previos.

Es importante destacar que el organismo operador (JMAS) tiene responsabilidad únicamente en la zona urbana como proveedor de servicios. Por lo tanto, aunque varias instituciones participan en el ámbito rural, la JCAS cuenta con un área administrativa que apoya a las juntas rurales, comités de agua y comunidades en el uso público urbano del agua. Sin embargo, esta área no se encarga de la gestión y registro del estado de los sistemas de agua potable y alcantarillado (en caso de que la comunidad los tenga).

5.2.1. Ámbito urbano

La infraestructura hidráulica urbana en Chihuahua comprende sistemas de captación y almacenamiento de agua, redes de distribución de agua potable, y sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales. Actualmente, el agua superficial proviene solo de la presa Chihuahua, mientras que el agua subterránea se extrae de pozos en los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Tabaloapa-Aldama y El Sauz-Encinillas.

Agua Potable

Volúmenes extraídos de los acuíferos para abasto de agua potable

Los volúmenes extraídos de los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Tabalaopa-Aldama y El Sauz-Encinillas para abastecer de agua potable a la ciudad en los últimos 5 años son los siguientes (Tabla 11):

Tabla 11. Volumen suministrado de agua potable a la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

Año	Volumen de extracción (m^3/año)	
	Agua Subterránea	Agua Superficial
2019	133,707,348	1,949,024
2020	136,289,872	1,734,325
2021	134,161,058	1,821,179
2022	131,428,498	1,712,679
2023	134,003,295	1,565, 094

El suministro de agua se compone principalmente (casi en un 99%) de agua procedente de los acuíferos ACHS, ATA y ASE. Hasta diciembre de 2023, se contabilizaban un total de 154 pozos activos en estos acuíferos: 80 en ACHS, 51 en ATA y 21 en ASE. Los porcentajes de pozos activos se pueden observar en la Figura 26 a continuación.

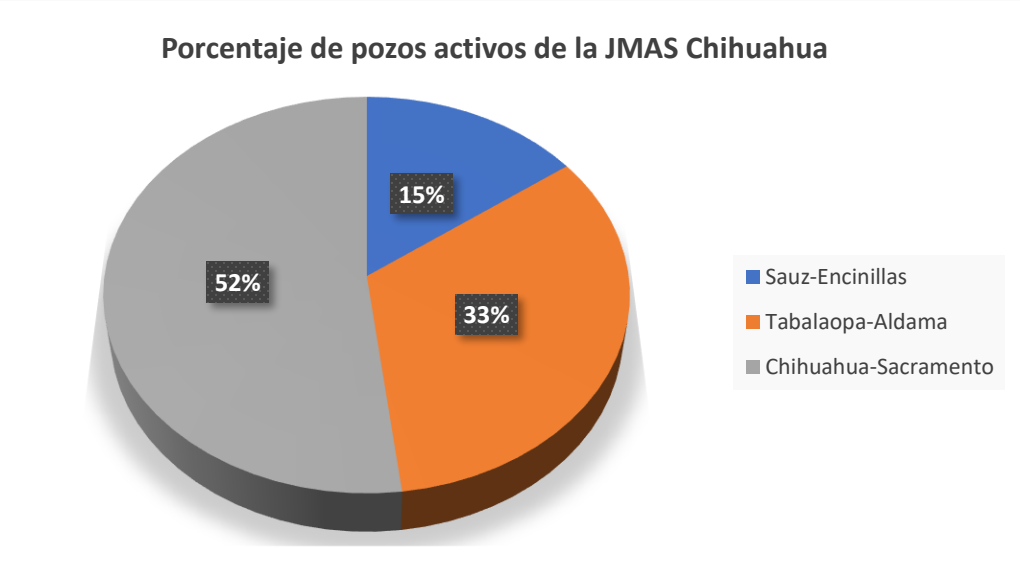


Figura 26. Porcentaje que representa la cantidad de pozos emplazados en los acuíferos, que son utilizados para el suministro de agua potable en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

En cuanto al caudal promedio que aportan los pozos de cada acuífero, se tiene que son de 2040 litros por segundo (lps) para el ACHS, 1372 lps para el ATA y 872 lps para el ASE, dando un total de 4284 lps. Los porcentajes de caudal promedio se pueden observar en la Figura 27 a continuación.

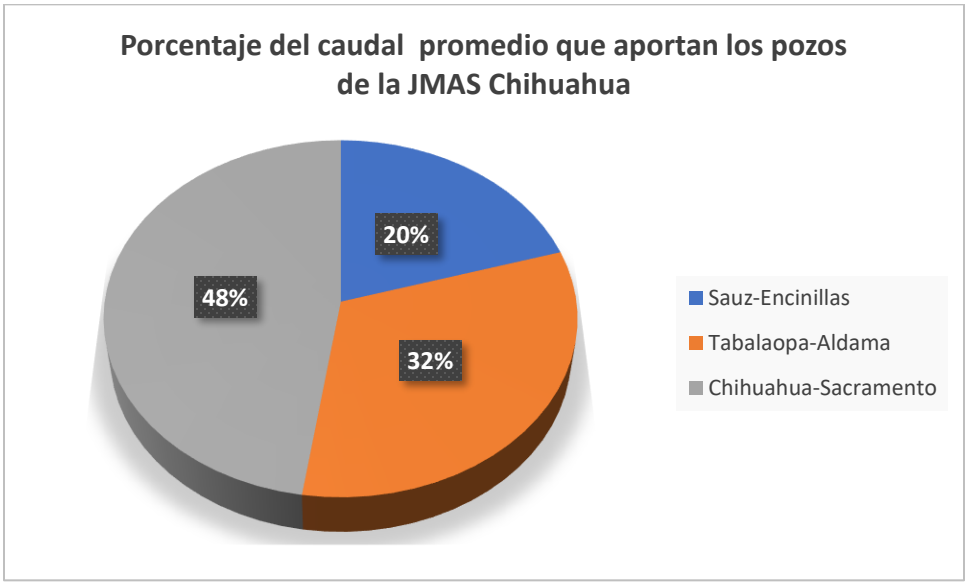


Figura 27. Porcentaje del caudal aportado por los pozos emplazados en cada acuífero, utilizados para el suministro de agua potable a la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

En cuanto al caudal promedio con derecho de extracción mediante pozos de cada acuífero que amparan los títulos, se tienen 172,067,004 m3/año para los acuíferos ACHS, ATA y ASE, dando un total de 4,962 lps. Adicionalmente, en agua superficial se tienen autorizados 495 lps para su utilización en el suministro de agua potable.

Como es posible observar, existe una diferencia positiva entre la extracción que realiza la JMAS y la autorización en sus títulos, lo que indica disponibilidad para ejercer derechos. Sin embargo, existen varias razones que dificultan la explotación y ejercicio de los derechos disponibles en estos acuíferos. A continuación, se resume dicha situación:

En el ACHS, parte del volumen disponible se encuentra emplazado en la zona denominada Ojos de Chuviscar; su situación geomorfológica dificulta la exploración y, por ende, la explotación de gastos sustentables [(43)].

En los ATA y ASE, las zonas productoras para el emplazamiento de pozos para el abasto de agua potable se encuentran inmersas en zonas agrícolas, lo que ha generado importantes conos de abatimiento. Además, pueden existir parámetros de calidad del agua que superen los límites permisibles según la NOM-SSA-127-2021 [(15)]. Esta situación también ha generado una problemática social y política debido a la competencia entre usos, ya que existe la necesidad de utilizar las fuentes subterráneas tanto para abastecer a la población como para atender las necesidades de las zonas agrícolas.

Según el REPDA, existen 1390 títulos que amparan la explotación de agua subterránea en el municipio de Chihuahua. Sin embargo, es importante aclarar que el número de pozos puede ser mucho mayor, ya que un título puede amparar varios aprovechamientos, como es el caso de la JMAS Chihuahua. De estos títulos, el 45% están destinados al uso agrícola, mientras que entre el uso público urbano e industrial se tienen el 20% de los títulos de explotación de agua subterránea, como se observa en la Figura 28.



Figura 28. Porcentaje de los títulos de concesión en el municipio de Chihuahua por su tipo de uso. Fuente: elaboración propia con información del REPDA [38] (2023).

En la Figura 29 se puede visualizar la ubicación y distribución geográfica de los títulos que amparan la explotación por uso del agua subterránea en el municipio. Se observa que los pozos destinados a uso industrial se encuentran en la mancha urbana de la capital del estado, al igual que los destinados a uso público urbano. Aunque estos últimos también se encuentran dispersos en el municipio, su mayor concentración se encuentra en la zona urbana correspondiente a los pozos en el ACHS.

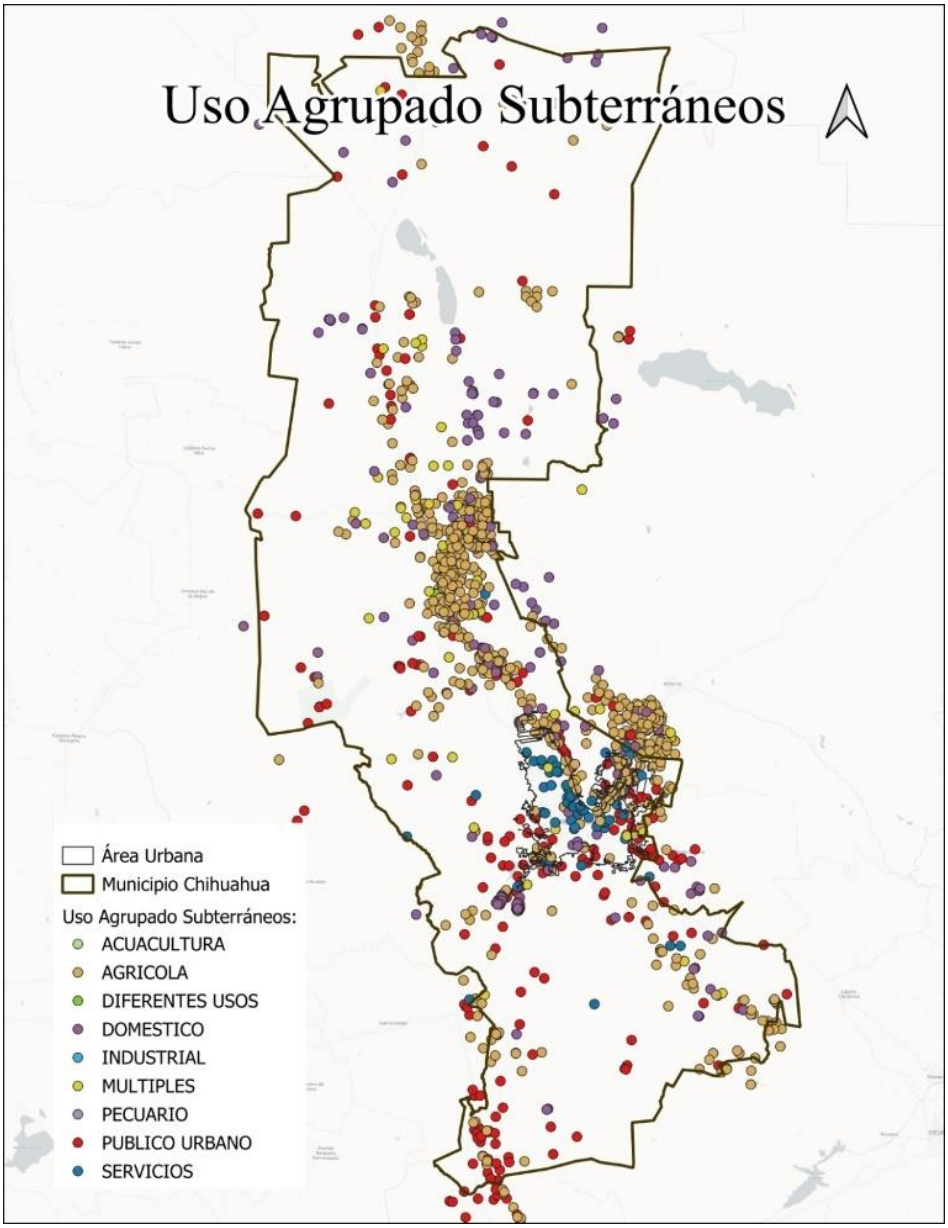


Figura 29. Localización de los pozos en el municipio de Chihuahua por su tipo de uso. Fuente: elaboración propia con información del REPDA [38] (2023).

El agua potable suministrada a la ciudad se extrae en su mayor parte de pozos profundos. La JMAS de Chihuahua cuenta con 175 aprovechamientos, de los cuales todos pueden estar funcionando, pero debido a cuestiones de mantenimiento y operación, la cantidad de pozos activos en promedio es de alrededor de 154 (diciembre de 2023). La proporción total de caudales de extracción correspondientes al año 2023 se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Producción de gastos por fuente de abastecimiento para el año 2023. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

Fuente de abastecimiento		No. De aprovechamientos activos	Caudal promedio mensual (lps)	Caudal (min. - max.) (lps)
Agua subterránea	B. SAUZ I	7	137	13 a 47
	B. SAUZ II	11	408	22 a 64
	B. Estación terrazas	4	281	63 a77
	B. Puertas I	7	358	30 a 51
	B. Puertas II	2	22	11
	B. Tabalaopa-Aldama	5	78	9 a 26
	B. Tabalaopa-nombre de Dios	5	136	13 a 67
	diversos ATA		778	7 a 64
	B. Panamericana	5	139	12 a 58
	B. Sacramento Norte	7	202	19 a 37
	B. Sacramento viejo	4	120	28 a 34
	B. Riveras	14	317	11 a 44
	B. Ojos del Chuviscar	4	189	27 a 73
	Mancha urbana ACHS	79	1074	7 a 73

Se denomina "batería" a un conjunto de aprovechamientos que convergen en una conducción o suministran a una infraestructura como tanques o rebombeos. La producción por fuente visibiliza el total de caudales de forma porcentual de las fuentes de abastecimiento. Se puede observar que los pozos emplazados en la mancha urbana (ACHS) aportan una cuarta parte del caudal suministrado. Esto es relevante porque se asume que, a pesar de haber sido incorporadas nuevas fuentes, la zona acuífera en la ciudad sigue siendo una parte importante del abastecimiento de agua potable.

En importancia sigue la aportación de los pozos diversos del ATA. Entre las baterías más importantes por su aportación se encuentran Sauz II, Puertas I, Riveras y la estación Terrazas, como se observa 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

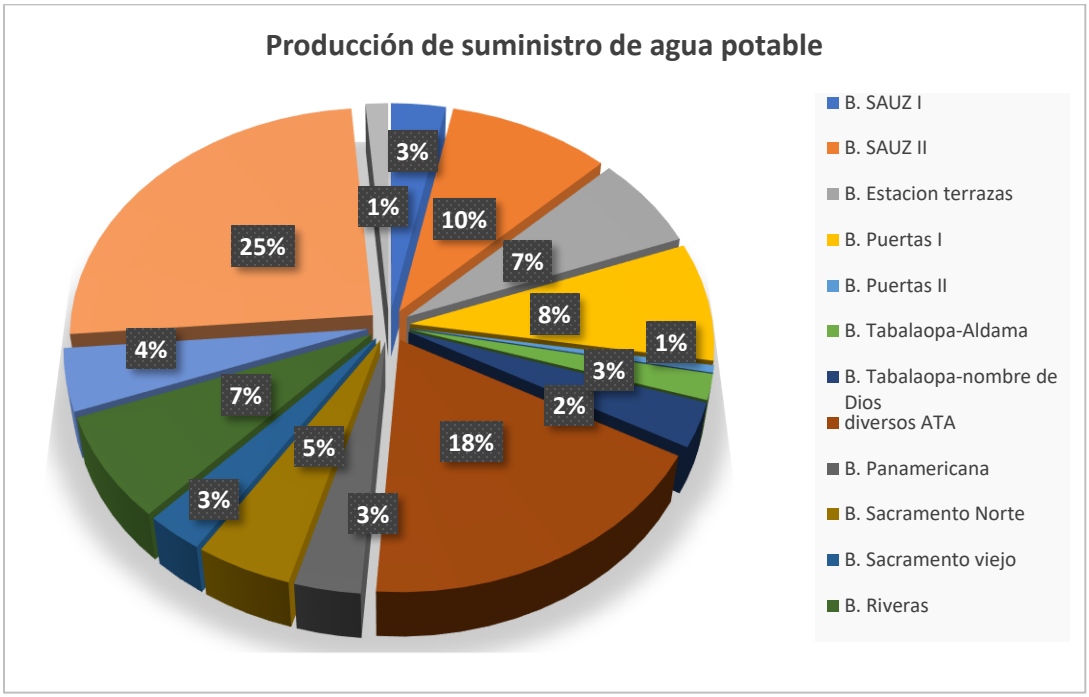


Figura 30. Porcentaje de producción de suministro de pozos para abasto de agua potable de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

Agua superficial

En cuanto al suministro de agua potable, la única captación de agua superficial proviene de la Presa Chihuahua, ubicada a 8.5 kilómetros al suroeste de la ciudad. El agua de la presa se conduce a la Planta Potabilizadora para su tratamiento antes de ser suministrada a la población. La Planta Potabilizadora de la ciudad de Chihuahua, inaugurada en 1972 con una capacidad para tratar 250 litros por segundo (l/s), procesa el agua proveniente de la presa mediante una línea de 18 pulgadas.

Líneas de conducción

En total, existen ocho líneas de conducción principales, como se detalla en la Tabla 13. La más importante, tanto por el caudal que transporta como por su longitud, es el acueducto El Sauz. Este acueducto se alimenta del flujo de las baterías Etapa I y II del Sauz, así como de la estación Terrazas. Además, se suman los flujos provenientes de las baterías Sacramento Norte y Panamericana, junto con numerosos pozos ubicados en la mancha urbana.

Tabla 13. Líneas de conducción del sistema primario de agua potable en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

No.	Conducción
1	El Sauz Etapa I y II
2	Puerta de Chihuahua
3	Tabalaopa Nombre de Dios
4	Tabalaopa Aldama
5	Sacramento Norte
6	Ojos de Chuviscar
7	Sacramentos Viejos
8	Panamericana

Es crucial tener en cuenta que las conducciones del sistema presentan una antigüedad que varía de 55 a 20 años. La más reciente es la conducción de Puertas de Chihuahua, mientras que la más significativa es la de El Sauz, la cual ha experimentado modificaciones en algunos tramos debido al desarrollo urbano. Las longitudes más extensas corresponden a El Sauz, con 56 km, y a Ojos del Chuvíscar, con 23 km.

Tanques del sistema

Se tienen tanques de almacenamiento que regulan y distribuyen agua a la red, divididos en superficiales y elevados. Los tanques elevados se concentran en áreas de la ciudad donde se desarrollan fraccionamientos nuevos, principalmente en la parte poniente y sureste. Estos fraccionamientos han motivado a la JMAS a construir tanques elevados abastecidos por líneas provenientes de rebombeos alimentados por derivaciones del acueducto El Sauz o tanques superficiales conectados al mismo acueducto. Los tanques superficiales tienen capacidades de almacenamiento que oscilan de 40 a 10,000 m^3, mientras que los tanques elevados van de 30 a 600 m^3.

Rebombeos del sistema

La ciudad de Chihuahua cuenta con dos tipos de rebombeos: bombeo desde cárcamos o tanques de almacenamiento, y bombeo directo de la red de distribución tipo Booster. Estos rebombeos se encuentran principalmente en dos áreas: en el oeste, para abastecer tanques elevados y proporcionar servicio directo a fraccionamientos por encima de los 1500 msnm; y en el sur, para suministrar volumen a tanques elevados en la planicie.

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

Red de distribución

El sistema de distribución de agua de Chihuahua se divide en cuatro zonas: Norte, Centro, Presas y Sur, que se utilizan para organizar al personal de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS). La red de distribución está ramificada e interconectada en toda la ciudad, lo que facilita la distribución del agua. Las tuberías varían en diámetro desde 1.5 pulgadas hasta 42 pulgadas, siendo el 46.98% de tres pulgadas, el 10.50% de 2.5 pulgadas, el 7.66% de 4 pulgadas, el 5.81% de 6 pulgadas y el 10.90% de 8 pulgadas. Los diámetros mayores a 3 pulgadas se utilizan principalmente para la distribución entre zonas. La longitud total de la red de distribución es de 3,269 km según el PIGOO de 2023 [(24)].

Operación del sistema

La distribución del agua en la ciudad de Chihuahua se organiza por zonas de influencia, cada una asociada a un tanque de almacenamiento o pozo (Figura 31). Estas zonas están delimitadas por válvulas de seccionamiento, facilitando la gestión del suministro y permitiendo resolver problemas de abastecimiento al abrir válvulas limítrofes en caso de necesidad. Desde los años ochenta, se implementó un servicio tandeado que distribuye el suministro por períodos establecidos en colonias o zonas para garantizar un servicio equitativo. Los tiempos promedio de suministro son de 6 a 8 horas por zona, divididos en bloques matutinos y vespertinos. Aunque la mayoría experimenta suministro intermitente, algunas zonas tienen suministro continuo, que ha aumentado del 12% en 2018 al 36% en 2023 gracias a la sectorización y gestión de presiones. Un desafío operativo es el alto uso de enfriadores de aire lavado. Las olas de calor en 2023 afectaron el suministro de agua al rebasar la capacidad eléctrica, deteniendo pozos y rebombeos, y afectando el horario de servicio de agua potable.

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

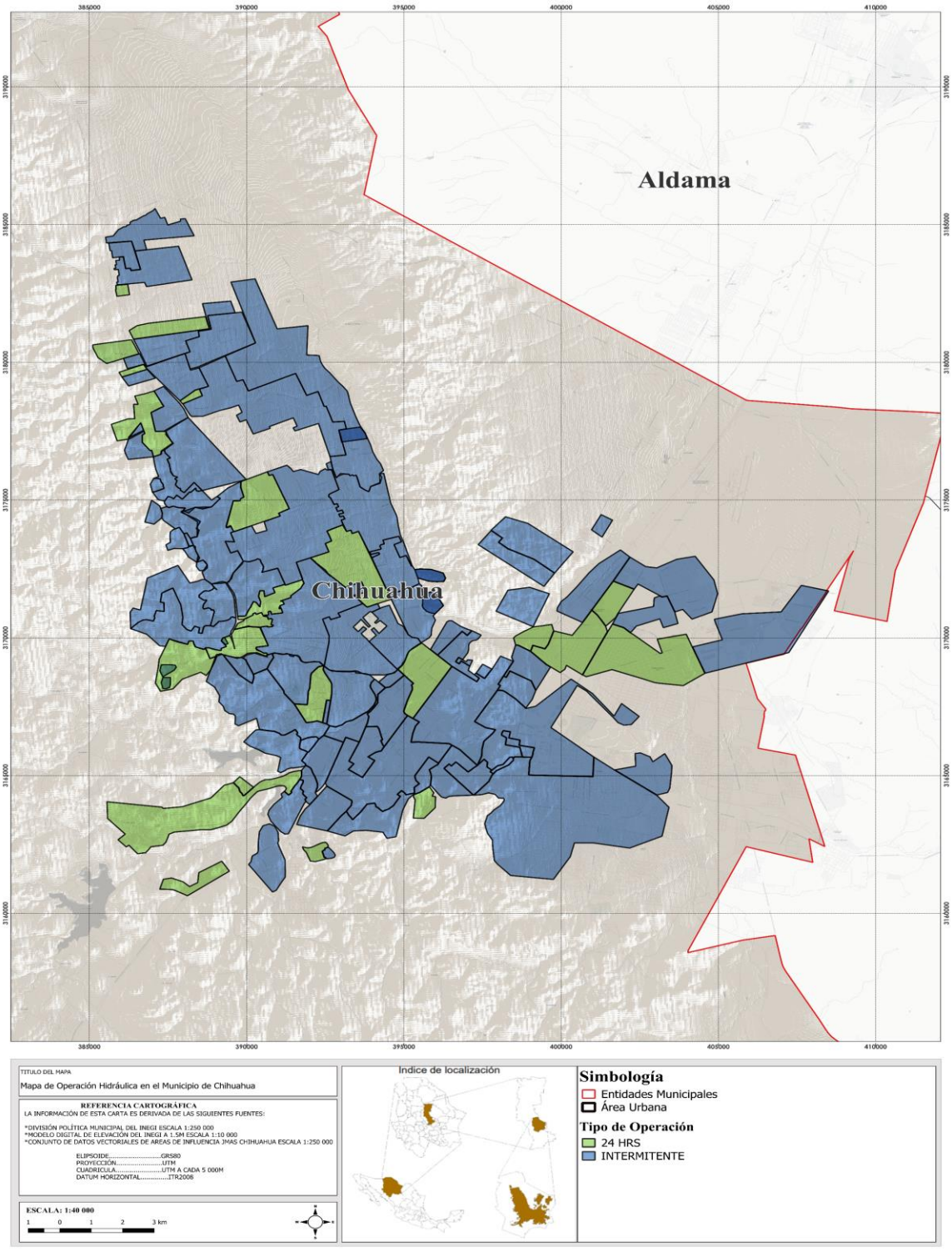


Figura 31. Mapa de operación hidráulica de la red de agua potable en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la JMAS (2023).

Alcantarillado sanitario

El sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Chihuahua consiste en una red de tuberías que recoge aguas residuales principalmente domésticas y las transporta a las plantas de tratamiento antes de su descarga al medio ambiente. Los componentes principales incluyen atarjeas, tuberías que recolectan y transportan aguas residuales desde las descargas de usuarios hasta el sistema primario de recolección; pozos de visita, aberturas en las tuberías para inspección y mantenimiento; colectores, tuberías que reciben aguas residuales de las atarjeas y las llevan a un interceptor, emisor o planta de tratamiento; y estaciones de bombeo, que elevan las aguas residuales a una elevación más alta para su flujo por gravedad hacia la planta de tratamiento. La red de alcantarillado comprende aproximadamente 3,200 km de atarjeas y más de 202 km de colectores, que van desde 8 pulgadas hasta 36 pulgadas de diámetro.

Saneamiento y uso del agua residual tratada

El tratamiento del agua abarca tanto el suministro de agua potable para consumo humano como la depuración de las aguas residuales generadas por las actividades humanas. Ambos aspectos son fundamentales para mejorar la calidad de vida de la sociedad al prevenir enfermedades transmitidas por el agua y reducir la contaminación ambiental causada por descargas de aguas residuales sin tratar en el suelo, cuerpos de agua y acuíferos. Según la publicación de la CONAGUA en 2022 sobre el inventario de infraestructuras de tratamiento de aguas, en el municipio se han identificado e inventariado tres plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona urbana, las cuales están bajo la responsabilidad del organismo operador (Tabla 14).

En cuanto a las localidades rurales más grandes del municipio, como El Sauz, San Isidro (Los Hoyos), Colonia Nuevo Delicias, Ejido Nuevo Sacramento, Ejido Estación Terrazas, Minas del Cobre y El Charco, solo dos cuentan con infraestructura de saneamiento. Es destacable la importancia de que al menos El Sauz y San Isidro, debido a su tamaño poblacional, cuenten con infraestructura de saneamiento para garantizar una adecuada gestión de las aguas residuales en estas comunidades.

Es importante mencionar que en la zona urbana existen numerosas plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en edificios públicos o industriales, aunque no se dispone de una fuente de información confiable u oficial sobre sus características. En cuanto al reúso del agua tratada de estas plantas, la ciudad es pionera en su utilización y ha implementado una red de distribución conocida como la red morada. Desde principios de los años 2000, el organismo operador ha establecido la obligación de que los nuevos desarrollos cuenten con la infraestructura necesaria para la distribución de agua residual tratada, incluyendo puntos de entrega al menos en las áreas verdes.

Tabla 14. Plantas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación en el municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información de la CONAGUA (2022).

Localidad	Nombre de la Planta	Proceso	Cap. Instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor o reúso	Responsable de la operación
Chihuahua	Norte	Lodos activados	1200	430	Río Sacramento	JMAS Chihuahua
Chihuahua	Sur	Lodos activados	2500	1620	Rio Sacramento	JMAS Chihuahua
El Charco	El Charco	Lagunas de estabilización	1.7	0.5	Arroyo Local	Presidencia Municipal
Colonia Nuevas Delicias	Nuevas Delicias	Lagunas de estabilización	2.8	1	Arroyo Local	Presidencia Municipal
Chihuahua	Brasa	Lodos activados	12	12	Rio Chuviscar	JMAS Chihuahua

De acuerdo con la JMAS de Chihuahua en 2023, se tenían registrados 577 usuarios de esta red morada, que facturaron un volumen total de 4,746,170 m^3 en el año. El desglose del volumen facturado se puede observar en la Tabla 15 donde los principales usos corresponden a los usuarios comerciales e industriales.

Tabla 15. Usuarios de la red morada en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la JMAS (2023).

Tipos De Usuario	Cantidad	Facturados (m^3) /año
Comercial	233	2,309,693
Domestico	119	87,917
Edificio estatal	10	21,883
Edificio federal	7	16,775
Esc. estatal	28	228,921
Esc. federal	4	1,010
Industrial	50	1,488,159
Parques y jardines (incluye fracc. privados)	126	591,812

En el mismo año, la JMAS reportó un volumen de agua residual tratada de 53,025,106 m^3 (PIGOO, 2023) [(24)], lo que representa que aproximadamente el 9% de este volumen es utilizado. La longitud de la red morada representa aproximadamente el 10% de la longitud de la red de agua potable.

En general, podemos asumir que el suministro en metros cúbicos de agua por hectárea al año para parques y jardines es de 10,960 (Figura 32). Este uso se clasifica como el tercer nivel de importancia para el agua residual tratada.

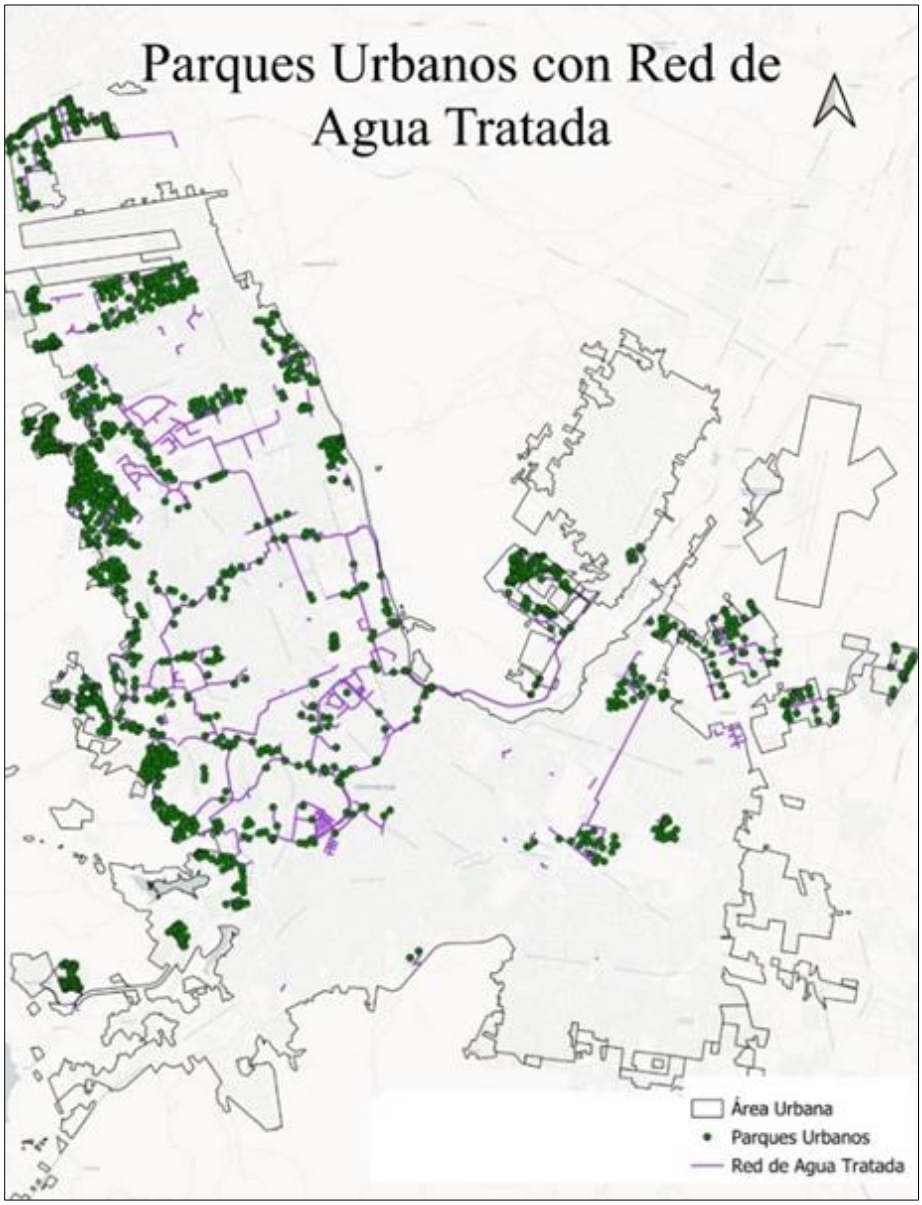


Figura 32. Ubicación de la red de distribución de agua residual tratada utilizada en parques urbanos en la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la JMAS (2023).

Considerando que la superficie total de áreas verdes, parques y jardines en la zona urbana es de 1,081.97 hectáreas, existe la posibilidad de utilizar agua residual tratada para su riego.

Es importante destacar que muchas áreas verdes son regadas con agua residual tratada mediante camiones cisterna, un volumen que no está incluido en el suministro de agua residual tratada proporcionado por el organismo operador. Desafortunadamente, no se dispone de estadísticas sobre la cantidad de agua residual tratada utilizada para este fin.

La sustitución de agua potable por agua residual tratada en usos como el industrial y agrícola es un esfuerzo que debe aumentarse. En el caso del uso agrícola, se enfoca principalmente en la zona sureste de la zona urbana debido a su ubicación geográfica.

En cuanto al uso industrial, este puede ser abastecido con agua residual tratada tanto desde la red del organismo operador como desde las plantas de tratamiento de agua residual propias de las industrias. Actualmente no se dispone de un inventario de estas plantas de tratamiento de agua residual.

Uso industrial

El uso del agua en la industria del municipio de Chihuahua es un aspecto crítico que requiere una gestión meticulosa y sostenible. Dada su importancia como centro industrial y económico regional, las empresas en Chihuahua dependen significativamente del agua para sus procesos de producción. En términos de suministro de agua para uso industrial en la zona urbana, existen dos posibilidades:

1. Suministro a través de la red del organismo operador, donde el volumen de agua asignado está sujeto a la concesión de la JMAS de Chihuahua.
2. Asignaciones directas de la CONAGUA para la explotación de volúmenes específicos de agua para uso industrial, registrados en el REPDA.

Las industrias en el segundo caso tienden a ubicarse en parques industriales. Aunque el organismo operador no es responsable del suministro y distribución del agua de primer uso para estas industrias, en ocasiones estas empresas descargan sus aguas residuales en el sistema de alcantarillado, el cual está bajo la responsabilidad del organismo operador.

En el REPDA se encuentran registrados 61 títulos para uso industrial, todos los cuales utilizan agua subterránea como fuente. Sin embargo, solo 17 de estos títulos tienen autorización para descargar sus aguas residuales en cuerpos federales.

En relación con el suministro de agua para uso industrial proporcionado por el organismo operador, según el PIGOO 2023 [(24)], se registraron 1,396 usuarios a los cuales se les facturaron 4,273,007 m^3 durante el año. En comparación con 2019, donde se registraron 1,256 usuarios, esto representa un aumento de 140 usuarios en 3 años.

En el municipio de Chihuahua, varias industrias prominentes incluyen manufactura, industria alimentaria, metalmecánica y electrónica, las cuales requieren grandes volúmenes de agua para sus procesos, como operaciones, refrigeración y limpieza como se detalló en el Informe 3. La calidad del agua necesaria varía según cada proceso industrial, pero en general se busca agua con bajos niveles de contaminantes que puedan afectar la calidad del producto final o dañar el equipo de producción.

Por ejemplo, en la industria alimentaria se requiere agua potable de alta calidad para garantizar la seguridad alimentaria, mientras que en la industria manufacturera se pueden tolerar ciertos niveles de minerales y sólidos suspendidos, pero se necesita agua libre de contaminantes químicos que puedan afectar la calidad de los productos fabricados.

La demanda de agua, tanto en calidad como en cantidad, varía según el proceso industrial específico, pero lamentablemente, no existe información disponible sobre los aprovechamientos que realizan las industrias en el municipio.

A continuación, se presenta en la Tabla 16 una estimación de la demanda de agua en calidad y cantidad para algunas de las principales industrias del municipio de Chihuahua:

Tabla 16. Estimación de calidad y demanda por tipo de industria, elaboración propia

Industria	Demanda de agua (m^3/día)	Calidad del agua
Automotriz	10,000 - 20,000	Alta (Potable)
Maquiladora	5,000 - 10,000	Media
Alimentaria	2,000 - 5,000	Alta (Potable)
Química	1,000 - 2,000	Alta (Potable)
Metalúrgica	500 - 1,000	Media
Aeroespacial	5000-10000	Alta (Potable)
Tecnología de la Información y la Comunicación	1000-2000	Media
Metalmecánica	2000-5000	Media
Electrónica	3000-6000	Alta (Potable)

5.2.2. Ámbito rural

El ámbito rural en el municipio de Chihuahua se caracteriza por su diversidad geográfica y la presencia de comunidades que dependen en gran medida del agua para sus actividades agrícolas, ganaderas y domésticas. En estas zonas, el acceso al agua potable y el manejo adecuado de los recursos hídricos son aspectos cruciales para el desarrollo y bienestar de la población.

Dada la importancia de este tema, diversas dependencias gubernamentales están involucradas en el seguimiento y gestión de los recursos hídricos en el ámbito rural. Entre ellas se encuentran la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR), la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS) y la Presidencia Municipal de Chihuahua (PMCh).

Agua potable

De acuerdo con el SINA (2023) [(42)] la CONAGUA registra 378 comunidades en el ámbito rural del municipio de Chihuahua.

De acuerdo con la información proporcionada en el Informe 2, existen 201 títulos de concesión para uso público urbano a cargo de la presidencia municipal para diversas comunidades. La mayoría de los títulos otorgan una autorización de 2,625 m3 al año, lo que permite abastecer a una población de entre 50 y 80 personas con dotaciones de 100 a 150 litros por habitante al día. En total, el volumen asignado es de 949,681 m3 al año, lo que es suficiente para suministrar agua potable a entre 25,000 y 30,000 habitantes.

En la Tabla 17 se enumeran las localidades rurales del municipio cuyo abastecimiento de agua es responsabilidad de la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS). El volumen total asignado es de 2,447,745 m^3 al año, lo que permite abastecer aproximadamente a 70,000 habitantes.

Tabla 17. Títulos a cargo de organizaciones que son supervisadas por la JCAS de acuerdo con datos del REPDA. Elaboración propia con información del REPDA (2023) (44).

Titular	Título
COMITE DE AGUA POTABLE EJIDO OJO LAGUNA	828315
JUNTA RURAL DE AGUA Y SANEAMIENTO EL CHARCO	829797
JUNTA RURAL DE AGUA POTABLE COLONIA MEXICO	821151
JUNTA CENTRAL DE AGUA Y SANEAMIENTO	06CHI139340/24HMGE06
COMITE DE AGUA POTABLE EJIDO LABOR DE TERRAZAS, COMUNIDAD EL SARTENEJO	06CHI136067/24HMGE06
COMITE PRO-MEJORAS Y SERVICIOS DE LA COLONIA LOS NOGALES DE ROBINSON CHIHUAHUA, A.C.	06CHI137945/24HMGE04
COMITE DE AGUA POTABLE, LOC.: COLONIA DIVISION DEL NTE. SECC. EL SAUZ	06CHI120183/24HMGE99
COMITE PRO-MEJORAS COL. AEROPUERTO	2CHI107414/24HMGE96
COMITE PRO-MEJORAS COL. AEROPUERTO	2CHI107415/24HMGE96
JUNTA RURAL DE AGUA POTABLE, EL SAUZ	2CHI108625/24HMGE96
C. DE AGUA POT. Y ALCANTARILLADO CIENEGA DE LOS PADRES	2CHH103094/24HMGE94

No se ha podido obtener información sobre la infraestructura de agua potable y alcantarillado, ni sobre la estructura tarifaria y su administración. A pesar de haber solicitado esta información a las instituciones pertinentes, aún no se ha recibido respuesta. Esto sugiere la posible falta de un registro o archivo oficial disponible sobre estos aspectos.

Agricultura

En el municipio de Chihuahua, la agricultura utiliza principalmente riego por gravedad y riego por goteo, siendo este último más eficiente en el uso del agua al permitir una aplicación precisa y controlada, reduciendo las pérdidas por evaporación y escorrentía. Aunque el riego por goteo es beneficioso, el cultivo de una variedad de productos en la región requiere cantidades significativas de agua, lo que representa un desafío en un entorno con recursos hídricos limitados. La agricultura es crucial para la economía local y la seguridad alimentaria, por lo que es importante abordar de manera eficiente y sostenible el uso del agua en esta actividad. En 2022, el valor de la producción agrícola en el municipio fue de 1,857,130.36 millones de pesos. Los cultivos más importantes en el municipio incluyen maíz, alfalfa, nuez, chile, vid, entre otros (Tabla 18).

Se tiene identificado que el 18% de las superficies de cultivos el sistema es por temporal, por lo que el 82% tiene un sistema de riego que no depende directamente de las condiciones climáticas, y son fundamentalmente de explotación de aguas subterráneas (Figura 33).

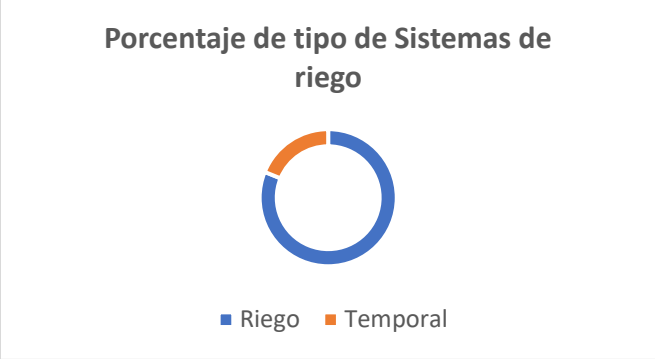


Figura 33. Clasificación de sistemas de riego en el municipio de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2022) [(45)].

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 18. Características de producción de los cultivos más importantes del municipio de Chihuahua. Elaboración propia con información del SIAP [45] [46].

Cultivo	Superficie sembrada (Ha)		Rendimiento	PMR	Valor de producción
	Riego	Temporal	(udm/ha)	($/udm)	(miles de pesos)
Algodón	7371		5.35	16,556	646,870.83
Nuez	9,415		1.32	71347.61	472,683.62
Alfalfa	3,620		97.85	719.51	254,862.67
Maíz grano	2930		11.19	6682.41	219,129.57
		12	0.72	7000	60.48
Cebolla	129.6		62.35	7,600.94	61,423.99
tomate rojo	3.6		338.89	22,848.92	27,875.68
Semilla forrajera	66		31	580	1,186.68
		3520	11.28	565.75	22,463.44
Avena forrajera		2180	12.18	665.55	17,671.95
	560		20.32	687.5	7,823.79
viveros de nuez	14		25,000.00	100	15,000.00
Maíz forrajero	360		37	1,023.93	13,638.75
Chile verde	48		31.33	9,025.53	13,574.40
viveros de manzana	17.36		25,000.00	70	12,880.00
Sandia	36		46	6,001.69	9,938.80
uva	164		3	23,691.36	5,757.00
Semilla avena	81		3.56	7,200.00	2,076.84
Semilla grano trigo	50		4.3	8,600.00	1,849.00
Semilla forrajera	66		31	580	1,186.68
Crisantemo	1.6		820	900	1,180.80
Melón	8		32	4,200.00	1,075.20
Zempoalxochitl (gruesa)	1.2		820	900	885.6
Avena grano	28		3	6,800.00	571.2
Cilantro	3.8		8	10,747.37	326.72
Calabacita	2.8		14.36	6,467.36	259.99
Col	2.4		17.67	3,667.92	155.52
Betabel	1.8		11.89	6,589.72	141.02
Zanahoria	0.5		16	8,600.00	68.8
Acelga	1		9	7,300	65.7
Lechuga	0.6		12.2	6,600.00	48.31

*Superficie, hectáreas (ha). Producción unidad de medida (udm). PMR pesos/tonelada ($/ton). Rendimiento (ton/ha).

En el municipio de Chihuahua no se cuenta con distritos de riego, sino que se tienen unidades de riego, al igual que en el resto del país. En el municipio de Chihuahua, la mayoría de las unidades de riego (55.2 %) son de un solo usuario, y sus superficies no superan las 500 hectáreas.

En el municipio de Chihuahua, se identifican 21 unidades de riego, distribuidas de la siguiente manera:

- 17 unidades de riego son de pequeña escala, con menos de 200 hectáreas cada una.
- 4 unidades de riego son de mediana escala, con superficies entre 200 y 500 hectáreas cada una.

5.2.3. Calidad del agua potable

El suministro de agua potable, que debe cumplir con estándares de calidad adecuados para el consumo humano, está regulado por normativas obligatorias que deben ser cumplidas por los proveedores del servicio de abastecimiento de agua. En la mancha urbana, esta responsabilidad corresponde a la JMAS Chihuahua, mientras que en el resto de las comunidades recae en cada uno de los entes (comités de agua, juntas rurales, etc.) o en su caso, en particulares.

Sin embargo, el seguimiento del estándar de calidad para agua potable en las más de 300 localidades del municipio resulta complicado. Aunque la JCAS es la institución normativa encargada de dar seguimiento a la calidad de agua potable en estas comunidades, no existen mecanismos de consulta o seguimiento accesibles para los pobladores. Los esfuerzos para determinar la calidad del agua suministrada a las localidades son ocasionales, como el estudio realizado por la JCAS en 2022.

En contraste, la JMAS cumple con la obligatoriedad de la NOM-179-SSA1-2020 [(18)], la cual tiene como objetivo dar seguimiento al control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano. Esta norma establece la temporalidad de análisis tanto para todos los elementos de la composición de la calidad del agua por tipo de fuente o aprovechamiento, como de almacenamiento y en la red de distribución, específicamente para ciudades con población mayor de 500,000 habitantes.

En cuanto al proceso de potabilización, la JMAS lo realiza mediante el proceso directo de cloración en todas las fuentes, seguido de la regulación del servicio de agua potable a través de tanques de almacenamiento, que permiten absorber las variaciones horarias de la demanda de agua de la población. La eficiencia de la cloración o desinfección se determina mediante el muestreo y análisis de puntos establecidos por la NOM-SSA1-179-2020 [(18)], basada en la cantidad de conexiones a la red, seleccionadas de manera aleatoria diaria. Este proceso es importante porque evita o previene enfermedades gastrointestinales.

La JMAS tiene una eficiencia del 100%, mientras que en las localidades del municipio oscila entre el 95% y el 100%, según las estadísticas de la CONAGUA en 2022 [(42)]. Sin embargo, no existe un lugar

donde se pueda consultar la estadística municipal o por localidad, solo por estado, y Chihuahua aparece en el portal del SINA como deficiente.

De acuerdo con el indicador de calidad del agua de las fuentes de abasto del municipio reportado por la CONAGUA en el SINA para el periodo 2012-2022 [(42)], se pueden observar los resultados de diversos parámetros de la calidad del agua se puede inferir que el acuífero con la mejor fuente para el abastecimiento de agua potable es el ACHS. Sin embargo, la red de monitoreo de calidad del agua de CONAGUA es muy limitada, con seguimiento anual únicamente.

La JCAS realizó en el 2022 [(20)] un análisis de diversas fuentes subterráneas en el estado de Chihuahua, abarcando un total de 202 aprovechamientos en el municipio de Chihuahua (Tabla 19). Los resultados indican que el 33.66% de los suministros superan el límite permisible de arsénico (As) para consumo humano, mientras que el 59.90% excede el límite para fluoruros (F) según la NOM-SSA1-127-2021 [(44)]. Además, el 31.18% de los suministros presentan ambos problemas simultáneamente.

Tabla 19. Resultados del estudio realizado por la JCAS en pozos para abasto de comunidades en el municipio de Chihuahua [(20)].

Total, de aprovechamientos muestreados	**202**
Con >0.01 mg/L As	68
Con <0.01 mg/L As	134
Con >1 mg/L F	121
Con <1 mg/L F	81
Con >0.01 mg/L As y >1 mg/L F	63
Con <0.01 mg/L As y <1 mg/L F	139

5.3. Escenario Optimo Posible

La implementación de un escenario óptimo de planificación del agua en el municipio de Chihuahua requiere un enfoque integral y multifacético. Se debe planificar la demanda de agua considerando las necesidades de los sectores urbano, agrícola, industrial y ambiental, identificando áreas de alta demanda y mejorando la eficiencia en el uso del agua. También se debe planificar la infraestructura hídrica necesaria, como sistemas de abastecimiento de agua, redes de distribución, plantas de tratamiento y medidas de control de inundaciones. Se deben implementar programas de monitoreo y seguimiento continuos, así como una evaluación exhaustiva de los recursos hídricos disponibles en el municipio. Además, se necesita establecer un marco de gestión integrada de recursos hídricos que involucre a todas las partes interesadas relevantes para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos. Estos elementos deben formar parte del Plan Municipal Hídrico.

5.3.1. Planificación de la demanda

La planificación de recursos hídricos a nivel internacional ha evolucionado hacia una mayor atención en la gestión de la demanda de agua, en contraposición al enfoque tradicional centrado en la gestión de la oferta. Mientras que la gestión de la oferta se enfoca en aumentar la disponibilidad de agua a través de la captación, almacenamiento y distribución, la gestión de la demanda busca controlar, reducir o modificar la cantidad de agua utilizada por los usuarios finales mediante la promoción de la eficiencia en su uso, la conservación y el reúso. Ambos enfoques son complementarios y necesarios para lograr un uso sostenible y equitativo de los recursos hídricos.

Delimitación de la zona urbana y zona rural

Para delimitar las zonas dentro del municipio, se establece una distinción entre la zona urbana, que abarca las colonias abastecidas y controladas por la JMAS, y la zona rural, que engloba localidades en la periferia y en los extremos del municipio. La delimitación de la zona urbana se basa en los polígonos definidos por la JMAS para su zona servida y contigua, lo que establece la base para todos los usos del agua, incluyendo doméstico, industrial, servicios, comercial y edificios públicos.

Para la zona rural, se identificaron localidades (Tabla 20), considerando las comunidades que por su ubicación y densidad de población pueden experimentar crecimiento de acuerdo con el análisis realizado en el informe 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 20. Estimación de población rural distribuidas en el municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con información de INEGI y el PDU [27] [13].

Localidad	Población
El Sauz	1,474
San Isidro (Los Hoyos)	931
Colonia Nuevo Delicias	708
Ejido Nuevo Sacramento	462
Ejido Estación Terrazas y Minas del Cobre	445
El Charco	340
Colonia Agrícola Francisco Villa	337
La Casita	318
La Esperanza	260
Colonia Sacramento	244
Rancho Enmedio (Estación Müller)	213
El Vallecillo	213
Batalla de Sacramento	202
La Noria (San Isidro)	187
Granjas Familiares Sacramento	186

5.3.2. Ámbito urbano

Agua potable en el uso público urbano doméstico

En el informe 2 se examinó detalladamente la dotación y consumo de agua por tipo de usuario en el municipio y la zona urbana. Se realiza una estimación segmentada por zonas urbana y rural para integrar la demanda del uso de agua potable. El cálculo del gasto diario de agua se obtiene multiplicando la población por la dotación. Los resultados se presentan en diferentes unidades como litros por segundo, metros cúbicos por segundo, metros cúbicos por mes o metros cúbicos por año, según la necesidad de análisis.

Para la demanda de agua potable en la zona urbana, se varia la dotación (l/hab/día), estas dotaciones se varían de acuerdo con:

- Dotación media: se basa en la estimación del consumo mensual per cápita para uso doméstico, establecido en 244 l/hab/día.
- Consumo meta: se fija en 160 l/hab/día.
- Dotación óptima recomendada por CONAGUA como sostenible: 220 l/hab/día.
- Dotación actual calculada a partir del volumen total producido en 2023 para abasto de agua (134,003,295 m^3) entre la población, resultando en 401 l/hab/día.

Estas variables se combinan para determinar la demanda de agua potable en la zona urbana, considerando diferentes escenarios y eficiencias.

Con esta premisa, se consideran las eficiencias físicas como sigue:

- 54% resultado del PIGOO (2023) , que representa la relación entre el volumen producido y el facturado.
- 60% como eficiencia física promedio en zonas urbanas en el país.
- 65% como promedio en las zonas sectorizadas.
- Una eficiencia física meta del 70%.
- La eficiencia física óptima del 75%.

Estas eficiencias se utilizan para calcular la cantidad de agua efectivamente utilizada en comparación con la cantidad producida, lo que ayuda a determinar la eficiencia en la distribución y el consumo de agua en la zona urbana. De esta manera se puede realizar la proyección de la demanda de agua potable para la zona urbana al año 2040 como se puede observar en la Tabla 21.

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. Proyección de la demanda de agua potable en la zona urbana al 2040. Fuente: elaboración propia.

		Año	2020	2025	2030	2035	2040
		Población	925,762	1,017,744	1,116,077	1,221,180	1,333,486
Consumo (l/hab/día)	Dotación (l/hab/día)	Eficiencia física %	Caudal requerido de suministro (l/día)				
160	234	54	2,503	2,752	3,018	3,302	3,605
220	321		3,442	3,784	4,149	4,540	4,957
119	220		2,357	2,591	2,842	3,109	3,395
217	401		4,297	4,724	5,180	5,668	6,189
160	224	60	2,400	2,639	2,894	3,166	3,457
220	308		3,300	3,628	3,979	4,353	4,754
132	220		2,357	2,591	2,842	3,109	3,395
241	401		4,297	4,724	5,180	5,668	6,189
160	216	65	2,314	2,544	2,790	3,053	3,334
220	297		3,182	3,498	3,837	4,198	4,584
143	220		2,357	2,591	2,842	3,109	3,395
261	401		4,297	4,724	5,180	5,668	6,189
160	208	70	2,229	2,450	2,687	2,940	3,210
220	286		3,064	3,369	3,694	4,042	4,414
154	220		2,357	2,591	2,842	3,109	3,395
281	401		4,297	4,724	5,180	5,668	6,189
160	200	75	2,143	2,356	2,584	2,827	3,087
220	275		2,947	3,239	3,552	3,887	4,244
165	220		2,357	2,591	2,842	3,109	3,395
301	401		4,297	4,724	5,180	5,668	6,189

*220 l/hab/día Dotación optima recomendada por CONAGUA.

*401 l/hab/día Dotación actual calculada.

*160 l/hab/día Consumo meta

En la Figura 34 se presenta un análisis detallado de las dotaciones consideradas y su relación con el impacto de la eficiencia en el requerimiento de caudal necesario para abastecer la zona urbana. Este análisis es fundamental para comprender la diferencia entre gestionar la demanda de agua y simplemente basarse en la gestión de la oferta. En el análisis, se parte de un consumo establecido de 160 litros por habitante al día. Esta cifra representa la dotación base sobre la cual se calcula el caudal requerido, considerando también el porcentaje de pérdidas y eficiencia en la distribución del agua. Es importante destacar que este enfoque permite visualizar cómo la eficiencia en la distribución del agua influye significativamente en la cantidad total de caudal necesario para satisfacer la demanda urbana de agua.

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

Al comparar diferentes niveles de eficiencia en la distribución del agua, se observa claramente cómo pequeños cambios en la eficiencia pueden tener un impacto significativo en el caudal requerido. Por ejemplo, la diferencia en caudal necesario entre una eficiencia del 54% y una del 75% en el año 2020 es de 360 litros por segundo (lps), lo que ilustra la importancia de mejorar la eficiencia en la gestión del agua para garantizar un suministro adecuado y sostenible en el futuro.

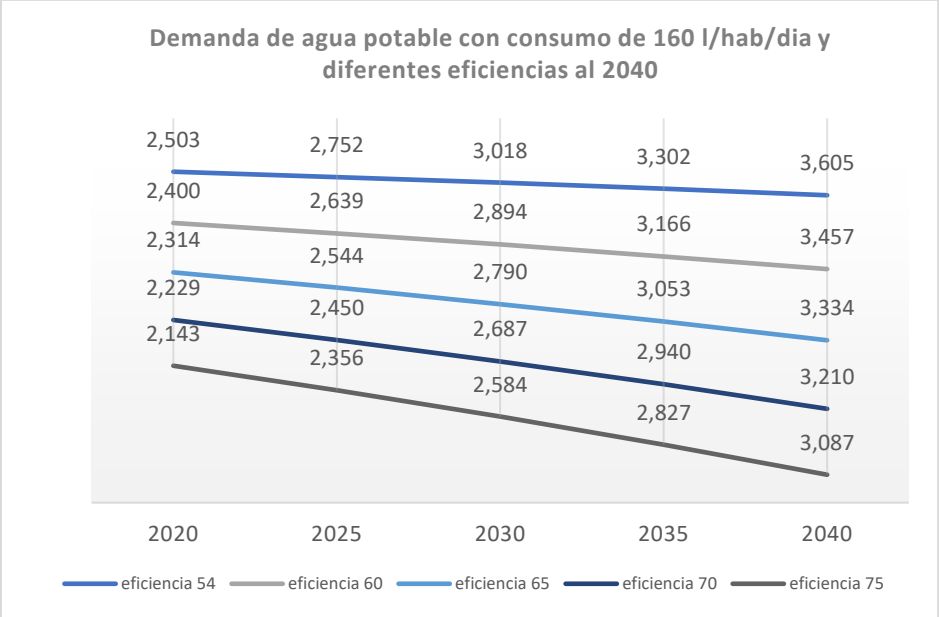


Figura 34. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con un consumo de 160 l/hab/día. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 35, se muestra el cálculo del caudal diario necesario para abastecer la zona urbana considerando un consumo de 220 litros por habitante al día. Para el año 2020, con una eficiencia del 54%, se requieren 3,442 litros por segundo (lps), mientras que con una eficiencia del 75% se necesitan 2,947 lps, lo que representa una diferencia de 495 lps. Proyectando estos valores al año 2040, la diferencia entre ambas eficiencias aumenta a 713 lps.

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

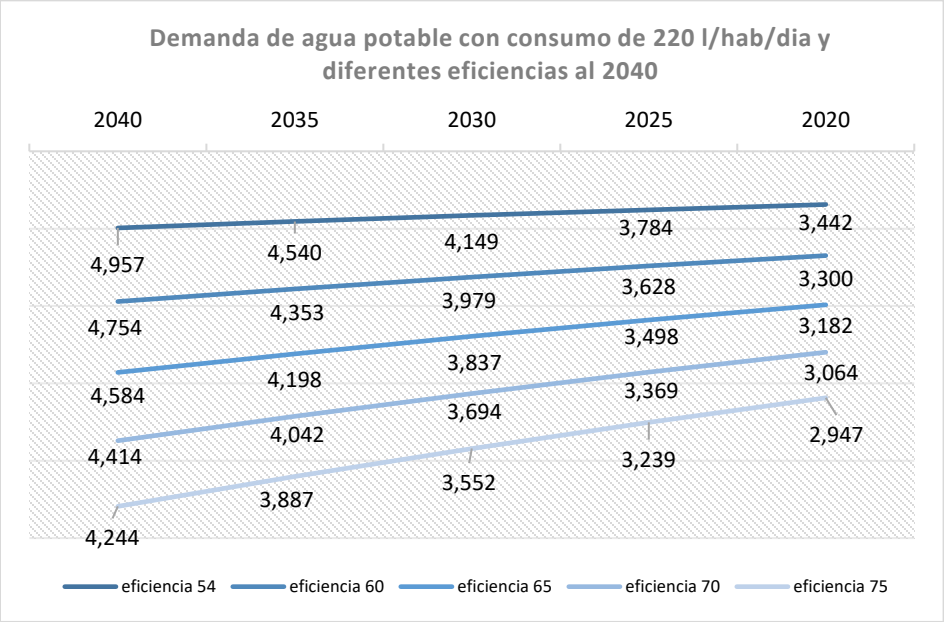


Figura 35. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con un consumo de 220 l/hab/día. Fuente: elaboración propia.

Si la dotación fuera de 220 litros por habitante al día con diferentes eficiencias físicas no habría diferencia entre los caudales a suministrar, ya que la variación se compensaría con el consumo del usuario como se observa en la Figura 36. Con una eficiencia del 54%, el consumo por habitante al día estaría entre 119 y 165 litros, mientras que con una eficiencia del 75%, sería similar. Esto indica que, si se aumenta la eficiencia y se mantiene la dotación, el consumo puede aumentar incluso con el crecimiento de la población, y la necesidad de incrementar el caudal a suministrar es sostenible. El incremento de caudal suministrado sería de 1,038 litros por segundo, lo que representa un 44% adicional de caudal requerido en 20 años, manteniendo la misma proporción que el crecimiento de la población.

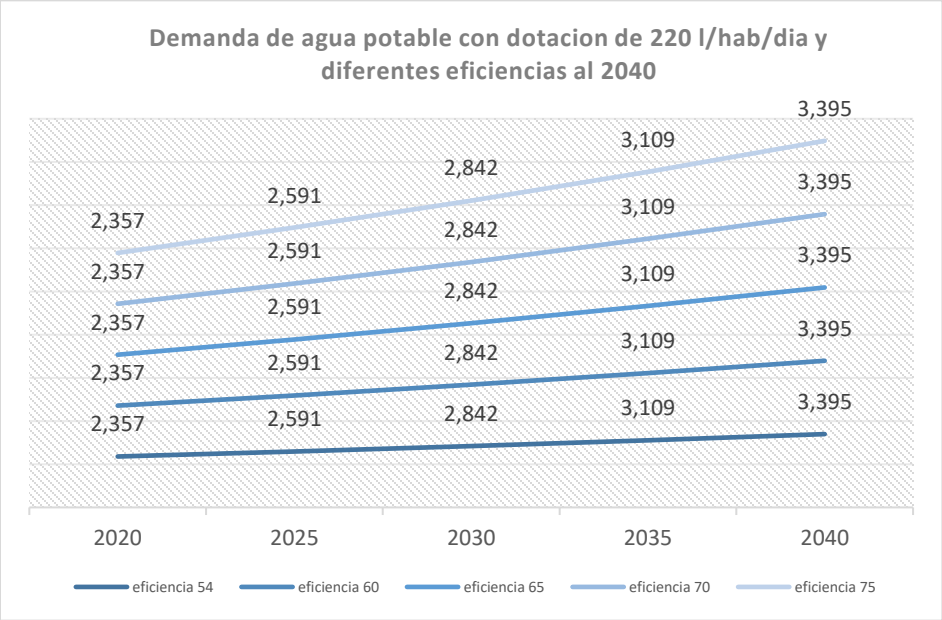


Figura 36. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con una dotación de 220 l/hab/día. Fuente: elaboración propia.

En el caso de mantener la dotación actual de 401 l/hab/día con las diferentes eficiencias físicas (Figura 37), el resultado es similar al ejercicio anterior, ya que la diferencia es absorbida por el consumo del usuario. Con una eficiencia del 54%, el consumo por habitante al día estaría entre 217 y 301 l/hab/día, mientras que con una eficiencia del 75%, sería similar. Esto indica que, si se aumenta la eficiencia y se mantiene la dotación, el consumo debe incrementarse con el crecimiento de población. Teniendo un incremento de caudal suministrado de 1,892 lps, que representa 44% de caudal adicional requerido en 20 años, siendo en la misma proporción que el crecimiento de la población.

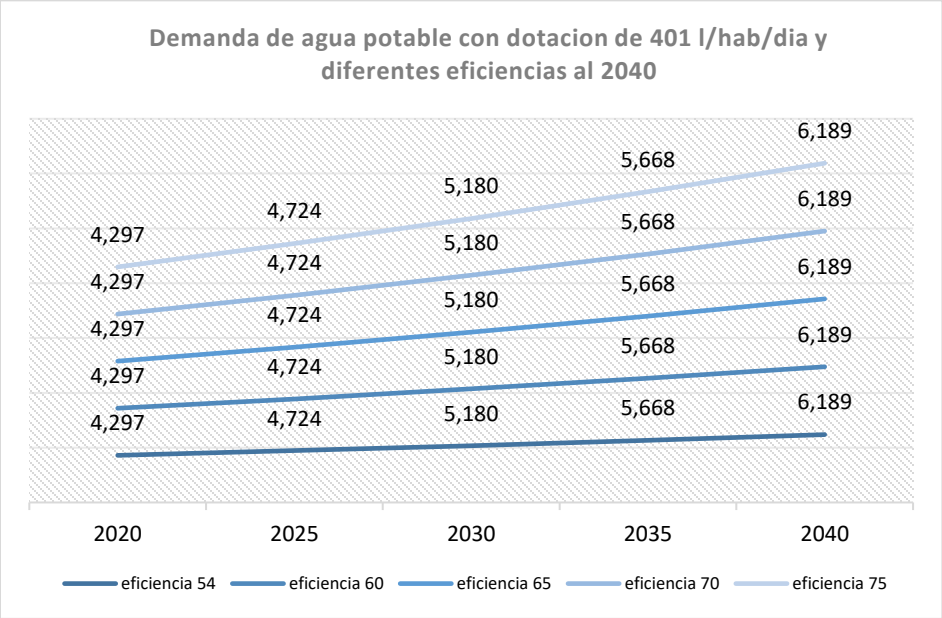


Figura 37. Caudal por suministrar a la mancha urbana para satisfacer la demanda con una dotación de 401 l/hab/día. Fuente: elaboración propia.

Agua potable en el uso comercial, industrial, escolar y público

Para el desarrollo de este capítulo, es necesario obtener dos parámetros clave: el volumen actual de consumo por sector y la tendencia de crecimiento. La multiplicación de estos dos elementos nos dará el volumen de consumo requerido en el horizonte de proyección a mediano y largo plazo, que en este estudio se considera para el periodo (2020-2040).

Para determinar la demanda actual de volumen, se emplea un criterio basado en la identificación de una proporción sectorial y en el valor del volumen anual explotado por la JMAS, obtenido de sus estadísticas presentadas en los PIGOO de los años 2019 a 2023.

Para precisar esta relación proporcional sectorial, se consultaron el número de usuarios registrados y su proyección en el contexto del servicio de agua proporcionado por la JMAS. En la Tabla 22 se observan las proyecciones de acuerdo con las estadísticas del caudal facturado por el tipo de usuario al cual se le da el servicio.

Tabla 22. Estadísticas de caudal facturado por tipo de usuarios de la JMAS. Fuente: elaboración propia con información del PIGOO [24] y de la JMAS (2023).

Tipo de Usuario	2023	2022	2021	2020	2019
Comercial	274	259	243	238	228
Industrial	135	123	108	120	96
Escolar	44	44	41	43	41
Público	38	38	38	40	33

Conforme a la Tabla 22, se establece que no existe variación en el número de usuarios escolares y públicos. Por lo tanto, se proyecta una tasa de crecimiento de la población para los horizontes 2030 y 2040 basada en los censos del INEGI 2020 (1.35%). En el caso de los usuarios comerciales, se considera una tasa de crecimiento promedio anual del 5%, y para los usuarios industriales, una tasa de crecimiento promedio anual del 10%.

Para estimar el caudal requerido de suministro por tipo de usuario, se han considerado dos eficiencias: la actual, que se desprende del PIGOO 2023, y la óptima posible, las cuales se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23. Proyección de la demanda de agua potable por tipo de usuario proporcionado por la JMAS Chihuahua al 2040. Fuente: elaboración propia con información del PIGOO [24] y de la JMAS (2023).

Tipo de Usuario	Eficiencia física %	2023	2030	2040
		Caudal requerido de suministro (l/día)		
Comercial	54	400	564	917
Industrial		197	385	1,000
Escolar		64	86	117
Público		55	74	101
Comercial	75	343	483	785
Industrial		169	330	856
Escolar		55	74	100
Público		48	64	86

Derivado de la homogeneidad de resultados en las diferentes décadas se consideró estandarizar estos valores optando por el valor promedio que corresponde a cada actividad o usuarios con respecto al volumen total que debe suministrar el organismo operador.

En 2023, el volumen total anual de agua explotada de acuerdo con datos de la JMAS fue de 134,003,295 m^3, lo que equivale a un caudal promedio de 4,249 lps. Este valor se pondera por actividad de acuerdo con la Tabla 23 para obtener la demanda de agua actual, como se muestra en la Tabla 24.

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 24. Demanda anual actual de agua estimada por sector. Fuente: elaboración propia con información del PIGOO [24] y de la JMAS (2023).

Uso	Proporcionalidad (%)	Volumen (m^3/anual)
Comercial	9.4	12,060,297
Industrial	4.6	6,700,165
Escolar	1.5	2,680,066
Público	1.3	1,340,033

Se espera que el nearshoring tenga un impacto positivo en el crecimiento de las industrias, especialmente en Chihuahua, tanto en la capital como en Ciudad Juárez. La tasa de crecimiento de las industrias dependerá del grado de nearshoring, la competitividad de los países receptores y las políticas gubernamentales. Se proyecta una tasa de crecimiento anual para actividades industriales considerando el nearshoring. La Tabla 25 muestra la proyección de la demanda de agua para el sector industrial, independiente del suministro proporcionado por el organismo operador.

Tabla 25. Proyección de la demanda de agua para el sector industrial independiente de la JMAS Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

Industria	Tasa de crecimiento anual proyectada (%) con nearshoring	Demanda de agua a suministrar (lps)
Automotriz	4	278
Maquiladora	5	139
Alimentaria	3	69
química	4	28
metalúrgica	3	14
Aeroespacial	5	139
TICs	7	28
Metalmecánica	3.5	69
Electrónica	4.5	83

De acuerdo con el volumen autorizado y registrado en el REPDA para uso industrial de 10,113,906 m^3/año, independiente del otorgado por el organismo operador, se estima un caudal promedio de

320 lps. Sin embargo, las estimaciones actuales indican que se requieren 809 lps para cubrir la demanda actual de suministro a estas industrias, lo que resulta en un déficit de alrededor de 500 lps. Para el año 2040, se proyecta un aumento en este déficit, alcanzando aproximadamente 600 lps con respecto al uso autorizado. Este déficit adicional deberá ser explotado principalmente de los acuíferos ATA y ACHS debido a su ubicación en la mancha urbana, lo que podría tener un impacto significativo en el suministro de agua potable a otros usuarios y generar competencias o conflictos por el recurso hídrico. Una posible solución a este desafío es la utilización de agua residual tratada para cubrir parte de estos volúmenes requeridos. Sin embargo, este enfoque implica costos adicionales, ya que la mayoría de estas actividades industriales requieren agua de alta calidad, casi potable. El tratamiento de agua residual a un nivel terciario sería necesario para alcanzar los estándares de calidad requeridos, lo que conlleva inversiones significativas en infraestructura y operación de plantas de tratamiento.

5.3.3. Ámbito rural

En cuanto a la proyección de la demanda de agua potable para la zona rural, esta se basa en la tasa de crecimiento anual de la población rural en el municipio de Chihuahua, la cual ha disminuido en las últimas décadas.

De acuerdo con datos del INEGI [13] [47] desarrollados en el informe 2 del análisis sociodemográfico:

- En el año 2000, la tasa de crecimiento anual de la población rural era de 1.5%.
- En el año 2010, la tasa de crecimiento anual de la población rural era de 0.8%.
- En el año 2020, la tasa de crecimiento anual de la población rural era de 0.4%.

Se proyecta que la demanda de agua potable para la población rural aumentará a un ritmo sostenido del 0.4% en las siguientes dos décadas en las localidades previamente mencionadas. El resultado de esta proyección se puede observar en la Tabla 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 26. Proyección de la población de las localidades rurales para estimación de demanda de agua potable. Fuente: elaboración propia con información de INEGI [13] [47].

Población Total			
Localidad	**2020**	**2030**	**2040**
El Sauz	1,474	2,064	2,889
San Isidro (Los Hoyos)	931	1,303	1,825
Colonia Nuevo Delicias	708	991	1,388
Ejido Nuevo Sacramento	462	647	906
Ejido Estación Terrazas y Minas del Cobre	445	623	872
El Charco	340	476	666
Colonia Agrícola Francisco Villa	337	472	661
La Casita	318	445	623
La Esperanza	260	364	510
Colonia Sacramento	244	342	478
Rancho Enmedio (Estación Müller)	213	298	417
El Vallecillo	213	298	417
Batalla de Sacramento	202	283	396
La Noria (San Isidro)	187	262	367
Granjas Familiares Sacramento	186	260	365

Para realizar los cálculos, se agrupan las poblaciones estimadas de las localidades considerando horizontes temporales para el 2020, 2030 y 2040. Se utilizan tres dotaciones diferentes:

- 100 l/hab/día: Esta cifra es la cantidad estimada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como suficiente para una población que cuenta con un sistema de distribución de agua en tubería.
- 135 l/hab/día: Esta dotación es considerada óptima para una población semiurbana según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- 100 l/hab/día: Este nivel de consumo se considera óptimo para poblaciones con menos de 50,000 habitantes.

La proyección de la demanda y su impacto en el caudal suministrado para agua potable en la zona rural (Tabla 27), considero dos eficiencias físicas, al no existir información base de estas localidades, se fundamenta en:

- 50%: Esta es la eficiencia más comúnmente encontrada en el país.
- 65%: Esta eficiencia se considera más representativa dado que "al menos" existe información para realizar una gestión eficaz, aunque no haya información base específica de estas localidades.

Tabla 27. Proyección de la demanda de agua potable en la zona rural al 2040. Fuente: elaboración propia con información de INEGI [13] [47].

Año			2020	2030	240
Población			6,520	9,128	12,779
Consumo l/hab/día	dotación l/hab/día	Eficiencia física %	Caudal requerido de suministro (l/día)		
50	100	50	8	11	15
68	135		10	14	20
100	200		15	21	30
65	100	65	8	11	15
88	135		10	14	20
100	140		11	15	21

La demanda de caudal para el suministro de agua potable en la zona rural no se ve comprometida hasta el horizonte de planeación de 2040, independientemente de la dotación o eficiencia del sistema de distribución. Esto significa que la oferta actual es suficiente para cubrir las necesidades actuales y futuras. Esta afirmación se basa en los volúmenes autorizados en el REPDA, donde la suma de todos los aprovechamientos para las localidades rurales destinados al consumo urbano asciende a más de 123 lps.

Agua para la actividad agrícola

En cuanto a la actividad agrícola de riego que se emplaza en la conurbación de la mancha urbana, se ubica en el municipio de Chihuahua, especialmente en la zona centro-sur del ASE y en la parte ribereña al rio Chuvíscar en el ATA. Para determinar la demanda de caudales requeridos para esta actividad, se consideró los requerimientos de volúmenes por hectárea de acuerdo con el cultivo, anteriormente investigado y mencionado en este informe. Además, se ha tomado en cuenta el número de hectáreas actuales que se manifiesta en el SIAP [36], una eficiencia del 40% y un crecimiento del 4% para el año 2040. Se ha optado por considerar el requerimiento o dosis de agua por hectárea como máximo, para tener en cuenta el escenario más crítico.

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 REPDA [38] se tiene un volumen autorizado registrado para el uso del agua en actividades agrícolas de 103,274,282.20 m^3/año. Sin embargo, considerando los cultivos y la cantidad de hectáreas destinadas a la siembra según el SIAP al 2022 [36], se estima que se requiere un volumen anual de 221,591,440 m^3. Esto supone un déficit considerable.

Si consideramos la dotación total, incluyendo el consumo del cultivo y la pérdida de volúmenes de agua debido a la ineficiencia del riego, se estima que la eficiencia promedio oscila entre el 20% y el 40% como máximo [48] [49] [50]. Proyectando un incremento en la superficie agrícola y una eficiencia física del 40%, el volumen anual requerido sería de aproximadamente 354,546,304 m^3. Esto representa casi tres veces lo autorizado, lo que subraya la necesidad de establecer límites en el crecimiento de las superficies agrícolas, cambiar cultivos y mejorar la eficiencia del riego. Además, es importante considerar la sustitución del agua de primer uso por agua residual tratada, lo cual dependerá de los cultivos específicos.

Se destacan algunos cultivos por su alto requerimiento de agua para la producción y su extensión de superficie, lo cual tiene un impacto significativo en el municipio (Figura 38). Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias de medición, eficiencia y establecer límites en las superficies de cultivo. Estos cultivos incluyen la alfalfa, el algodón, la avena forrajera, el maíz forrajero, el maíz grano, la nuez y la uva.

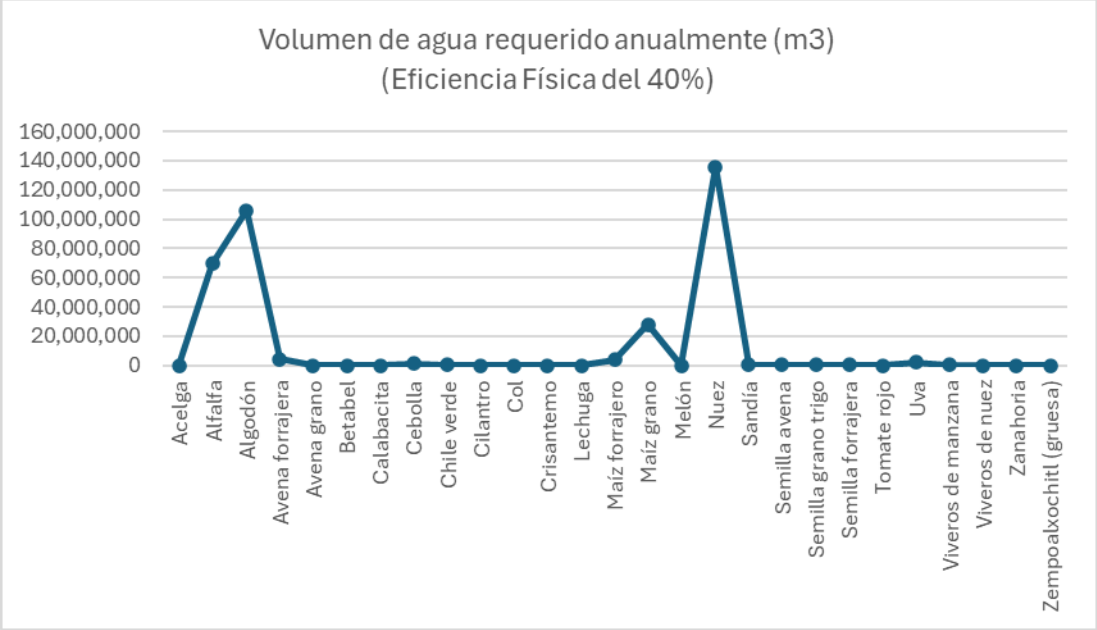


Figura 38. Volumen de agua anual requerido por los cultivos agrícolas en el Municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

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

6. Integración de Análisis de Riesgos y Resiliencia Hídrica

En el **capítulo 5. Integración de Análisis de Riesgos y Resiliencia Hídrica**, se analiza los riesgos y vulnerabilidad social relacionados con el ámbito hídrico, incluyendo inundaciones, sequías, escasez y contaminación del agua. Se examinan las causas y posibles consecuencias de estos riesgos en el suministro y la calidad del agua, así como en la población y el medio ambiente. Además, se analiza cómo el cambio climático está afectando el ciclo hidrológico, aumentando la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos

Los posibles efectos del cambio climático en los recursos hídricos pueden alterar los patrones de evaporación y precipitación y afectar la disponibilidad de agua. Estos cambios tendrían consecuencias significativas en la disponibilidad y calidad del agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico, así como en la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos y terrestres.

6.1. Patrones de Precipitación y Temperatura

Se realizó un análisis del patrón de precipitación y temperatura, identificando 7 periodos de tiempo (Tabla 28), que incluyen 6 intervalos de 10 años y los 4 años más recientes. Se observa que la temperatura media mínima registrada fue de 17.4°C, un valor constante en los periodos de 1960-1969 y 1970-1979. En contraste, la temperatura media máxima es la década más reciente, correspondiente al periodo 2020-2023, alcanzó los 20.4°C, evidenciando un aumento de 3°C en comparación con el periodo de 1960-1969.

Tabla 28. Temperatura media, mínima y máxima para los periodos de 1960-2023. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la estación climatológica Chihuahua (Observatorio).

Periodo	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)
1960-1969	39.0	-14.5	17.4
1970-1979	38.9	-10.3	17.4
1980-1989	40.3	-8.3	17.6
1990-1999	40.3	-10.7	17.8
2000-2009	40.8	-7.6	18.9
2010-2019	40.3	-19.3	19.1
2020-2023	42.0	-7.4	20.4

La temperatura máxima ha mostrado un aumento gradual a lo largo de los años. El valor mínimo se registró en 1970-1979, con 38.9°C, ligeramente inferior al periodo anterior de 1960-1969, que fue

de 39°C. La temperatura máxima más alta fue en 2020-2023, alcanzando los 42°C, un aumento de 3°C desde 1960-2023. En cuanto a la temperatura mínima, el valor más bajo se registró en 2010-2019, con -19.3°C, mientras que la temperatura mínima más alta se dio en 2020-2023, con -7.4°C. Estos resultados sugieren un impacto del cambio climático, ya que ambas temperaturas han mostrado un aumento gradual a lo largo de los años. En la Figura 39 se muestra el comportamiento de las temperaturas medias, mínimas y máximas a lo largo de los 7 periodos evaluados.

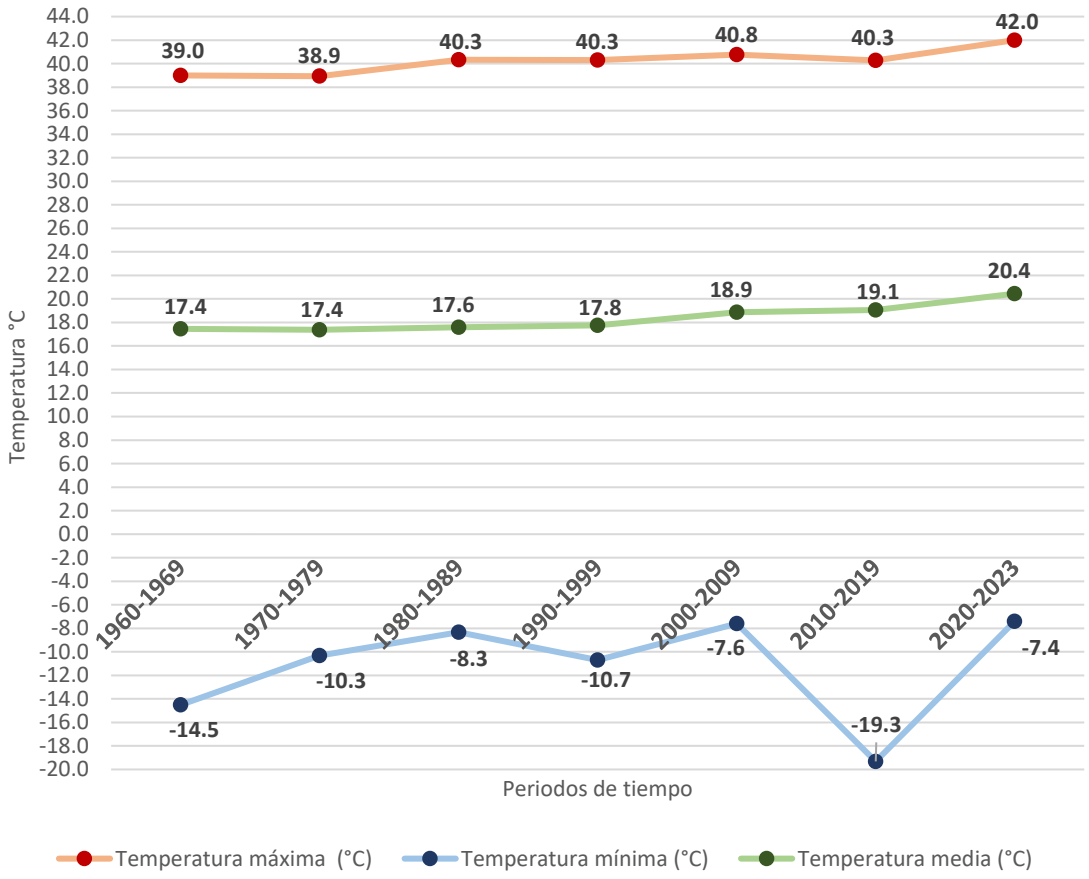


Figura 39. Grafica del comportamiento de las temperaturas medias, mínimas y máximas para los 7 periodos evaluados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del IMPLAN Chihuahua y CONAGUA.

La precipitación alcanzó su valor de acumulación media más elevado en el periodo de 1980-1989 como se puede observar en la Figura 40. En contraste, el menor valor de acumulación media se registró en el último periodo de 2020-2023. Es importante destacar que estos últimos 4 años han sido afectados por una sequía que ha sido clasificada como severa, extrema y excepcional según el rango de intensidad del Monitor de Sequía en México (MSM).

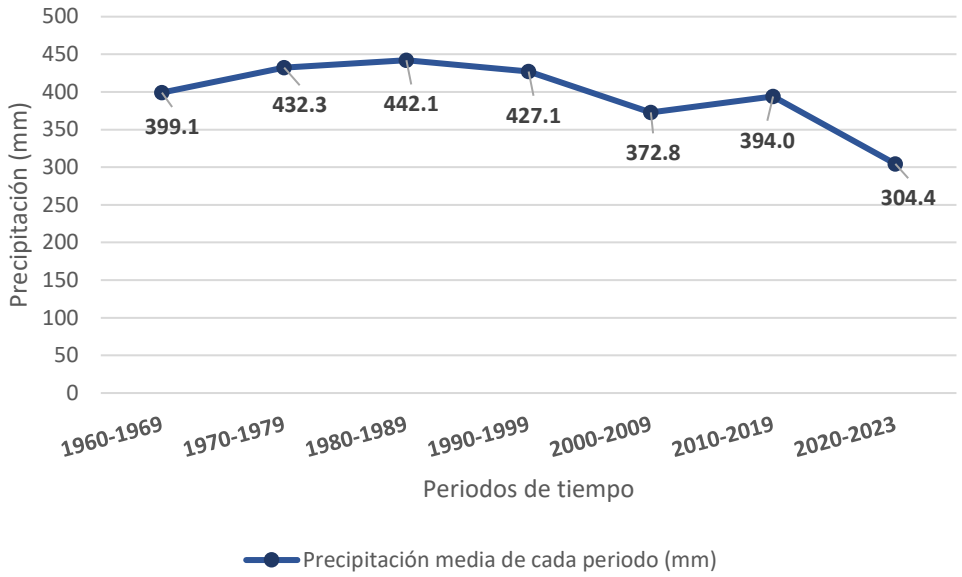


Figura 40. Grafica de acumulación de precipitación media multianual para los 7 periodos evaluados de 1960 al 2023. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del IMPLAN Chihuahua y CONAGUA.

De acuerdo con la Guía Sobre Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones 2022 [51] las anomalías de temperatura y precipitación generadas por el cambio climático pueden ser utilizadas para calcular el valor de una proyección y para visualizar el incremento o disminución esperados en los meses caracterizados por condiciones lluviosas, frías, secas o húmedas. Se proyecta que el estado de Chihuahua experimentará una reducción del 29% en la precipitación.

6.2. Posibles Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos

El municipio de Chihuahua, especialmente su zona urbana, enfrenta una alta vulnerabilidad al cambio climático debido a su ubicación geográfica y condiciones socioeconómicas. Eventos como sequías, temperaturas extremas y lluvias torrenciales han causado pérdidas significativas en la zona, poniendo en riesgo la vida, el patrimonio y la biodiversidad. El crecimiento demográfico y desarrollo urbano acelerado han generado problemas ambientales y urbanos como la contaminación y aumento en la demanda de agua. La dispersión urbana ha generado ineficiencias en los sistemas urbanos y un impacto directo en el aumento del consumo de combustibles fósiles.

La ciudad de Chihuahua ha mostrado un acelerado crecimiento demográfico que se ha traducido en un proceso de urbanización que puede resultar caótico. Este crecimiento ha sido especialmente notable a partir de la década de los noventa, lo que ha llevado a una urbanización

desordenada y una baja densidad de población. Entre 1970 y 2005, el área urbana de la ciudad creció de 3,815 hectáreas a 19,024 hectáreas, con una disminución de la densidad de población de 67.35 a 37.51 [5].

Esta dispersión urbana se traduce en la falta de consolidación urbana y la existencia de grandes espacios vacíos dentro de la ciudad, lo que representa alrededor del 15 % del área urbana total, es decir, poco más de 3 mil 900 hectáreas [5]. Este modelo de desarrollo disperso conlleva altos costos e ineficiencias en el funcionamiento de los sistemas urbanos, como la movilidad, el equipamiento, la infraestructura y el espacio público, y tiene un impacto directo en el aumento del consumo de combustibles fósiles utilizados para el transporte y la prestación de servicios públicos, así como en el cambio de uso de suelo de reserva ecológica a urbano.

Sequía

El fenómeno de la sequía guarda estrecha relación con la escasez del recurso hídrico, manifestándose en promedio cada 20 años. Cuando ocurre, genera un desequilibrio en el ciclo del agua al no ser suficiente para cubrir las necesidades de los seres vivos. Una sequía puede prolongarse en promedio de uno a tres años y termina cuando las precipitaciones recuperan su índice normal, restableciendo el funcionamiento de los cuerpos de agua [53]. A pesar de que el calentamiento global está incrementando la frecuencia de este fenómeno, su monitoreo en México es reciente, iniciando en 2003.

El suministro de agua para consumo humano en el municipio de Chihuahua enfrenta desafíos significativos debido a que la extracción de agua de los acuíferos supera la capacidad de recuperación a través de la recarga natural. La disponibilidad de agua renovable está en declive, y varios factores contribuyen a esta situación, incluido el uso excesivo y las pérdidas de volumen que afectan la renovación natural del ciclo hidrológico, además del cambio climático. Las altas temperaturas y la disminución de las precipitaciones están reduciendo la escorrentía y la recarga de los acuíferos.

Los datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para el municipio de Chihuahua indican una disminución en el agua renovable, pasando de 1,091.74 m3/hab/año en 2011 a 989.48 m3/hab/año en 2021 [42]. Esta cifra es la segunda más baja a nivel nacional, solo superada por los municipios ubicados en las cuencas cerradas del norte, también en el estado de Chihuahua.

Inundaciones

La precipitación pluvial desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico y constituye la principal fuente de agua renovable en el municipio de Chihuahua. Los Atlas de Peligros y Riesgos estatal y municipal han identificado previamente que el municipio de Chihuahua ha sido afectado por diversos fenómenos naturales, principalmente hidrometeorológicos, como lluvias que provocan desbordes de ríos y arroyos, resultando en inundaciones fluviales y pluviales [54].

El Atlas de Riesgos para el municipio de Chihuahua 2022 [54] asigna un grado de peligrosidad o amenaza, indicando un nivel muy alto para el fenómeno de inundaciones pluviales y un nivel medio para las inundaciones fluviales. En el Atlas de Riesgos del municipio de Chihuahua se identificaron arroyos con alta vulnerabilidad debido a su potencial para causar inundaciones severas a recurrentes. Entre estos se encuentran El Picacho, arroyo La Cantera, Nogales Sur y El Mimbre Sur, que está compuesto por los arroyos El Saucito y Galeras Norte y Sur.

Calidad del agua

El cambio climático puede afectar la calidad del agua de varias maneras. Las temperaturas más altas del agua, junto con inundaciones y sequías más frecuentes, podrían agravar la contaminación del agua, aumentando la presencia de sedimentos, patógenos y pesticidas [55].

En el municipio de Chihuahua, la concentración de arsénico (As) y flúor (F) puede variar según la ubicación del pozo, su profundidad y los niveles de extracción. Algunas fuentes de agua subterránea en el municipio han mostrado concentraciones de As y F por encima de los límites permisibles para el agua potable en México (0.025 mg L^{-1} para As y 1.5 mg L^{-1} para F) establecidos en la Norma NOM-127-SSA1-1994 [44].

Los escurrimientos de los ríos Chuvíscar y Sacramento, se encuentran en un estado preocupante debido a la contaminación y la deforestación. La zona de recarga acuífera del río Sacramento está deteriorándose rápidamente debido a la extracción de materiales pétreos para la construcción, la urbanización de áreas cercanas a la ribera y el deterioro general de su cauce. Las tres presas ubicadas en la zona urbana (Chuvíscar, Rejón y Chihuahua) corren un riesgo inminente de contaminación debido a las instalaciones agropecuarias y los asentamientos humanos ubicados aguas arriba del río Chuvíscar, que vierten sus desechos en las vertientes dirigidas hacia los embalses [52].

El Plan Estatal Hídrico 2040 (PEH), desarrollado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en colaboración con el Gobierno del Estado, la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 2022 [50], incluyó un análisis de la calidad del agua superficial en el municipio de Chihuahua encontrando alta contaminación en el sur de la ciudad posiblemente debido a descargas de aguas residuales sin tratar. El municipio se abastece principalmente de agua subterránea, que presenta altos niveles naturales de arsénico y flúor. El análisis de calidad del agua subterránea reveló puntos con clasificaciones variables, atribuidas a la profundidad y nivel de explotación de los pozos. Se observaron condiciones de excelente y buena calidad del agua, excepto cerca del Aeropuerto Internacional, donde se encontró fuerte contaminación. La presencia de arsénico y nitratos en niveles nocivos indica la necesidad de monitoreo para garantizar la potabilidad del agua en la región. Los acuíferos que abastecen a la zona urbana muestran un déficit de agua, lo que sugiere una posible disminución en su calidad.

Amenazas hidrometeorológicas

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

Las amenazas hidrometeorológicas identificadas como tales en el área del municipio de Chihuahua, junto con sus correspondientes impactos, se presentan en la Tabla 29, basado en la experiencia de los actores de cada sector convocados para abordar esta problemática durante su ocurrencia.

Tabla 29. Amenazas hidrometeorológicas identificadas para el municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN (2019) [52].

Amenaza	Impactos
Lluvias torrenciales	Inundaciones
	Daños a la infraestructura
	Erosión
Sequia	Abatimiento en los niveles de mantos acuíferos y cuerpos de agua
	Erosión
	Incendios
	Daños en los cultivos
Vientos extremos	Erosión
	Incremento de enfermedades
	Afectación a la infraestructura
	Incendios
	Daños a los cultivos
Onda fría	Daños a la infraestructura
	Incremento en enfermedades, casos de asfixia y accidentes
	Daños a los cultivos
	Golpe de calor
Onda de calor	Incremento de enfermedades e intoxicación de alimentos
	Incendios
	Daño a cultivos y aves en confinamiento
	Evaporación de cuerpos de agua
	Incremento de organismos vectores
	Incremento en la demanda de agua
Granizo	Daños en cultivos y/o animales
	Daño patrimonial
	Daño a la infraestructura

Según la metodología desarrollada en el Plan de Acción Climática Municipal (2019), la evaluación de la vulnerabilidad se realizó utilizando rangos de valores y calificativos para cada uno de los estratos de la escala establecidos, siguiendo la metodología propuesta por el ICLEI. Esta metodología asigna valores que van de 0 a 125, con estratos de 15 puntos cada uno como se observa en la Tabla 30.

Tabla 30. Espectro de riesgo utilizado en el Plan de Acción Climática Municipal (2019). Fuente: PACMUN (2019) [52].

Espectro del riesgo							
Extremo	**Muy Alto**	**Alto**	**Medio Alto**	**Medio**	**Medio Bajo**	**Bajo**	**Muy Bajo**
111 a 125	96 a 110	81 a 95	66 a 80	51 a 65	36 a 50	21 a 35	0 a 20

En la Tabla 31 se presenta el resumen de los valores de vulnerabilidad obtenidos del análisis realizado en el Plan de Acción Climática Municipal (2019) por expertos convocados que participaron en los talleres de los siete sectores productivos del municipio 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

Tabla 31. Amenazas y grado de riesgo asignado por los 7 sectores productivos identificados para el municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN (2019) [52].

Amenazas e impactos	Vulnerabilidad TOTAL	Rango de amenaza	Grado de riesgo	Descripción
Amenaza 1: Lluvias torrenciales				
Inundaciones	20	5	71.4	Medio alto
Daños a la infraestructura	19	5	79.2	Medio alto
Erosión hídrica (deslaves)	20	5	83.3	Alto
Amenaza 2: Sequía				
Abatimiento en los niveles de mantos acuíferos y cuerpos de agua	34	5	121.4	**Extremo**
Erosión (desertificación)	17	3	42.5	Medio bajo
Incendios	19	5	79.2	Medio alto
Daños en los cultivos	7	5	58.3	Medio
Amenaza 3: Vientos extremos				
Erosión eólica	17	2	28.3	Bajo
Incremento de enfermedades	6	2	20.0	Muy bajo
Afectación a la infraestructura	14	4	46.7	Medio bajo
Incendios	22	5	91.7	Alto
Daños a los cultivos	3	1	15.0	Muy bajo
Amenaza 4: Onda fría *(temperaturas bajas extremas)*				
Daños a la infraestructura	19	3	57.0	Medio
Incremento en enfermedades, casos de asfixia y accidentes	15	4	75.0	Medio alto
Daños a los cultivos	8	1	13.3	Muy bajo
Amenaza 5: Onda de Calor *(temperaturas altas extremas)*				
Golpe de calor	19	3	40.7	Medio bajo
Incremento en enfermedades e intoxicaciones alimenticias	13	3	48.8	Medio bajo
Incendios	21	5	87.5	Alto
Daños a cultivos y aves en confinamiento	9	3	33.8	Bajo
Evaporación de cuerpos de agua	13	2	26.0	Bajo
Incremento de organismos vectores	16	4	64.0	Medio
Incremento en la demanda de agua	16	5	100.0	**Muy alto**
Amenaza 6: Granizo				
Daños en cultivos y/o animales	6	2	20.0	Muy bajo
Daño patrimonial	9	3	45.0	Medio bajo
Daños a la infraestructura	15	1	12.5	Muy bajo

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 acuerdo con la percepción de los especialistas en el Plan de Acción Climática Municipal (2019), se pueden observar en la Figura 41 las principales amenazadas del cambio climático en el Municipio de Chihuahua. Se identifica una amenaza con un grado de riesgo extremo (nivel más alto) debido al abatimiento de los niveles en los mantos acuíferos y cuerpos de agua provocado por la sequía. Le sigue en nivel de riesgo muy alto el incremento de la demanda de agua como consecuencia de las olas de calor, seguido por los incendios originados por la sequía, los vientos extremos y las olas de calor. Posteriormente, se mencionan los impactos de las lluvias torrenciales, como el daño en la infraestructura y la erosión hídrica, con valoraciones de riesgo medio y medio alto, respectivamente.

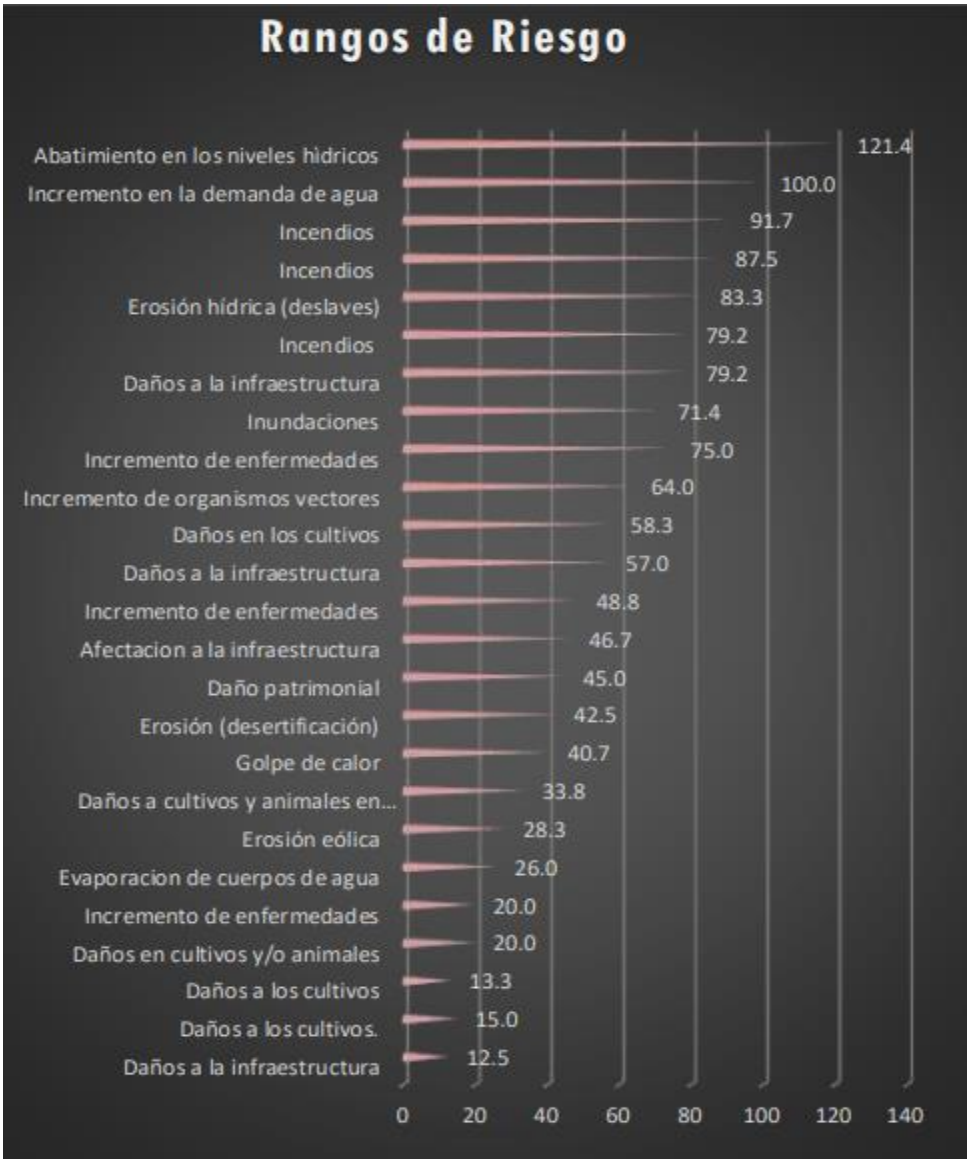


Figura 41. Gráfica de los resultados de las amenazas, de mayor a menor grado de riesgo, detectados por el grupo de expertos que participó en los talleres de los siete sectores productivos identificados en el PACMUN (2019) [52].

7. Integración del Análisis de Problemas y Oportunidades en Materia de Disponibilidad, Uso, Calidad y Acceso al Agua

En el **capítulo 6. Integración de Análisis de Problemas y Oportunidades en Materia de Disponibilidad, Uso, Calidad y Acceso al Agua,** se analizan e identifican una serie de desafíos que impactan la gestión del agua en la zona, incluyendo la escasez, la contaminación y las disparidades en el acceso.

La disponibilidad limitada de agua, agravada por factores como el cambio climático y el crecimiento demográfico, genera preocupaciones sobre la capacidad del municipio para satisfacer las demandas presentes y futuras. La calidad del agua también enfrenta amenazas significativas debido a la contaminación de diversas fuentes, lo que compromete su idoneidad para el consumo humano y la preservación del ecosistema acuático.

En términos de acceso, existen disparidades marcadas en la distribución del agua, especialmente en comunidades marginadas y rurales, donde el acceso seguro y confiable es limitado. Sin embargo, en medio de estos desafíos, se identifican oportunidades para mejorar la gestión del agua mediante la implementación de tecnologías innovadoras, políticas efectivas y la participación de la comunidad.

Este capítulo ofrece un análisis detallado de estos problemas y oportunidades, junto con recomendaciones técnicas y prácticas para avanzar hacia una gestión más equitativa, sostenible y eficiente del agua en el municipio de Chihuahua.

7.1. Problemas

Este trabajo de identificación y jerarquización de las problemáticas relacionadas con los recursos hídricos en el municipio de Chihuahua cubre una amplia gama de aspectos, desde la disponibilidad y calidad del agua hasta la gestión de inundaciones y la conciencia pública sobre los riesgos asociados. Organizar estas problemáticas según su impacto y urgencia proporciona una base sólida para el diseño e implementación del Plan Municipal Hídrico.

7.1.1. Problemas en los recursos hídricos

Las áreas principales de enfoque incluyen ***la sobreexplotación de acuíferos, la falta de infraestructura y mantenimiento, los desafíos en el suministro de agua potable, el tratamiento y reúso de aguas residuales, y la competencia por recursos limitados***. Estos puntos críticos ofrecen una guía clara para priorizar acciones y asignar recursos de manera efectiva.

Además, la integración del análisis sociodemográfico en la planificación del agua es crucial para comprender las necesidades específicas de la población y garantizar un acceso equitativo al recurso. Considerar factores como ***el crecimiento demográfico, los patrones de consumo*** y las condiciones de vida permitirán que el PMH se adapte mejor a las necesidades cambiantes de la comunidad y promueva la sostenibilidad a largo plazo.

Agrupando las problemáticas identificadas y clasificadas según su impacto en la disponibilidad, uso, calidad, contaminación y acceso al agua, se establecen las siguientes áreas:

1) **Disponibilidad del agua:**

Sobreexplotación de acuíferos: Este problema amenaza la disponibilidad y calidad del agua a largo plazo, lo que puede tener graves consecuencias para la sostenibilidad del recurso.

Impacto: Reducción de la disponibilidad a largo plazo.

Falta de infraestructura de almacenamiento y distribución: La infraestructura hídrica obsoleta o mal mantenida limita la capacidad del municipio para distribuir agua de manera eficiente y segura.

Impacto: Limitación en el suministro de agua durante períodos de alta demanda o escasez.

Variabilidad en la recarga de acuíferos:

Impacto: Incertidumbre sobre la disponibilidad estacional y a largo plazo del recurso hídrico.

Desafíos en el suministro de agua potable: El crecimiento demográfico y la dependencia de fuentes subterráneas plantean desafíos para garantizar un suministro adecuado de agua potable para la población.
Impacto: Los desafíos en el suministro de agua potable, incluido el crecimiento demográfico y la dependencia de fuentes subterráneas, pueden reducir la disponibilidad de agua. Esto podría resultar en racionamiento, aumentando los costos y el riesgo de escasez. Además, la calidad del agua puede deteriorarse debido a la sobreexplotación de acuíferos, empeorando la situación de disponibilidad.

2) **Uso del agua:**

Ineficiencia en el uso agrícola: Mejorar la eficiencia en el sector agrícola es crucial dada su alta demanda de agua y su impacto en la disponibilidad del recurso.

Impacto: Uso excesivo de agua en la agricultura, reduciendo la disponibilidad para otros fines.

Falta de regulación en el uso industrial:

Impacto: Contaminación y uso excesivo del agua en procesos industriales, afectando su disponibilidad y calidad.

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

Escasez de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales: Aprovechar el agua residual tratada puede ayudar a mitigar la escasez de agua, pero enfrenta desafíos en su implementación efectiva.

Impacto: Contaminación de cuerpos de agua y limitación en la reutilización de recursos hídricos.

Suministro de agua para uso industrial: Asegurar un suministro sostenible de agua para uso industrial es vital para el desarrollo económico, pero requiere un control riguroso de las descargas y un uso eficiente del recurso

3) **Calidad del agua:**

Contaminación por vertidos industriales y urbanos: La contaminación de fuentes superficiales y subterráneas representa una amenaza para la salud pública y el medio ambiente, y debe abordarse urgentemente.

Impacto: Reducción de la calidad del agua para consumo humano y otros usos.

Falta de monitoreo de la calidad del agua: La falta de datos detallados dificulta la identificación y mitigación de riesgos para la salud asociados con el suministro de agua.

Impacto: Incapacidad para identificar y abordar fuentes de contaminación, afectando la salud pública.

4) **Contaminación del agua:**

Contaminación química por agroquímicos y desechos industriales: La falta de datos detallados dificulta la identificación y mitigación de riesgos para la salud asociados con el suministro de agua.

Impacto: Reducción de la calidad del agua y riesgos para la salud humana y ambiental.

Contaminación bacteriana por aguas residuales sin tratar: La falta de datos detallados dificulta la identificación y mitigación de riesgos para la salud asociados con el suministro de agua.

Impacto: Aumento de enfermedades transmitidas por el agua y riesgos para la salud pública.

5) **Acceso al agua:**

Desigualdad en el acceso al agua potable: Las interrupciones en el suministro afectan de manera desproporcionada a áreas de difícil acceso o con crecimiento no planificado, lo que afecta la equidad en el acceso al recurso, por lo cual es indispensable mejorar la infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento es crucial para mejorar la calidad de vida y la salud en estas áreas.

Impacto: Exclusión de comunidades marginadas o rurales de acceso a servicios básicos de agua potable.

Disponibilidad limitada en áreas periurbanas o rurales: La infraestructura carece de documentación o catastro de lo existente. Por lo tanto, es crucial mejorar la calidad de vida y la salud en estas áreas mediante la implementación y expansión de su cobertura, así como mejorar la eficiencia de operación y servicio a las comunidades no urbanas.

Impacto: Dificultades para cubrir la demanda de agua en áreas menos desarrolladas.

7.1.2. Problemas identificados en el marco de gestión del agua

Disponibilidad y calidad del agua:

- Escasez de datos: La falta de información meteorológica completa dificulta la comprensión de los patrones climáticos y su impacto en el suministro de agua.
- Calidad de los datos: La inconsistencia en la calidad de los datos meteorológicos y de calidad del agua dificulta la toma de decisiones informadas sobre la gestión del recurso hídrico.
- Dificultad para acceder a los datos: La dispersión y la falta de estandarización de los datos meteorológicos y de calidad del agua dificultan su acceso y análisis.
- Escala geológica demasiado grande: La falta de detalle en los modelos geológicos subterráneos dificulta la identificación precisa de los factores que afectan la distribución y calidad del agua subterránea.
- Falta de conocimiento sobre litología de las perforaciones: La falta de información sobre la litología de las perforaciones dificulta la comprensión de la calidad y cantidad de agua disponible en los acuíferos.
- Precipitación pluvial: La variabilidad en los patrones de precipitación plantea desafíos en la gestión de los recursos hídricos, especialmente durante eventos extremos.
- Variabilidad en parámetros hidráulicos: La amplia variabilidad en los parámetros hidráulicos dificulta la modelización precisa de los acuíferos y la gestión efectiva del agua subterránea.
- Censo de aprovechamientos y volumen autorizado desactualizado: La falta de actualización en el censo de aprovechamientos y volumen autorizado dificulta la gestión adecuada de los recursos hídricos.
- La presencia de contaminantes en el agua subterránea afecta su calidad y seguridad para el consumo humano y otros usos.

Impacto humano y urbano:

- Presiones sobre recursos hídricos debido a la expansión urbana y el desarrollo agrícola.
- Necesidad de gestionar la expansión urbana de manera sostenible: La expansión urbana debe gestionarse de manera sostenible para evitar la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas.

- La falta de servicios básicos como agua entubada y drenaje agrava las condiciones de habitabilidad y afecta la calidad de vida.
- La incidencia de enfermedades relacionadas con el agua es alta en áreas donde el suministro de agua no cumple con los estándares de calidad.
- La sobreexplotación del agua puede tener consecuencias devastadoras para el medio ambiente, la economía y la sociedad.
- Se prevé un aumento en la demanda de agua potable para el año 2040, lo que plantea desafíos para garantizar la disponibilidad y distribución equitativa del agua.
- Estacionalidad de la demanda de agua: La estacionalidad de la demanda de agua requiere una planificación cuidadosa para garantizar que la infraestructura de suministro de agua pueda satisfacer la demanda máxima.
- La infraestructura hidrosanitaria enfrenta desafíos como el envejecimiento de la red y la distribución desigual del suministro de agua.
- En Chihuahua, la competencia por el agua se intensifica entre agricultores, industrias, y comunidades urbanas y rurales.
- Las necesidades de agua difieren entre usuarios urbanos, que la usan principalmente para consumo doméstico, y usuarios rurales, que dependen más del agua para la agricultura y ganadería.
- El uso excesivo de agua en Chihuahua está causando impactos ambientales, como la disminución de caudales en ríos y arroyos, y la pérdida de biodiversidad.
- Gestión fragmentada del agua: La gestión del agua en Chihuahua se ve afectada por la fragmentación entre organismos responsables, lo que dificulta la implementación de políticas coordinadas para la gestión sostenible del recurso.
- Contaminación de los recursos hídricos: La contaminación de fuentes superficiales y subterráneas en Chihuahua es un problema importante, que afecta la calidad del agua y la salud de los ecosistemas y la población.
- La sobreexplotación de acuíferos en Chihuahua está causando un déficit de agua y una disminución de la calidad del agua subterránea.
- Impacto del uso público urbano e industrial en acuíferos: El uso público urbano e industrial en Chihuahua tiene un impacto significativo en los acuíferos locales, requiriendo una gestión cuidadosa para evitar la sobreexplotación y la degradación de la calidad del agua.

Gestión y normativa:

- La complejidad normativa dificulta la aplicación efectiva de políticas y programas para la gestión del agua en Chihuahua.
- La descentralización de la gestión del agua en Chihuahua plantea desafíos en la asignación de responsabilidades entre los distintos niveles de gobierno.
- La regulación y las tarifas en la gestión del agua en Chihuahua pueden no reflejar adecuadamente los costos reales del servicio, lo que afecta su sostenibilidad económica.

- Falta de manejo de escurrimientos pluviales: La falta de un adecuado manejo de los escurrimientos pluviales en Chihuahua contribuye a problemas de inundación.

Datos e información:

- La falta de generación sistemática de datos sobre el agua en Chihuahua dificulta la toma de decisiones informadas para la gestión del recurso.
- Estimación de recarga desactualizada: Las estimaciones desactualizadas de recarga de acuíferos en Chihuahua pueden llevar a una sobreexplotación de estos y a una gestión ineficiente del recurso hídrico.

7.2. Áreas de Oportunidad

7.2.1. Áreas de oportunidad los recursos hídricos

A continuación, se agrupan de manera enunciativa las acciones o estrategias que debe contemplar el diseño, implementación y operación del PMH:

Disponibilidad del agua:

- ✓ Implementar medidas de gestión del uso del agua, como cuotas de extracción y recarga artificial de acuíferos.
- ✓ Modernizar y ampliar la red de distribución de agua, incluyendo la construcción de nuevos embalses y sistemas de tuberías.
- ✓ Desarrollar sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia para aprovechar los períodos de recarga.
- ✓ Mejorar la eficiencia de los sistemas de suministro mediante la reparación de fugas y la optimización de la gestión de la demanda, así como la utilización de tecnología.

Uso del agua:

- ✓ Promover prácticas agrícolas sostenibles, como el riego por goteo y la rotación de cultivos, mediante incentivos, asistencia técnica y la utilización de tecnología.
- ✓ Establecer normativas más estrictas para el uso y descarga de agua en industrias, con inspecciones regulares y sanciones por incumplimiento, asistencia técnica y la utilización de tecnología.
- ✓ Invertir en la construcción y actualización de plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo tecnologías de tratamiento avanzadas.
- ✓ Fomentar la reutilización del agua en procesos industriales y promover prácticas de uso eficiente del recurso.

Calidad del agua:

- ✓ Implementar programas de control de la contaminación y tratamiento de efluentes industriales y domésticos.
- ✓ una red de monitoreo continuo de la calidad del agua en cuerpos superficiales y subterráneos, con análisis regulares y divulgación de resultados.
- ✓ Promover prácticas agrícolas orgánicas y seguras, así como la implementación de tecnologías de tratamiento en industrias para reducir la contaminación.
- ✓ Contaminación bacteriana por aguas residuales sin tratar: Ampliar la cobertura de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, especialmente en áreas urbanas y periurbanas.

Acceso al agua:

- ✓ Expandir la infraestructura de servicios de agua potable y saneamiento en áreas marginadas, con especial atención a comunidades rurales y periurbanas.
- ✓ Realizar estudios de viabilidad y proyectos piloto para la implementación de sistemas descentralizados de abastecimiento de agua en zonas con acceso limitado a servicios municipales.

7.2.2. Áreas de oportunidad en el marco de gestión del agua

Disponibilidad y calidad del agua:

- Desarrollar capacidades para evaluar y dar seguimiento al uso público urbano e industrial del agua subterránea, así como establecer un sistema de monitoreo sistemático de la piezometría y otros indicadores de sistemas de flujo para comprender mejor la dinámica del agua subterránea.
- Establecer un sistema de monitoreo sistemático e implementar medidas para abordar problemas de calidad del agua, como la presencia de minerales disueltos y metales pesados, y realizar evaluaciones del balance hídrico y la disponibilidad de agua subterránea con datos actualizados.
- Implementar medidas para regular y controlar la extracción de agua subterránea, además de desarrollar estudios y programas de recarga inducida de acuíferos según la normatividad vigente.
- Involucrar a la comunidad en la gestión y conservación de los recursos hídricos subterráneos.
- Evaluación a mediano plazo y ajuste de acciones planificadas considerando escenarios de cambio climático y variabilidad hidrológica.
- Desarrollar estrategias de gestión de la demanda y planificación de la infraestructura para adaptarse a fluctuaciones estacionales en la demanda.

- Mejorar y expandir la infraestructura hídrica municipal, incluyendo sistemas de distribución y tratamiento de agua potable.
- Considerar los impactos del cambio climático en la disponibilidad y calidad del agua, y desarrollar estrategias de adaptación.
- Fomentar la diversificación de cultivos hacia opciones menos intensivas en el uso del agua.
- Implementar sistemas de monitoreo y seguimiento del uso del agua.
- Promover la valoración del agua como recurso económico y estratégico.
- Implementar políticas y programas para mejorar el acceso y mantenimiento de servicios básicos como agua entubada, drenaje y energía eléctrica en las viviendas.
- Implementar políticas y programas para fomentar el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos, promoviendo la reutilización del agua tratada para usos no potables.
- Implementar programas de capacitación en hidrología, gestión del agua, tecnología hidro informática, hidro economía y aspectos sociales y comunitarios del agua para mejorar la gestión del agua en el Municipio de Chihuahua.

Impacto humano y urbano:

- Mejora de la gestión de aguas residuales para prevenir la contaminación y regulación de actividades agrícolas y urbanas para proteger las fuentes de agua.
- Mejora de la gestión del agua para un uso eficiente y sostenible, incluyendo el fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante desastres hidrometeorológicos.
- Fomentar el uso eficiente del agua en la agricultura mediante la adopción de prácticas de riego eficientes, así como implementar programas de reforestación y manejo de cuencas hidrográficas para mejorar la calidad del agua subterránea.
- Limitar la urbanización en las cuencas de las presas y exigir la construcción de obras de reducción de impacto hidrológico antes de autorizar nuevos proyectos de desarrollo urbano.
- Promover la concientización y participación ciudadana en la gestión del agua, resaltando la importancia de su corresponsabilidad en la conservación y uso eficiente del agua de lluvia.
- Priorizar la canalización de arroyos que atraviesan vialidades o áreas urbanas para reducir el riesgo de inundaciones repentinas.
- Construir nuevas obras de regulación (detención) y rehabilitar las existentes para controlar el flujo de agua de lluvia y reducir el impacto de las inundaciones.
- Establecer un programa de inspección, mantenimiento y limpieza periódica de canales pluviales y arroyos para garantizar su buen funcionamiento.
- Realizar inspecciones anuales durante la época de estiaje y limpieza de cauces antes de la temporada de lluvias.
- Evaluar la posibilidad de restaurar la capacidad útil de las presas mediante el desazolve y considerar su función recreativa y estética.
- Establecimiento de normativas y políticas para regular la expansión urbana y proteger áreas naturales y vegetación significativa, incluyendo la definición de zonas de conservación y áreas protegidas.

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

- Implementación de estrategias de planificación urbana sostenible y compacta que consideren el impacto en las redes de infraestructura existentes y en los usuarios.
- Establecimiento de incentivos económicos y fiscales para propietarios de terrenos que conserven áreas de vegetación natural.
- Desarrollo de programas de restauración y reforestación en áreas degradadas o con vegetación alterada.
- Promoción de la sensibilización y educación ambiental sobre la importancia de la conservación de la vegetación y los ecosistemas naturales.
- Promover la participación comunitaria en la identificación de problemas y soluciones relacionadas con el agua.
- Desarrollar campañas de educación sobre el acceso seguro al agua potable y buenas prácticas de uso y almacenamiento del agua en el hogar.
- Mejorar y expandir la infraestructura de agua potable y alcantarillado, e implementar tecnologías avanzadas de monitoreo y gestión.

Gestión y normativa:

- Desarrollo de políticas y estrategias integrales para abordar el cambio climático y la gestión del agua, así como fomentar la adaptación y la resiliencia ante los impactos del cambio climático.
- Promoción de la educación y conciencia pública sobre la conservación del agua, junto con la cooperación y coordinación intersectorial para una gestión integral del agua.
- Implementación de sistemas de alerta temprana para fenómenos climáticos y fomento de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes.
- Desarrollo de planes de contingencia y mejora de la infraestructura para prevenir inundaciones y deslaves, así como simplificar el marco normativo relacionado con la gestión del agua.
- Mejorar la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno para una implementación efectiva de las regulaciones y promover la importancia del agua y la existencia de la normativa.
- Establecer mecanismos para un adecuado manejo de los escurrimientos pluviales y fomentar la participación ciudadana en la elaboración y seguimiento de la normativa.
- Proporcionar recursos y capacitación a las instituciones responsables de la gestión del agua, así como establecer sistemas para evaluar el cumplimiento de las regulaciones y el impacto de las medidas implementadas.
- Realizar análisis detallados de los parámetros hidráulicos para comprender mejor la dinámica del acuífero, junto con censos actualizados de los aprovechamientos de agua subterránea y mantener actualizada la información sobre el volumen autorizado de extracción.
- Establecer mecanismos de colaboración entre autoridades de salud, proveedores de agua y otras instituciones relevantes para recopilar y analizar datos, identificar áreas de riesgo y tomar medidas preventivas.

- Implementar una base de datos centralizada para facilitar el acceso a la información y la coordinación entre entidades.
- Fomentar la coordinación entre instituciones gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y el sector privado para implementar acciones integrales de conservación del suelo y la vegetación.
- Establecer normativas claras y supervisar el almacenamiento de agua en todas las viviendas para evitar pérdidas y garantizar una distribución eficiente.
- Establecer mecanismos efectivos de coordinación entre las diferentes instituciones y niveles de gobierno.
- Implementar estrategias para gestionar eficientemente la dotación de agua y promover prácticas de consumo responsable.
- Adoptar un enfoque integral de gestión del agua que promueva la sostenibilidad a largo plazo.
- Facilitar prácticas y proyectos integradores entre instituciones educativas y entidades relacionadas con la gestión del agua.

Datos e información:

- Implementar los procesos de interacción para la generación de datos, integración de información y evaluación sistemática mediante la operación del COTAS Metropolitano, y evaluar la disponibilidad con datos actualizados para identificar si es posible utilizar los títulos autorizados y registrados en el REPDA.
- Actualizar el catastro y las condiciones de la infraestructura de drenaje pluvial existente para garantizar su eficacia y capacidad para manejar el flujo de agua durante eventos de lluvia intensa.
- Establecer una red de monitoreo y medición de los escurrimientos superficiales en ríos, arroyos y canales para estimar los volúmenes disponibles de agua y contribuir a la gestión sostenible del recurso hídrico.
- Identificar y desarrollar estrategias para promover estudios especializados que permitan la recarga de acuíferos a través de la infiltración de aguas superficiales y de la recarga directa de lluvia, con apego a normativas vigentes.
- Promover la coordinación y colaboración entre diferentes sectores y actores involucrados en la gestión del agua para implementar acciones integrales y maximizar recursos y esfuerzos.
- Enriquecimiento de la base de datos geológicos y geofísicos a nivel local.
- Establecimiento de acuerdos con instituciones educativas para proyectos sistemáticos.
- Generación de modelos y escenarios con mayor certeza mediante la integración de datos de usuarios individuales en un programa unificado.
- Establecer mecanismos de colaboración entre autoridades municipales, instituciones de salud y comunidades para garantizar un suministro equitativo y seguro de agua potable.

- Implementar programas de monitoreo continuo y sistemático de la calidad del agua en todas las fuentes de abastecimiento para identificar y abordar rápidamente problemas de contaminación.
- Establecer sistemas de monitoreo y seguimiento de la cobertura vegetal y cambios en el uso del suelo utilizando tecnologías de teledetección y sistemas de información geográfica.
- Explorar tecnologías innovadoras para la gestión del agua.
- Implementar sistemas de monitoreo y seguimiento del uso del agua.
- Brindar capacitación y educación sobre temas relacionados con la gestión del agua.

8. Integración del Análisis del Marco Normativo

En el **capítulo 7. Integración del Análisis del Marco Normativo**, se analiza cómo las leyes, regulaciones y políticas públicas regulan la gestión hídrica en el Municipio de Chihuahua. La región de estudio está sujeta a normativas a nivel federal, estatal y municipal, y busca alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que buscan garantizar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de aguas residuales.

La gestión efectiva del agua representa un desafío crucial en Chihuahua, donde la disponibilidad y calidad de este recurso vital son fundamentales para el bienestar de la comunidad y el desarrollo sostenible.

El marco normativo que regula la gestión del agua en Chihuahua es complejo y abarca normativas a nivel federal, estatal y municipal. A nivel federal, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece un esquema de gestión descentralizada de los recursos hídricos, con el gobierno federal como propietario de los recursos nacionales y las entidades subnacionales responsables de proveer agua [(57)].

Dos leyes federales clave que regulan la gestión hídrica en México son la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y la Ley Federal de Derechos (LFD). La LAN establece los principios y mecanismos para la gestión de los recursos hídricos, mientras que la LFD recauda tarifas relacionadas con la gestión de los recursos hídricos. Ambas leyes buscan regular la asignación de títulos de concesión y derechos de uso de agua, así como promover la sostenibilidad hidrológica y de los ecosistemas [(58)] [(59)].

A nivel estatal, los gobiernos son responsables de diversas actividades relacionadas con los recursos hídricos, como la planificación, regulación y desarrollo de infraestructura, así como la prestación directa de servicios de agua y saneamiento en algunos casos. En muchos estados, la responsabilidad de fijar las tarifas cobradas por los proveedores de agua y saneamiento recae en los Congresos estatales, aunque en algunos casos esta autoridad ha sido delegada a las comisiones estatales del agua.

A nivel municipal, se establecen las bases para la prestación de servicios de agua y saneamiento, otorgando facultades a los municipios para realizar tareas de abastecimiento, tratamiento y desalojo de agua. Los municipios pueden otorgar concesiones a entidades operadoras de agua potable y saneamiento, públicas, privadas o mixtas, para ejecutar estas tareas. En este contexto, los municipios son responsables de la prestación directa de servicios de agua potable y saneamiento, ya sea a través de organismos descentralizados o mediante la creación de organismos operadores de agua potable y saneamiento. Estos organismos tienen la responsabilidad de brindar servicios de calidad a los ciudadanos y cumplir con las normativas vigentes en materia de agua y saneamiento. En las regiones urbanas más densamente pobladas de México, los organismos descentralizados o paramunicipales

son responsables de brindar servicios de agua y exhiben diversas competencias técnicas, comerciales, financieras y administrativas.

Para comprender la gobernanza del recurso hídrico, es fundamental tener un sólido conocimiento de las leyes, códigos, decretos, reglamentos, acuerdos, regulaciones y políticas que rigen la gestión del agua en los tres niveles de gobierno. Estos instrumentos legales constituyen la base esencial de la gobernanza actual del recurso hídrico. A continuación, se presentan los principales instrumentos jurídicos que sustentan legalmente la gobernanza del agua en el municipio de Chihuahua.

8.1. Marco Normativo Federal

8.1.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (60)

El documento legal de mayor importancia dentro de la República Mexicana es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, a continuación, se los principales artículos que abordan la gestión o gobernanza hídrica (Tabla 32):

Tabla 32. Artículos relevantes en la Constitución Mexicana para la gestión hídrica.

Artículo
4
25
27
28
73
105
115

Estos son los principales artículos que abordan la gestión o gobernanza hídrica para el municipio de Chihuahua, ya que otros artículos pueden tener implicaciones en la gestión del recurso, dependiendo del contexto y la interpretación jurídica.

8.1.2. Ley de Aguas Nacionales (LAN) (61)

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) se crea a partir de la reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales, la LAN tiene

por objeto regular el uso de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su calidad y cantidad, para lograr su desarrollo integral sustentable [62].

8.1.3. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [63]

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

8.1.4. Ley General de Movilidad y Seguridad Vial [64]

La Ley General de Movilidad y Seguridad Vial tiene por objeto establecer las bases y principios para garantizar el derecho a la movilidad en condiciones de seguridad vial, accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad.

8.1.5. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable [65]

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable tiene por objeto regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos.

8.1.6. Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes, para el Ejercicio Fiscal 2023 [66]

La Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes establece los derechos que deben pagarse por el uso de bienes del dominio público de la Nación y por recibir servicios prestados por el Estado.

8.1.7. Ley Agraria [67]

La Ley Agraria se encarga de regular los asuntos agrarios en todo el país. Las dependencias y entidades competentes de la Administración Pública Federal fomentarán el cuidado y conservación

de los recursos naturales y promoverán su aprovechamiento racional y sostenido para preservar el equilibrio ecológico; propiciarán el mejoramiento de las condiciones de producción promoviendo y en su caso participando en obras de infraestructura e inversiones para aprovechar el potencial y aptitud de las tierras en beneficio de los pobladores y trabajadores del campo.

8.1.8. Ley Federal de Derechos [68]

La Ley Federal de Derechos es un ordenamiento de carácter fiscal que establece el cobro de derechos por la prestación de servicios públicos o por el uso, goce o aprovechamiento de los bienes de dominio público de la Nación.

8.1.9. Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica [69]

La Ley se encarga de definir el objeto de la ley como las mejoras en infraestructura hidráulica federal que benefician directamente a personas físicas o morales.

8.1.10. Ley Federal Sobre Metrología y Normalización [70]

La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización tiene como objetivo regular la metrología y la normalización en México.

8.1.11. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN) [71]

Tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales, cuando en el mismo se expresen los vocablos "Ley", "Reglamento", "La Comisión" y "Registro", se entenderá que se refiere a la Ley de Aguas Nacionales, al presente Reglamento, a la Comisión Nacional del Agua y al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), respectivamente.

8.1.12. Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [72]

El reglamento interior tiene por objeto establecer la organización y funcionamiento de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como determinar la competencia, estructura y atribuciones de sus unidades y órganos administrativos desconcentrados. Se analizaron los principales puntos que tienen una relación con la gestión de los recursos hídricos y su gobernanza.

8.1.13. Reglamento Interno Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) [73]

El Reglamento Interno de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establece las normas, procedimientos y disposiciones internas que regulan el funcionamiento y su organización. La CONAGUA es la entidad encargada de administrar y regular el agua en el país, así como de desarrollar políticas y programas relacionados con su gestión, conservación y aprovechamiento sustentable.

8.1.14. Programa Nacional Hídrico 2020-2024 [74]

El Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024 es un programa especial derivado del Plan Nacional de Desarrollo (PND), encaminado a enfrentar los problemas del agua para reducir las brechas de inequidad, avanzar en la seguridad hídrica con un enfoque de derechos humanos que coloca en el centro de las prioridades a las personas, bajo las perspectivas territorial, multisectorial y transversal. Se formula en atención a las prioridades que demandan el bienestar social y el desarrollo económico, sin poner en peligro el equilibrio ecológico. Este Programa se define en la Ley de Aguas Nacionales como el documento rector de la política hídrica de México y da origen a los Programas Hídricos Regionales.

8.1.15. Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2021-2024 [75]

El Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (PNOTDU) 2021- 2024, es el instrumento de planeación determinado en la Ley General de Asentamientos Humanos y Ordenamiento Territorial, que guarda congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 y con la Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial 2020-2040, cuenta con una visión integral y es resultado de un esfuerzo colectivo de planeación sectorial participativa.

8.1.16. Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) en materia del sector hídrico

Las normas oficiales mexicanas, son regulaciones técnicas de observancia obligatoria que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado [76].

Las diversas NOMs son elaboradas por Órganos Colegiados (Comités Consultivos Nacionales de Normalización) que están integrados por representantes de todos los sectores interesados en cada uno de los temas. La conjunción de las ideas y argumentos presentados por todos los sectores o actores participantes, hacen que las NOMs tengan un desarrollo integral [77].

NOMs de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Del mismo modo la Comisión Nacional del Agua, por conducto del Comité Consultivo Nacional del Sector Agua, elabora las normas oficiales mexicanas sobre la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales enunciados en el artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales, a fin de que sean expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y así garantizar el derecho que toda persona tiene al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, consagrado en el artículo 4° Constitucional. Las NOMs se presentan en la Tabla 33.

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 33. Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) vigentes de la CONAGUA en materia hídrica [18].

Clave	Título
NOM-001-CONAGUA-2011	Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de Febrero de 2012.
NOM-002-CNA-1995	Sector Agua-Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba.
NOM-003-CONAGUA-1996	Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Febrero de 1997.
NOM-004-CONAGUA-1996	Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1997.
NOM-005-CONAGUA-1996	Fluxómetros-Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de julio de 1997.
NOM-006-CONAGUA-1997	Fosas sépticas prefabricadas-Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de Enero de 1999.
NOM-008-CONAGUA-1998	Regaderas empleadas en el aseo corporal. - Especificaciones y métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de julio de 2009.
NOM-009-CONAGUA-2001	Inodoros para uso sanitario-Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de julio de 2009.
NOM-010-CONAGUA-2000	Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro-Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de julio de 2009.
NOM-011-CONAGUA-2015	Conservación del recurso agua - Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de Marzo de 2015.
NOM-013-CNA-2000	Redes de distribución de agua potable-Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba.
NOM-014-CONAGUA-2003	Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de agosto de 2009.
NOM-015-CONAGUA-2007	Infiltración artificial de agua a los acuíferos. -Características y especificaciones de las obras y del agua. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de agosto de 2009.

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

NOMs de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)

Las Normas Oficiales Mexicanas, que esta Comisión Federal expide en el seno del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, las cuales establecen las reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado, así como las que se refieran a su cumplimiento o aplicación en materia de control y fomento sanitario en materia de agua son las que se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Normas Oficiales Mexicanas vigentes de la COFEPRIS en materia hídrica [20].

Clave	Título
NOM-013-SSA1-1993	Requisitos Sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano.
NOM-014-SSA1-1993	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados.
NOM-117-SSA1-1994	Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.
NOM-127-SSA1-2021	Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.
NOM-179-SSA1-2020	Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua.
NOM-201-SSA1-2015	Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.
NOM-230-SSA1-2002	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
NOM-244-SSA1-2020	Para evaluar la eficiencia en reducción bacteriana en equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios.
NOM-245-SSA1-2010	Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas.

NOMs de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) [79]

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) tiene como misión incorporar en los diferentes ámbitos de la sociedad y de la función pública, criterios e instrumentos que aseguren la óptima protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales del país, conformando así una política ambiental integral e incluyente que permita alcanzar el desarrollo sustentable.

Mediante el Prontuario de las Normas Oficiales Mexicanas, la SEMARNAT busca facilitar la consulta de las NOMs (Tabla 35) vigentes en materia de calidad de agua y aguas residuales.

Tabla 35. Normas Oficiales mexicanas vigentes de la SEMARNAT en materia hídrica.

Clave	Título
NOM-001-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas nacionales.
NOM-002-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
NOM-003-SEMARNAT-1997	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
NOM-004-SEMARNAT-2002	Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
NOM-022-Semarnat-2003	Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.
NOM-060-SEMARNAT-1994	Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.
NOM-083-Semarnat-2003	Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo y clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
NOM-141-SEMARNAT-2003	Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y post-operación de presas de jales.

8.1.17. Sistema Nacional de Información del Agua SINA [80]

El SINA integra información hídrica relevante para difundir, planear y coadyuvar el diseño y evaluación de las políticas públicas del sector.

México es un país de grandes contrastes y carencias respecto al agua. La distribución del recurso es muy variable regionalmente, y se encuentra íntimamente ligada a la satisfacción de las necesidades sociales más básicas, puesto que la disponibilidad de agua en cantidad y calidad es una condición necesaria para hacer viable el desarrollo social, económico y ambiental de nuestro país. En el tema del agua son especialmente visibles las implicaciones que tienen su preservación y cuidado actual respecto a su disponibilidad para las generaciones futuras.

Por lo anterior, la información sobre el agua es vital para que como sociedad México pueda administrar este vital recurso, lo que es reconocido por la legislación mexicana vigente, que establece para la CONAGUA la atribución de integrar un Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua el cual se ha instrumentado a través del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, en concordancia con la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica y la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública). En este sitio podrá consultar y descargar información estadística y geográfica relevante sobre el tema del agua en México e indicadores de carácter mundial.

El SINA es un sistema integrado por una base de datos estadística y geográfica que presentan información del sector hídrico en México a través de reportes, gráficos y mapas, con el propósito de ser un medio de difusión claro y dinámico, a través del cual puedan consultar y descargar la información actual e histórica en equipos de escritorio o dispositivos móviles.

8.1.18. Tratado relativo al aprovechamiento de las aguas de los ríos Colorado y Tijuana y del Río Bravo (Grande) desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América [81]

El tratado menciona la cordial relación entre los Gobiernos de México y los Estados Unidos de América, recordando acuerdos anteriores sobre el uso de los ríos Bravo (Grande) y Colorado para fines de navegación.

Ambos países desean aprovechar estas aguas para otros usos y consumos, así como delimitar claramente sus derechos sobre los ríos Colorado y Tijuana, y el río Bravo (Grande).

8.2. Marco Normativo Estatal

8.2.1. Constitución Política del Estado de Chihuahua [82]

La Constitución Política del Estado de Chihuahua es el documento fundamental que establece la estructura, organización, y funcionamiento del gobierno en el estado de Chihuahua, México. Define los derechos y obligaciones de los ciudadanos, así como los poderes y límites del gobierno estatal. Esta constitución es la ley suprema en el estado y sirve como referencia para todas las leyes y reglamentos que se promulgan en el estado de Chihuahua.

Dentro de la Constitución Política del Estado de Chihuahua [82] , los artículos que abordan la gestión o gobernanza hídrica se pueden observar en la Tabla 36.

Tabla 36. Artículos relevantes en la Constitución del estado de Chihuahua para la gestión hídrica.

Artículo
4
8
132
138

8.2.2. Código Municipal para el Estado de Chihuahua [83]

El Código Municipal para el Estado de Chihuahua establece las normas para la organización interna y el funcionamiento de la administración pública municipal. Se basa en las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y de la Constitución Política del Estado.

Sus objetivos específicos incluyen la operación de los ayuntamientos, la promoción de la igualdad laboral entre géneros, la transversalización de la perspectiva de género en las políticas municipales, la no discriminación, la garantía de los derechos humanos en el territorio municipal, el enfoque integral en políticas y programas de gobierno, y el establecimiento de procedimientos de impugnación de actos municipales.

8.2.3. Ley del Agua del Estado de Chihuahua [84]

La ley del agua del Estado de Chihuahua tiene por objeto regular en el Estado de Chihuahua la participación de las autoridades estatales y municipales, en el ámbito de sus competencias, en la planeación, administración, manejo y conservación del recurso agua. Se declara de utilidad pública

e interés social la prestación de los servicios públicos de agua, alcantarillado sanitario, tratamiento de aguas residuales y disposición final de lodos, así como la realización de los estudios, proyectos y obras relacionados con los recursos hídricos en el marco del desarrollo sustentable del Estado y la mitigación y adaptación del cambio climático. La presente Ley reconoce el derecho de todas las personas a tener acceso al agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre y asequible, al saneamiento de las aguas residuales y a su disposición.

8.2.4. Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua (85)

Esta ley establece los presupuestos de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar un medio ambiente sano y saludable, para lo cual se hace necesario: regular la preservación y restauración del equilibrio ecológico, la protección al ambiente, agua, aire y suelo, promover el desarrollo sustentable y fijar las bases para establecer.

8.2.5. Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Chihuahua (86)

La Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Chihuahua tiene por objeto promover un desarrollo urbano y territorial ordenado, sostenible y participativo en el estado de Chihuahua.

8.2.6. Ley de Desarrollo Urbano Sostenible del Estado de Chihuahua (87)

La Ley de Desarrollo Urbano Sostenible del Estado de Chihuahua, aborda aspectos clave para promover el desarrollo urbano sostenible en la región. Se destaca la importancia del bien común y la participación de los diferentes niveles de gobierno, la sociedad civil, las universidades y profesionales en la planificación y ejecución de acciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes y preservar el medio ambiente.

Entre los puntos clave se encuentran la optimización de recursos como el agua, la promoción de la movilidad sostenible, la conservación del patrimonio cultural, y la supervisión gubernamental para garantizar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible

8.2.7. Ley de Vivienda del Estado de Chihuahua [88]

La Ley de Vivienda del Estado de Chihuahua tiene como objetivo principal establecer y regular la política de vivienda en el estado, en concordancia con las disposiciones económicas, sociales y urbanas para el desarrollo integral y sostenible. Esta ley busca garantizar el derecho a la vivienda, según lo establecido en el artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

También se definen los lineamientos generales para programas, instrumentos y apoyos destinados a la producción de vivienda, con el fin de asegurar que todas las familias tengan acceso a una vivienda adecuada, digna y decorosa. Asimismo, promueve la colaboración entre los sectores público, privado y social para garantizar este derecho, establece criterios de protección y apoyo para poblaciones vulnerables, y propone la creación de un Sistema Estatal de Información e Indicadores de Vivienda.

8.2.8. Ley de Catastro del Estado de Chihuahua [89]

La Ley de Catastro del Estado de Chihuahua tiene como objetivo regular la actividad catastral en el Estado. Sus disposiciones buscan establecer normas para las actividades catastrales, descentralizar funciones hacia los municipios, integrar y actualizar registros e información territorial, determinar procedimientos de identificación y valuación de predios, promover equidad en gravámenes, definir obligaciones y prerrogativas de propietarios y otros involucrados, así como facilitar el acceso a la información catastral para personas físicas y morales, con el fin de asegurar una gestión justa y transparente de los recursos territoriales.

8.2.9. Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas del Estado de Chihuahua [90]

La Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas del Estado de Chihuahua, tiene por objeto regular los procedimientos de contratación, gasto, ejecución y control en materia de licitaciones, contrataciones y construcción de obras públicas y servicios relacionados.

8.2.10. Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Chihuahua [91]

Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Chihuahua, tiene por objeto establecer la estructura del Poder Ejecutivo en Chihuahua, dividida en administración centralizada y paraestatal.

8.2.11. Ley de Transporte del Estado de Chihuahua [92]

Ley de Transporte del Estado de Chihuahua establecer normas y principios para la operación, planificación, coordinación y control de los servicios de transporte, así como el uso de la infraestructura de transporte.

8.2.12. DECRETO No. 176 por el cual queda constituida la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado y DECRETO No. 178 por el cual se aprueba el Reglamento de la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado [93]

En este decreto se detalla cómo fue constituida la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado, la cual regula coordina las acciones entre la Federación, Estado, Municipio y particulares en materia de agua potable, saneamiento y alcantarillado en el Estado de Chihuahua.

Publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado el sábado 22 de agosto de 1942 de número 34. Para el *DECRETO No. 176 por el cual queda constituida la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado.*

Donde se menciona la constitución del actual organismo denominado Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS), organismo que coordina las acciones entre la Federación, el Estado, Municipio y particulares en materia de agua potable, saneamiento y alcantarillado en beneficio de los chihuahuenses.

Del mismo modo se da la aprobación para el reglamento que regirá a la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua en el *DECRETO No. 178 por el cual se aprueba el Reglamento de la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado*, de la misma publicación número 34 del Periódico Oficial del Gobierno del Estado.

8.2.13. Reglamento para los Servicios Públicos de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (Junta Central de Agua y Saneamiento JCAS) [94]

El principal objetivo de la Junta Central, a través de sus Juntas Operadoras, es garantizar un abastecimiento continuo y suficiente de agua potable, de calidad y accesible para todos los ciudadanos, especialmente los más vulnerables. Se ha iniciado un proceso de cambio institucional en tres etapas. La primera etapa busca rediseñar la forma en que se toman decisiones, con énfasis en la autonomía, autosuficiencia, efectividad y escala adecuada de los organismos operadores. La segunda etapa se centra en la operación, con la elaboración de un reglamento para los servicios de agua y saneamiento. Se consultaron expertos y revisaron diversos reglamentos modelo para esta etapa. La tercera etapa implica la organización de los organismos operadores, que se llevará a cabo una vez desarrollado el reglamento para la prestación de servicios.

8.2.14. Plan Estatal Hídrico 2040 del Estado de Chihuahua [95]

El Plan Estatal Hídrico (PEH) 2040 de Chihuahua se basó en análisis exhaustivos de información de diversas fuentes, incluyendo consultas ciudadanas y reuniones con usuarios de agua. Se identificaron 734 proyectos para abordar la problemática hídrica, con una inversión total estimada de 69,709 millones de pesos hasta 2040. Los principales rubros de inversión son abastecimiento de agua potable, eficiencia agrícola y mitigación de riesgos.

El plan propone un mecanismo de implementación que involucra a diversas dependencias y un seguimiento a cargo de la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado (JCAS) y el Consejo Estatal Hídrico. Se presenta en tres documentos: uno detallado, uno de divulgación y otro para informar a la sociedad en general.

Los objetivos específicos del PEH 2040 quedan entonces definidos de la siguiente manera:

1. Garantizar la seguridad hídrica del Estado de Chihuahua.
2. Incentivar el uso racional del agua en la agricultura.
3. Fortalecer a los organismos operadores.
4. Incentivar la gobernanza y gobernabilidad.
5. Reducir el riesgo ante fenómenos meteorológicos.
6. Promover la educación, investigación e innovación en temas hídricos.

Marco normativo e institucional

El Plan Estatal Hídrico 2040 del Estado de Chihuahua (PEH 2040) se establece como un instrumento de política pública en concordancia con las constituciones federal y estatal, garantizando el acceso al agua como un derecho humano fundamental.

Se basa en la Ley del Agua del Estado de Chihuahua para regular la planificación, administración y conservación de los recursos hídricos. El Poder Ejecutivo del Estado, a través de la JCAS, tiene facultades para promover políticas hidráulicas y garantizar el acceso al agua potable y saneamiento.

El Consejo Estatal Hídrico, conforme a la ley, formula y evalúa la planificación del desarrollo hídrico de manera participativa.

El PEH 2040 busca asegurar el desarrollo sostenible del recurso hídrico, alineado con objetivos internacionales, nacionales y regionales. En el ámbito internacional, se orienta hacia el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. A nivel nacional, se vincula con el Programa Nacional Hídrico 2020-2024, enfocado en garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento.

El estado de Chihuahua participa activamente en la gestión hídrica a través de sus vocales gubernamentales, usuarios, académicos y organismos civiles, con énfasis en la colaboración regional con otros estados.

El PEH 2040 se integra con los planes gubernamentales, como el Plan Estatal de Desarrollo 2022-2027, que reconoce el papel fundamental del agua en áreas como salud, desarrollo humano, crecimiento económico y buen gobierno.

El Programa de Mediano Plazo Gestión Hídrica 2022-2027 se alinea con el PEH 2040 y otros planes gubernamentales, enfocándose en aspectos como seguridad hídrica, agricultura, servicios de agua potable, gobernanza y educación e innovación tecnológica.

8.2.15. Plan Estatal de Desarrollo Chihuahua 2022-2027 (96)

El Plan Estatal de Desarrollo 2022-2027 es el principal documento que guía las acciones y prioridades de la administración estatal en Chihuahua, con el propósito de mejorar las condiciones de vida y promover el desarrollo pleno y la prosperidad de sus habitantes. El plan se basa en el involucramiento de miles de ciudadanos chihuahuenses, quienes aportaron propuestas y acciones para un mejor futuro a través de diferentes mecanismos de participación ciudadana.

Para su elaboración, se tomaron en cuenta diversas fuentes de información, como propuestas de campañas político-electorales, diagnósticos de la situación estatal, aportaciones de la ciudadanía a través de foros de consulta, buzones electrónicos y físicos, así como entrevistas con líderes sociales, empresariales, académicos y de opinión. El plan se caracteriza por ser participativo, incluyente, transparente, retador, evaluable y con visión de largo plazo. Se fomenta la participación ciudadana en la toma de decisiones, se consideran diversas propuestas de la sociedad en su elaboración, se garantiza la transparencia en su ejecución, se establecen objetivos retadores orientados a resultados, se incluyen indicadores para evaluar su avance, y se promueve la visión de un estado deseado a largo plazo. Además, se estructuró siguiendo los principios de la Metodología del Marco Lógico, lo que facilitará su implementación y seguimiento. En resumen, el Plan Estatal de Desarrollo busca impulsar el progreso y bienestar de Chihuahua, involucrando activamente a la sociedad en su construcción y ejecución.

8.2.16. Programa de Mediano Plazo Gestión Hídrica 2022-2027 (97)

El Programa de Mediano Plazo de Gestión Hídrica 2022-2027 establece la importancia de la evaluación continua del progreso y el cumplimiento de los objetivos establecidos en el PEH 2040 y en el Plan de Desarrollo 2022-2027, así como la necesidad de fortalecer la coordinación interinstitucional para abordar los desafíos hídricos en el Estado de Chihuahua.

8.3. Marco Normativo Municipal

Conforme al artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, las entidades federativas deben adoptar, para su régimen interior, la forma de gobierno republicano, representativo, democrático, laico y popular, teniendo como base de su división territorial y de su organización política y administrativa, el municipio libre, o las delegaciones políticas sólo en el caso del Distrito Federal. El municipio, a su vez, debe ser gobernado por un ayuntamiento de elección popular directa, integrado por un presidente municipal y el número de regidores y síndicos que la ley determine.

Los municipios están investidos de personalidad jurídica y manejan su patrimonio conforme a la ley. Los ayuntamientos tienen facultades para aprobar, de acuerdo con las leyes en materia municipal que deben expedir las legislaturas de los estados, los bandos de policía y gobierno, así como los reglamentos, circulares y disposiciones administrativas de observancia general dentro de sus respectivas jurisdicciones, de tal manera que organicen la administración pública municipal, regulen las materias, procedimientos, funciones y servicios públicos de su competencia y aseguren la participación ciudadana y vecinal.

Los municipios tienen a su cargo, entre otras, las funciones y servicios públicos de agua potable, drenaje (pluvial), alcantarillado (sanitario), tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

Sin perjuicio de su competencia constitucional, en el desempeño de las funciones o la prestación de los servicios a su cargo, los municipios deben observar lo dispuesto por las leyes federales y estatales.

Los municipios, previo acuerdo entre sus ayuntamientos, pueden coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos o el mejor ejercicio de las funciones que les correspondan. En este caso y tratándose de la asociación de municipios de dos o más entidades federativas, deben contar con la aprobación de las legislaturas de las entidades federativas respectivas. Asimismo, cuando a juicio del ayuntamiento respectivo sea necesario, podrán celebrar convenios con el estado para que éste, de manera directa o a través del organismo correspondiente, se haga cargo en forma temporal de algunos de ellos, o bien se presten o ejerzan coordinadamente por el estado y el propio municipio [(98)].

Por lo que para el manejo, gestión y gobernanza del recurso hídrico en su región, el municipio de Chihuahua a constituido y dado autoridad a las siguientes secretarias y organismos, la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS), Secretaria de Desarrollo Rural, a la vez que desarrollado los programas en materia con el fin de cumplir su compromiso en cuanto al artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, mismo que menciona que: toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.

8.3.1. Lineamientos para la Prestación de los Servicios Públicos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua [99]

Este documento desarrollado por el Gobierno del Estado de Chihuahua establece los lineamientos generales que deben seguir los usuarios de los servicios proporcionados por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS). Con el fin de cumplir con las disposiciones establecidas en la Ley del Agua del Estado de Chihuahua y su reglamento.

8.3.2. Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua [100]

El Plan Sectorial de Drenaje Pluvial en la ciudad de Chihuahua tiene como objetivos principales elaborar el análisis hidrológico de las cuencas que impactan en la zona urbana a partir del cual conocer las condiciones actuales del comportamiento de los escurrimientos pluviales y establecer las estrategias de control, manejo y aprovechamiento de los volúmenes de agua provenientes de la precipitación.

Cabe mencionar que el **Plan Sectorial de Drenaje Pluvial en la ciudad de Chihuahua está dividido en 4 etapas** que se denominan, **diagnostico, estrategias, normatividad y programación**, iniciando con la primera en 2006 y terminando la etapa IV el 2009. Se presenta un análisis de los puntos principales de este Plan debido a su importancia con la gestión y gobernanza de los recursos hídricos del Municipio de Chihuahua.

8.3.3. Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 [101]

El Plan Municipal de Desarrollo de Chihuahua es el resultado de un extenso proceso participativo que incluyó la contribución de cientos de ciudadanos, quienes aportaron propuestas para abordar los problemas del municipio. Este documento es fundamental para la planificación a nivel local y establece las bases para la toma de decisiones, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de la población, basándose en una visión amplia del desarrollo. Se nutrió de diversas fuentes, como propuestas de campaña, diagnósticos de la administración previa, acciones de los primeros 100 días de gobierno, encuestas, entrevistas, y aportaciones del Ayuntamiento y de consejos consultivos. También se incorporaron contribuciones de la ciudadanía a través de foros de consulta, que identificaron problemas y propusieron soluciones, enriqueciendo así el plan. La colaboración de los participantes, junto con funcionarios municipales, ha sido fundamental para definir programas y proyectos que conforman este instrumento de planificación, el cual busca impulsar el desarrollo del municipio de Chihuahua durante el período 2021-2024.

8.3.4. Reglamentación Local Relativa a las Descargas de Aguas Residuales No Domesticas al Sistema de Drenaje [102]

En este reglamento se describe la normatividad establecida por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS) para regular las descargas de aguas residuales en los sistemas de drenaje y alcantarillado bajo su responsabilidad. Se mencionan también diversas regulaciones federales y estatales que respaldan este reglamento, incluyendo la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como disposiciones específicas para el estado de Chihuahua.

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) ejerce autoridad para prevenir y controlar la contaminación del agua de acuerdo con estas leyes. Además, se establece la obligación para las empresas de diferentes sectores (industrial, comercial y de servicios) de registrar sus descargas al alcantarillado y obtener un permiso correspondiente para hacer uso del sistema de recolección de desechos líquidos administrado por el municipio.

8.3.5. Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Cambio Climático del Municipio de Chihuahua [103]

El Reglamento tiene como propósito regular las responsabilidades del Municipio de Chihuahua en relación con la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección del medio ambiente. Este reglamento busca formular la política ambiental municipal, incluyendo la protección, conservación y restauración de los ecosistemas en el municipio, así como prevenir y controlar el deterioro ambiental, en consonancia con otras normativas legales. También se enfoca en la elaboración y aplicación de políticas para adaptarse al cambio climático y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en el municipio de Chihuahua.

8.3.6. Reglamento de Construcciones y Normas Técnicas para el Municipio de Chihuahua [104]

El Reglamento de Construcciones y Normas Técnicas establece reglas y procedimientos para diversas acciones urbanas, incluyendo la ejecución de proyectos arquitectónicos y de construcción, así como el diseño y construcción de instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas y especiales.

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

8.3.7. Reglamento de Protección Civil del Municipio de Chihuahua [105]

El Reglamento de Protección Civil en el Municipio de Chihuahua, tiene como objetivo organizar y regular acciones relacionadas con la protección civil, prevención de desastres y rescate en casos de emergencia.

8.3.8. Reglamento del Parque Metropolitano Tres Presas del Municipio de Chihuahua [106]

El Reglamento establece normas para regular las actividades y el funcionamiento del Parque Metropolitano Tres Presas en el Municipio de Chihuahua, con el objetivo de garantizar su uso adecuado, conservación y promoción cultural.

La aplicación de este reglamento está a cargo de la Dirección de Seguridad Pública Municipal en coordinación con el Fideicomiso del Parque Metropolitano Tres Presas.

8.3.9. Manual de Organización de la Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología [107]

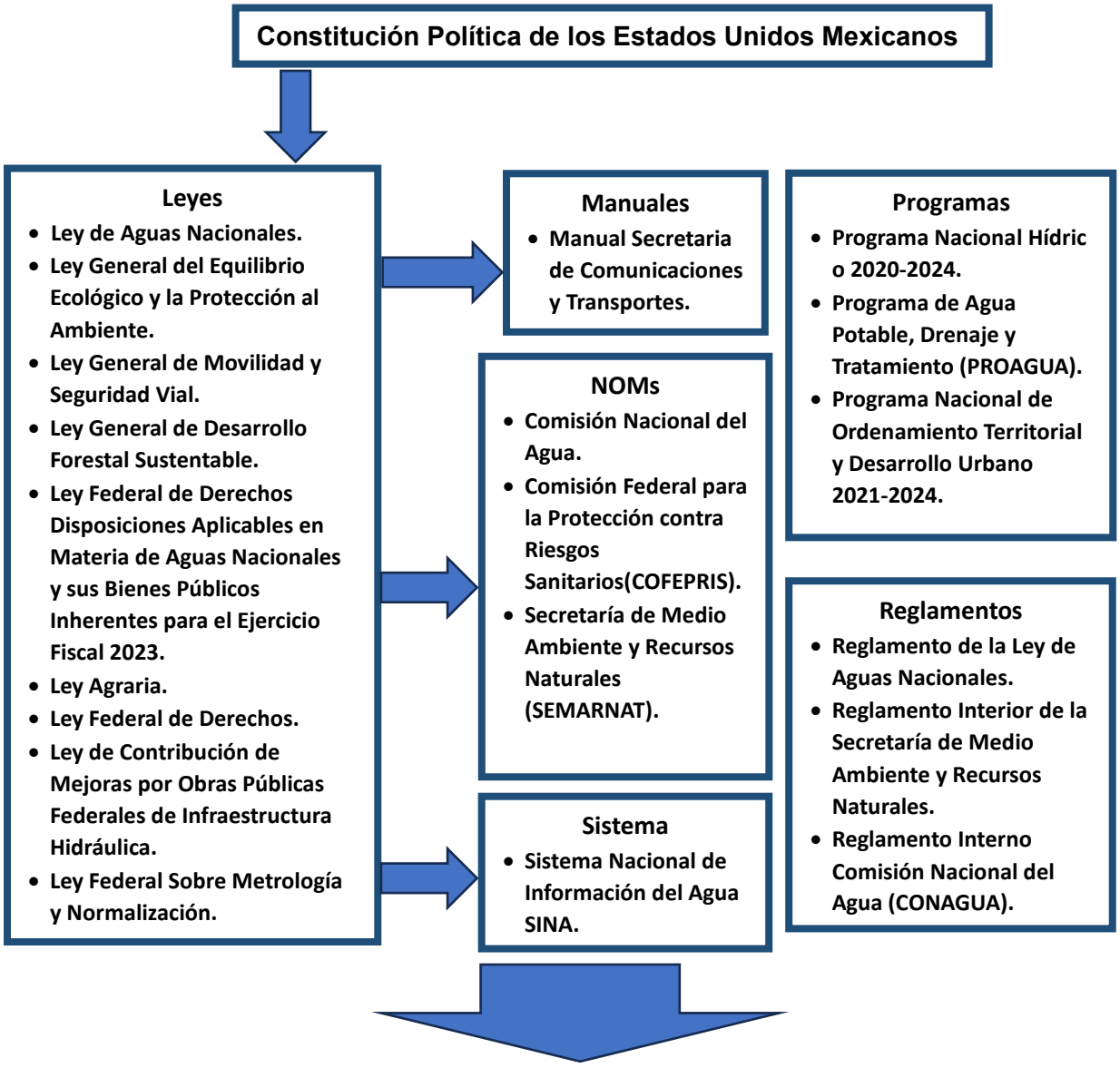
El manual de organización de la Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología busca propiciar la urbanización ordenada, sobre principios de igualdad y respeto. Considera el marco jurídico actualizando las disposiciones en materia de Desarrollo Urbano, priorizando la atención a los grupos de menores ingresos. Busca conducir el ordenamiento urbano de la ciudad y a su zona de influencia rural conforme a las potencialidades de las actividades económicas y a las aspiraciones de todos los chihuahuenses, coadyuvando en la mejora de los sistemas viales y de transporte público, equipamiento e infraestructura vial, acorde a las necesidades derivadas del crecimiento demográfico y socioeconómico.

8.4. Estructura Institucional y Legal para la Administración del Agua en México

El marco legal general que rige el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en nuestro país se encuentra principalmente definido por el artículo 27, párrafo quinto de la Constitución [60]. Este artículo establece que las aguas de los mares territoriales, marinas interiores, lagunas, esteros, lagos, ríos, corrientes, manantiales y las extraídas de las minas son propiedad de la Nación.

Respecto a las aguas subterráneas, el Ejecutivo Federal puede regular su extracción y uso en casos de interés público o cuando se vean afectados otros aprovechamientos, e incluso puede designar áreas restringidas. Además, las leyes derivadas de la Constitución y otras

disposiciones generales relativas a la gestión del recurso hídrico también contribuyen a este marco legal, como se detalla en el siguiente diagrama, donde los colores azul, amarillo y verde corresponde la normatividad federal, estatal y municipal, respectivamente (Figura 42).




Constitución Política del Estado de Chihuahua
Leyes
Ley del agua del estado de Chihuahua.
Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua.
Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Chihuahua.
Ley de Desarrollo Urbano Sostenible del Estado de Chihuahua.
Ley de Vivienda del Estado de Chihuahua.
Ley de Catastro del Estado de Chihuahua.
Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas del Estado de Chihuahua.
Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Chihuahua.
Ley de Transporte del Estado de Chihuahua.
Código
Código Municipal para el Estado de Chihuahua.
Reglamento
Reglamento para los Servicios Públicos de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (Junta Central de Agua y Saneamiento JCAS).
Planes
Plan Estatal Hídrico 2040 del Estado de Chihuahua.
Plan Estatal de Desarrollo Chihuahua 2022-2027.
Decreto
DECRETO No. 176 por el cual queda constituida la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado y DECRETO No. 178 por el cual se aprueba el Reglamento de la Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado.
Programa
Programa de Mediano Plazo Gestión Hídrica 2022-2027.



Figura 42. Diagrama de la estructura institucional y legal para la administración del agua en México. Fuente: elaboración propia.

8.5. Contribución del Estudio que sirva como Herramienta Base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo con relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo busca contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con el agua, tales como el acceso universal al agua potable, la gestión sostenible de los recursos hídricos y la protección de los ecosistemas acuáticos.

Es importante mencionar que se busca alinear la política hídrica con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, garantizando así la seguridad hídrica y el derecho humano al agua y al saneamiento.

8.5.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible [108]

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, fueron adoptados por todos los Estados Miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015. Estos objetivos representan un compromiso global para erradicar la pobreza, proteger el medio ambiente y garantizar la paz y la prosperidad para todas las personas para el año 2030.

Los 17 ODS están interconectados, reconociendo que las acciones en un área pueden influir en los resultados en otras áreas, y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad ambiental, económica y social. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son los siguientes, haciendo énfasis en la gestión y aprovechamiento del recurso hídrico:

1. Fin de la Pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumos responsables
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

La vinculación entre este Estudio que sirva como Herramienta Base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 es fundamental para garantizar la implementación efectiva de políticas y acciones que aborden los desafíos tanto a nivel local como internacional, promoviendo el desarrollo sostenible y el bienestar de las comunidades a través de la coordinación, coherencia, acceso a recursos y financiamiento, aumentando la legitimidad del recurso, así como con el aprendizaje y mejores prácticas para el ahorro y aprovechamiento del agua.

El objetivo general de este estudio Es presentar un Plan que contenga el mapa de ruta con las acciones necesarias para lograr una gestión sostenible del agua en el municipio de Chihuahua.

Este objetivo general se pretende cumplir mediante los 8 objetivos específicos que se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37. Vinculación del Estudio que sirva como Herramienta Base para la elaboración del Plan Municipal Hídrico de Largo Plazo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

		Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)															
	Plan Municipal Hídrico	1. Fin de la Pobreza	2. Hambre cero	3. Salud y bienestar	4. Educación de calidad	5. Igualdad de género	6. Agua limpia y saneamiento	7. Energía asequible y no contaminante	8. Trabajo decente y crecimiento económico	9. Industria, innovación e infraestruc	10. Reducción de las desigualdades	11. Ciudades y comunidades sostenibles	12. Producción y consumos responsables	13. Acción por el clima	14. Vida submarina	15. Vida de ecosistemas terrestres	16. Paz, justicia e instituciones sólidas	17. Alianzas para lograr los objetivos
Objetivos Específicos	1. Contar con los diagnósticos actualizados necesarios para conocer el estado que guarda el agua en el municipio de Chihuahua.	■	■	■			■			■		■	■		■			
	2. Elaborar una prospectiva para determinar el estado futuro del agua en el municipio de Chihuahua y con integración de perspectiva de zona metropolitana.	■	■	■			■			■		■	■		■			
	3. Identificar las acciones pertinentes para el municipio de Chihuahua señaladas en el Plan Estatal Hídrico, el Plan Hídrico Nacional, los Planes de Desarrollo Estatal y Municipal, entre otros instrumentos.	■	■	■			■			■	■	■	■	■	■	■		
	4. Llevar a cabo un proceso de consulta con los sectores y actores relevantes y suficientes en materia de agua en las diferentes etapas de elaboración de este Plan.						■			■		■	■		■		■	
	5. Elaborar una cartera de acciones, normas y proyectos para el corto, mediano y largo plazo orientados a alcanzar una gestión adecuada del agua en todos sus aspectos para el municipio de Chihuahua.	■	■	■			■			■	■	■	■	■	■	■		■
	6. Determinar las acciones necesarias, incluidas las normativas, que permitan disminuir las vulnerabilidades en el ámbito urbano y rural a partir de la gestión adecuada del agua superficial y subterránea para el municipio de Chihuahua y su zona metropolitana.	■	■	■			■			■	■	■	■	■	■	■	■	■
	7. Elaborar una estrategia relacionada con la promoción de la cultura del agua entre la población para el municipio de Chihuahua.						■			■	■	■	■	■	■	■	■	
	8. Elaborar un sistema de indicadores para conocer, monitorear y evaluar las estrategias y proyectos del Plan, así como del uso sostenible del agua en el municipio de Chihuahua.						■			■	■	■	■	■	■	■	■	■

Los objetivos de este estudio están alineados indirectamente con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esto se debe a que las acciones encaminadas a mejorar la gestión del agua y asegurar su acceso equitativo y sostenible tienen impactos positivos en áreas clave como la salud, la seguridad alimentaria, la igualdad de género, la reducción de la pobreza y la preservación del medio ambiente, a continuación, se pueden observar los ODS [58] dentro del contexto de accesibilidad y saneamiento, ahorro y aprovechamiento, gestión y normativas del recurso hídrico.

1. **Fin de la Pobreza:**
   - El acceso al agua potable y servicios de saneamiento adecuados son fundamentales para la salud y el bienestar de las personas, la falta de acceso a estos servicios puede aumentar la vulnerabilidad de las comunidades pobres frente a enfermedades y crisis.
   - La gestión adecuada del agua y su infraestructura pueden reducir el impacto de los desastres naturales y ayudar en la recuperación de las comunidades afectadas.
2. **Hambre cero:**
   - El acceso al agua potable es fundamental para la producción de alimentos, además, la falta de acceso al agua adecuada puede contribuir a la inseguridad alimentaria, especialmente en áreas rurales donde la agricultura depende en gran medida de fuentes de agua disponibles.
   - La crisis alimentaria puede afectar la disponibilidad y calidad del agua, especialmente en áreas donde el acceso al agua ya es limitado, la competencia por recursos limitados, como el agua, puede agravar la situación de inseguridad alimentaria y nutricional.
   - La necesidad de promover prácticas agrícolas sostenibles que conserven y protejan los recursos hídricos, esto incluye técnicas de riego eficientes, la conservación del suelo y la protección de cuencas hidrográficas para garantizar un suministro de agua adecuado para la agricultura a largo plazo.
   - El acceso limitado al agua potable y saneamiento adecuado puede contribuir a la malnutrición, el agua limpia es esencial para la preparación de alimentos seguros y la higiene personal, aspectos clave para prevenir enfermedades y promover una nutrición adecuada.
3. **Salud y bienestar:**
   - La falta de acceso al agua potable y saneamiento adecuado sigue siendo un desafío importante para la salud mundial. Esta falta de acceso contribuye a problemas de salud, es crucial garantizar un acceso equitativo al agua y al saneamiento para mejorar la salud en la comunidad y abordar la malnutrición, se necesitan esfuerzos globales conjuntos para mejorar la gestión del agua, promover el ahorro de agua y garantizar un suministro adecuado para todos, especialmente en regiones donde la escasez de agua es un problema crítico.
4. **Educación de calidad:**
   - La disponibilidad de agua es esencial para garantizar entornos de aprendizaje seguros y propicios.
5. **Igualdad de género:**
   - La participación de las mujeres en la gestión del agua ha sido limitada.
   - Los desafíos en la representación política a nivel global, donde las mujeres ocupan una proporción baja en los parlamentos nacionales, lo que refleja desafíos en la representación femenina en la toma de decisiones sobre políticas relacionadas con el agua.

6. **Agua limpia y saneamiento:**
   - Entre 2015 y 2022, hubo mejoras significativas en el Acceso a servicios de agua, Saneamiento e Higiene en zonas rurales, pero estancamiento o disminución en áreas urbanas.
   - La contaminación por aguas residuales y prácticas agrícolas inadecuadas plantean desafíos para la calidad del agua.
   - La eficiencia en el uso del agua ha mejorado, especialmente en la agricultura, pero se necesitan mayores esfuerzos para abordar el estrés hídrico y mejorar la gestión del agua.
   - La falta de coordinación y acuerdos internacionales amenaza los objetivos de desarrollo relacionados con el agua.
   - Se requiere una aceleración en la gestión integrada de los recursos hídricos y la cooperación transfronteriza para mejorar la resiliencia frente a crisis como el cambio climático.
   - La asistencia para el desarrollo en el sector hídrico ha disminuido, lo que plantea preocupaciones sobre la financiación para abordar los desafíos relacionados con el agua.
7. **Energía asequible y no contaminante:**
   - Aunque no se menciona directamente, el agua podría ser utilizada para fomentar sistemas de energía limpia.
8. **Trabajo decente y crecimiento económico:**
   - Aunque no se mencionar directamente en el objetivo, el recurso hídrico es directa e indirectamente responsable de muchas de las actividades económicas de una región.
9. **Industria, innovación e infraestructura:**
   - Aun que el objetivo 9 no menciona directamente temas relacionados con el agua, la utilización del agua tratada en procesos industriales reduciría la contaminación de esta, así como disminuir el volumen de agua dulce en este sector.
10. **Reducción de las desigualdades:**
    - El objetivo 10 no menciona directamente los temas del agua, del mismo modo la desigualdad social y las comunidades marginadas son muchas veces los que menos acceso tienen al agua entubada o sistemas de drenaje.
11. **Ciudades y comunidades sostenibles:**
    - El crecimiento urbano en ciudades pequeñas y pueblos intermedios está exacerbando la pobreza y las desigualdades, lo que lleva a un aumento de la población en barrios marginales, donde las condiciones de vida suelen ser precarias debido a la falta de acceso al agua potable y saneamiento adecuado.
    - La calidad del agua es un problema tanto en áreas urbanas como rurales, especialmente en los países en desarrollo, donde la contaminación del agua es un desafío significativo debido a la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales.
    - La expansión urbana descontrolada está afectando la disponibilidad y calidad del agua, ya que la planificación urbana inadecuada puede conducir a la contaminación de fuentes de agua y la sobreexplotación de recursos hídricos.
12. **Producción y consumos responsables:**
    - El asegurar que el recurso hídrico se gestione de manera responsable y sostenible, y el recurso se utilice de forma eficiente.

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

13. Acción por el clima:

- Las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyen al aumento de fenómenos climáticos extremos como inundaciones y sequías, lo que afecta la disponibilidad y calidad del agua en diversas regiones.
- La adaptación y mitigación del cambio climático son fundamentales para proteger los recursos hídricos y la resiliencia de las comunidades frente a los impactos del cambio climático, lo que requiere políticas coordinadas, inversión en infraestructuras hídricas resilientes y gestión sostenible de los recursos acuáticos.
- A pesar de la importancia del agua en la agenda climática, aún existen desafíos en la financiación para proyectos relacionados con la gestión del agua y la adaptación al cambio climático, lo que limita la capacidad de los países para hacer frente a los impactos del cambio climático en los recursos hídricos.

14. Vida submarina:

- La eutrofización costera, causada por la agricultura, la acuicultura y las aguas residuales, está provocando la proliferación de algas que dañan la vida marina y los ecosistemas, lo que afecta a las comunidades locales, la pesca y el turismo.
- También la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada es una de las mayores amenazas para los ecosistemas marinos y las comunidades pesqueras, y que se requieren esfuerzos más concertados a nivel mundial para combatirla.

15. Vida de ecosistemas terrestres:

- La expansión de las zonas agrícolas es una de las principales causas de deforestación a nivel mundial, experimentando una gran pérdida de bosques en los últimos años.
- La conservación y la restauración de bosques son fundamentales para proteger los recursos hídricos y garantizar la seguridad hídrica y alimentaria para las comunidades que dependen de ellos.
- La degradación de los suelos, impulsada por la deforestación y otras actividades humanas, afecta la seguridad alimentaria al disminuir la capacidad de los suelos para retener agua y nutrientes.
- La restauración de tierras y ecosistemas ofrece soluciones eficientes para abordar los problemas relacionados con el agua, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la seguridad alimentaria. Esto incluye conservar zonas naturales, mejorar la producción de alimentos sostenibles y desarrollar infraestructuras ecológicas.

16. Paz, justicia e instituciones sólidas:

- Para mejorar el aprovechamiento del agua y lograr la sostenibilidad en una ciudad, es fundamental contar con instituciones gubernamentales sólidas y un sistema de justicia efectivo.

17. Alianzas para lograr los objetivos:

- La colaboración internacional es esencial para abordar los desafíos relacionados con el abastecimiento de recursos y para asegurar que todas las naciones tengan acceso adecuado a ellos.

9. Integración del Análisis de Aguas Subterráneas

En el **capítulo 8. Integración del Análisis de Aguas Subterráneas**, se analiza las aguas subterráneas en el municipio de Chihuahua, con un enfoque en los acuíferos principales que actualmente proveen el suministro de agua. Si bien todos los capítulos han abordado el tema del agua subterránea, dada su importancia como la principal fuente de todos los usos, es crucial presentar la problemática más relevante identificada que debe incluirse en las acciones para abordar en el PMH.

La problemática más significativa identificada en relación con las aguas subterráneas en el municipio de Chihuahua es la sobreexplotación de los acuíferos. Esta se caracteriza por el uso excesivo de agua subterránea, superando la capacidad de recarga natural del acuífero y resultando en una disminución en el nivel del agua subterránea y la degradación de su calidad.

Esta problemática se ve agravada por diversas razones, como el crecimiento demográfico, el desarrollo urbano no planificado, la expansión de la agricultura y la falta de regulación y control en la extracción de agua subterránea.

La integración del análisis de los tres acuíferos que abastecen al municipio de Chihuahua no abarca la generación de datos, muestreos y análisis, ni modelos de simulación. Su objetivo es comprender la compleja dinámica hidrogeológica de la región y adoptar decisiones fundamentadas en cuanto a su gestión y conservación. Para ello, se utiliza toda la información pública existente y la proporcionada por instituciones como JCAS, UACH, JMAS, IMPLAN, gobierno municipal de Chihuahua y otras organizaciones.

En primer lugar, es necesario evaluar la situación actual de los acuíferos, analizando los datos existentes proporcionados por las diferentes instituciones sobre la cantidad y calidad del agua subterránea. Esto incluye los niveles de sobreexplotación, tasas de extracción y la presencia de contaminantes como metales pesados y sustancias orgánicas.

Además, es imperativo identificar y comprender los principales problemas y riesgos asociados con la explotación de estos acuíferos, tales como la contaminación derivada de actividades humanas y la disminución de los niveles de agua debido a la sobreexplotación.

Los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Tabalaopa-Aldama y El Sauz Encinillas en el estado de Chihuahua, México, han sido objeto de numerosos estudios hidrogeológicos debido a su importancia para el suministro de agua en la región [109] [110] [111] [112] [113].

Los estudios realizados tienen como objetivo principal comprender la hidrogeología de los tres acuíferos que abastecen al municipio de Chihuahua. Los objetivos específicos varían según el estudio, pero en general incluyen:

I) Definir las posibilidades hidrogeológicas de diferentes materiales en el área.
II) Cuantificar la disponibilidad de agua subterránea y su distribución.

III) Prever el funcionamiento hidráulico del acuífero.
IV) Identificar áreas favorables para el emplazamiento de pozos de explotación.
V) Estimar la extracción de agua subterránea para diferentes usos.
VI) Actualizar el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas del acuífero.
VII) Formar y calibrar modelos matemáticos que simulen el comportamiento del acuífero.
VIII) Establecer una red de monitoreo confiable para obtener información hidrogeológica-piezométrica.
IX) Determinar la recarga al acuífero y definir las condiciones de explotación.
X) Proporcionar una base de datos integral para respaldar la disponibilidad de agua subterránea.

9.1. Acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS)

El acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS) es el principal y más antiguo recurso de agua subterránea para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Chihuahua. Su importancia radica en su papel como fuente confiable y estable de agua, su sostenibilidad a largo plazo y su valor histórico y cultural para la región. Por lo tanto, su adecuada gestión y conservación son fundamentales para garantizar un suministro continuo de agua potable para la comunidad y para preservar este recurso vital para las generaciones futuras.

Este acuífero, identificado con la clave 0830, se localiza en la porción central del Estado de Chihuahua y cubre una superficie de 1,889 km^2. Comprende parcialmente a los municipios de Chihuahua y Riva Palacio del Estado de Chihuahua, con un 94.3% y un 5.7% de la superficie del acuífero, respectivamente [(114)]. Administrativamente, el acuífero corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo. Los límites del acuífero Chihuahua-Sacramento están definidos por los vértices de la poligonal publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) [(115)].

Modelo Geológico Conceptual

El acuífero Chihuahua-Sacramento se localiza en el centro oriental del estado de Chihuahua, abarcando parte de los municipios Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán. Desde una perspectiva fisiográfica, forma parte de dos provincias geológicas: la Sierra Madre Occidental y la Sierra y Llanuras del Norte (Figura 43). Este acuífero se encuentra emplazado en depósitos aluviales Terciarios-Cuaternarios que llenaron una fosa tectónica, la cual está limitada por diversas sierras, con un espesor mayor en la región este y menor en el sur.

La litología predominante en la zona del acuífero incluye tobas terciarias riolíticas y derrames lávicos andesíticos en la sierra de Majalca y Nombre de Dios. Además, se presentan flujos máficos en el suroeste, y la unidad Riolita Mesteño, compuesta por derrames, domos y sills riolíticos, en los límites sureste, suroeste y noroeste del acuífero. También se encuentran rocas calcáreas cretácicas en el

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

extremo sur del flanco occidental de la sierra Nombre de Dios y en el norte, en la localidad minera de estación Terrazas, así como en la parte sur de la sierra Majalca [114) (116)].

En cuanto al modelo geológico conceptual del ACHS, se encuentra dentro de la región geológica de la Sierra Madre Occidental y las Sierras y Llanuras del Norte. Estas unidades fisiográficas influyen en la distribución de los depósitos aluviales y en la configuración de la cuenca hidrogeológica del acuífero.

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

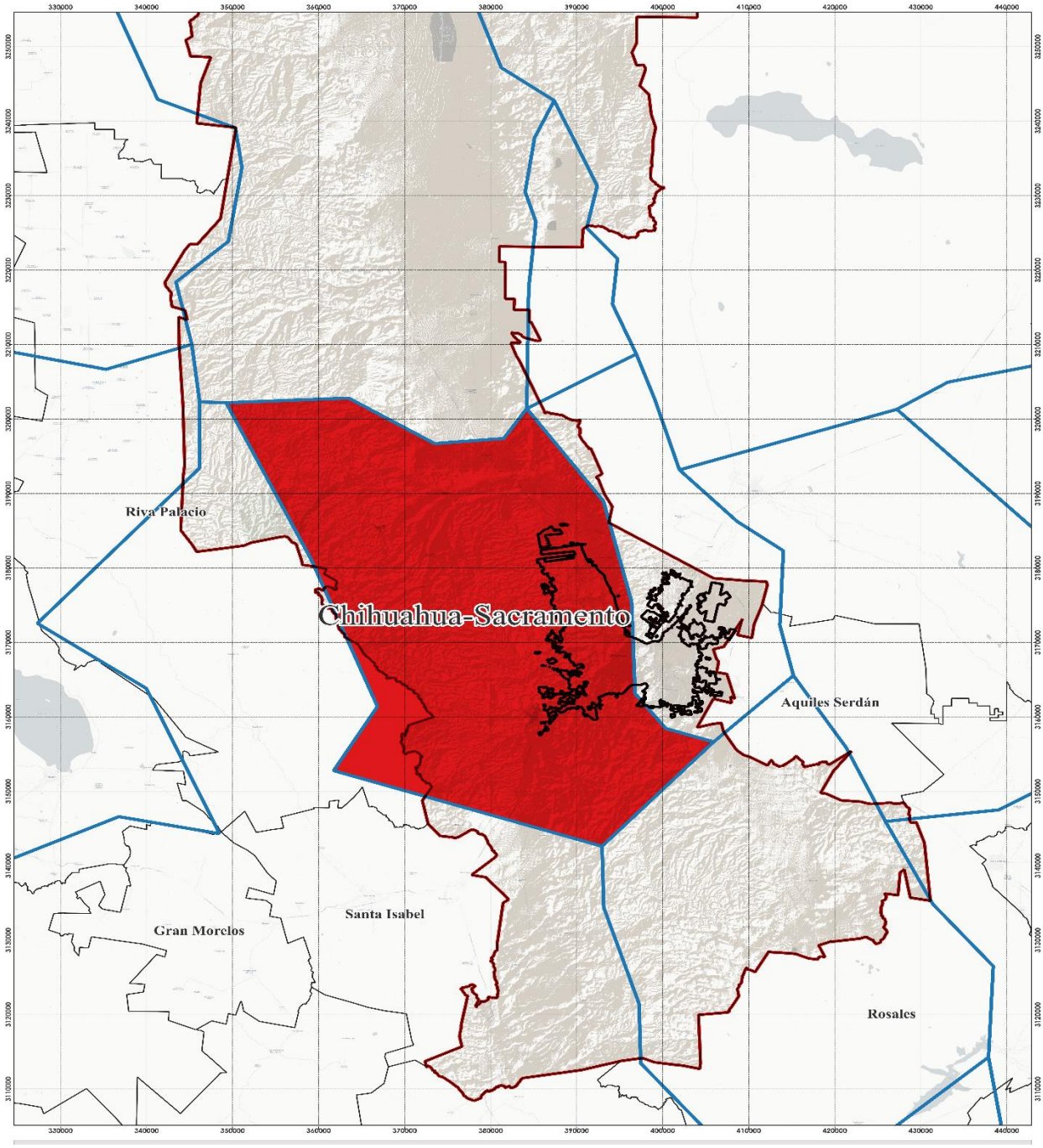


Figura 43. Mapa del acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI [117] *y CONAGUA* [118].

El acuífero Chihuahua-Sacramento, situado en el centro del estado de Chihuahua, exhibe una geología estructural que influye en su composición y distribución [119] [120]. Está compuesto

principalmente por materiales de relleno, como gravas, arenas, arcillas y rocas ígneas extrusivas, así como sedimentarias detríticas y calizas. La geología del subsuelo refleja una serie de eventos geodinámicos a lo largo del tiempo, incluyendo la Orogenia Laramide durante el Terciario inferior y la orogenia del Terciario medio, que moldearon el paisaje regional. Además, la actividad volcánica en la Sierra Madre Occidental dejó una serie de rocas volcánicas que cubren parte del acuífero. La sedimentación posterior incluye depósitos continentales y aluviales, así como sedimentos no consolidados durante el Pleistoceno y Holoceno.

El acuífero Chihuahua-Sacramento se encuentra en sedimentos clásticos de relleno de fosa tectónica ("Fosa Chihuahua"), que se desarrolla con un rumbo NNO-SSE y representa la continuidad hacia el sur de la fosa tectónica del Sauz-Encinillas. Está limitado por el bloque tectónico Mogote-La Haciendita al oeste y el bloque Sacramento al este. Se estima que el espesor del relleno aluvial en la zona de Sacramento-Ejido Ocampo, que constituye el límite norte del acuífero, es de alrededor de 300 m. Este espesor disminuye hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, principalmente hacia el oeste y al sur de la cuenca, hacia el río Chuvíscar.

En términos de permeabilidad, se observan grandes espesores de sedimentos de grano grueso como arena y gravas, así como conglomerados parcialmente consolidados con permeabilidad media a alta. Se espera encontrar zonas con una mayor concentración de sedimentos finos como limos y arcillas en este tipo de ambiente sedimentario. A mayor profundidad, las rocas calizas cretácicas del basamento regional presentan buena permeabilidad, mientras que las ignimbritas de composición riolítica compactas y la secuencia volcánica predominantemente andesítica muestran baja permeabilidad en el subsuelo, pero pueden constituir zonas de recarga en superficie cuando presentan fracturamiento [(114)].

Hidrogeología

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten clasificar al acuífero Chihuahua-Sacramento como un acuífero tipo libre a semiconfinado, heterogéneo y anisótropo que se desarrolla en forma conjunta tanto en el medio granular como en el fracturado, conformando una sola unidad hidrogeológica. Su espesor varía de 350 a 750 m en sus extremos sureste y noroeste, respectivamente [(114)]. Localmente, se presentan condiciones de confinamiento que provocan artesianismo. El medio poroso se depositó en el valle que representa la fosa tectónica y tiene un espesor que varía de 150 m en su porción sur a 460 m en su extremo norte. Por otro lado, el medio fracturado está representado por rocas volcánicas de composición félsica que presentan espesores que varían de 250 a 550 m en las zonas de recarga; mientras que en el valle se estima que las rocas que forman parte del acuífero tienen un espesor de 200 a 350 m [(114)].

A mayor profundidad, las rocas calizas presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y constituyen otra unidad que no ha sido aún explorada, pero se tiene evidencia de ellas en los trabajos mineros, principalmente en acuíferos vecinos. Las formaciones calcáreas Benigno y Chihuahua llegan a tener mayores espesores que las rocas volcánicas, sin embargo, su limitada extensión disminuye su potencial acuífero.

En cuanto a los parámetros hidráulicos encontrados en los distintos estudios, se observa que los valores de transmisividad en el ACHS oscilan ampliamente, desde 5 hasta 1200 m²/día, con una media de 433 m²/día. La conductividad hidráulica varía entre 0.04 y 8.8 m/día. Aunque ninguna prueba contó con un pozo de observación, se estima que el rendimiento específico (Sy) fluctúa entre 0.10 y 0.16, con un promedio de 0.13.

9.1.1. Censo de aprovechamientos

En el acuífero Chihuahua-Sacramento se han llevado a cabo tres censos de aprovechamientos. El primero fue realizado en 1986 por Ariel Consultores, S.A. para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) [(121)], el segundo en 2009 por la Universidad Autónoma de Chihuahua, también para CONAGUA, y una actualización del censo de 2009 en 2011, también realizada por la UACH por encargo de la JCAS. Hasta la fecha, no se ha publicado un censo oficial más reciente, por lo que se utilizará la información disponible en las plataformas de CONAGUA.

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [(38)] hasta el 31 de diciembre de 2023, se tienen registrados 356 aprovechamientos de agua subterránea en el acuífero Chihuahua-Sacramento, con un volumen autorizado de 151,918,276.8 m^3 anuales. De estos, 50 corresponden a aprovechamientos identificados como folios 8 (Tabla 38); estos son los aprovechamientos que no cuentan con una asignación o título de concesión, ya que se encuentran en lo que anteriormente se denominaba "zona de libre alumbramiento".

Tabla 38. Resumen de aprovechamientos con folio 8 registrados en el ACHS. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA [(38)].

FOLIOS 8		
Uso	**No. Aprovechamientos**	**Volumen (m^3/año)**
AGRICOLA	32	2,209,534
INDUSTRIAL	6	2,006,137
PUBLICO URBANO	2	116,000
DOMESTICO	2	4,720
SERVICIOS	1	4,000
OTROS	7	282,968.8
Total	**50**	**4,623,359.8**

En cuanto al volumen autorizado para la extracción de agua del acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS) destinado al uso público urbano, específicamente otorgado al organismo

operador, este representa el 85% del total del volumen de agua subterránea, como se indica en la Figura 44. El uso agrícola e industrial tiene porcentajes similares (7 y 6% respectivamente). Este dato es relevante, ya que la gestión de este acuífero y la política pública del organismo operador son determinantes para garantizar su sostenibilidad.

En la publicación de disponibilidad de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 2015, la extracción del organismo operador representaba el 78% del total, con un volumen autorizado de 101,738,018 m^3 por año. Se observa un incremento del 50% en la extracción, lo que podría deberse a una actualización en el REPDA.

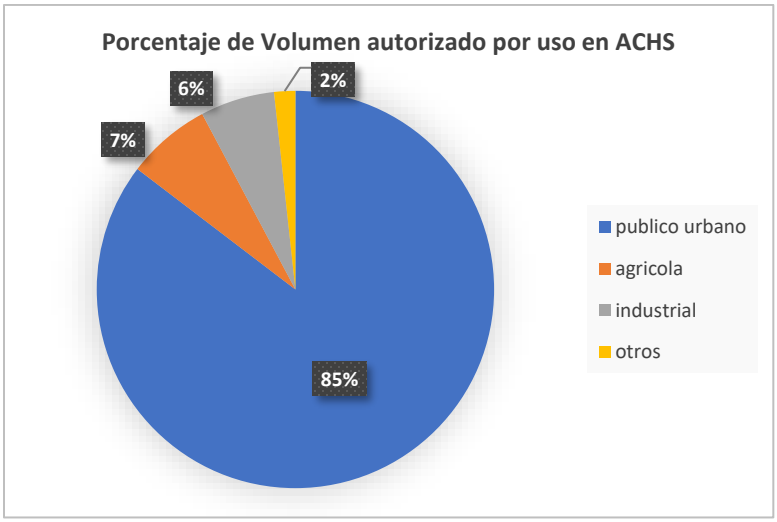


Figura 44. Volúmenes autorizados por uso de forma anual en el ACHS. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA [53].

Dado que no se dispone de un censo actualizado, y considerando que el uso más importante del agua subterránea es el público urbano, se estima que el 48% del agua subterránea extraída y suministrada a la ciudad proviene del Acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS). Sin embargo, este porcentaje solo representa el 49% del volumen autorizado que el organismo operador tiene para utilizar del ACHS.

Otro uso significativo, debido a su ubicación en la zona de influencia de la mancha urbana, es el industrial, con un volumen autorizado de extracción en el ACHS de 9,184,670 m^3. Sería importante integrar o estructurar la información de los aprovechamientos de este uso para proporcionar certidumbre a la actividad económica industrial, que es uno de los principales contribuyentes al Producto Interno Bruto (PIB) del municipio a través de las maquiladoras.

Piezometría

El análisis del comportamiento de las cargas hidráulicas se realizó utilizando datos de profundidad del nivel del agua subterránea y las elevaciones de los brocales en m sobre el nivel del mar (msnm) para construir configuraciones que representan la profundidad, elevación y evolución del nivel del agua en el período de 2019 a 2023. Esto se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS y se comparó con los resultados obtenidos en el estudio realizado en 2021.

En la configuración de la profundidad del nivel del agua para el año 2023 (Figura 45) se observan variaciones significativas. Se registran profundidades máximas de alrededor de 170 a 190 m en la porción poniente del acuífero. Las profundidades mayores siguen un patrón paralelo bordeando el límite de la zona serrana (oeste) con el valle. Por otro lado, las profundidades mínimas van de 9 a 33 m en la porción sur del acuífero, siguiendo la dirección de flujo desde la sierra azul hacia la junta de los ríos Chuvíscar y Sacramento.

Además, se encuentran profundidades que oscilan en el valle, en la parte norte desde la colindancia con el Acuífero El Sauz-Encinillas (ASE) hasta el centro de la mancha urbana, de 150 a 90 m. En las colindancias o márgenes del río Sacramento, oscilan de 40 a 60 m. En términos generales, presentan el mismo patrón que en 2021. En promedio aritmético, las profundidades del nivel estático son alrededor de 100 m.

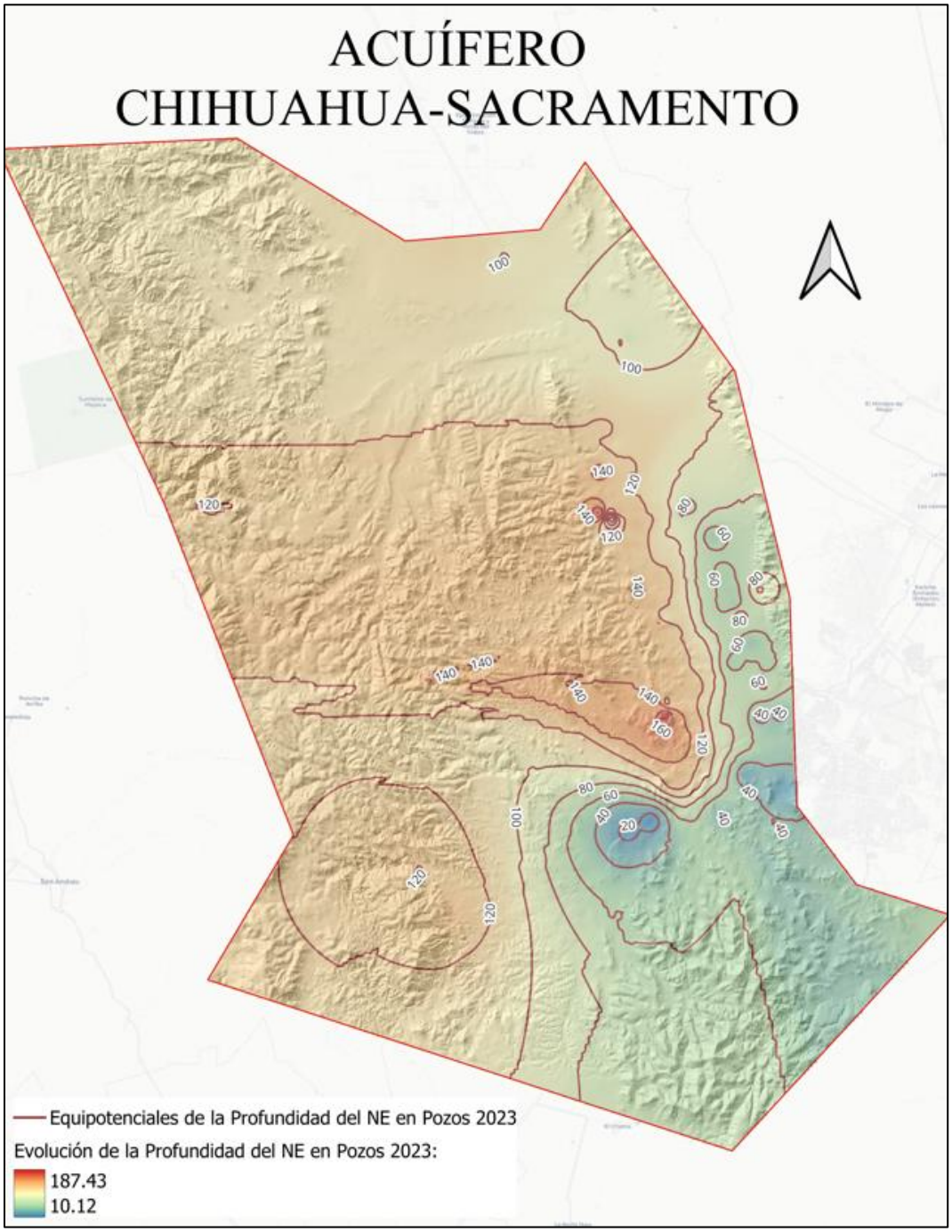


Figura 45. Profundidad del nivel estático para el año 2023 del ACHS. Fuente: elaboración propia con datos de la JMAS (2023).

Se destaca que la dirección preferencial del flujo mantiene una trayectoria paralela al río Sacramento de Noroeste a Sureste, y de forma transversal desde la sierra la Carbonera hasta el río Sacramento, y desde la sierra Azul hacia la confluencia de los ríos.

Es decir, que la dirección del flujo del agua subterránea se desplaza desde las sierras, como la de El Mogote en el extremo occidental del acuífero, hacia la sierra Nombre de Dios en el lado oriental, en dirección al centro del valle. Sin embargo, se identifican varios conos de abatimiento en el flanco oriental de la sierra El Mogote, los cuales interceptan parte del flujo de agua subterránea

En la configuración se pueden identificar tanto recuperaciones (valores positivos) como abatimientos (valores negativos). Los abatimientos más significativos se observan en la porción centro-noroeste del acuífero, con un valor máximo de -23.6 m. El descenso promedio de la superficie freática en este periodo fue de -2.13 m.

Por otro lado, se registran algunas recuperaciones menores en la porción centro-sur del acuífero, particularmente en la zona urbana de la ciudad de Chihuahua, con valores que oscilan entre 1 y 4.4 m. En términos generales, el acuífero experimenta una tasa anual de abatimiento promedio de –1 a -0.55 m en este periodo. Se verifica que la zona de descarga, o sistema de flujo local, corresponde a la porción ribereña del río Sacramento, mientras que la zona de recarga, es decir, el sistema de flujo local, intermedio y regional corresponde a las proximidades de las elevaciones que bordean el valle de la ciudad de Chihuahua, que se extiende hasta la zona norte del acuífero, al norte del ejido Ocampo.

9.1.2. Balance hídrico

Dada la complejidad de la integración y análisis de datos e información sin generar estimaciones de caudales de explotación y censos de aprovechamientos dentro de los acuíferos, este tema es un área de actualización urgente. Por esta razón, en todos los capítulos donde se menciona la disponibilidad según lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 [(10)], se utilizan los datos oficiales publicados en la plataforma de la CONAGUA para el año 2023 [(38)], abarcando los tres acuíferos considerados.

En la publicación del 2023 de CONAGUA [(114)], referente a la actualización de disponibilidad media anual para el ACHS. Se resalta que utiliza datos del censo de 2009, los cuales son los siguientes:

- Se cuenta con un total de 602 aprovechamientos de aguas subterráneas, de los cuales 331 están activos y los 271 restantes están inactivos. Entre estas obras, se cuentan 527 pozos y 75 norias.
- El volumen total de extracción estimado asciende a 67.2 hm^3 anuales, de los cuales el 78 % (52.4 hm^3) se destina al abastecimiento de agua potable, para la ciudad 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

Además, se asigna un 15% (10 hm^3) para uso agrícola y el 7% restante (4.8 hm^3) para otros fines menores. Es importante señalar que, en años anteriores, el uso público urbano manejaba caudales más elevados, con una concesión en torno a los 80 hm^3.

- Por otro lado, el volumen de extracción de aguas subterráneas reportado por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [(38)] es de 122,498,960 m^3 anuales, según datos actualizados hasta el 30 de diciembre de 2022.
- La recarga total media anual del acuífero estimada de 56.6 hm^3/año, considerando tanto la recarga natural como la inducida.
- La Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea (DMA) se calcula restando la descarga natural comprometida (DNC) y el volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) al volumen de recarga total media anual (R).
- Para este acuífero, el cálculo resulta en un valor negativo de -65.898960 hm^3/año, lo que indica un déficit en la disponibilidad de agua subterránea para nuevas concesiones.

En cuanto al análisis del realizado en el REPDA con actualización al 31 de diciembre del 2023, se tiene [(38)]:

- Se tiene 356 aprovechamientos de aguas subterráneas, con un volumen total autorizado de 151,918,276.80 m^3/año; es decir 29,419,316.80 m^3 adicionales.
- De estos aprovechamientos 113 están registrados para la actividad agrícola con un volumen anual autorizado de 10,428,080.00 m^3, que en comparación a la publicación de disponibilidad del 2023 muestra valores similares.
- 71 aprovechamientos están registrados para uso público urbano con un volumen anual autorizado de 130,344,975.00 m^3, que, en comparación a la publicación de disponibilidad del 2023, se duplico el volumen que se reporta en la publicación.
- Aunque en la publicación no se detalle el uso industrial es importante mencionar que en este acuífero por representar casi lo mismo que el agrícola con un volumen de acuerdo con el REPDA de 9,184,670.00 m^3, se tienen 42 aprovechamientos, es decir con menos de la mitad de los aprovechamientos que el agrícola pueden extraer volúmenes similares.

9.2. Acuífero Tabalaopa-Aldama (ATA)

El acuífero Tabalaopa-Aldama, designado con la clave 0835 por la Comisión Nacional del Agua, está situado en la región central del estado de Chihuahua. Sus coordenadas abarcan los paralelos 28°32’30” y 29°0’0” de latitud norte, y los meridianos 106°10’0” y 105°52’0” de longitud oeste, ocupando una superficie de 728 km^2. Limita al norte con los acuíferos Laguna El Diablo y Laguna de Hormigas, al este con Aldama-San Diego, al oeste con el acuífero Chihuahua-Sacramento, y al sur con el Acuífero Villalba, todos ubicados en el estado de Chihuahua [(122)].

El acuífero Tabalaopa-Aldama (ATA) desempeña un papel crucial en el municipio de Chihuahua, siendo una fuente vital de agua subterránea para satisfacer las necesidades domésticas, industriales y agrícolas de la región. Su relevancia se extiende a la sustentabilidad ambiental al mantener los ecosistemas locales y la agricultura, además de asegurar la disponibilidad de agua para la ciudad y las comunidades circundantes. Por tanto, la conservación y el manejo sostenible de este acuífero son esenciales para garantizar un suministro continuo de agua y fomentar el desarrollo económico y social de la zona. El ATA abarca parcialmente los municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua, ocupando una extensión de 728 km^2 en total.

Modelo Geológico Conceptual

El ATA, situado en la región centro-este del estado de Chihuahua, abarca parcialmente los municipios de Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán, y forma parte de la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte, específicamente de la subprovincia del Bolsón de Mapimí (Figura 46) [(122)]. Esta área se caracteriza por la presencia predominante de llanuras aluviales y bajadas, intercaladas con pequeñas sierras escarpadas y plegadas, así como lomeríos asociados a rocas volcánicas y calizas.

Dentro del acuífero Tabalaopa-Aldama se observan llanuras Inter montañas divididas por serranías de rocas volcánicas, con bloques de fallas escalonadas originados por fallas normales que conforman los pilares tectónicos de las sierras Nombre de Dios y El Cuervo. Estas sierras presentan una variación en la composición litológica, siendo predominantemente ígneas en el oeste y cretácicas plegadas en el este y sur [(123)].

El acuífero está compuesto principalmente por depósitos aluviales y fluviales del Cuaternario, con una secuencia granular no consolidada intercalada con rocas volcánicas. Esta configuración puede dividirse en dos medios, granular y fracturado [(122)].

Estructuralmente, la zona presenta numerosas fallas normales con orientación noroeste-sureste, que afectan toda la secuencia estratigráfica y causan fracturamiento en las rocas volcánicas debido al evento distensivo de cuencas y sierras. Además, se observan pliegues anticlinales y sinclinales en rocas cretácicas al noreste del acuífero, resultado del evento compresivo de la Orogenia Laramide.

El acuífero Tabalaopa-Aldama se encuentra dentro de las provincias fisiográficas Sierras Marginales y Cuencas y Sierras, y forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental. Esta área

presenta una topografía suave, con cordilleras y valles alargados orientados generalmente de norte a noroeste [124] [125].

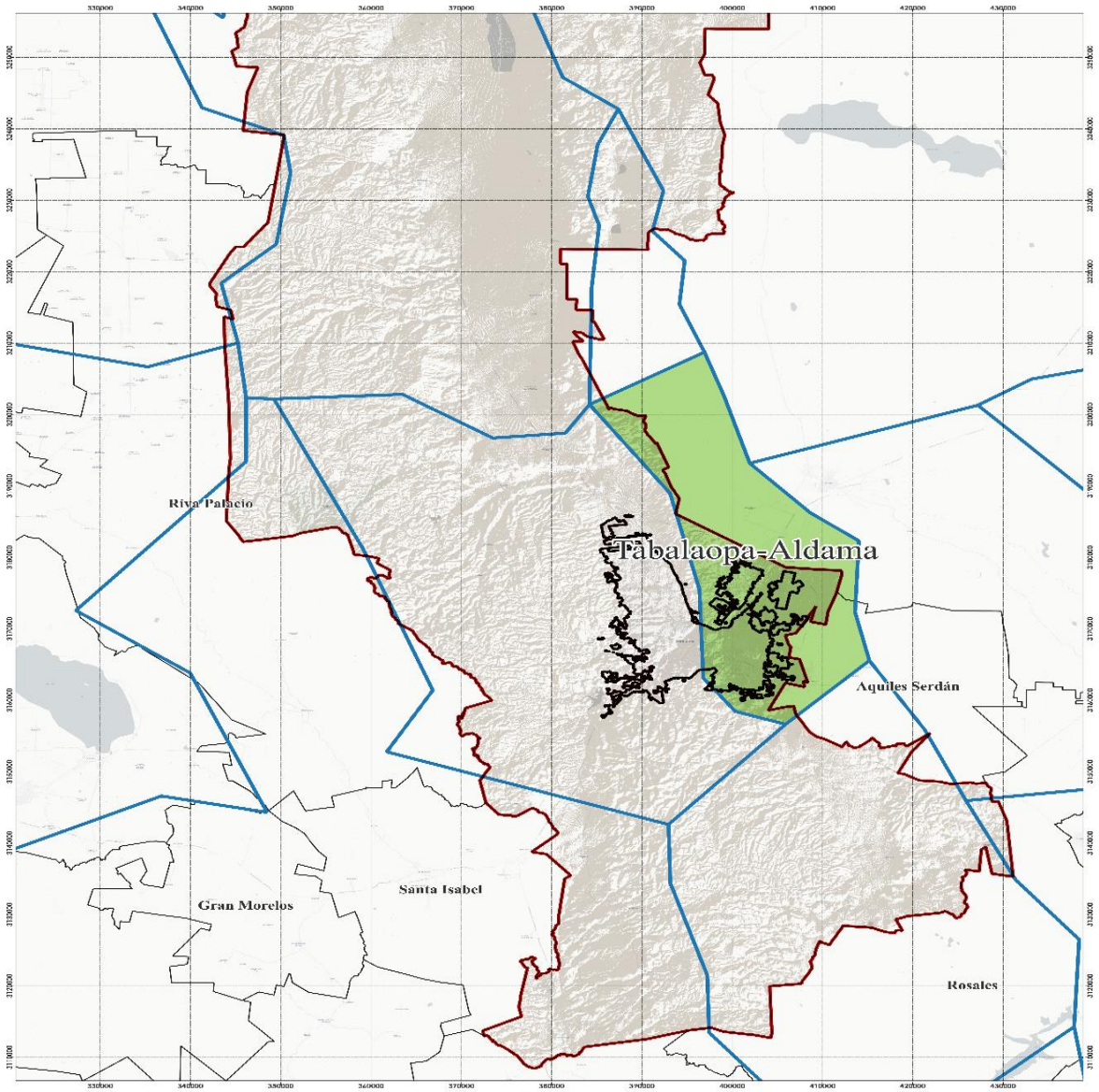


Figura 46. Mapa del Acuífero Tabalaopa-Aldama. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI [117] y CONAGUA [118].

El ATA se caracteriza por ser un sistema complejo y heterogéneo, compuesto por diferentes unidades geológicas y estructurales que influyen en su comportamiento hidrogeológico [119] [126] [120].

El acuífero está alojado en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, compuesto por depósitos de arenas intercaladas con limos y arcillas. Estos depósitos tienen espesores variables que oscilan entre 50 y 800 m. Además, debajo de este paquete aluvial, se encuentra una secuencia volcanoclástica compuesta por riolitas, tobas y piroclastos, cuyas permeabilidades varían de baja a media, lo que sugiere la presencia de dos medios acuíferos: uno granular y otro fracturado.

El basamento del acuífero está constituido por rocas gnéisicas, anfibolíticas, graníticas y metamórficas del Precámbrico. Estas rocas han experimentado fases compresivas y distensivas que han dado lugar a grandes bloques emergidos y/o hundidos, así como a fallas normales de orientación noroeste–sureste que afectan a toda la secuencia estratigráfica. La zona donde se encuentra el acuífero se caracteriza por una etapa de madurez geomorfológica, con un avanzado grado de denudación de las estructuras y un drenaje bien integrado. Se observa un drenaje dendrítico-paralelo predominante, aunque también se encuentran otros tipos de drenaje como el radial y el dendrítico rectangular. Las zonas bajas del acuífero se consideran zonas de recarga difusa, especialmente en áreas con abanicos aluviales y pendientes suaves.

Hidrogeología

El acuífero Tabalaopa-Aldama se caracteriza por ser de tipo libre y poseer una permeabilidad que varía de media a baja. Está alojado en sedimentos aluviales depositados en el centro del valle, compuestos por arenas intercaladas con arcillas y limos estratificados, con un espesor de hasta 800 m [122]. La principal fuente de recarga es el agua de lluvia, tanto la que se infiltra en las zonas altas como la que se precipita directamente en el valle y los retornos de riego agrícola.

Utilizando la información oficial publicada por CONAGUA [122] se pueden analizar los resultados de la interpretación de los valores de transmisividad obtenidos, los cuales presentan una variabilidad significativa, desde 4.3 hasta más de 4,800 m^2/día. En cuanto a la conductividad hidráulica, los valores reportados oscilan entre 0.0085 y 9.7632 m/día. Los valores más altos de estos parámetros hidráulicos se encuentran en los aprovechamientos cercanos al río Chuviscar.

Al realizar un análisis más detallado y descartar los valores atípicos, se obtiene una transmisividad media de 2.44×10^{-6} m^2/s y una conductividad hidráulica promedio del orden de 4.34×10^{-8} m/s.

9.2.1. Censo de aprovechamientos

En el ATA se han realizado varios censos de aprovechamientos a lo largo de los años. El primero fue llevado a cabo en 1971 por Ariel Consultores [123]; el segundo se realizó en 1987 [128], en el 2012 por parte de la JMAS y la JCAS, y en el 2022 la Universidad Autónoma de Chihuahua [20], por encargo de

la JCAS, llevó a cabo un inventario exclusivamente de aprovechamientos para uso público urbano. Hasta la fecha, no se ha publicado un censo oficial más reciente, por lo que se utilizará la información disponible en las plataformas de CONAGUA.

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [38] hasta el 31 de diciembre de 2023, se tienen registrados 389 aprovechamientos de agua subterránea en el acuífero Tablaopa-Aldama con un volumen autorizado de 164,649,052.8 m^3 anuales. De estos, 55 corresponden a aprovechamientos identificados como folios 8 (Tabla 39); estos son los aprovechamientos que no cuentan con una asignación o título de concesión, ya que se encuentran en lo que anteriormente se denominaba "zona de libre alumbramiento".

Tabla 39. Resumen de aprovechamientos con folio 8 registrados en el ATA. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA [38].

FOLIOS 8		
Uso	**No. Aprovechamientos**	**Volumen (m^3/año)**
AGRICOLA	40	5,978,817
INDUSTRIAL	2	224,000
PUBLICO URBANO	1	15,000
DOMESTICO	3	2,262.5
SERVICIOS	4	470,000
OTROS	5	103,371.87
Total	**55**	**6,793,451.37**

En relación con el volumen autorizado para la extracción de agua del ATA destinado al uso público urbano, este representa el 81% del total del volumen de agua subterránea. Según la publicación de disponibilidad de CONAGUA en 2016, la extracción alcanzó los 75.1 millones de m^3 anuales, lo que significa un incremento del doble en la autorización de extracción respecto al año anterior, cuando el volumen para uso público urbano representaba solo el 42%.

De acuerdo con los datos del organismo operador, se extrae un volumen promedio anual de 43,291,359 m^3, lo que equivale al 27% del volumen autorizado para todas las formas de uso del ATA. Como se muestra en la Figura 47, el uso industrial es insignificante, representando menos del 1%, mientras que el uso agrícola tiene un volumen autorizado del 17%. Estos datos son relevantes para la gestión de este acuífero, ya que la política pública del organismo operador juega un papel determinante en la sostenibilidad de este recurso hídrico.

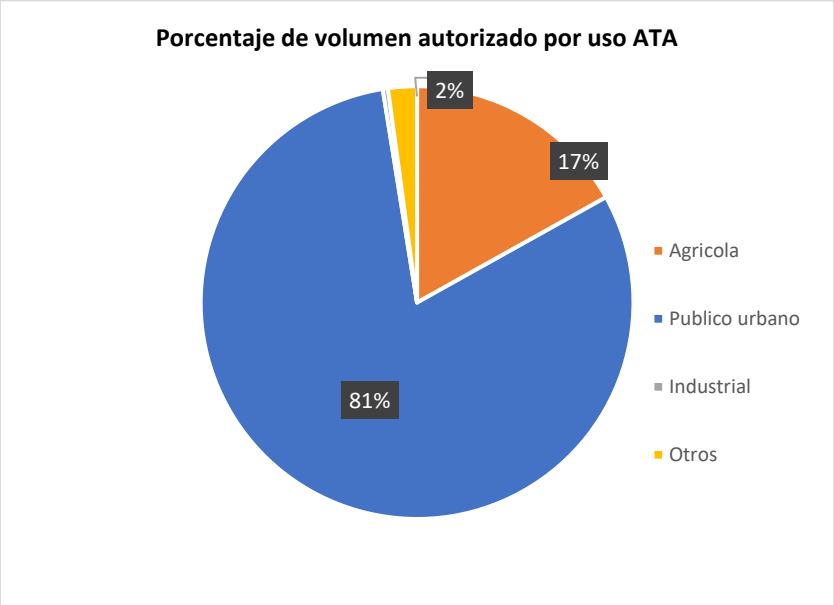


Figura 47. Volúmenes autorizados por uso de forma anual en el ATA. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA [38].

Piezometría

El análisis del comportamiento de las cargas hidráulicas se realizó utilizando datos de profundidad del nivel del agua subterránea y las elevaciones de los brocales en metros sobre el nivel del mar (msnm), con el fin de construir configuraciones que representen la profundidad, elevación y evolución del nivel del agua en el periodo de 2019 a 2023. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS y se comparó con los resultados obtenidos en el estudio realizado en 2021.

En la configuración de la profundidad del nivel del agua para el año 2023 en el ATA (Figura 48), se observan variaciones significativas en diferentes zonas. En la porción sureste, hacia el poniente de la sierra Santa Eulalia, se registran valores máximos de más de 201 m en pozos destinados para uso público urbano. En la zona centro-poniente, hacia el sur de la Sierra Nombre de Dios, las profundidades máximas alcanzan aproximadamente los 18 m. El patrón de profundidades sigue las trayectorias de los arroyos que convergen en el río Chuviscar, donde en el arroyo del Mimbre van desde los 200 hasta los 70 m. Por otro lado, las profundidades mínimas se encuentran hacia el norte del acuífero, en el bosque de Aldama o la boquilla de Aldama, con valores entre 10 y 20 m.

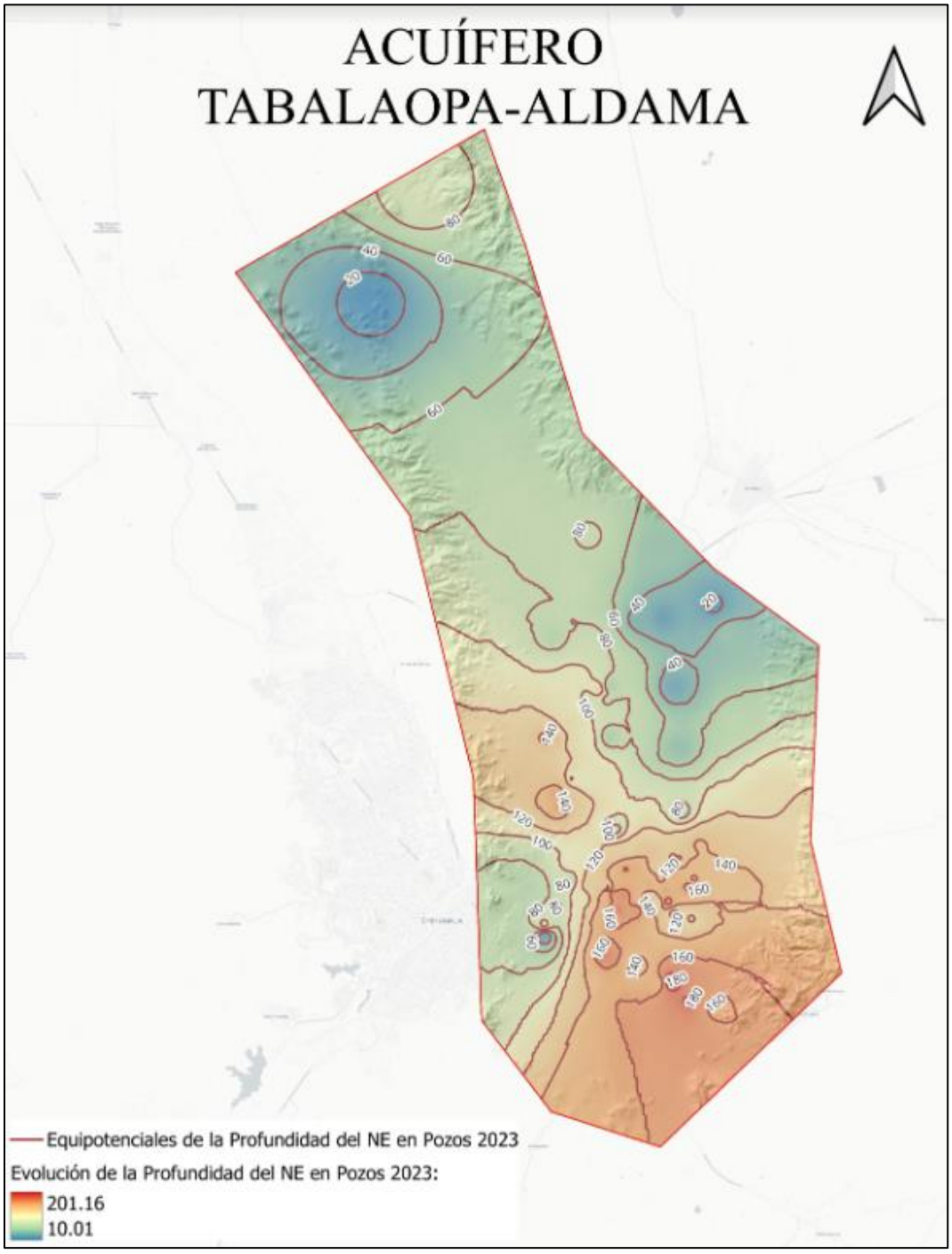


Figura 48. Profundidad del nivel estático para el año 2023 del ATA. Fuente: elaboración propia con datos de la JMAS (2023).

En general, las profundidades menores se encuentran en la parte central del acuífero, a lo largo del río Chuviscar, y aumentan a medida que nos alejamos de esta zona hacia las sierras Nombre de Dios y San Ignacio. En el área que comprende la parte baja del río Chuviscar y el arroyo Mimbre, hasta el centro del acuífero, se observan zonas con poca profundidad al nivel estático, alrededor de los 20 m. Esta característica puede atribuirse a la saturación o recarga del subálveo debido al caudal que proviene de las aguas residuales de la ciudad.

Así mismo, se puede considerar, que, al entrar en funcionamiento, el nivel desciende en promedio 40 m, con el caudal promedio de explotación nos refiere un caudal especifico de 0.7 l/m, para el 2019 y para el 2023 el descenso de operación promedio es de 56 m, con un caudal especifico de 0.5 l/m. Esto puede deberse a las fluctuaciones de las eficiencias de los equipos de bombeo que en promedio descendió del 57% en el 2019 al 51% para el 2023.

La dirección general del flujo del agua subterránea va desde las sierras, como la Sierra Nombre de Dios al poniente del acuífero, hacia la Sierra San Ignacio al oriente y hacia el centro del valle. Se identifican zonas con conos de abatimiento en varias direcciones.

La configuración actualizada muestra que los descensos en los niveles de agua subterránea son más acelerados en algunas zonas, conocidas como conos de abatimiento, mientras que permanecen moderados en el resto del acuífero, en comparación con el periodo anteriormente analizado [17]. En áreas colindantes entre el suroriente de la ciudad de Chihuahua y Aquiles Serdán, se registran los mayores descensos, del orden de -30 m. Se observan descensos promedio alrededor de las márgenes del arroyo el mimbre y del río Chuviscar, que van desde -10 a -2 m, mientras que se define un área extensa con cambios nulos, es decir, una evolución igual a cero.

En este acuífero, los descensos menores se presentan en la porción central, a lo largo del río Chuviscar y sus alrededores, incrementándose a medida que se aleja de esta zona hacia las sierras Nombre de Dios y San Ignacio. En general, el acuífero experimenta un descenso promedio que representa un abatimiento promedio anual de aproximadamente -2.3 m en el periodo analizado de 2019 a 2023. Se verifica que la zona de descarga o sistema de flujo local corresponde a la porción ribereña del río. Los pozos donde se tienen mayores profundidades de perforación están captando el agua del flujo intermedio a regional.

9.2.2. Balance hídrico

Dada la complejidad de la integración y análisis de datos e información sin generar estimaciones de caudales de explotación y censos de aprovechamientos dentro de los acuíferos, este tema es un área de actualización urgente. Por esta razón, en todos los capítulos donde se menciona la disponibilidad según lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 [10], se utilizan los datos

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

oficiales publicados en la plataforma de la CONAGUA para el año 2023 [122] abarcando los tres acuíferos considerados.

En la publicación del 2023 de CONAGUA referente a la actualización de disponibilidad media anual para el ATA. Se resalta que utiliza datos del censo de 2007 los cuales son los siguientes:

- Se cuenta con un total de 344 aprovechamientos de aguas subterráneas, de los cuales 210 corresponden a pozos y 134 a norias.
- El volumen total de extracción estimado asciende a 75.1 hm^3 anuales, de los cuales 34.4 hm^3 (45.8%) se destinan al uso público urbano, 31.3 hm3 (41.7%) para uso agrícola, 8.1 hm3 (10.8%) para usos múltiples y el resto para uso doméstico e industrial.
- Por otro lado, el volumen de extracción de aguas subterráneas reportado por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [38] es de 76,373,896 m^3 anuales, según datos actualizados hasta el 30 de diciembre de 2022.
- La recarga total media anual del acuífero estimada es de 76.5 hm^3/año, de los cuales 70.2 son recarga natural y los 6.3 restantes corresponden a la recarga por retornos de riego.
- La Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea (DMA) se calcula restando la descarga natural comprometida (DNC) y el volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) al volumen de recarga total media anual (R).
- Para este acuífero, el cálculo resulta en un valor negativo, este resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, se tiene un déficit de -4,173,896 m^3 anuales**.**

En cuanto al análisis del realizado en el REPDA con actualización al 31 de diciembre del 2023, se tiene [38]:

- Se tiene 389 aprovechamientos de aguas subterráneas, con un volumen total autorizado de 164,649,052.82 m^3/año; es decir 89.5 hm^3 adicionales.
- De estos aprovechamientos 217 están registrados para la actividad agrícola con un volumen anual autorizado de 27,830,425.00 m^3, que, en comparación a la publicación de disponibilidad del 2023 se tienen valores similares e incluso tiene un descenso de aproximadamente de 3.5 hm^3.
- 70 aprovechamientos están registrados para uso público urbano con un volumen anual autorizado de 132,636,918.00 m^3, que, en comparación a la publicación de disponibilidad del 2023, se incrementó 100 hm^3 el volumen que se reporta en la publicación.
- Aunque en la publicación no se detalle el uso industrial es importante en este acuífero debido a que representa un volumen de acuerdo con el REPDA de 636,486.00 m^3, a través de 11 aprovechamientos.

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

9.3. Acuífero El Sauz-Encinillas (ASE)

El acuífero El Sauz-Encinillas (ASE), designado con la clave 0807 por la Comisión Nacional del Agua, está situado en la región central del estado de Chihuahua. Sus límites geográficos abarcan los paralelos 28°53'31" a 29°39'41" de latitud norte y los meridianos 106°09'35" a 106°43´27" de longitud oeste, ocupando una extensión de 2,743 km^2. Limita al norte con los acuíferos Laguna de Tarabillas y Flores Magón-Villa Ahumada, al este con Laguna de Hormigas y Laguna El Diablo, al sur con Chihuahua Sacramento y Alto Río San Pedro, y al oeste con Santa Clara y Cuauhtémoc, todos pertenecientes al estado de Chihuahua [128].

El acuífero El Sauz-Encinillas juega un papel crucial en la provisión de agua para la región central del estado de Chihuahua. Su importancia radica en ser una fuente vital de agua subterránea para satisfacer las necesidades domésticas, industriales y agrícolas de la zona. Además, contribuye significativamente a la sustentabilidad ambiental al mantener los ecosistemas locales y respaldar la actividad agrícola.

Modelo Geológico Conceptual

El acuífero Sauz-Encinillas (ASE) se encuentra ubicado en la región centro-norte del estado de Chihuahua, específicamente en la parte septentrional del municipio de Chihuahua. Esta área está dividida en dos grandes provincias fisiográficas: la provincia de Sierras y Cuencas al oriente, y la provincia de la Sierra Madre Occidental al poniente. El acuífero forma parte de la Sub-provincia del Bolsón de Mapimí en la sección denominada Subsección de Los Bolsones [128] (Figura 49).

En esta área, se observan características tanto de la provincia de Sierras y Cuencas como de la Sierra Madre Occidental. Hay presencia de sierras angostas y alargadas con una orientación preferente hacia el noroeste, que se extienden por más de 100 km. Estas sierras contrastan con las llanuras aluviales y los valles paralelos que ocupan la mayor parte del área. Los valles presentan una suave pendiente hacia el oriente y una orientación general norte-sur.

Hacia el oeste, las planicies se estrechan gradualmente hasta encontrarse con los abruptos relieves de la Sierra Madre Occidental. Por otro lado, al oriente del área, las llanuras aluviales se vuelven más extensas, formando bolsones que reflejan un relleno aluvial potente.

La cuenca de la Laguna de Encinillas está rodeada parcialmente por tres rasgos geológicos bien estudiados: el Valle El Sauz-Encinillas, la Sierra de Peña Blanca y el Bloque Caldera-Del Nido.

El acuífero se sitúa en depósitos aluviales del Cuaternario de gravas y arcillas que llenan una fosa tectónica en el Valle de Santa Clara. Está limitado por varios accidentes geográficos, como la Sierra de Providencia, el cordón de Gato, la Sierra de Gallegos al norte, la Sierra de Peña Blanca y la sierra del Cuervo al este, el acuífero Chihuahua-Sacramento al sur, y las sierras de Majalca, El Nido y Papurrín al oeste [127].

La geología de la región también abarca la presencia de rocas volcánicas, como tobas, domos y flujos con intercalaciones de ignimbritas de composición riolítica, así como rocas calcáreas cretácicas y sedimentos paleozoicos. Estas formaciones geológicas están atravesadas por fallas y estructuras que afectan su morfología y comportamiento hidrogeológico [129] [130].

El acuífero está limitado al oeste por una importante unidad montañosa de gran longitud y altitud, conocida como Sierra Majalca-El Nido-Papurrín, con elevaciones máximas de 2700 metros sobre el nivel del mar (msnm) en el cerro La Campana, a la salida del cañón de Santa Clara, y una diferencia de elevación con respecto al valle de aproximadamente 1200 m. El valle intermontano de Santa Clara se encuentra directamente al oeste del valle El Sauz – Encinillas, a una elevación promedio de 2000 msnm. Los cambios bruscos de altitud entre los valles mencionados se deben a la presencia de grandes fallas normales que afectan a la región y que sobresalen en el valle como pilares tectónicos, dando lugar a la sierra Majalca-El Nido-Papurrín como límite occidental del valle, que muestra un frente oriental sumamente escarpado y abrupto. El límite oriental está formado por otro pilar tectónico que conforma la sierra Peña Blanca. Ambas unidades orográficas se desarrollan en una potente secuencia de tobas e ignimbritas riolíticas dispuestas en forma aproximadamente horizontal; por ello, el relieve en su mayor parte es escalonado debido a la erosión diferencial. Sin embargo, en algunos lugares, como en la sierra El Sauz, el relieve se desarrolla sobre rocas calcáreas cretácicas [131] [129] [130].

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

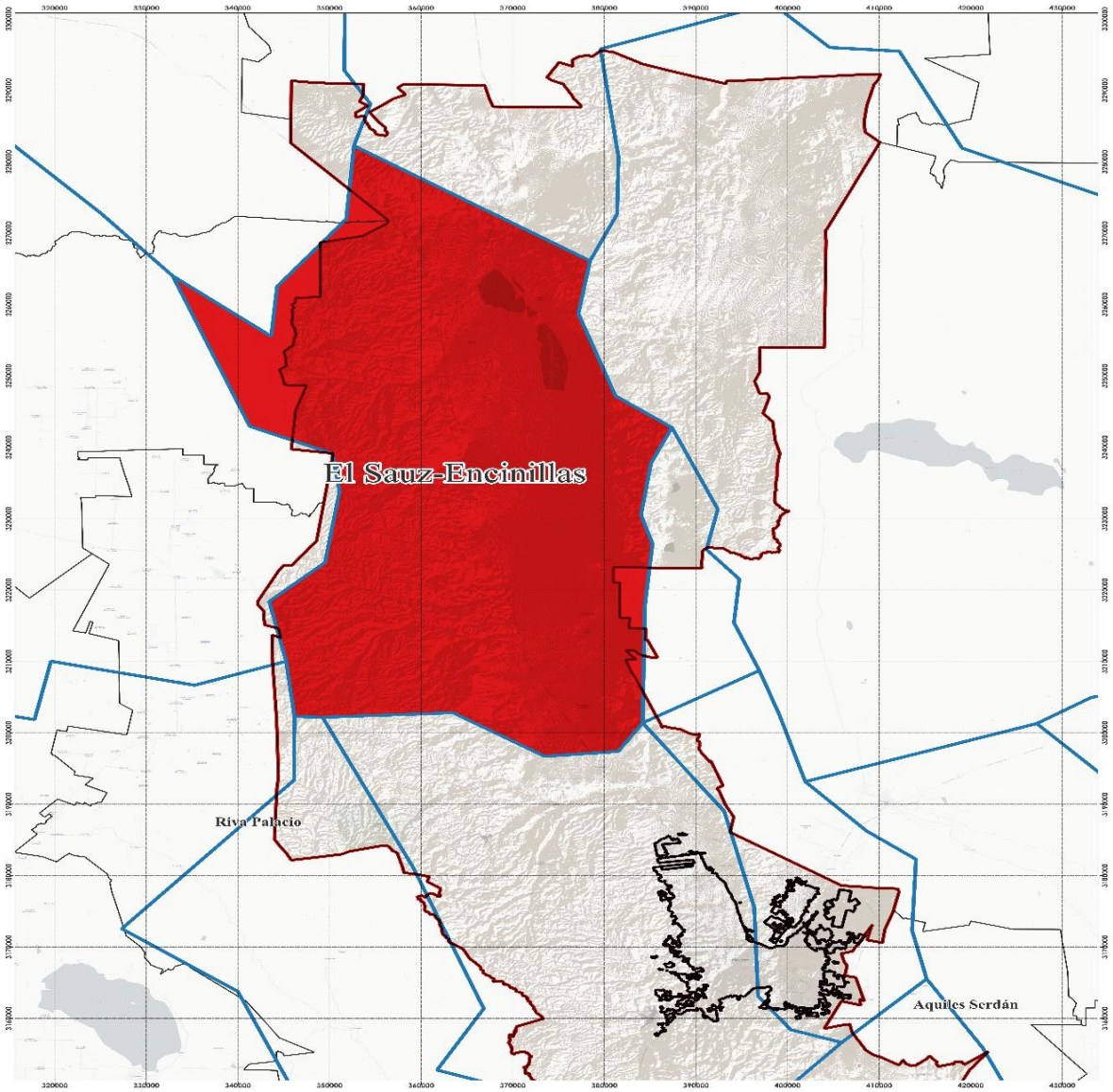


Figura 49. Mapa del acuífero El Sauz - Encinillas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI [117] *y CONAGUA* [118].

De manera general, se establece que el acuífero se emplaza en una cuenca tectónica, con un espesor de hasta 800 m en el centro del valle, compuesto por sedimentos clásticos aluviales de granulometría variable, resultado de diferentes facies sedimentarias fluviales y lacustres desarrolladas durante la evolución del relleno sedimentario del valle. Este relleno disminuye en espesor hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero.

El espesor del relleno constituye la unidad actualmente explotada, pero existen pozos que han perforado las rocas volcánicas fracturadas, aún no exploradas. El basamento y las fronteras al flujo subterráneo del acuífero están formados por ignimbritas de composición riolítica

compacta y una secuencia volcánica predominantemente andesítica. Estas unidades suelen presentar baja permeabilidad en el subsuelo, pero cuando están fracturadas, constituyen zonas de recarga en superficie, ya que forman las sierras que limitan el valle [45].

A mayor profundidad, las rocas calizas cretácicas conforman el basamento regional y presentan buena permeabilidad, lo que se evidencia en trabajos de minería donde causan la inundación de las obras.

Hidrogeología

El ASE exhibe una naturaleza heterogénea y anisótropa, mayormente de tipo libre, aunque con condiciones de semiconfinamiento a nivel local debido a la interdigitación de estratos de baja permeabilidad. Este sistema está encajado en una fosa tectónica (graben) que se encuentra rellenada por sedimentos de diversas granulometrías. Los depósitos aluviales alcanzan un espesor máximo de hasta 800 m y disminuyen hacia las laderas de las sierras circundantes, donde se observan los abanicos aluviales [128].

En profundidades mayores, las rocas volcánicas y calizas muestran una permeabilidad secundaria causada por fracturamiento, representando otra unidad que aún no ha sido completamente explorada. Utilizando la información oficial publicada por CONAGUA [128] se determinó que la transmisividad del acuífero El Sauz-Encinillas varía en un rango de 24 a 455 m²/día, equivalente a 0.3 a 5.3 x 10^{-3} m²/s, con un promedio de 191 m²/día o 2.2 x 10^{-3} m²/s. Estos valores se obtuvieron considerando un espesor saturado de 170 m, lo que resulta en una conductividad hidráulica promedio de 1.1 m/día, o 1.3 x 10^{-5} m/s.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento (S), se ha determinado que, para la zona central del valle, el valor promedio es de 7.1 x 10^{-4}. Además, los valores de rendimiento específico (Sy) en esta región varían entre 0.06 y 0.21.

9.3.1. Censo de aprovechamientos

En el ASE se han realizado diversos censos de aprovechamientos, siendo el último llevado a cabo en 2009, al cual hace referencia la publicación de disponibilidad de CONAGUA en 2023 [128]. En 2022, la UACH, por encargo de JCAS, realizó un inventario que se centró únicamente en los aprovechamientos para uso público urbano, aunque no logró contabilizar todos los existentes [20]. Hasta la fecha, no se ha publicado un censo oficial más reciente, por lo que se utilizará la información disponible en las plataformas de CONAGUA.

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [38] hasta el 31 de diciembre de 2023 se tienen registrados 516 aprovechamientos de agua subterránea con un volumen autorizado de 201,973,291.14 m^3/anuales. De estos, 129 corresponden a aprovechamientos

identificados como folios 8 (Tabla 40); estos son los aprovechamientos que no cuentan con una asignación o título de concesión, ya que se encuentran en lo que anteriormente se denominaba "zona de libre alumbramiento"

Tabla 40. Resumen de aprovechamientos con folio 8 registrados en el ASE. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA [(38)].

FOLIOS 8		
Uso	**No. Aprovechamientos**	**Volumen (m^3/año)**
AGRICOLA	116	20,957,790.7
INDUSTRIAL	0	
PUBLICO URBANO	1	30,000
DOMESTICO	2	1,941
SERVICIOS	1	20,000
OTROS	9	513,156
Total	**129**	**21,522,887.74**

En el ASE, el volumen autorizado para la extracción de agua destinado al uso público urbano representa el 67% del total del volumen de agua subterránea disponible. Este volumen autorizado específico para uso urbano asciende a 134,420,240 m^3. Por otro lado, el uso agrícola ha experimentado un notable aumento en la autorización de extracción, alcanzando un volumen de 61,231,220.1 m^3, según los registros del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), específicamente con los folios 8 (Figura 50).

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

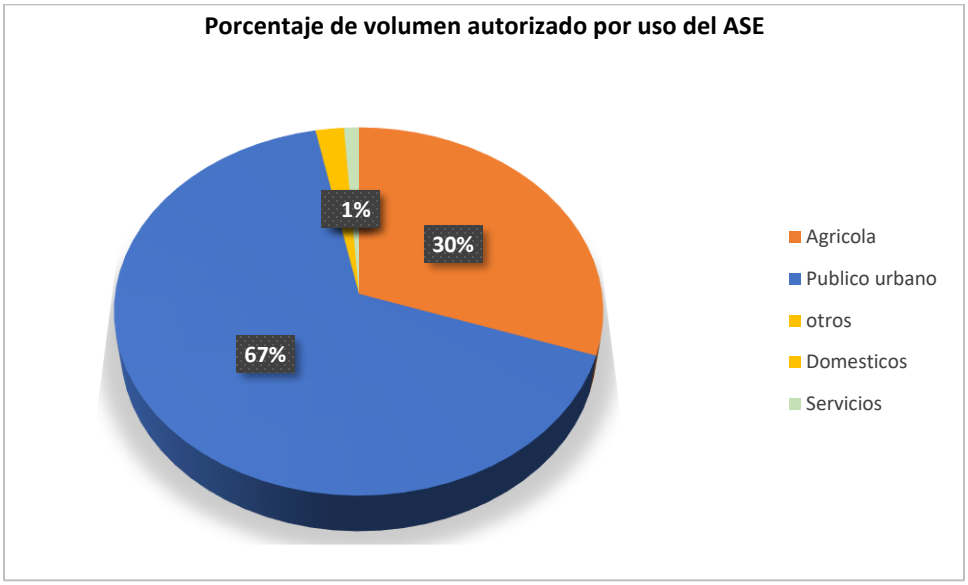


Figura 50. Volúmenes autorizados por uso de forma anual en el ASE. Fuente: elaboración propia con datos del REPDA [38].

Piezometría

El análisis del comportamiento de las cargas hidráulicas se realizó utilizando datos de profundidad del nivel del agua subterránea y las elevaciones de los brocales en metros sobre el nivel del mar (msnm), con el fin de construir configuraciones que representen la profundidad, elevación y evolución del nivel del agua en el periodo de 2019 a 2023. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS y se comparó con los resultados obtenidos en el estudio realizado en 2021.

En la configuración de la profundidad del nivel del agua para el año 2023 en el acuífero Sauz Encinillas, se evidencian variaciones significativas en diferentes zonas (Figura 51):

La configuración de la profundidad al nivel estático revela fluctuaciones que van desde 2 hasta 165 m. En las proximidades de los poblados de Encinillas y Ejido Nuevo Delicias, ubicados en el centro del acuífero, las profundidades oscilan entre 40 y 80 m. Por otro lado, al sur, las profundidades varían de 100 a 165 m, siendo más profundas debido al efecto topográfico en el extremo sur, donde se localizan los pozos que alimentan el acueducto El Sauz-Chihuahua.

En contraste, las profundidades mínimas alcanzan aproximadamente entre 2 y 5 m cerca de la Laguna Encinillas. Estas profundidades menores se encuentran principalmente en las partes más bajas del acuífero o en el centro del valle, incrementando gradualmente hacia las sierras.

Es notable la partición de las profundidades de la superficie freática, aproximadamente en el centro del acuífero, dividiéndolo en dos zonas, el centro norte y el centro sur. Los pozos ubicados en la parte fracturada en la zona conocida como estación terrazas presentan características distintas, ya que difieren del tipo de roca de donde obtienen su explotación, siendo en este caso

calizas con cavernas importantes. En contraste, la mayoría de los pozos en el acuífero se emplazan en materiales de rellenos aluviales.

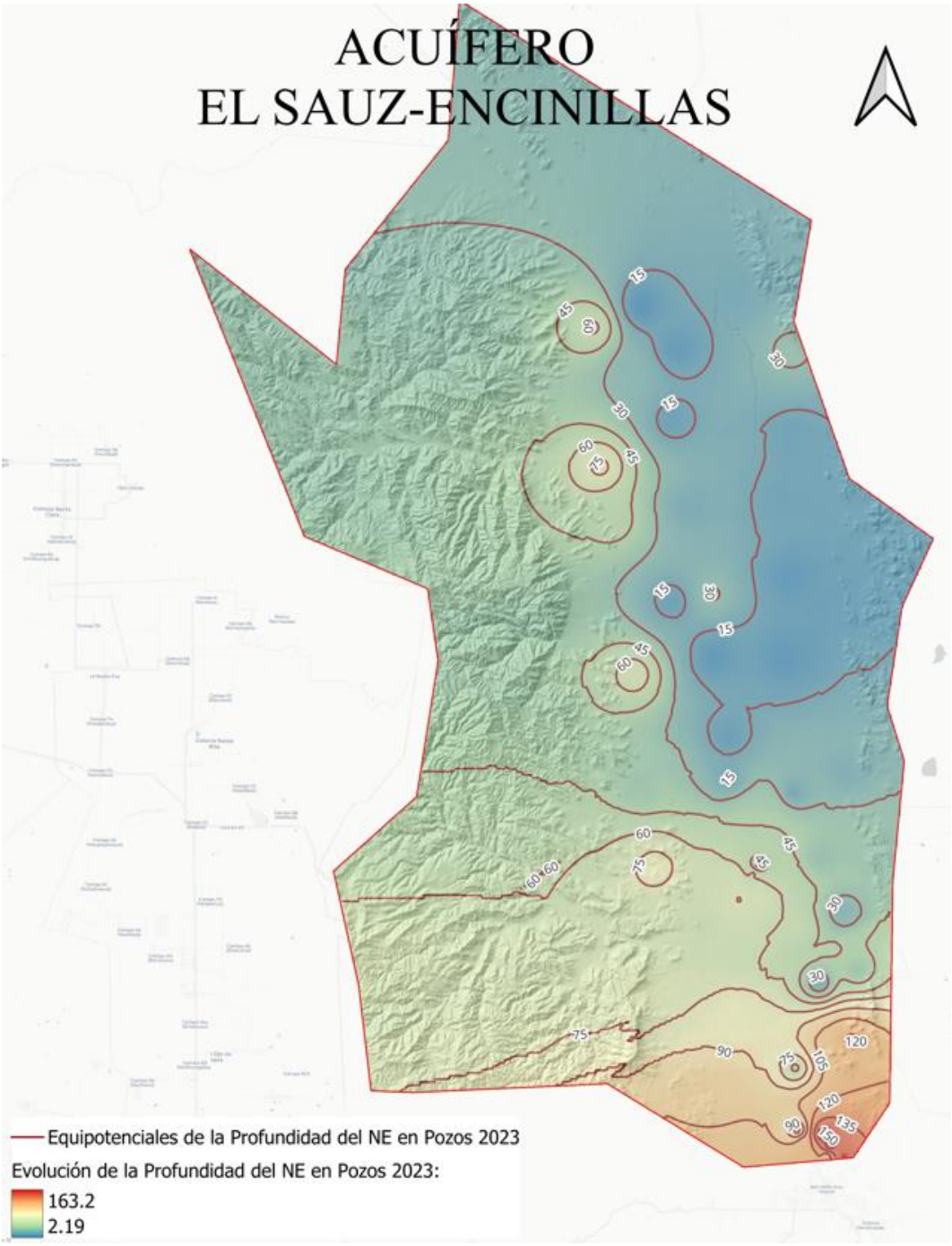


Figura 51. Profundidad del nivel estático para el año 2023 del ASE. Fuente: elaboración propia con datos de la JMAS (2023).

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 relación con la configuración de elevación del nivel estático para el año 2009, las elevaciones variaban entre 1515 y 1570 metros sobre el nivel del mar (msnm) conforme se asciende topográficamente desde el valle hacia las estribaciones de las sierras. En la porción sur, el cono de abatimiento se hace más evidente al extenderse su superficie. Para el 2023 la variación se hizo mayor conservando el patrón de distribución con valores de 1583 a 1412 msnm.

La red de flujo en el acuífero muestra una dirección preferente desde las sierras que bordean el centro hacia el valle. Sin embargo, en la porción central se pueden observar elevaciones del nivel del agua que decrecen levemente hacia el norte y el sur, lo que sugiere que esta zona central podría actuar como un parteaguas hidráulico. Esta área es susceptible de desplazarse tanto hacia el norte como hacia el sur, dependiendo de las extracciones de agua subterránea que se realicen en estas áreas.

En la porción sur del acuífero, se identifica un cono de abatimiento o una zona de depresión piezométrica, que ya se evidenciaba desde el 2009 y que ha ido incrementando su superficie. Este fenómeno promueve el flujo de agua subterránea desde los alrededores hacia esta zona.

Se realizó un análisis de la evolución del nivel estático del ASE con datos piezométricos correspondientes a los años 2019 y 2023. Se observó que los valores de abatimiento medio anual varían entre 0 y -8 m. Los mayores abatimientos se registran en el extremo sur del acuífero, donde se concentran los pozos que abastecen de agua potable a la ciudad de Chihuahua, generando así el cono de abatimiento.

En esta configuración se observan tanto recuperaciones (valores positivos) como abatimientos (valores negativos). Los abatimientos máximos se presentan al sur del acuífero y otro en la porción central, hacia el noroeste de la localidad El Sauz. Las recuperaciones se observan principalmente en las porciones norte, noroeste y oeste del acuífero, prácticamente en el pie de monte de la Sierra Los Fresnos hasta la Mesa Las Águilas. Sin embargo, a medida que se aleja del pie de monte hacia el valle, se comienzan a presentar abatimientos, siendo los valores máximos generalmente desde la porción central hasta el sur del acuífero. En general, el acuífero presenta un abatimiento promedio anual de alrededor de -1 m. Se verifica que la zona de descarga o sistema de flujo local corresponde a la porción ribereña de la laguna de encinillas y a las inmediaciones al pie de monte del lado oeste del acuífero. Los pozos donde se tienen mayores profundidades de perforación están captando el agua del flujo intermedio a regional.

9.3.2. Balance hídrico

Dada la complejidad de la integración y análisis de datos e información sin generar estimaciones de caudales de explotación y censos de aprovechamientos dentro de los acuíferos, este tema es un área de actualización urgente. Por esta razón, en todos los capítulos donde se menciona

la disponibilidad según lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 [10], se utilizan los datos oficiales publicados en la plataforma de la CONAGUA para el año 2023 [128] abarcando los tres acuíferos considerados.

En la publicación del 2023 de CONAGUA [128] referente a la actualización de disponibilidad media anual para el ASE. Se resalta que utiliza datos del censo de 2009 los cuales son los siguientes:

- Se cuenta con un total de 392 aprovechamientos activos y 131 inactivos, de estos aprovechamientos son 30 las norias que se encuentran activas, mientras 70 son inactivas.
- El volumen total de extracción estimado asciende a 127.2 hm^3 anuales, de los cuales 105.5 hm^3 (82.9 %) se destinan para uso agrícola, 2.8 hm^3 (2.2 %) para uso doméstico-abrevadero, 18.7 hm^3 (14.7%) para uso público-urbano
- Por otro lado, el volumen de extracción de aguas subterráneas reportado por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [38] es de 120,540,680 m^3 anuales, según datos actualizados hasta el 30 de diciembre de 2022.
- La recarga total media anual del acuífero estimada es 62.4 hm^3/año, de los cuales 41.3 hm^3 corresponden a la recarga natural y los 21.1 hm^3 restantes a la recarga inducida.
- La Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea (DMA) se calcula restando la descarga natural comprometida (DNC) y el volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) al volumen de recarga total media anual (R).
- Para este acuífero, el cálculo resulta en un valor negativo, este resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, se tiene un déficit de 58,140,680 m^3 anuales.

En cuanto al análisis del realizado en el REPDA con actualización al 31 de diciembre del 2023, se tiene [38]:

- Se tiene 516 aprovechamientos de aguas subterráneas, con un volumen total autorizado de 201,973,291.14 m^3/año; es decir 81.4hm^3 adicionales
- De estos aprovechamientos 333 están registrados para la actividad agrícola con un volumen anual autorizado de 61,231,220.14 m^3, que, en comparación a la publicación de disponibilidad del 2023, tiene un descenso de aproximadamente de 44.3 hm^3.
- 55 aprovechamientos están registrados para uso público urbano con un volumen anual autorizado de 134,420,240.00 m^3, que, en comparación a la publicación de disponibilidad del 2023, se incrementó 116 hm^3 el volumen que se reporta en la publicación.

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

10. Integración del Análisis de Aguas Superficiales

En el **capítulo 9. Integración del Análisis de Aguas Superficiales**, se analiza las aguas superficiales a diferentes escalas, desde cuencas hasta unidades hidrológicas, abordando aspectos como la precipitación pluvial, los escurrimientos y los gastos máximos por periodo de retorno. Esta integración es fundamental para realizar un análisis hidrológico completo de la zona de estudio y para gestionar de manera adecuada y sostenible el recurso hídrico en el municipio. La información detallada obtenida a través de este análisis es crucial para la toma de decisiones en la gestión hídrica y la planificación urbana, permitiendo el diseño de infraestructuras para controlar inundaciones y almacenar agua, asegurando un suministro adecuado incluso en periodos de sequía.

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. 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.

La ciudad de Chihuahua, capital del Estado y principal centro urbano del municipio Chihuahua, forma parte de la zona metropolitana de Chihuahua desde 2015. En la Figura 52 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

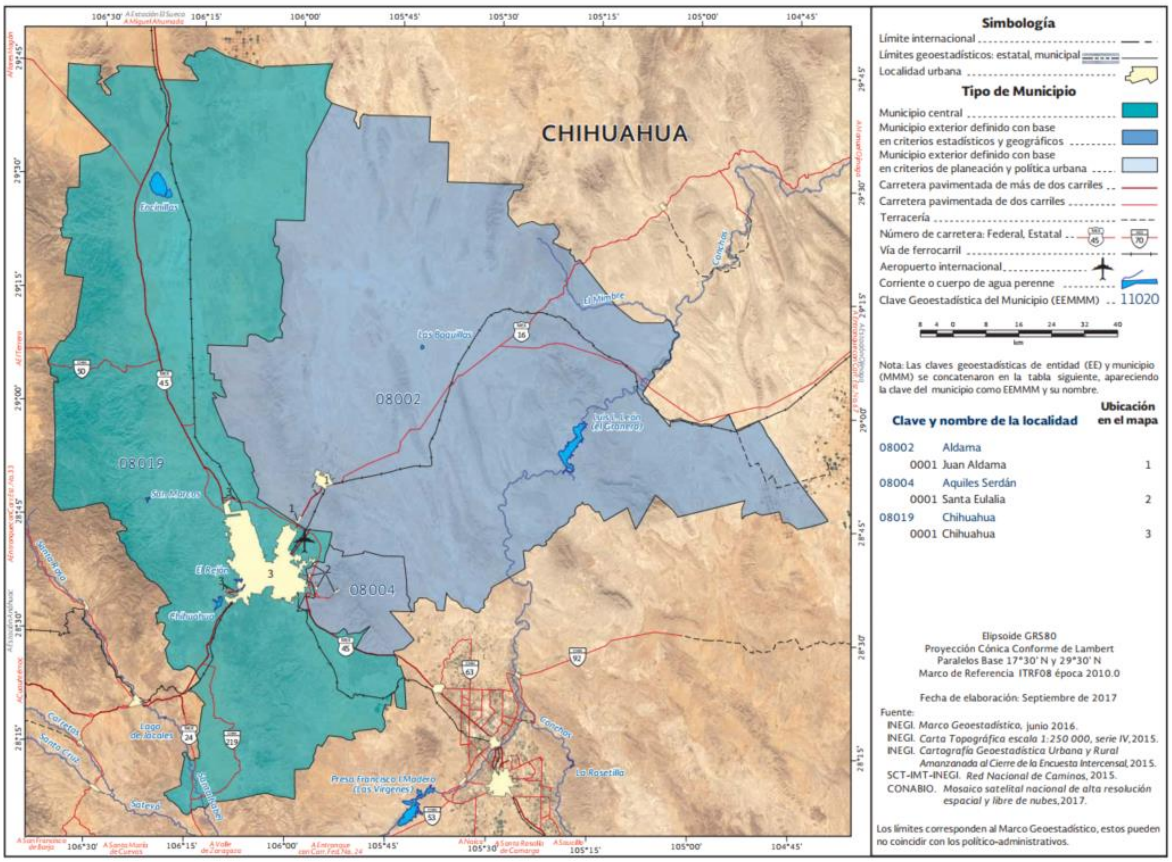


Figura 52. Zona Metropolitana de Chihuahua. Fuente: INEGI (2015) [132].

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** [133]: 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. Asimismo, se mencionan 19 arroyos como escurrimientos secundarios de importancia. 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 Toros, El Barro, La Canoa, El Chamizal, La Manteca, Malvinas (acueducto), Concordia

- **Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua del año 2014** [134]**:** en este estudio se realizó un detallado análisis de la hidrografía superficial de la zona, 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.
- **Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua del año 2022** [135]**:** 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.

De acuerdo con los estudios mencionados [133] [134] [135], 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) (Figura 53), se determinó que la ciudad de Chihuahua cuenta con 28 escurrimientos principales, divididos en dos ríos y 26 arroyos principales.

Los principales escurrimientos en el municipio de Chihuahua incluyen el río Sacramento, el río Chuvíscar, y varios arroyos como La Noria, Mimbre Norte 1 y 2, El Álamo, Los Arcos, Nogales Norte, el Picacho, Mimbre Sur, Magallanes, Saucito 1 y 2, Galera Norte y Sur, La Cantera, Plaza de Toros, Los Temporales, Las Malvinas, El Barro, La Canoa, El Chamizal, La Manteca, San Rafael, Mármol, Concordia 1 y 2, y Nogales Sur.

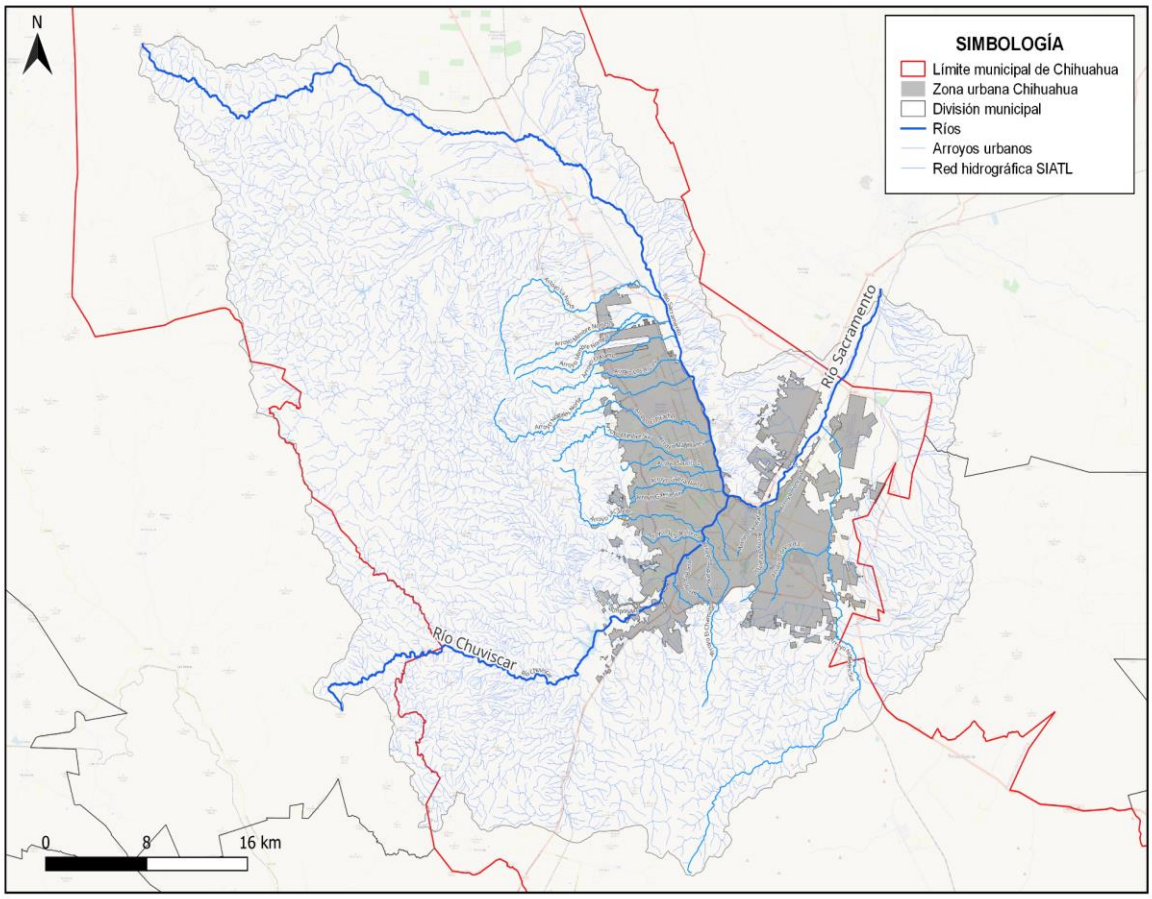


Figura 53. Ríos y arroyos principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: Elaboración propia con información del INEGI (2023) [(136)].

10.1. 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, 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.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Chihuahua (2040) [137], 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 subregión se encuentra principalmente dentro del municipio de Chihuahua, con una menor proporción en los municipios de Aldama y Aquiles Serdán.

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 54 proporciona una representación visual de la ubicación de estas presas en el municipio.

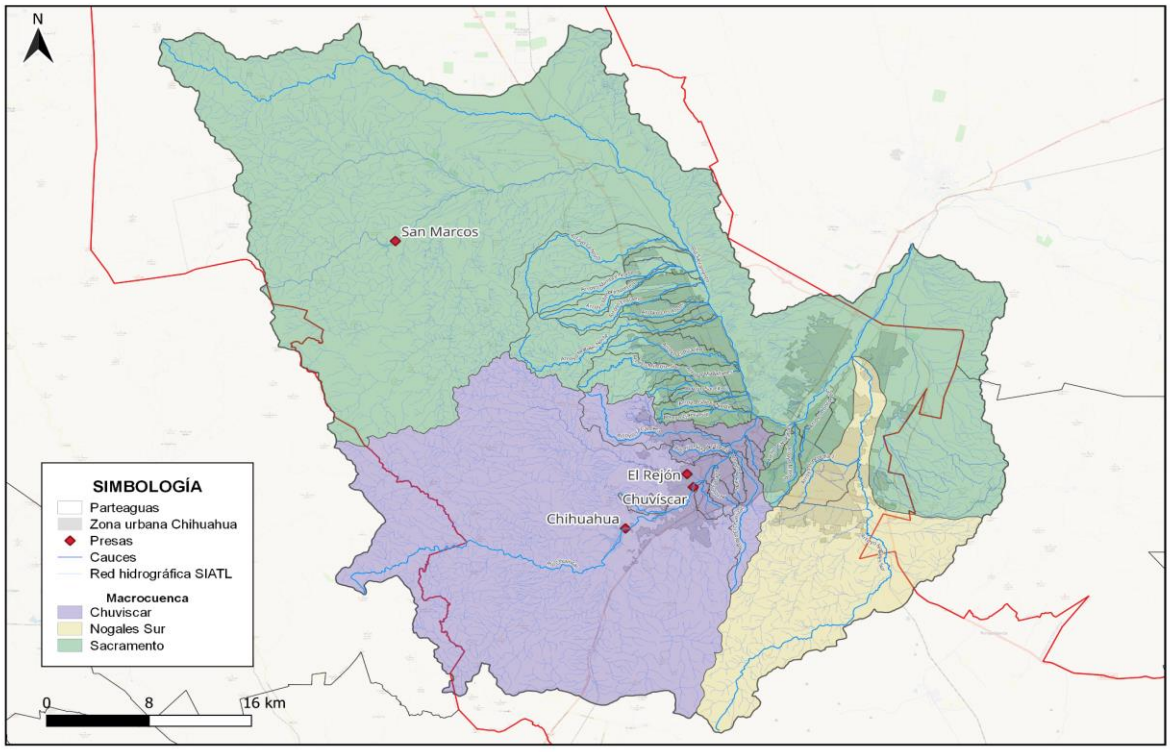


Figura 54. Presas en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

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

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 55). 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.

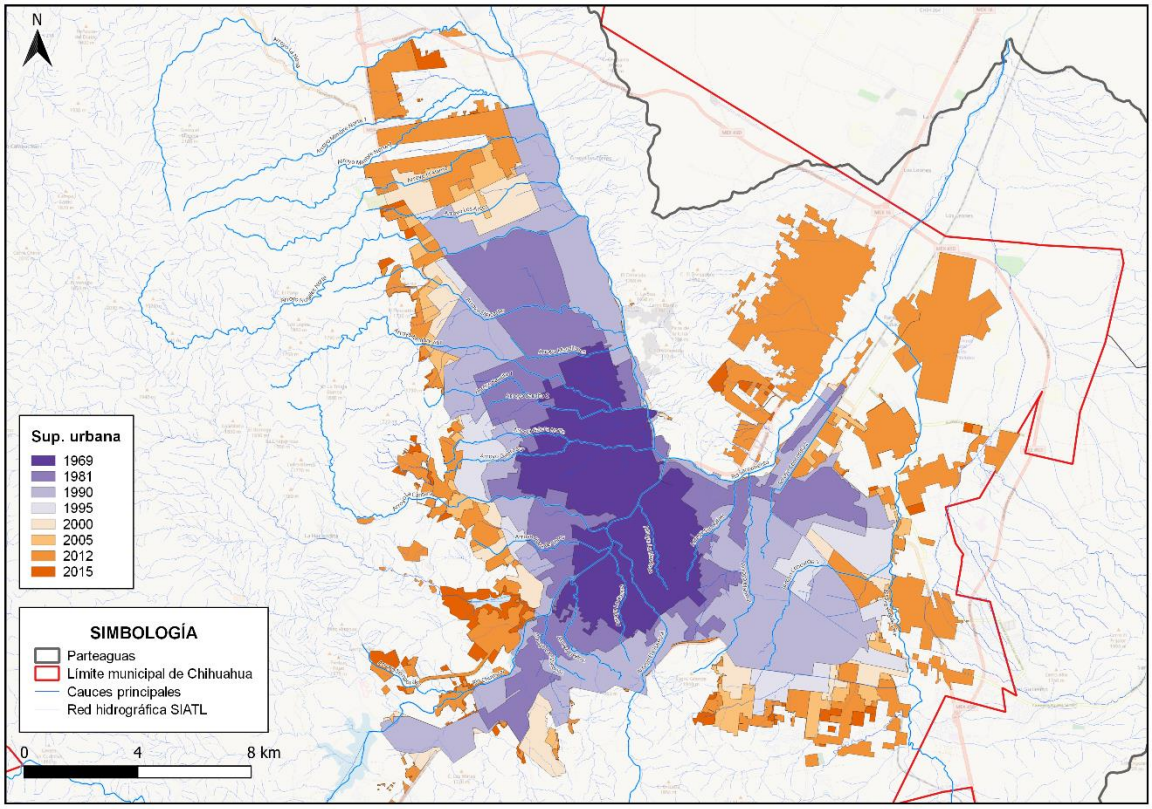


Figura 55. Crecimiento de superficie urbana de la ciudad de Chihuahua del año 1969 a 2015. Fuente: elaboración propia con datos del IMPLAN PDU (2040) [(137)].

10.2. 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 56).

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.

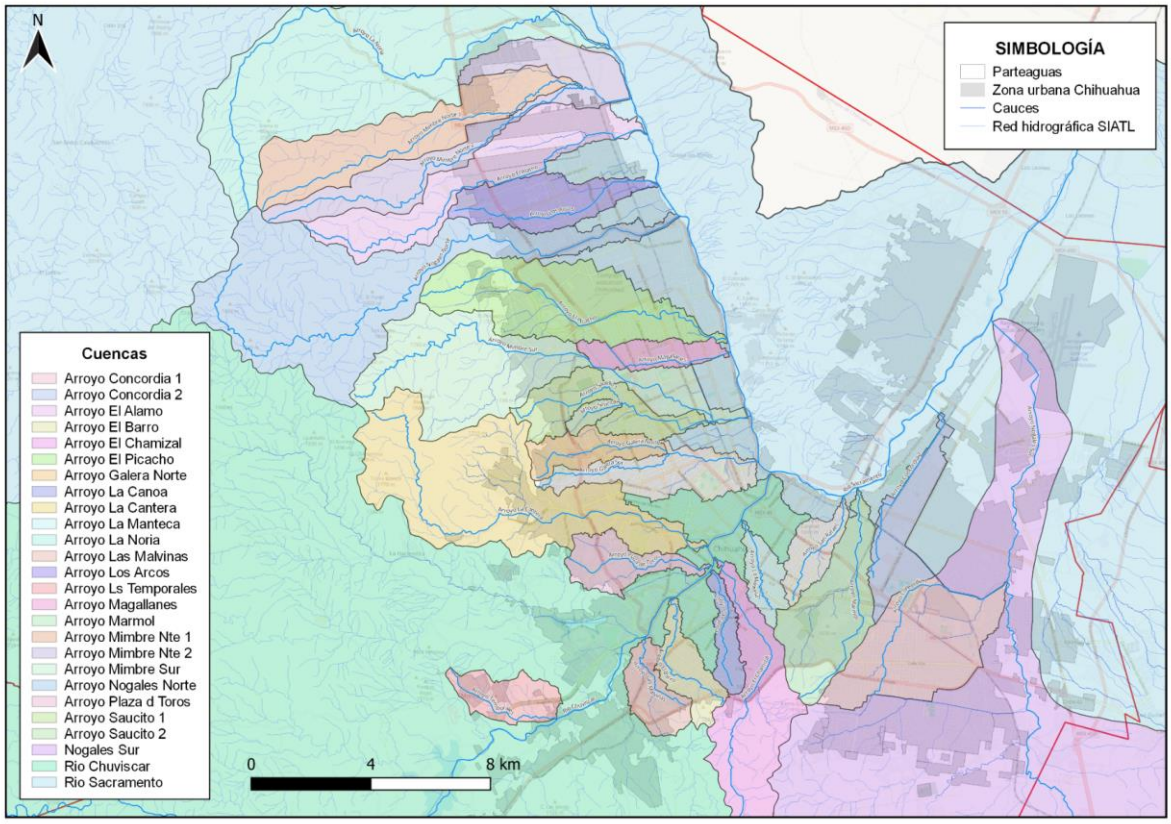


Figura 56. Cuencas de las principales ríos y arroyos que afectan el área urbana de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

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

10.3. 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.

10.3.1. Histórico de precipitación

Existe diversa información disponible respecto a la zona de estudio (138), 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.
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 (139).
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) (140).
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).

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.

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

Las estaciones climatológicas utilizadas, su clave, coordenadas y años de registro se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41. 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

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 [(141)].

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.

10.3.2. 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.

Se completaron las series de las cuatro estaciones que presentaban registros incompletos, aplicando la técnica de Relación Normalizada para la precipitación máxima diaria y la precipitación acumulada en la Tabla 42 se muestra la precipitación máxima diaria.

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 42. 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 Figura 57.

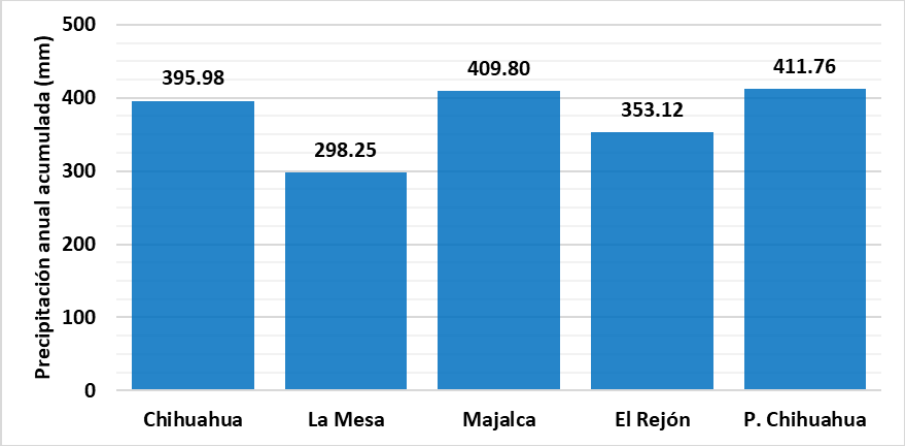


Figura 57. Precipitación acumulada de cada año (mm) con datos completados. Fuente: elaboración propia.

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

En la Tabla 43 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 43. 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

En la Figura 58 se muestran los datos de precipitación máxima diaria anual de las 5 estaciones extrapolados con su función de distribución de probabilidad (FDP).

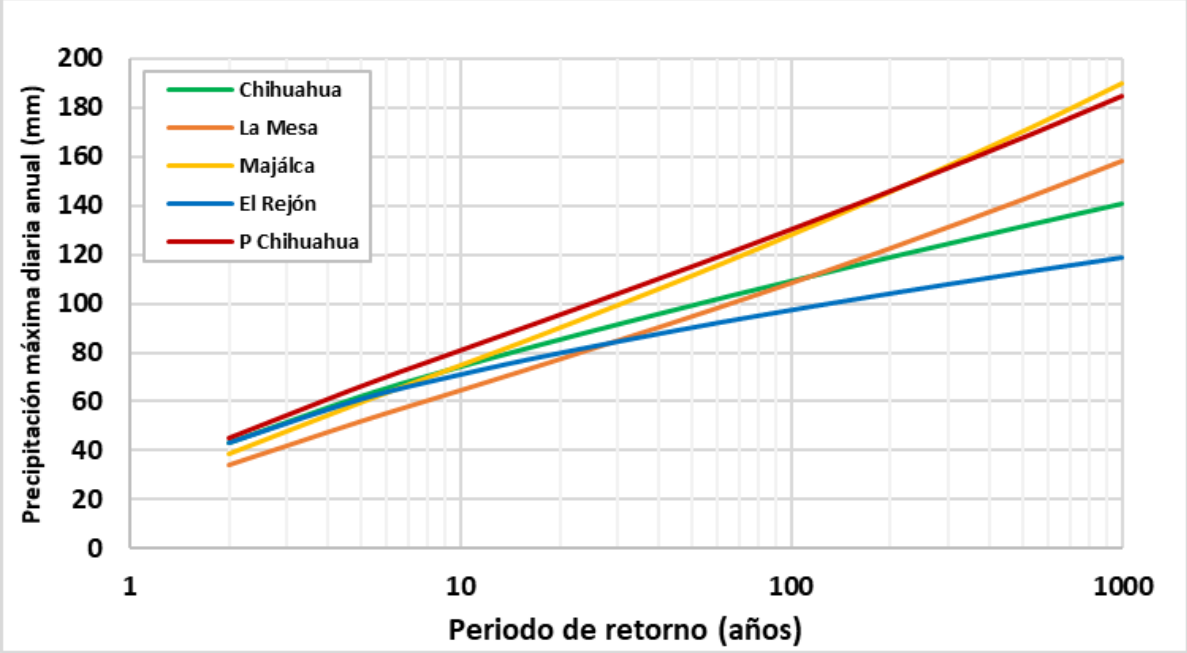


Figura 58. Datos de precipitación máxima diaria anual de las 5 estaciones, extrapolados con FDP. Fuente: elaboración propia.

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)]. En la Figura 59 se muestra una comparación gráfica de dichos valores calculados en este estudio en los otros dos estudios previos ya mencionados.

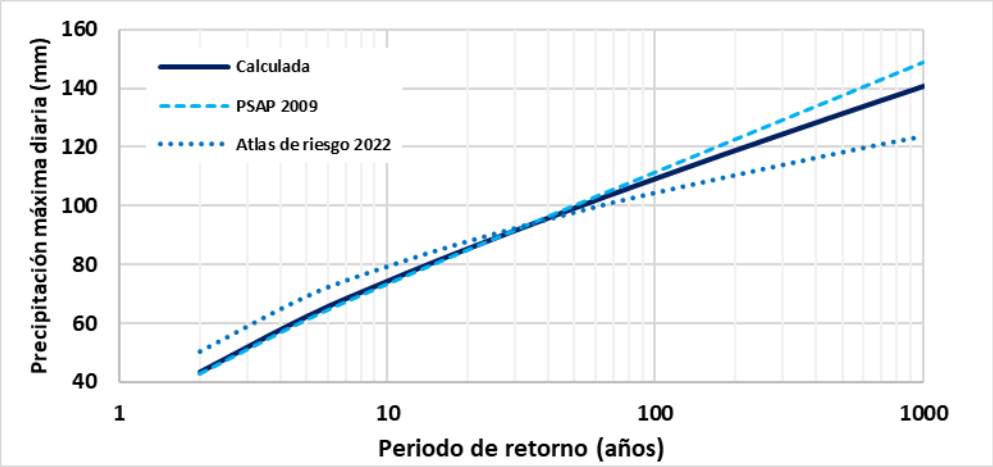


Figura 59. Comparación de datos de precipitación diaria máxima anual, estación Observatorio. Fuente: elaboración propia con datos calculados, datos de Plan Sectorial (2009) y Atlas de Riesgo (2022) [(143) (135)].

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) [(144)], quién para su cálculo propuso un método con base en los avances de Bell (1969) [(145)], válido para periodos de retorno mayores a 1 año y duraciones de tormenta de hasta 24 horas.

En la Tabla 44 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 44. 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*. 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, en la Figura 60 se muestra la estación observatorio.

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.

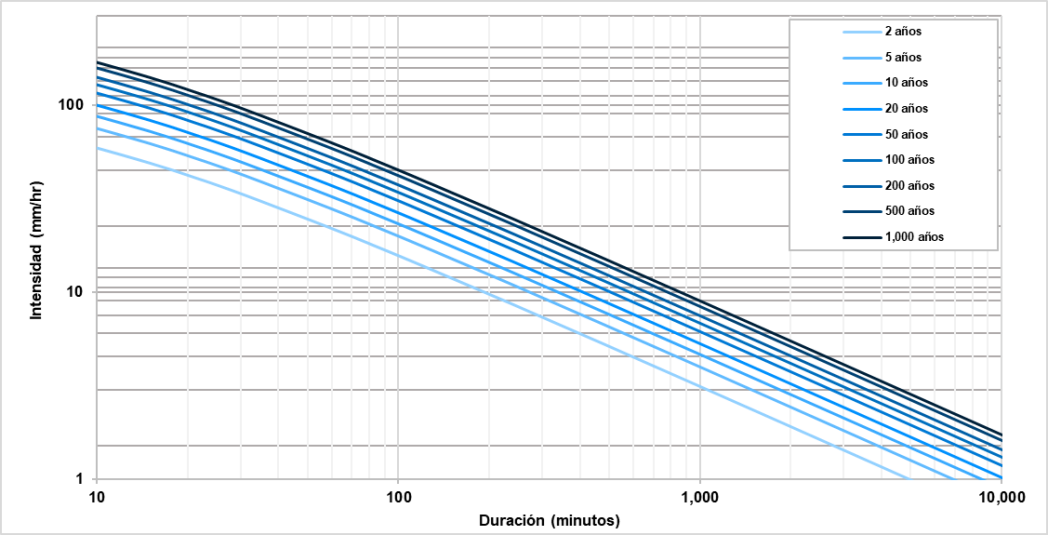


Figura 60. Curvas I-D-Tr de estación Observatorio. Fuente: elaboración propia.

10.4. Análisis de Escurrimientos

10.4.1. 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

En la Figura 61 se muestra el orden tributario de los cauces en estudio, así como su identificador (ID).

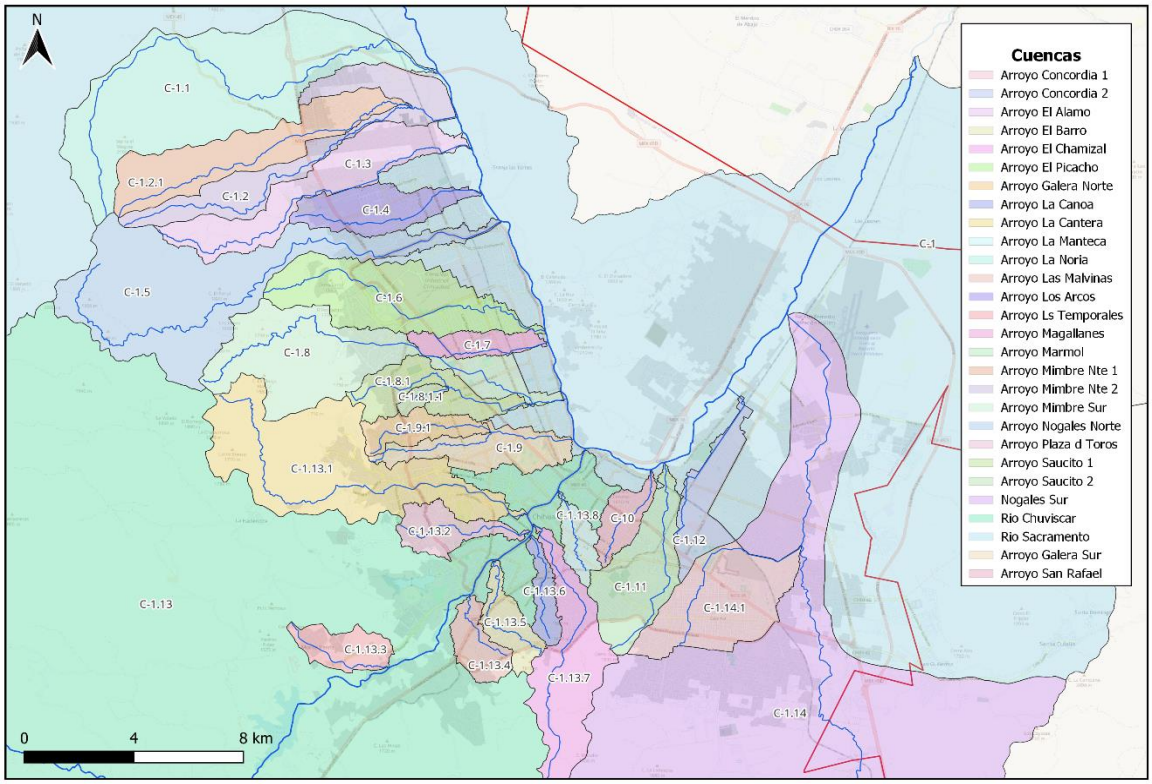


Figura 61. Identificador (ID) por cuenca. Fuente: elaboración propia.

10.4.2. 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. Se obtuvieron los parámetros geomorfológicos y a partir de ellos se determinaron los coeficientes de escurrimiento (Tabla 45).

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 45. 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

10.4.3. 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 Figura 62 se puede observar la distribución de dichas áreas tributarias para cada cuenca correspondiente.

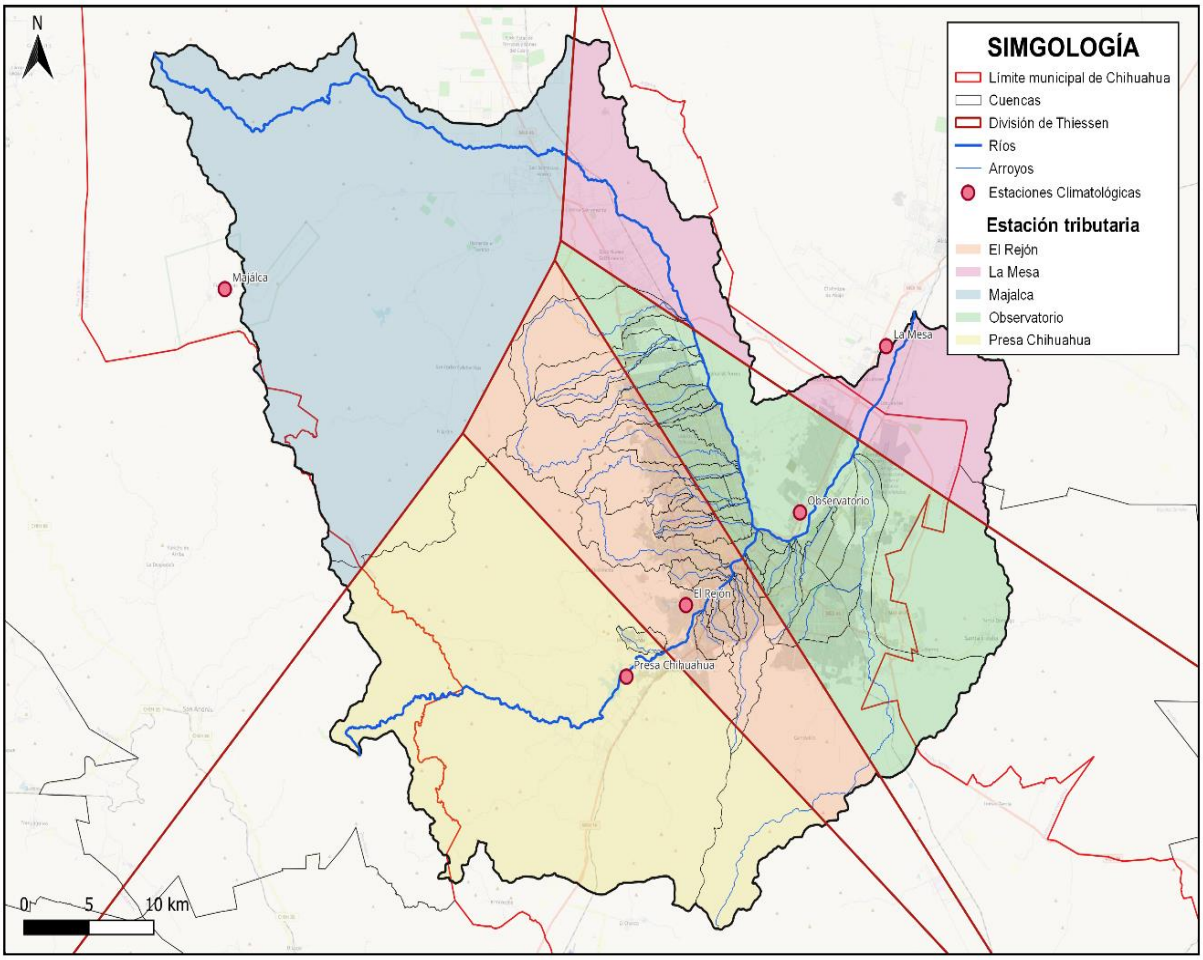


Figura 62. Área tributaria de cada estación climatológica para cada cuenca en estudio. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, en la Tabla 46, 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 46. 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

10.5. 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 [(146)].

En la Tabla 47 se muestran los caudales calculados para cada cuenca en estudio a diversos 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

Tabla 47. 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 63 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.

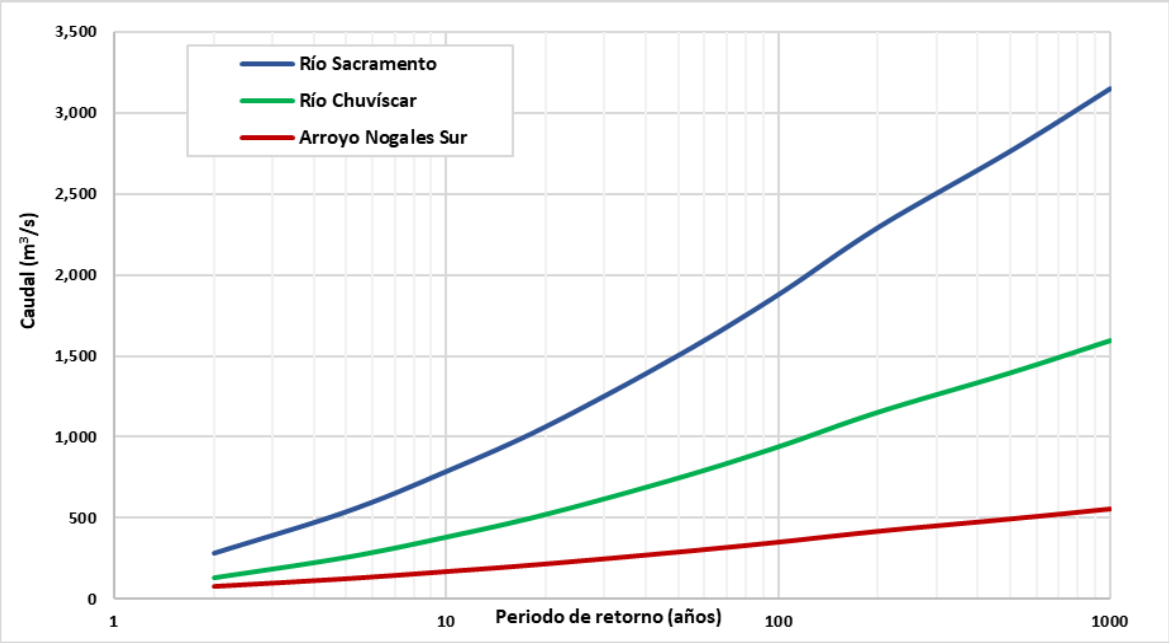


Figura 63. Caudales máximos de escurrimiento a diversos periodos de retorno de los ríos Sacramento, Chuvíscar y arroyo Nogales Sur. Fuente: elaboración propia.

10.6. 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). En la Tabla 20 se muestran los volúmenes anuales esperados en promedio en cada uno de los cauces.

Tabla 48. 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 64 se muestran los volúmenes anuales esperados de escurrimiento de los tres principales cauces de la ciudad de Chihuahua.

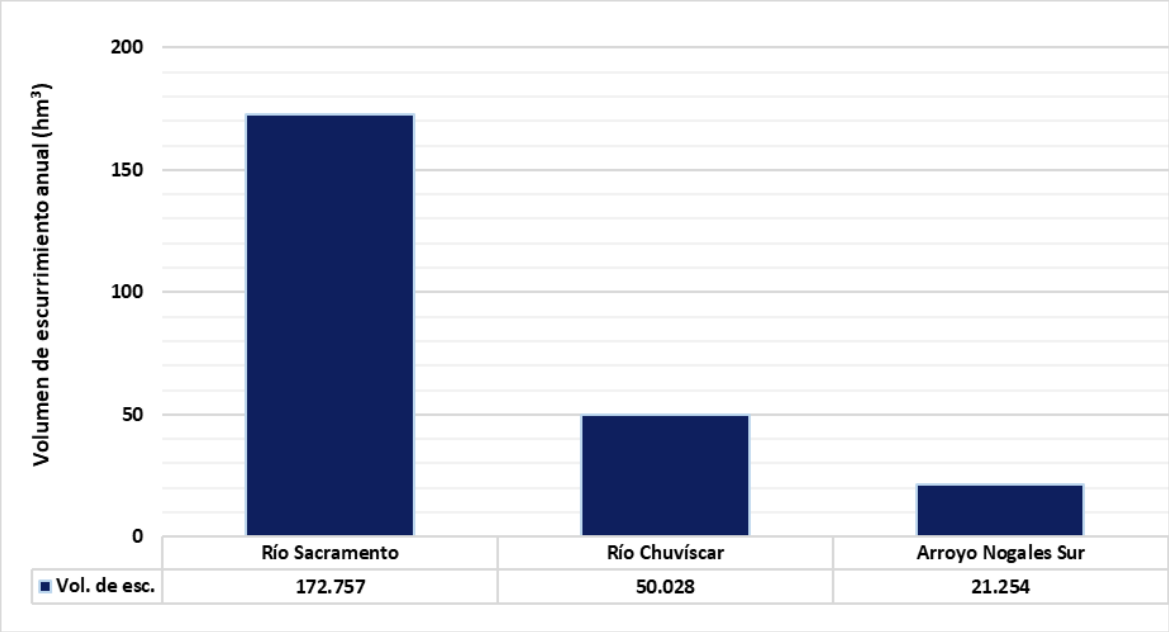


Figura 64. Volúmenes de escurrimiento promedio de los tres cauces principales de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia

En la Figura 65 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.

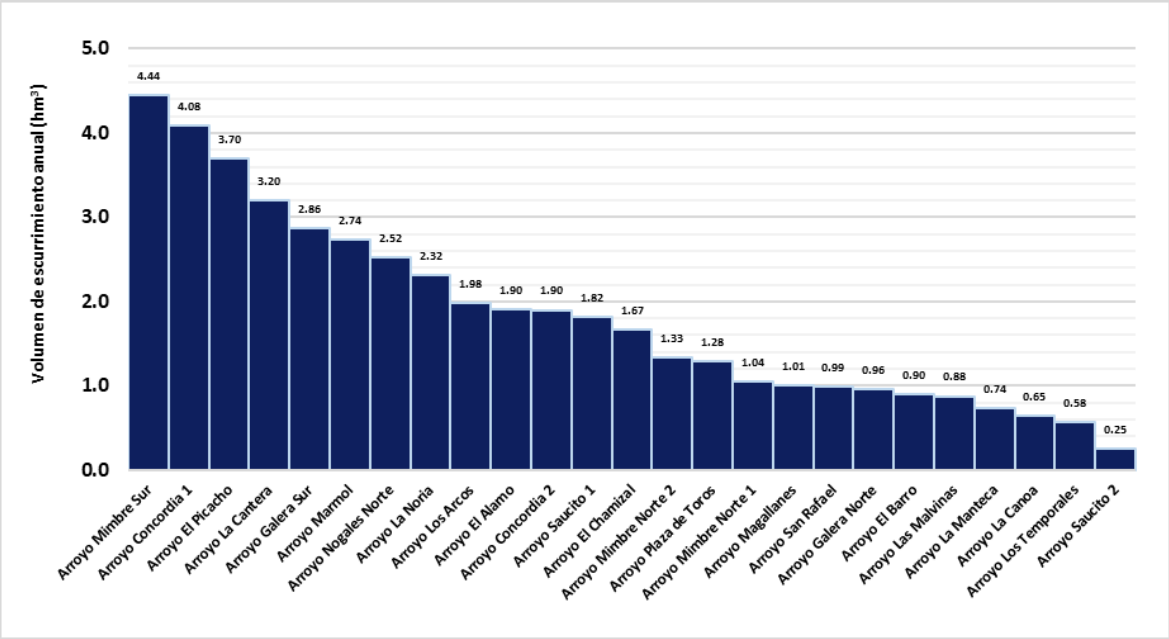


Figura 65. Volúmenes de escurrimiento promedio de arroyos principales. Fuente: elaboración propia.

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.

10.7. 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 [50] [147] [2]:

- Presas de almacenamiento: Almacenan agua durante la época de lluvias para su uso en épocas secas, garantizando riego, abastecimiento de agua potable o generación de energía eléctrica durante todo el año.
- Presas rompe-picos: Estructuras de dimensiones reducidas diseñadas para reducir el gasto pico de una avenida al retener temporalmente el agua y liberarla de manera controlada.
- Presas para retener azolves: Diques colocados en arroyos y ríos para retener sedimentos y reducir la erosión. Se construyen varias en cascada para retener sedimentos y disminuir la pendiente del fondo del cauce.
- Canalización o entubamiento de un cauce: Soluciones para reducir inundaciones y aprovechar terrenos cercanos en zonas urbanas con bajos niveles de agua en los arroyos o ríos.

Además de estas acciones mencionadas se pueden llevar a cabo diversas obras para aprovechar estos volúmenes excedentes de agua [148] [21] [149]:

- **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.
- **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.
- **Reutilización del agua:** Reutilizar el agua superficial tratada para usos no potables.
- **Cosecha de agua de lluvia en superficies pavimentadas:** Instalar sistemas de captación de agua de lluvia en superficies pavimentadas para dirigir el agua hacia áreas de infiltración o almacenamiento.
- **Técnicas de captación de agua de escorrentía:** Implementar técnicas como zanjas de infiltración para captar y retener la escorrentía superficial, permitiendo su infiltración.
- **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.

11. Integración del Análisis del Drenaje Pluvial

En el **capítulo 10. Integración del Análisis del Drenaje Pluvial**, se analiza las zonas de inundación, drenajes pluviales, el funcionamiento hidráulico de los arroyos y canales urbanos, así como las propuestas necesarias para minimizar los riesgos a la población por inundaciones. Este capítulo esta intrínsicamente relacionado con el noveno, debido que para la gestión y cálculos de los funcionamientos hidráulicos se utilizaron los datos generados en ese capítulo.

La gestión efectiva del drenaje pluvial en el municipio de Chihuahua es crucial para mitigar los riesgos asociados a las inundaciones y promover un desarrollo urbano sostenible. El análisis detallado de este sistema hidráulico permite identificar las áreas más vulnerables a inundaciones, lo que es fundamental para la planificación urbana y la implementación de medidas de mitigación y adaptación.

El conocimiento de la infraestructura de drenaje pluvial existente y su capacidad para manejar los caudales de agua de lluvia es esencial para planificar el crecimiento urbano de manera sostenible. El análisis del drenaje pluvial también proporciona información valiosa sobre el impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico y en los ecosistemas acuáticos.

Además, el análisis del drenaje pluvial es fundamental para la prevención de desastres naturales. Conocer las áreas propensas a inundaciones y la capacidad de la infraestructura de drenaje existente ayuda a planificar y ejecutar acciones de prevención y mitigación de desastres, lo que puede salvar vidas y reducir pérdidas económicas.

En términos de gestión del agua, el análisis del drenaje pluvial permite optimizar el aprovechamiento del agua de lluvia. Esto es especialmente importante en regiones como Chihuahua, donde la disponibilidad de agua es un factor crítico para el desarrollo económico y social.

El análisis del drenaje pluvial en el municipio de Chihuahua es una herramienta fundamental para la gestión integral y sostenible del agua. Proporciona información clave para la planificación urbana, la prevención de desastres y la gestión eficiente del agua, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la región.

El municipio de Chihuahua revela una situación compleja y desafiante en términos de gestión hídrica y prevención de inundaciones. La ciudad de Chihuahua, como centro urbano importante y capital del estado, enfrenta problemas de inundaciones que han sido exacerbados por el crecimiento urbano y el cambio climático.

Históricamente, el municipio ha experimentado inundaciones en diversas zonas, especialmente en el núcleo urbano, debido a factores como la falta de infraestructura adecuada de drenaje pluvial, el aumento de superficies impermeables debido a la urbanización y la falta de mantenimiento de los

sistemas de drenaje existentes. Estas inundaciones han causado daños materiales, interrupción de servicios básicos y riesgos para la población.

Ante esta situación, es crucial implementar una gestión hídrica integral y sostenible que considere tanto la infraestructura física como las políticas y regulaciones necesarias para prevenir inundaciones y garantizar la seguridad y el bienestar de la población.

11.1. Análisis de Vulnerabilidad ante Inundaciones

Se llevó a cabo un análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones en el municipio de Chihuahua, con un enfoque prioritario en el núcleo urbano. Este análisis se fundamentó en información disponible y estudios previos realizados en la zona, con el fin de identificar las áreas más susceptibles a sufrir los efectos de inundaciones.

Se utilizaron dos criterios para el análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones. Uno de ellos se centró en determinar la vulnerabilidad de las personas ante este fenómeno, como se propuso en el estudio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizado en 2016, titulado “Estudio de Riesgo de Inundaciones en Zonas Urbanas de la República Mexicana” [(150)]. El otro criterio se enfocó en determinar la vulnerabilidad de las viviendas o familias ante inundaciones, considerando los niveles socioeconómicos, según se propuso en el trabajo "Índice Pérdida-Posesión para la Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas" [(151)].

La vulnerabilidad, incluida la ante inundaciones, es una variable compleja que depende de diversos factores y se desarrolla con el tiempo en los centros urbanos, influenciada por prácticas tanto intencionales como inintencionales, como la vivienda informal o la autoconstrucción, así como la desinformación, entre otras. Estas prácticas suelen llevar a que las personas con menos recursos económicos o de niveles socioeconómicos más bajos se ubiquen gradualmente en zonas más expuestas a fenómenos naturales o causados por el ser humano, y a que adquieran características que los hacen menos capaces de resistir y recuperarse de estos fenómenos, como las inundaciones.

Por lo tanto, la dimensión social es crucial para determinar la vulnerabilidad de viviendas o personas ante inundaciones en áreas urbanas, y está vinculada con su nivel socioeconómico. Según se menciona en el Atlas de Riesgo del Municipio de Chihuahua de 2014 (134), la vulnerabilidad social se define como el potencial de pérdida en relación con la capacidad de recuperación después de un desastre, por lo que no se limita a momentos de emergencia. Además, la vulnerabilidad puede asociarse con la pobreza, aunque algunos autores la analicen de manera independiente, ya que la pobreza no es el único factor que contribuye a la vulnerabilidad, aunque sí es un componente crítico.

11.2. Índice de Población Vulnerable (IPV)

Para la generación del mapa de vulnerabilidad de personas ante inundaciones, el IMTA propone utilizar el **Índice de Población Vulnerables (IPV)**, en el cual se consideran como vulnerable a las personas menores de 5 años y mayores 60 años, al ser estos quienes ante un evento de inundación serían más propensos a no poder cruzar una vialidad por donde escurre el agua, o inclusive, pudieran ser arrastrados por el agua al tratar de cruzar una vialidad inundada [(150)]. Considerando lo anterior se calculó el índice de Población Vulnerable (IPV) obteniendo la Figura 66.

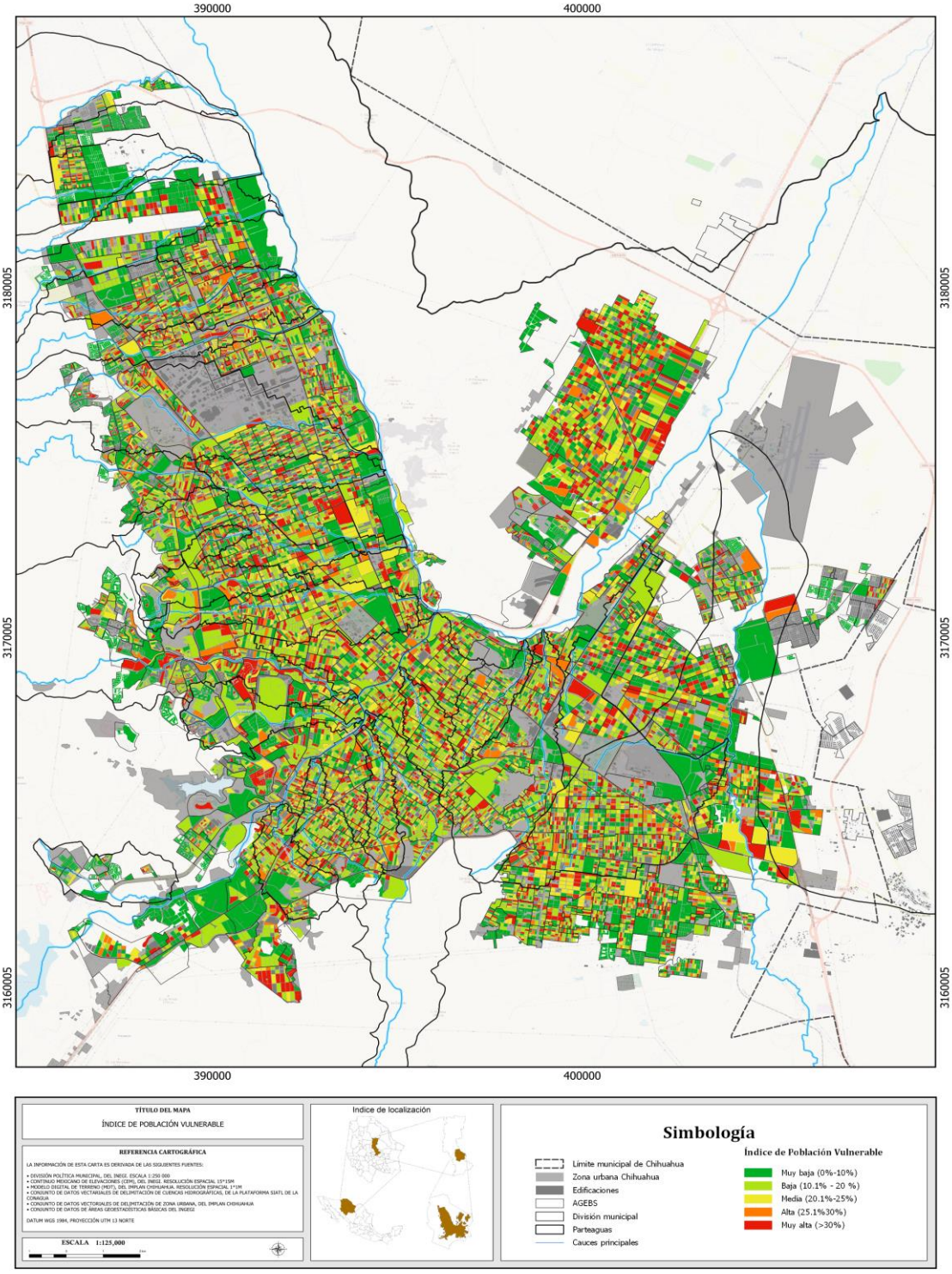


Figura 66. Mapa: Índice de Personas Vulnerables. Fuente: elaboración propia con base en análisis de datos de INEGI (2020) [152].

11.3. Vulnerabilidad de Viviendas ante Inundaciones (IVNS)

De acuerdo con el segundo criterio utilizado para la generación el cálculo de la vulnerabilidad ante inundaciones fue el propuesto en el trabajo "Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas" [(151)] con base en el Índice de Vulnerabilidad por Nivel Socioeconómico (IVNS), mencionado como "Vulnerabilidad ante inundaciones simplificada para viviendas".

Este criterio se basa en el cálculo de niveles socioeconómicos para cada una de las manzanas de INEGI, considerando una relación inversa entre el nivel socioeconómico de una familia o persona y su vulnerabilidad ante una inundación; tomando como premisa que "a mayor nivel socioeconómico menor será la vulnerabilidad ante inundaciones", pues la capacidad de respuesta y recuperación de una familia o persona ante un evento perturbador de inundaciones se ve influenciado por la educación y capacidad económica de las mismas. Asimismo, los materiales de construcción de una vivienda mejoran conforme la capacidad económica de la familia o persona.

Se calculó para cada manzana de INEGI su nivel de vulnerabilidad ante inundaciones por nivel socioeconómico o índice de vulnerabilidad socioeconómica, con base en el cálculo previo de los niveles socioeconómicos de cada manzana de INEGI, considerando una relación inversa entre el nivel socioeconómico y el nivel de vulnerabilidad; es decir, a mayor nivel socioeconómico, menor vulnerabilidad. Se agruparon los niveles socioeconómicos a manera de generar 5 niveles de vulnerabilidad, según lo propuesto por Hernández-Samaniego (2018) [(151)] como se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49. Relación entre nivel socioeconómico y vulnerabilidad ante inundaciones simplificada para vivienda. Fuente: adaptación de por Hernández-Samaniego (2018) [(151)].

Nivel socioeconómico	Vulnerabilidad (IVNS)
Muy bajo (E)	Muy alta (I)
Bajo (D+)	Alta (II)
Medio Bajo (D+)	Media (II)
Medio (C-)	
Medio alto (C)	Baja (IV)
Alto (C+)	
Muy alto (A/B)	Muy baja (V)

En la Figura 67 se muestra el mapa con la distribución espacial de los niveles de vulnerabilidad por nivel socioeconómico (IVNS) para la ciudad 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

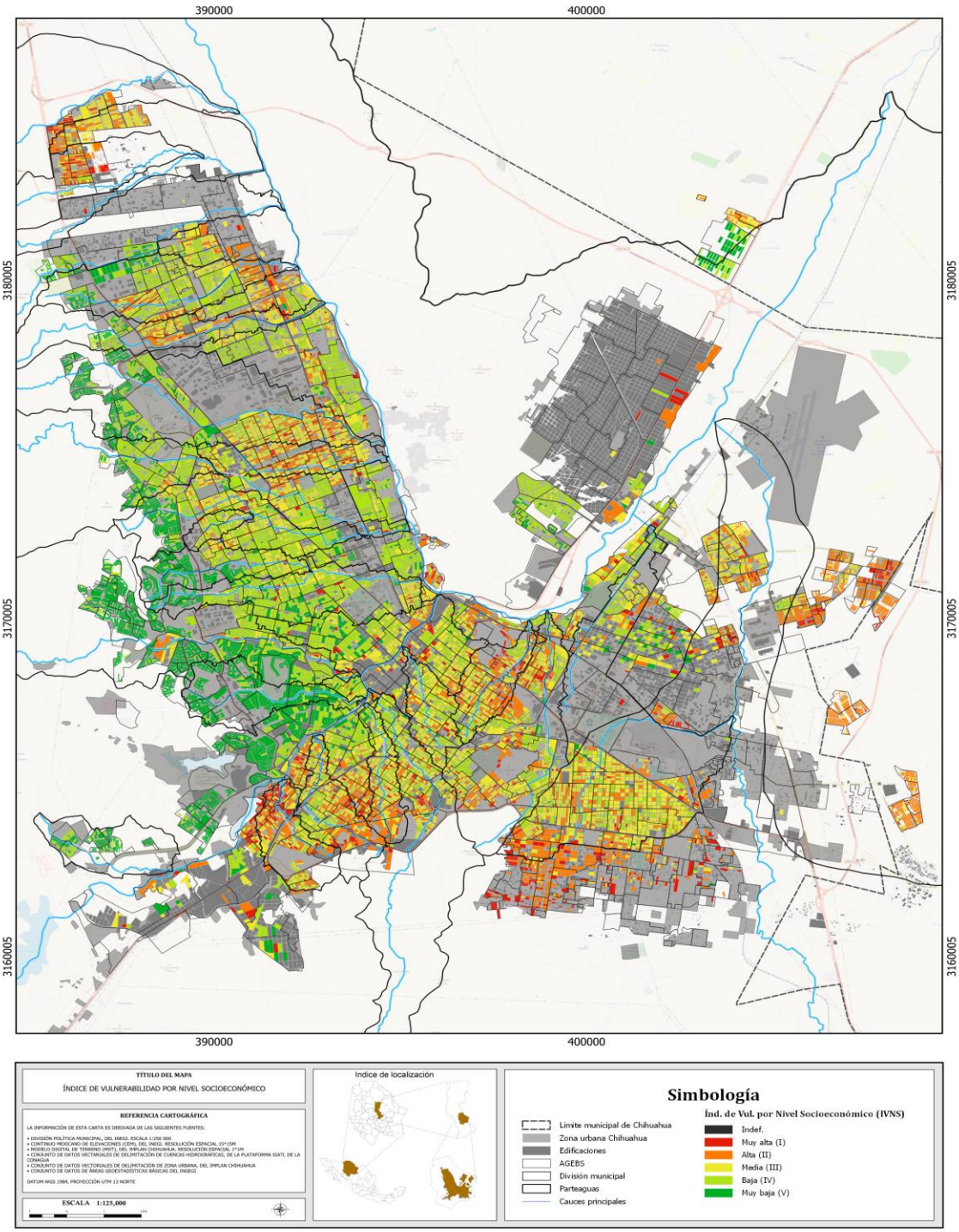


Figura 67. Mapa de distribución espacial de los niveles de vulnerabilidad por nivel socioeconómico (IVNS) para la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con base en análisis de datos de INEGI (2020).

11.4. Análisis de la Vulnerabilidad ante Inundaciones

Población vulnerable ante inundaciones (IPV)

Según el cálculo de la población vulnerable basado en información del INEGI y los criterios recomendados por el IMTA, donde se considera como población vulnerable aquella con menos de 5 años o mayor de 60 años para el cálculo del Índice de Población Vulnerable (IPV), no se observan zonas con una clara concentración de población vulnerable.

Como se muestra en las Figuras 68 a 72 la distribución de los niveles socioeconómicos y los niveles de vulnerabilidad ante inundaciones por nivel socioeconómico, guardan una clara relación con la definición de las AGEBs de INEGI; es decir, dentro de una AGEB es poca la variación de niveles socioeconómico entre las manzanas que la componen. Por lo mismo, tanto para los niveles socioeconómicos como para el IVNS, se aprecia claramente la influencia de límites urbanos como avenidas principales o arroyos en la variación de sus niveles.

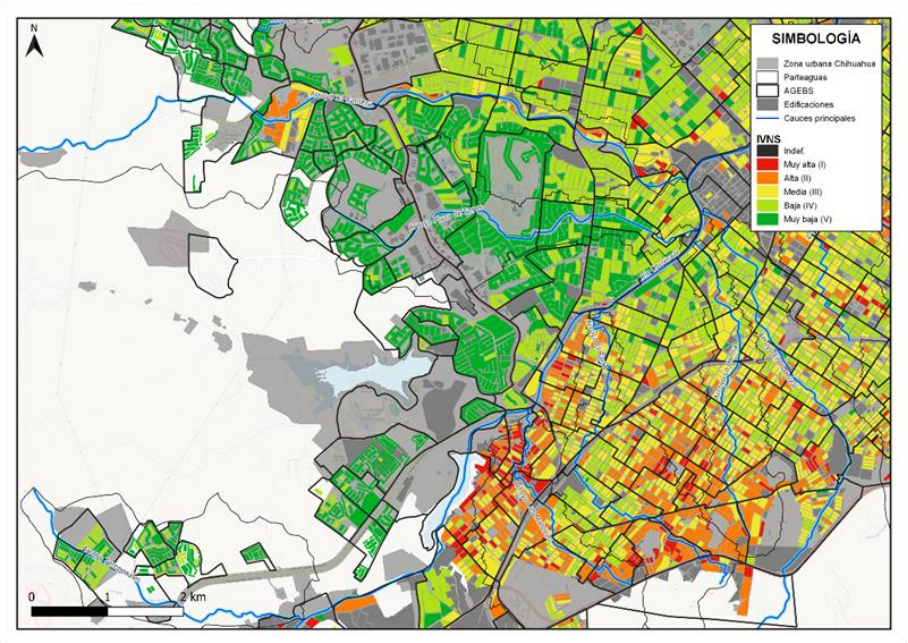


Figura 68. Mapa 3 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020).

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

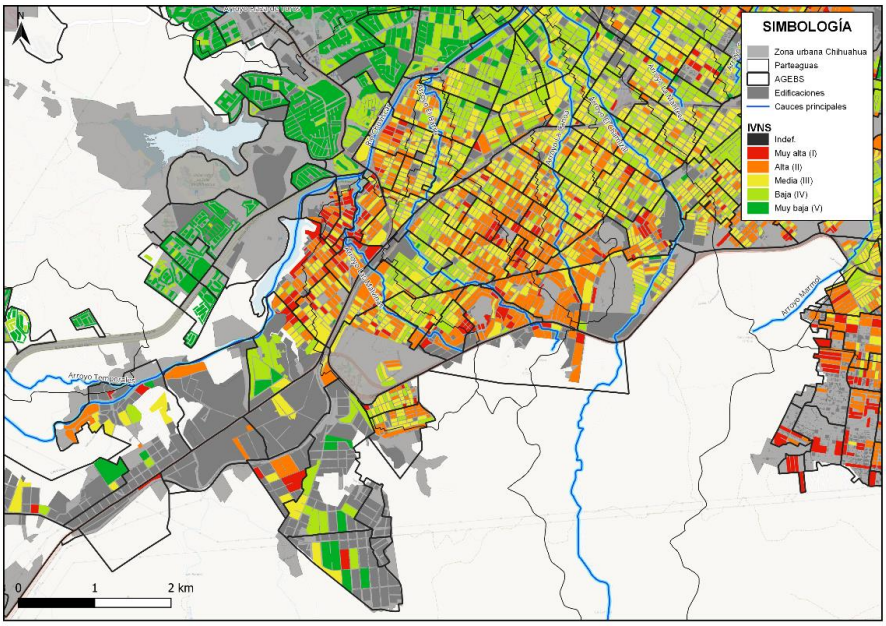


Figura 69. Mapa 4 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020).

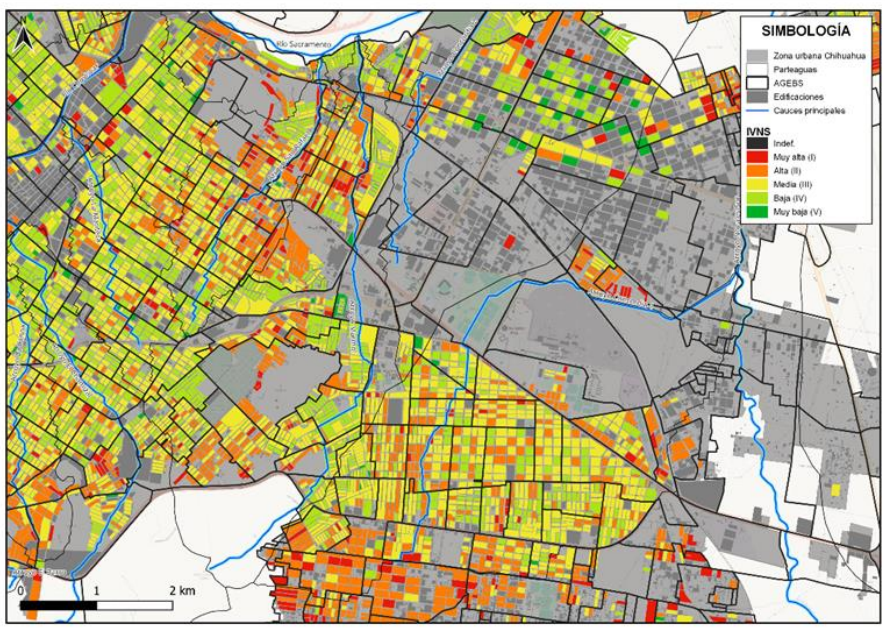


Figura 70. Mapa 5 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020).

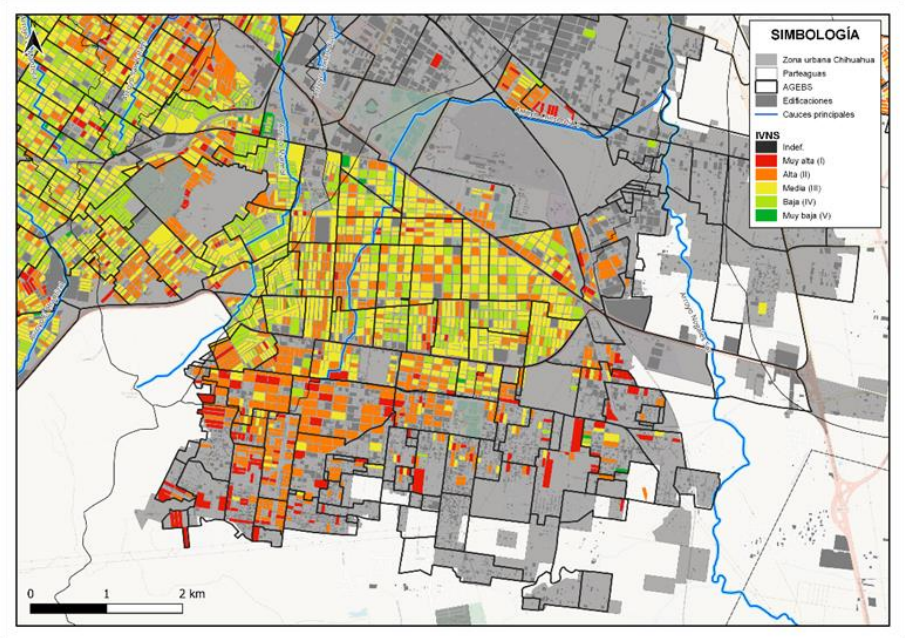


Figura 71. Mapa 6 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020).

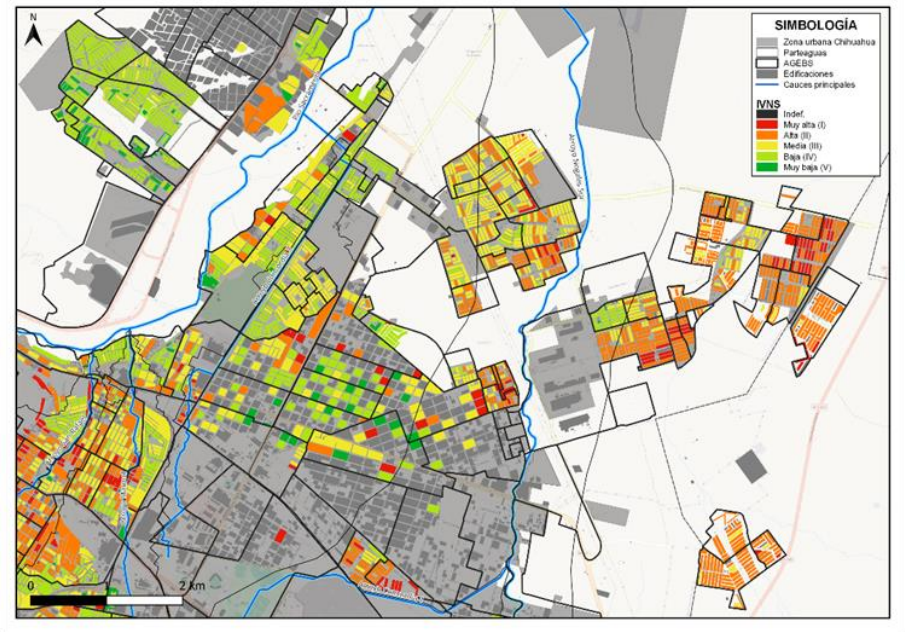


Figura 72. Mapa 7 de la Ciudad de Chihuahua, Índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico. Fuente: Elaboración propia con análisis de datos del INEGI (2020).

11.5. Definición de Zonas Críticas de Vulnerabilidad ante Inundaciones

Con base en el análisis previo, se determinó que el índice de población vulnerable no reveló zonas claramente más propensas a sufrir vulnerabilidad significativa. Por lo tanto, se consideró de manera primordial el índice de vulnerabilidad por nivel socioeconómico, el cual mostró consistencia con los cálculos anteriores realizados en los Atlas de riesgo del municipio de Chihuahua de los años 2014 y 2022.

Las áreas identificadas como más vulnerables están distribuidas principalmente en el norte, sur y sureste de la ciudad. En el norte, se destacan zonas como Riberas del Sacramento y Vistas del Norte, junto con las colonias Porvenir y Nuevo Triunfo, y parcialmente las colonias Revolución, Francisco Villa y C.D.P.

En la zona suroeste de la ciudad, se identificaron como vulnerables las colonias Esperanza, Miguel Hidalgo, Martín López, Ramón Reyes, Alfredo Chávez, Campesina Nueva, Valle de la Madrid, Pinos y Peña Blanca.

En el área central, se encontraron como vulnerables la colonia Paso del Norte, Cerro Prieto, 2 de octubre y Lealtad.

Por último, al sur y sureste de la ciudad se identificaron principalmente las colonias adyacentes al Periférico R. Almada, como Cerro Grande, Vistas Cerro Grande, 3 de mayo, La Soledad, División del Norte y Villa Juárez, así como las colonias Camino Real, Jardines de Oriente, Praderas del Sur, Portal del Real, Punta Oriente y Jardines de San Agustín, entre otras.

Esta distribución de la vulnerabilidad está fundamentada en análisis detallados de datos socioeconómicos y demográficos, lo que proporciona una visión técnica y precisa de las áreas más susceptibles en el municipio de Chihuahua.

11.6. Análisis de Drenajes Pluviales

11.6.1. Análisis para Gastos Máximos por Periodo de Retorno

Con base en los caudales determinados en el análisis superficial de este estudio en el **"informe 9 Integración del análisis de aguas superficiales"** se realizó el análisis para gastos máximos a nueve periodos de retorno. Para el estudio de los gastos máximos se consideraron 41 puntos de análisis en lo que se incluye mínimo un punto de análisis por cada uno de los 26 arroyos y 2 ríos incluidos en el análisis superficial (Figura 73).

En este análisis se calcularon la profundidad máxima de escurrimiento (tirante hidráulico) y velocidad máxima de escurrimiento, con base en simulaciones computacionales-hidráulicas simplificadas mediante el uso el programa computacional Hidra_Bas. Este programa realiza simulaciones hidráulicas a superficie libre de flujo permanente con base en la ecuación de Manning [153].

Para el uso del programa Hidra_Bas, fue necesario determinar características geométricas e hidráulicas de los 41 puntos de análisis hidráulico. En. Específicamente, respecto a su geometría se muestran los valores de su base, talud y altura, los cuales fueron considerados con base en lo descrito por el modelo digital de terreno (MDT) del IMPLAN, mismo archivo del que se obtuvieron valores para el cálculo de la pendiente descendiente media de cada cacuse.

Respecto a su altura, en una gran cantidad de cauces, especialmente en lo que se encuentran actualmente en sección de terreno natural, uno de los lados de la sección cuenta con mayor altura que el otro, por lo que para efectos del presente análisis se consideró la menor altura, con el fin de analizar el escenario más crítico y poder determinar el desbordamiento.

Por otro lado, respecto a los valores del coeficiente de resistencia al flujo "n de Manning" se consideraron valores de 0.035 para cauces en terreno natural, de 0.026 para el punto 41 en el que el río Chuvíscar cuenta con una sección con taludes revestidos y el fondo se encuentra en terreno natural, 0.025 para cauces con revestimiento de mampostería y 0.016 para canales revestidos con concreto.

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

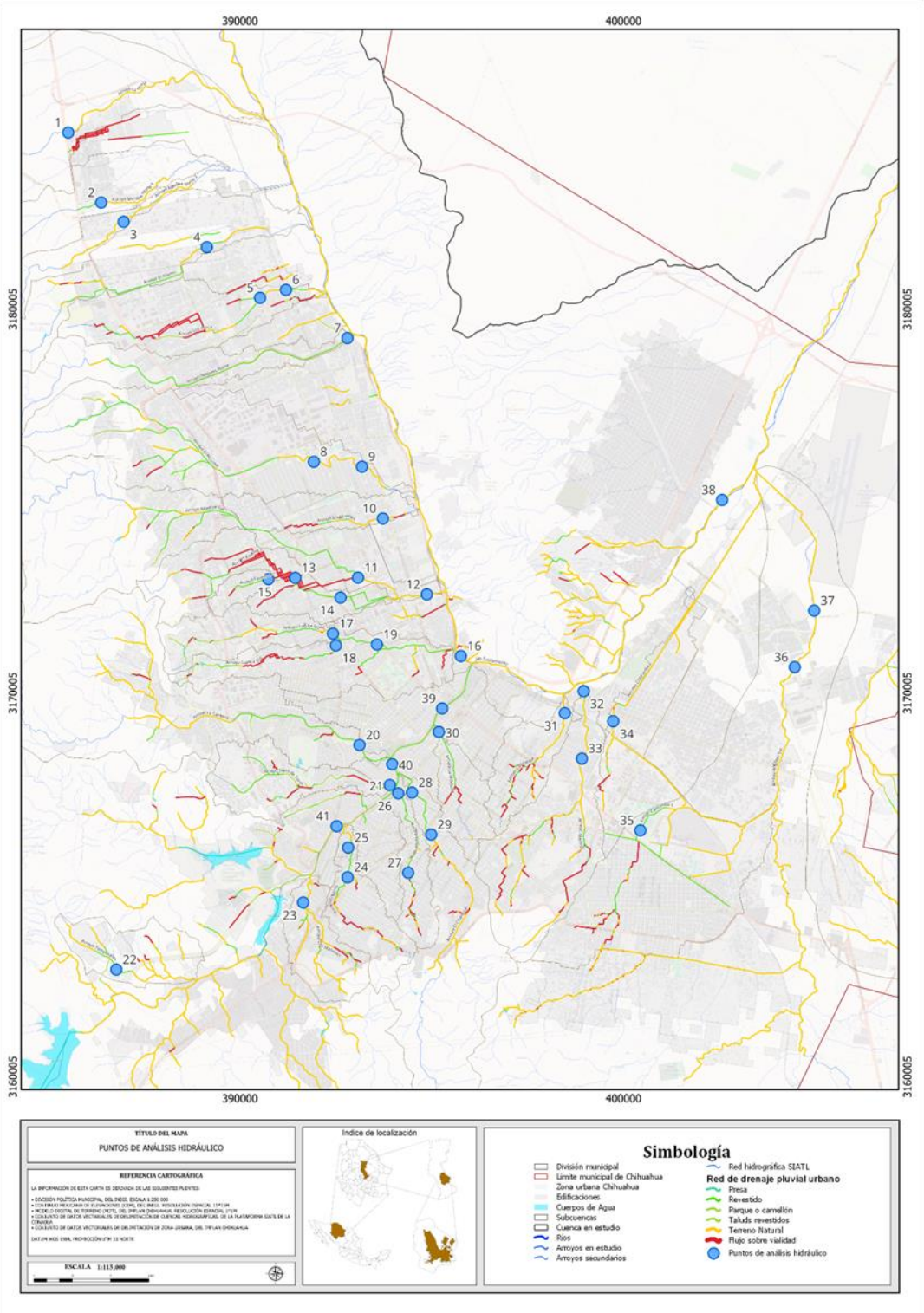


Figura 73. Ubicación de los puntos de análisis hidráulico en el Municipio de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

11.6.2. Análisis por desbordamiento de cauces

En el análisis de desbordamiento de cauces realizado en los 41 puntos seleccionados (Figura 73), se determinó el caudal a partir del cual se produce un desbordamiento en cada ubicación, considerando diferentes periodos de retorno.

Los resultados se detallan en la Tabla 50 y en la Figura 74, donde se muestra el periodo de retorno asociado con el desbordamiento en cada punto analizado.

De los 41 puntos analizados por desbordamiento, destaca primeramente el punto de análisis 13, del arroyo Saucito, correspondiente a una conducción pluvial subterránea que inicia en la intersección de la Av. Juan Escutia y c. González Cossío, con revestimiento de concreto y sección rectangular 1.80m de base y 0.80m de altura. La cual no pudo ser analizada, ya que tiene capacidad de conducción inferior al caudal con periodo de retorno de 2 años, por lo que, prácticamente cada año se ve rebasada su capacidad de conducción.

Posteriormente, destacan 4 puntos de análisis que desde el caudal correspondiente al periodo de retorno de 2 años presentan desbordamientos, 1 presenta desbordamientos a partir del caudal de periodo de retorno de 5 años, otro al periodo de retorno de 20 años, 3 al periodo de retorno de 50 años, 7 al periodo de retorno de 100 años, tres al periodo de retorno de 200 años, 5 al periodo de retorno de 500 años, uno al periodo de retorno de 1,000 años y, por último, 14 puntos de análisis no presentan desbordamiento aun con el caudal de periodo de retorno de 1,000 años, por lo que su desbordamiento sería, teóricamente, causado por un caudal superior a 1,000 años.

A continuación, se enlistan cada uno de los puntos de análisis con respecto al periodo de retorno en el cual el caudal correspondiente provoca desbordamiento:

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **2 años** o inferior: 14-Arroyo Saucito, 19-Arroyo Galera sur, 24-Arroyo el Barro y 35-Arroyo Concordia 1.

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **5 años**: 11-Arroyo Mimbre sur.

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **20 años**: 31-Arroyo San Rafael.

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **50 años**: 3-Arroyo Mimbre Norte 1, 16-Río Sacramento, 33-Arroyo Mármol.

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **100 años**: 4-Arroyo El Álamo, 27-Arroyo La Canoa, 28-Arroyo el Chamizal, 29-Arroyo El Chamizal

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **200 años**: 18-Arroyo Galera Sur, 39-Río Chuvíscar

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

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **500 años**: 6-Arroyo Los Arcos, 17-Arroyo Galera Norte, 20-Arroyo La Cantera, 21-Arroyo Plaza de Toros, 30-Arroyo La Manteca y 41-Río Chuvíscar.

Puntos con desbordamiento al caudal de periodo de retorno de **1,000 años**: 40-Río Chuvíscar.

Puntos con desbordamiento al caudal superior al del periodo de retorno de **1,000 años**: 1-Arroyo La Noria, 2-Arroyo Mimbre Norte 1, 5-Arroyo Los Arcos, 7-Arroyo Nogales Norte, 8-Arroyo El Pichacho, 9-Arroyo El Pichacho, 10-Arroyo Magallanes, 12-Arroyo Mimbre Sur, 15-Arroyo Saucito 2, 22-Arroyo Los Temporales, 23-Arroyo Las Malvinas, 25-Arroyo El Barro, 26-Arroyo La Canoa, 38-Río Sacramento

Tabla 50. Puntos de análisis hidráulico con desbordamiento a cada periodo de retorno analizado a. Fuente: elaboración propia.

Punto de análisis	Cauce	Bordo libre (m) a cada periodo de retorno								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
1	Arroyo La Noria	1.17	1.05	0.96	0.86	0.73	0.64	0.54	0.44	0.37
2	Arroyo Mimbre Norte 1	1.26	1.15	1.06	0.98	0.86	0.77	0.69	0.60	0.54
3	Arroyo Mimbre Norte 2	0.36	0.22	0.11	0.02	-0.12	-0.21	-0.32	-0.41	-0.49
4	Arroyo El Alamo	0.43	0.30	0.21	0.13	0.01	-0.07	-0.15	-0.24	-0.30
5	Arroyo Los Arcos	1.61	1.49	1.40	1.33	1.23	1.16	1.10	1.01	0.95
6	Arroyo Los Arcos	0.54	0.42	0.33	0.26	0.17	0.10	0.03	-0.05	-0.11
7	Arroyo Nogales Norte	2.88	2.72	2.59	2.47	2.31	2.19	2.07	1.94	1.86
8	Arroyo El Picacho	1.65	1.53	1.43	1.35	1.24	1.16	1.08	0.99	0.92
9	Arroyo El Picacho	1.42	1.24	1.10	0.98	0.83	0.72	0.61	0.46	0.37
10	Arroyo Magallanes	1.00	0.84	0.72	0.62	0.50	0.41	0.32	0.21	0.13
11	Arroyo Mimbre Sur	0.30	-0.13	-0.45	-0.73	-1.10	-1.38	-1.65	-1.93	-2.15
12	Arroyo Mimbre Sur	1.58	1.44	1.33	1.23	1.10	1.01	0.91	0.79	0.72
13	Arroyo Saucito 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Arroyo Saucito 1	-0.38	-0.65	-0.84	-1.00	-1.21	-1.37	-1.50	-1.69	-1.82
15	Arroyo Saucito 2	0.47	0.39	0.33	0.28	0.22	0.17	0.14	0.08	0.05
16	Río Sacramento	1.79	1.18	0.71	0.27	-0.34	-0.79	-1.24	-1.70	-2.04
17	Arroyo Galera Norte	0.55	0.43	0.33	0.25	0.15	0.08	0.01	-0.08	-0.15
18	Arroyo Galera Sur	0.56	0.43	0.32	0.23	0.14	0.05	-0.02	-0.12	-0.19
19	Arroyo Galera Sur	-0.13	-0.37	-0.56	-0.71	-0.89	-1.04	-1.17	-1.34	-1.38
20	Arroyo La Cantera	1.76	1.47	1.22	0.98	0.66	0.40	0.13	-0.17	-0.41
21	Arroyo Plaza de Toros	1.04	0.79	0.63	0.49	0.32	0.20	0.10	-0.05	-0.16
22	Arroyo Los Temporales	1.58	1.41	1.28	1.17	1.01	0.90	0.78	0.64	0.54
23	Arroyo Las Malvinas	5.03	4.89	4.79	4.70	4.60	4.52	4.44	4.35	4.28
24	Arroyo El Barro	-0.52	-0.66	-0.76	-0.84	-0.94	-1.02	-1.09	-1.20	-1.27
25	Arroyo El Barro	1.10	0.99	0.92	0.85	0.76	0.69	0.64	0.56	0.50
26	Arroyo La Canoa	1.42	1.21	1.05	0.92	0.74	0.60	0.46	0.27	0.13
27	Arroyo La Canoa	0.29	0.20	0.14	0.08	0.01	-0.03	-0.08	-0.15	-0.19
28	Arroyo El Chamizal	1.30	1.02	0.80	0.57	0.22	-0.04	-0.32	-0.64	-0.88
29	Arroyo El Chamizal	0.89	0.61	0.50	0.34	0.14	-0.01	-0.16	-0.31	-0.44
30	Arroyo La Manteca	1.11	0.89	0.71	0.55	0.35	0.20	0.04	-0.16	-0.32
31	Arroyo San Rafael	0.25	0.11	0.01	-0.07	-0.17	-0.25	-0.32	-0.41	-0.47
32	Arroyo Marmol	0.86	0.65	0.48	0.36	0.18	0.07	-0.06	-0.20	-0.31
33	Arroyo Marmol	0.53	0.32	0.16	0.02	-0.14	-0.27	-0.39	-0.54	-0.64
34	Arroyo Concordia 2	0.32	0.23	0.17	0.11	0.04	-0.01	-0.06	-0.12	-0.16
35	Arroyo Concordia 1	-0.04	-0.24	-0.37	-0.49	-0.63	-0.73	-0.83	-1.05	-1.04
36	Arroyo Nogales Sur	2.69	2.01	1.51	1.05	0.43	-0.02	-0.47	-0.92	-1.26
37	Arroyo Nogales Sur	2.05	1.49	1.04	0.63	0.10	-0.31	-0.71	-1.13	0.57
38	Río Sacramento	2.68	2.48	2.31	2.15	1.92	1.75	1.58	1.40	1.27
39	Río Chuvíscar	3.80	2.98	2.35	1.72	0.87	0.25	-0.40	-1.04	-1.54
40	Río Chuvíscar	3.86	3.26	2.78	2.31	1.68	1.19	0.70	0.20	-0.18
41	Río Chuvíscar	3.24	2.63	2.16	1.70	1.08	0.61	0.13	-0.36	-0.73

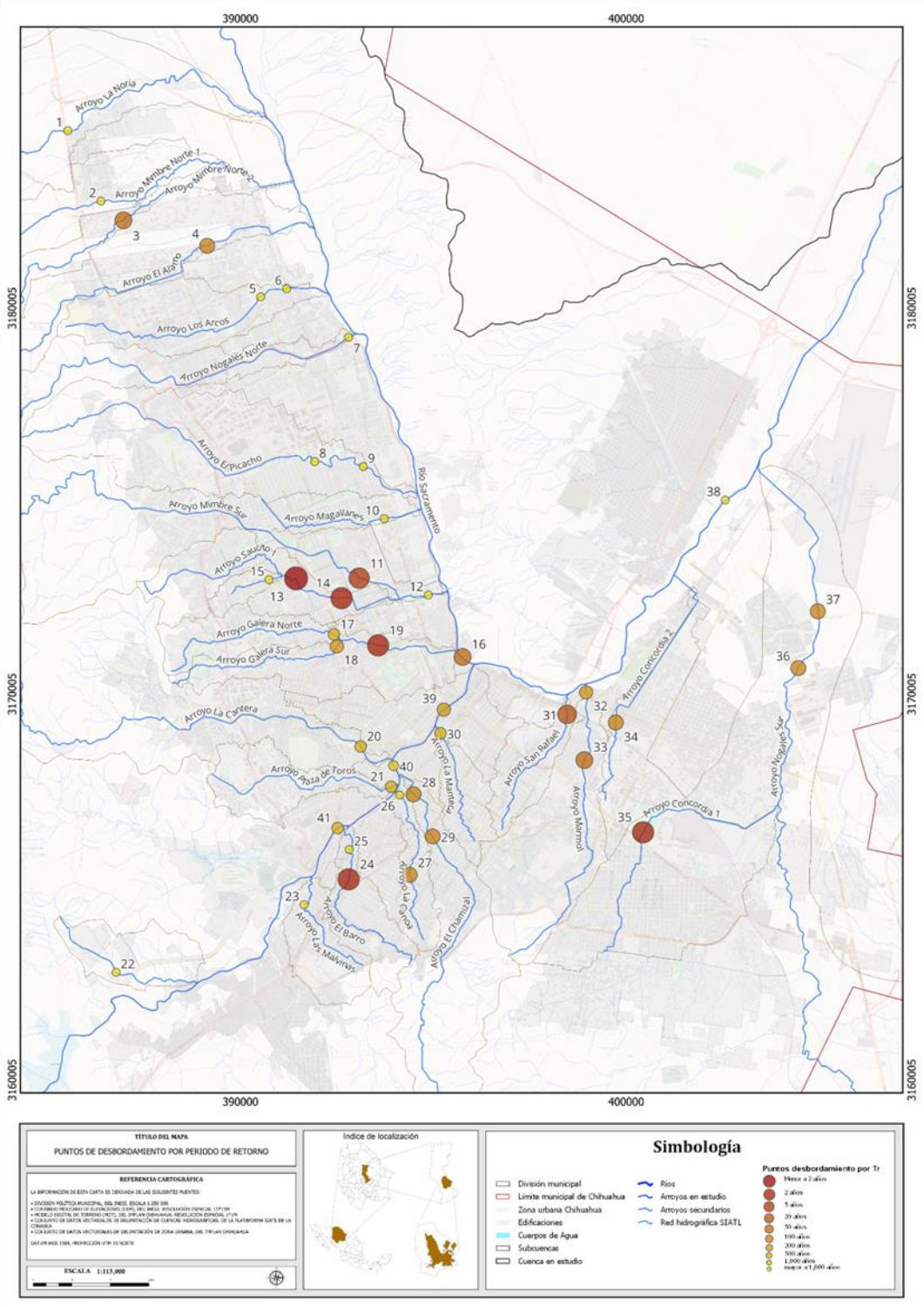


Figura 74. Ubicación de los puntos de análisis hidráulico con desbordamiento, por periodo de retorno. Fuente: elaboración propia.

11.6.3. Análisis por altas velocidades en cauces

Al igual que en el análisis por desbordamiento, se identificaron en cada uno de los puntos de análisis a partir del caudal de que periodo de retorno se presentaban problemas por alta velocidades de escurrimiento.

Para este análisis se establecieron las velocidades máximas permisibles de escurrimiento para cada tipo de revestimiento, siguiendo las recomendaciones de las Normas Técnicas Complementarias de la CONAGUA [(154)] y al manual de diseño "Criterios y Lineamientos Técnicos para Factibilidades-Alcantarillado Pluvial" de SIAPA (2014) [(155)]. Se consideraron velocidades máximas permisibles de 3.00 m/s para cauces sin revestimiento o con taludes revestidos, pero fondo en terreno natural, 5.50 m/s para cauces con revestimiento de mampostería y 7.00 m/s para cauces con revestimiento de concreto.

A continuación, se enlistan cada uno de los puntos de análisis con respecto al periodo de retorno en el cual su caudal provoca velocidad de escurrimiento superior a la máxima permisible (Tabla 51 y Figura 75):

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal de periodo del retorno de **2 años** o inferior: 5-Arroyo Los Arcos, 11-Arroyo Mimbre Sur, 12-Arroyyo Mimbre Sur, 13-Arroyo Saucito 1*, 14-Arroyo Saucito 1, 23-Arroyo Las Malvinas, 31-Arroyo San Rafael, 32-Arroyo Mármol, 33-Arroyo Mármol

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **5 años**: 27-Arroyo La Canoa, 35-Arroyo Concordia 1, 37-Arroyo Nogales Sur, 40-Río Chuvíscar, 41-Río Chuvíscar

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **10 años**: 9-Arroyo El Picacho, 28-Arroyo El Chamizal, 29-Arroyo El Chamizal, 36-Arroyo Nogales Sur, 39-Río Chuvíscar

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **20 años**: 3-Arroyo Mimbre Norte 2, 7-Arroyo Nogales Norte

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **50 años**: 16- Río Sacramento, 19-Arroyo Galera Sur.

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **100 años**: 2- Arroyo Mimbre, 16- Río Sacramento, 4-Arroyo El Álamo y 17-Arroyo Galera Norte.

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **200 años**: 21-Plaza de Toros.

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal de periodo del retorno de **500 años**: 10-Arroyo Magallanes y 26-Arroyo La Canoa.

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible al caudal del periodo de retorno de **1,000 años**: 38-Río Sacramento.

Puntos con velocidad superior a la máxima permisible a caudal superior al del periodo de retorno de **1,000 años**: 6-Arroyo Los Arcos, 8-Arroyo El Picacho, 15-Arroyo Saucito 2, 18-Arroyo Galera Sur, 20-Arroyo La Cantera, 22-Arroyo Los Temporales, 24-Arroyo El Barro, 25-Arroyo El Barro, 30-Arroyo La Manteca, 34-Arroyo Concordia 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 51. Puntos de análisis hidráulico con problemas por velocidad a cada periodo de retorno analizado. Fuente: elaboración propia.

Punto de análisis	Cauce	Velocidad a cada periodo de retorno (m/s)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
1	Arroyo La Noria	1.26	1.53	1.75	1.96	2.23	2.40	2.59	2.75	2.88
2	Arroyo Mimbre Norte 1	1.76	2.15	2.42	2.66	2.97	3.19	3.40	3.60	3.74
3	Arroyo Mimbre Norte 2	1.11	2.55	2.79	3.00	3.26	3.44	3.61	3.78	3.90
4	Arroyo El Alamo	2.15	2.40	2.57	2.72	2.91	3.03	3.16	3.29	3.39
5	Arroyo Los Arcos	3.03	3.30	3.48	3.63	3.81	3.94	4.06	4.20	4.30
6	Arroyo Los Arcos	1.89	2.06	2.18	2.27	2.39	2.46	2.53	2.63	2.69
7	Arroyo Nogales Norte	5.02	5.89	6.50	7.03	7.70	8.10	8.59	9.00	9.30
8	Arroyo El Picacho	2.15	2.38	2.54	2.67	2.83	2.95	3.06	3.20	3.30
9	Arroyo El Picacho	2.55	2.81	3.00	3.15	3.34	3.47	3.61	3.76	3.87
10	Arroyo Magallanes	2.20	2.40	2.54	2.66	2.79	2.88	2.97	3.07	3.15
11	Arroyo Mimbre Sur	3.47	3.76	3.96	4.12	4.33	4.49	4.62	4.78	4.89
12	Arroyo Mimbre Sur	5.40	5.99	6.40	6.76	7.20	7.50	7.80	8.10	8.37
13	Arroyo Saucito 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Arroyo Saucito 1	3.13	3.33	3.46	3.58	3.71	3.82	3.90	4.02	4.10
15	Arroyo Saucito 2	3.85	4.09	4.25	3.38	4.54	4.65	4.75	4.88	4.99
16	Río Sacramento	1.64	2.18	2.54	2.83	3.20	3.45	3.69	3.92	4.08
17	Arroyo Galera Norte	2.38	2.56	2.69	2.80	2.92	3.01	3.10	3.20	3.27
18	Arroyo Galera Sur	3.68	3.97	4.17	4.32	4.52	4.65	4.78	4.94	5.06
19	Arroyo Galera Sur	4.65	4.99	5.22	5.40	5.63	5.79	5.93	6.12	6.25
20	Arroyo La Cantera	4.34	4.84	5.20	5.50	5.80	6.12	6.36	6.60	6.67
21	Arroyo Plaza de Toros	3.64	4.23	4.60	4.88	5.20	5.42	5.61	5.86	6.02
22	Arroyo Los Temporales	2.03	2.48	2.78	3.03	3.35	3.57	3.78	4.00	4.17
23	Arroyo Las Malvinas	3.28	3.50	3.64	3.77	3.91	4.01	4.11	4.25	4.34
24	Arroyo El Barro	2.89	3.10	3.25	3.36	3.50	3.60	3.70	3.82	3.91
25	Arroyo El Barro	4.89	5.26	5.52	5.73	5.99	6.17	6.35	6.57	6.71
26	Arroyo La Canoa	5.66	6.00	6.23	6.40	6.61	6.75	6.89	7.04	7.15
27	Arroyo La Canoa	2.89	3.10	3.24	3.36	3.50	3.59	3.69	3.82	3.90
28	Arroyo El Chamizal	5.86	6.58	7.06	7.47	7.94	8.26	8.54	8.81	9.01
29	Arroyo El Chamizal	2.48	2.80	3.03	3.22	3.46	3.63	3.79	3.94	4.07
30	Arroyo La Manteca	4.92	5.26	5.49	5.66	5.86	5.99	6.11	6.26	6.35
31	Arroyo San Rafael	3.01	3.27	3.45	3.59	3.76	3.86	3.98	4.12	4.22
32	Arroyo Marmol	3.10	3.34	3.50	3.64	3.80	3.92	4.03	4.17	4.26
33	Arroyo Marmol	3.40	3.69	3.89	4.06	4.25	4.39	4.53	4.69	4.80
34	Arroyo Concordia 2	2.01	2.17	2.27	2.36	2.46	2.53	2.61	2.69	2.76
35	Arroyo Concordia 1	6.62	7.14	7.50	7.80	8.14	8.38	8.61	8.85	9.09
36	Arroyo Nogales Sur	2.42	2.80	3.05	3.27	3.54	3.72	3.90	4.08	4.20
37	Arroyo Nogales Sur	2.76	3.22	3.54	3.81	4.14	4.37	4.59	4.81	4.97
38	Río Sacramento	1.16	1.50	1.76	1.99	2.28	2.49	2.69	2.88	3.01
39	Río Chuvíscar	4.99	6.27	7.11	7.40	8.70	9.31	9.86	10.40	10.80
40	Río Chuvíscar	5.52	7.30	8.47	9.48	10.70	11.53	12.31	13.05	13.59
41	Río Chuvíscar	2.29	3.38	4.08	4.67	5.40	5.89	3.35	6.80	7.12

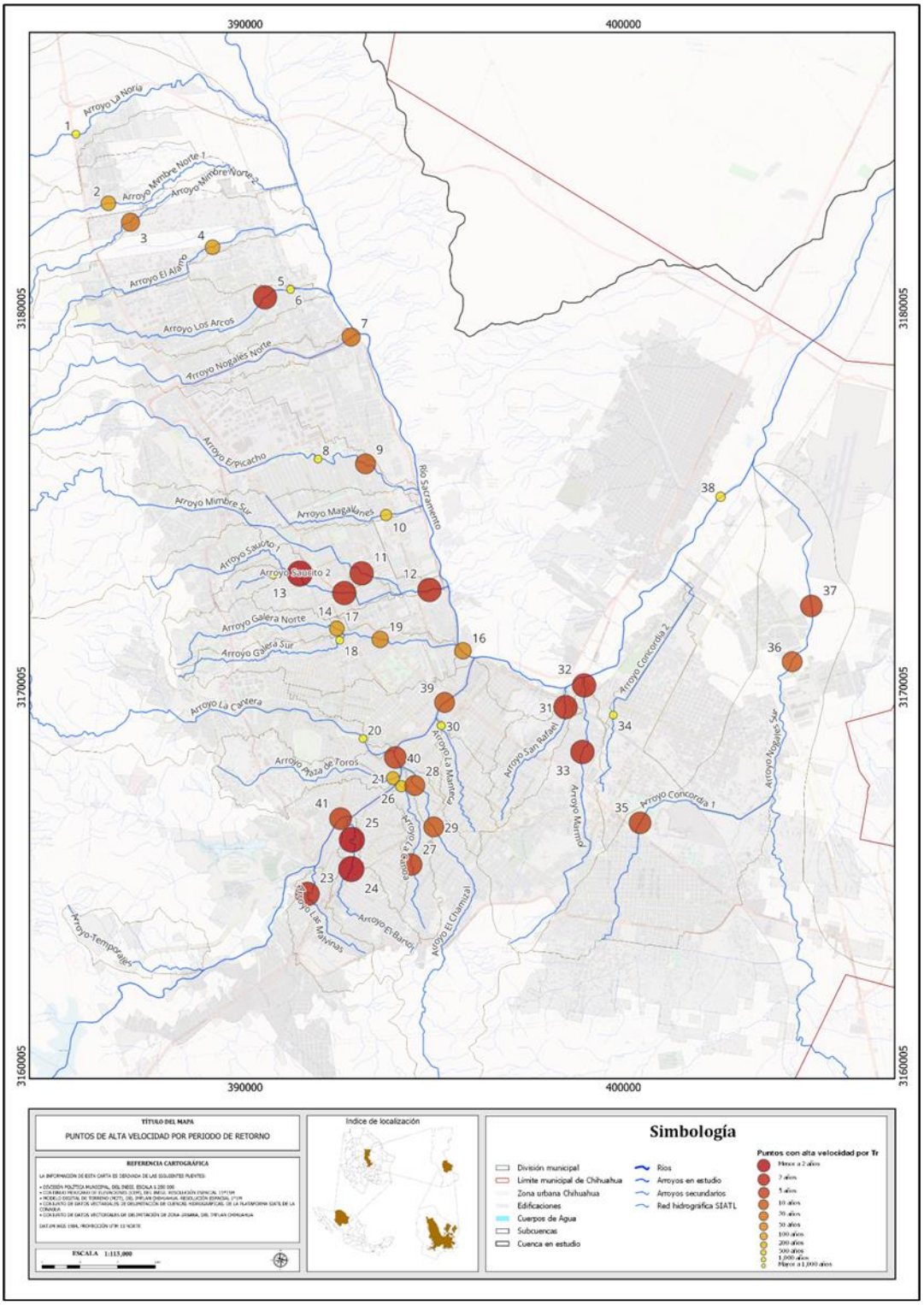


Figura 75. Ubicación de los puntos de análisis hidráulico con velocidad alta, por periodo de retorno. Fuente: elaboración propia.

Considerando los análisis de desbordamiento y de altas velocidades de escurrimiento, es importante destacar que algunos puntos no muestran desbordamiento hasta periodos de retorno relativamente altos, pero sí presentan velocidades de escurrimiento altas desde periodos de retorno bajos. Por ejemplo, los puntos 12-Arroyo Mimbre Sur y 23-Arroyo Las Malvinas no presentan desbordamiento incluso hasta el periodo de retorno de 1,000 años, pero tienen velocidades superiores a la máxima permisible desde el periodo de retorno de 2 años. En contraste, el punto 24-Arroyo El Barro no tiene problemas por alta velocidad, pero muestra desbordamiento desde el periodo de retorno de 2 años. Estos casos plantean dificultades para determinar si existen problemas pluviales debido a los resultados contradictorios entre desbordamiento y altas velocidades.

Por otro lado, es crucial prestar atención a los puntos 13 y 14 en el arroyo Saucito, donde el punto 13 no pudo ser analizado y el punto 14 presenta desbordamiento y velocidades superiores a las máximas permisibles desde el periodo de retorno de 2 años. Asimismo, los puntos de análisis 35-Arroyo Concordia 1, el cual presenta desbordamientos desde el periodo de retorno de 2 años y velocidad superior a la máxima permisible desde el periodo de retorno de 5 años, por su parte el punto 11-Arroyo Mimbre Sur presenta desbordamiento desde el periodo de retorno de 5 años y velocidad superior a la máxima permisible desde el periodo de retorno de 2 años. Por último, el punto de análisis 31-Arroyo San Rafael presenta desbordamientos desde el periodo de retorno de 20 años y velocidad superior a la máxima permisible desde el periodo de retorno de 2 años.

Es importante mencionar que, debido a las simplificaciones realizadas en este análisis y al alcance de este, se analizaron los 41 puntos más relevantes de los 28 cauces estudiados. Sin embargo, existe la posibilidad de que haya otros puntos en los cauces con problemas de desbordamiento o altas velocidades de escurrimiento que no fueron identificados en este análisis. Asimismo, es necesario tener en cuenta que los puntos donde no se identificaron desbordamientos o altas velocidades no necesariamente están libres de problemas pluviales. Simplemente, estos problemas no fueron identificados en el presente análisis hidráulico. Por lo tanto, no se debe descartar la necesidad de realizar un análisis más detallado en esos puntos, así como acciones de mantenimiento, rediseño o manejo de aguas pluviales. Por esta razón, se recomienda realizar un análisis hidráulico de drenaje pluvial detallado en cada uno de los cauces del municipio de Chihuahua.

11.7. Análisis de los Drenajes Pluviales Existentes

El aumento de afectaciones por inundaciones tiene una componente climatológica relacionada al cambio climático como se menciona en **el Informe 5 de este estudio Integración del análisis de riesgos y resiliencia hídrica**, así mismo, el municipio de Chihuahua cuenta con un factor que puede llegar a incrementar las afectaciones por inundaciones. La zona de estudio se caracteriza por contar con lluvias de tipo convectivas, en las cuales son lluvias de alta intensidad en las que se precipita una cantidad relativamente grande de agua en relativamente poco tiempo; coloquialmente conocemos este tipo de precipitación como “lluvias torrenciales”, “chubascos” o incluso “trombas”.

Este tipo de lluvias favorecen la rápida acumulación de agua en ríos, arroyos y corrientes de agua en general, propiciando inundaciones repentinas y de corta duración (horas), en contraste con las inundaciones en ciudades ubicadas en zonas bajas de grandes cuencas, como la ciudad de Tabasco, donde las inundaciones pueden durar días.

Asimismo, el clima semidesértico del municipio de Chihuahua provoca que estas lluvias intensas sean relativamente poco frecuentes a lo largo del año, siendo eventos esporádicos. Esta situación lleva a que la sociedad no esté constantemente consciente de los peligros que pueden representar las lluvias y las inundaciones. Además, no se reconoce plenamente la importancia de la infraestructura pluvial urbana, ya que esta brinda servicio muy pocas veces al año. Aun cuando se presenten eventos de tormenta cada año, es común que la infraestructura funcione por debajo de su capacidad máxima, debido a que está diseñada para eventos extremos. Esto crea una falsa sensación de seguridad en la población.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta que en la ciudad de Chihuahua no se cuenta formalmente con un drenaje pluvial entubado, más que unos pocos arroyos que han sido canalizados y posteriormente se les ha colocado una losa generando un ducto. Se consideró como drenaje pluvial a la red de arroyos y ríos de la ciudad, junto con sus diversas obras pluviales como canalizaciones, rectificaciones y estructuras de regulación o retención pluvial.

Tipos de acciones y obras de manejo de agua pluvial

Existen diversas acciones para el manejo de agua de lluvia en zonas urbanas y para la mitigación de afectaciones por inundaciones. Dentro de estas acciones se pueden encontrar acciones de tipo preventivo, correctivo o reactivo, dependiendo del tiempo en el que se generan y el momento en que se perciben sus beneficios. Asimismo, pueden encontrarse obras de tipo estructural y no estructural, dependiendo de si son acciones físicas o en forma de información, leyes o decisiones de tipo de políticas públicas. En general, el drenaje pluvial urbano se considera una acción estructural de manejo de agua de lluvia para mitigación de afectaciones directas e indirectas por inundaciones [(50) (156)].

Dentro del drenaje pluvial urbano se reconocen una variedad de diferentes tipos de obras o estructuras para el manejo de agua de lluvia, algunas de las principales son [(146) (157) (158)]:

- Canalización y/o rectificación de cauces: Modificación de cauces naturales para aumentar su capacidad de desalojo de agua y reducir la probabilidad de inundaciones, aunque ha recibido críticas por su enfoque "únicamente" de desalojo.
- Estructuras de detención o regulación pluvial (rompe-picos): Estructuras que detienen temporalmente el agua en embalses o tanques para reducir el caudal máximo del cauce y prevenir inundaciones, aunque no reducen el volumen de escurrimiento.
- Estructuras de retención (infiltración): Retienen agua para su infiltración en el suelo, con el objetivo de recargar acuíferos, aunque pueden generar agua estancada.

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

- Parques lineales o parques hundidos: Espacios públicos construidos a lo largo de ríos o arroyos que funcionan como corredores de crecidas, reduciendo el caudal máximo y aportando a la recarga de acuíferos.
- Bordos de protección: Terraplenes construidos en los márgenes de cauces para contener el flujo y evitar desbordamientos, reduciendo la probabilidad de inundaciones.
- Sistemas de drenaje pluvial urbano: Estructuras de captación, conducción y descarga de agua de lluvia fuera de áreas urbanas mediante conductos tubulares subterráneos.

Por otro lado, dentro de las acciones no estructurales para manejo de agua de lluvia y reducción de riesgo ante inundaciones podemos mencionar como algunas de las más importantes a las siguiente [146] [157] [158]:

- Programas de planificación urbana hídricamente sensibles: Generados por dependencias gubernamentales para establecer la forma de urbanización, usos de suelo y restricciones de edificación en zonas con alto impacto hidrológico.
- Reforestación, control y restauración de suelos: Aumenta la vegetación en la cuenca, reduciendo el coeficiente de escurrimiento y el volumen de escurrimiento pluvial.
- Programas de inspección y limpieza de arroyos y canales urbanos: Inspección y limpieza periódica de cauces y canales urbanos para mantener su buen funcionamiento hidráulico.
- Atlas de riesgo y planes de contingencia: Determinan la actuación durante contingencias, estableciendo acciones y responsabilidades. Aunque reactivos, son indispensables para la preparación ante contingencias.
- Programas de educación sobre cultura del agua: Proporcionan información sobre temas hídricos de forma accesible, aplicados en escuelas o mediante publicidad institucional y pláticas en diversos sectores.

Niveles de manejo de agua pluvial urbana

Para poder analizar el sistema de drenaje pluvial urbano del municipio de Chihuahua se determinaron los niveles de manejo urbano de agua de lluvia [159] [160] [161] [162]:

1. **Drenaje de agua pluvial urbana mediante cauces naturales sin revestimiento:** En este nivel, el agua de lluvia fluye a través de ríos y arroyos sin ningún tipo de revestimiento o infraestructura de manejo.
2. **Drenaje de agua de lluvia pluvial urbana mediante canales pluviales:** Se canalizan los ríos, arroyos y escurrimientos secundarios, revistiéndolos con materiales como concreto y mampostería, basándose en un diseño hidrológico-hidráulico.
3. **Primer nivel de reducción de impacto hidrológico:** Además de la canalización, se construyen obras de detención (regulación) pluvial que disminuyen el caudal máximo de escurrimiento y retrasan su aparición, sin reducir el volumen de escurrimiento.

4. **Segundo nivel de reducción de impacto hidrológico:** Se complementan las obras de regulación con obras de retención (infiltración) que, además de disminuir el caudal de escurrimiento y retrasarlo, reducen el volumen de escurrimiento.
5. **Tercer nivel de reducción de impacto hidrológico:** Junto con las canalizaciones y las obras de detención y retención, se realizan análisis periódicos de calidad del agua pluvial y se construyen obras para tratamientos primarios y secundarios de las aguas de lluvia, especialmente las primeras escorrentías.

Análisis del tipo de revestimiento o superficie de flujo de arroyos urbanos

Con el objetivo de identificar las principales zonas de inundación en el municipio de Chihuahua, especialmente en su zona urbana, así como los puntos con mayores problemas de inundación, se clasificó la mayoría de los escurrimientos de la ciudad según su tipo de revestimiento o determinando las zonas donde el agua fluye sobre una vialidad.

Los cauces o escurrimientos se clasificaron en seis categorías distintas, descritas a continuación [146] [161] [162]:

- Presa: Continuidad del río o arroyo sobre el vaso de una presa, donde el peligro de inundaciones es prácticamente nulo debido a la ausencia de edificaciones y actividad humana.
- Revestido: Cauces con revestimiento de concreto o mampostería. Estos escurrimientos tienen menor probabilidad de desbordamiento, ya que el revestimiento reduce la resistencia al flujo y suelen ser resultado de análisis hidrológicos y diseños hidráulicos.
- Parque o camellón: Cauces que fluyen dentro de un parque o camellón sin revestimiento. Aunque no necesariamente reducen el peligro hidráulico, disminuyen el riesgo de inundaciones al separar físicamente el agua de entes vulnerables como personas, viviendas y vehículos.
- Taludes revestidos: Cauces con taludes revestidos y fondo natural, considerados un punto medio entre un canal revestido y un cauce en sección natural. Tienen un peligro de inundación intermedio entre estos dos tipos de escurrimiento.
- Terreno o sección naturales: Arroyos sin intervención para modificar su escurrimiento, permitiendo un flujo natural. Tienen una mayor probabilidad de desbordarse y pueden estar cerca de elementos vulnerables como viviendas y edificaciones.
- Flujo sobre vialidad: Escurrimientos que fluyen por encima de una vialidad, identificados como arroyos en el presente estudio. Estas zonas tienen un alto peligro y riesgo hidráulico, con mayor probabilidad de causar afectaciones a viviendas, edificaciones, vehículos y, lo más importante, pérdida de vidas humanas debido al arrastre del escurrimiento.

Mapa general de las obras de drenaje pluvial de la ciudad de Chihuahua.

A continuación, en la Figura 76, se presenta el mapa general de la red de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Chihuahua. En este mapa, se identifican los diversos puntos donde se ha implementado algún tipo de infraestructura para la conducción de agua pluvial, ya sea a través de canales y taludes revestidos, flujos sobre camellones o parques, así como áreas donde el flujo es sobre terreno natural o se presentan puntos de peligro debido al flujo sobre vialidades.

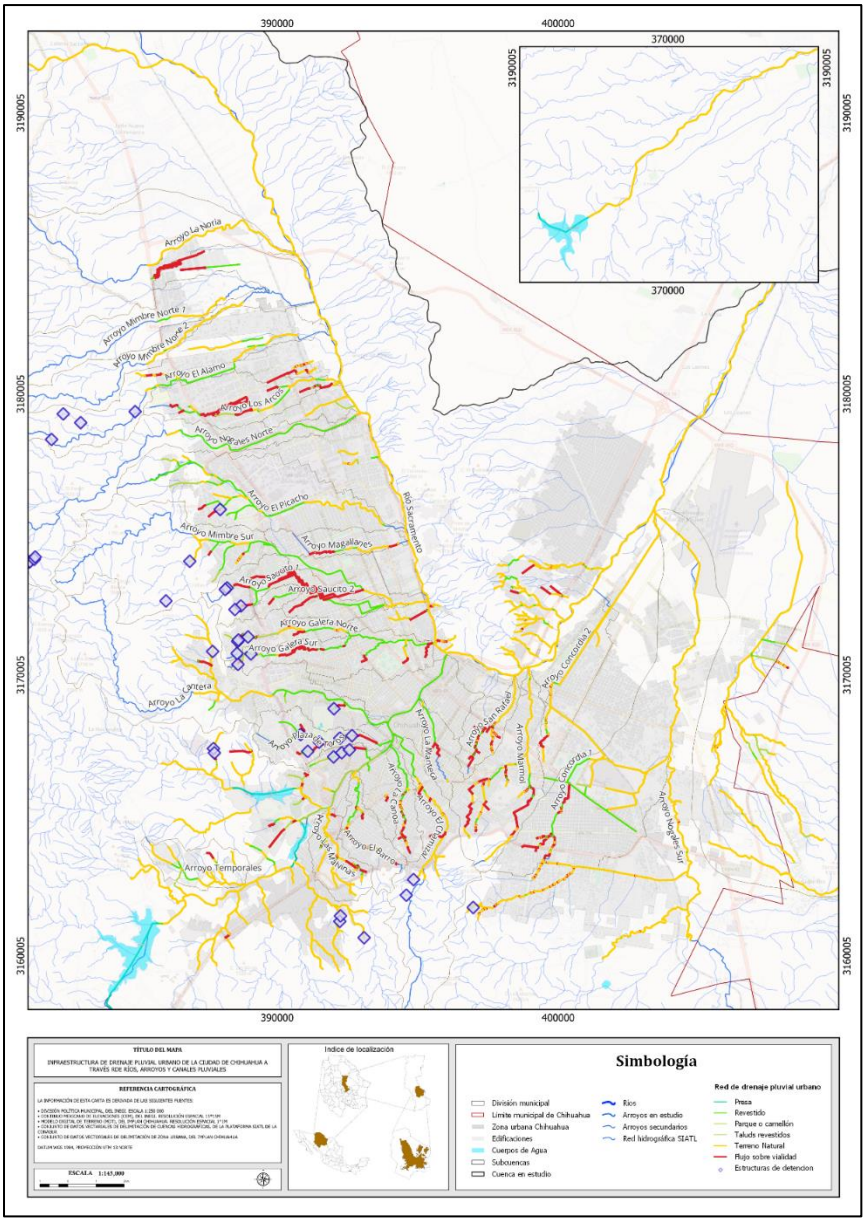


Figura 76. Mapa de la infraestructura de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Chihuahua, que incluye ríos, arroyos y canales pluviales. Fuente: elaboración propia.

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

Por otro lado, en la Figura 77 se presentan otros elementos de manejo de agua de lluvia y reducción de riesgo ante inundaciones. En específico, se muestran 45 obras de detención pluvial identificadas dentro o fuera de la mancha urbana, pero con influencia en la misma (representadas como rombos morados en la Figura 77). Además, se visualizan las cuatro presas con influencia hidrológica sobre la ciudad de Chihuahua, las cuales actúan como estructuras de detención pluvial.

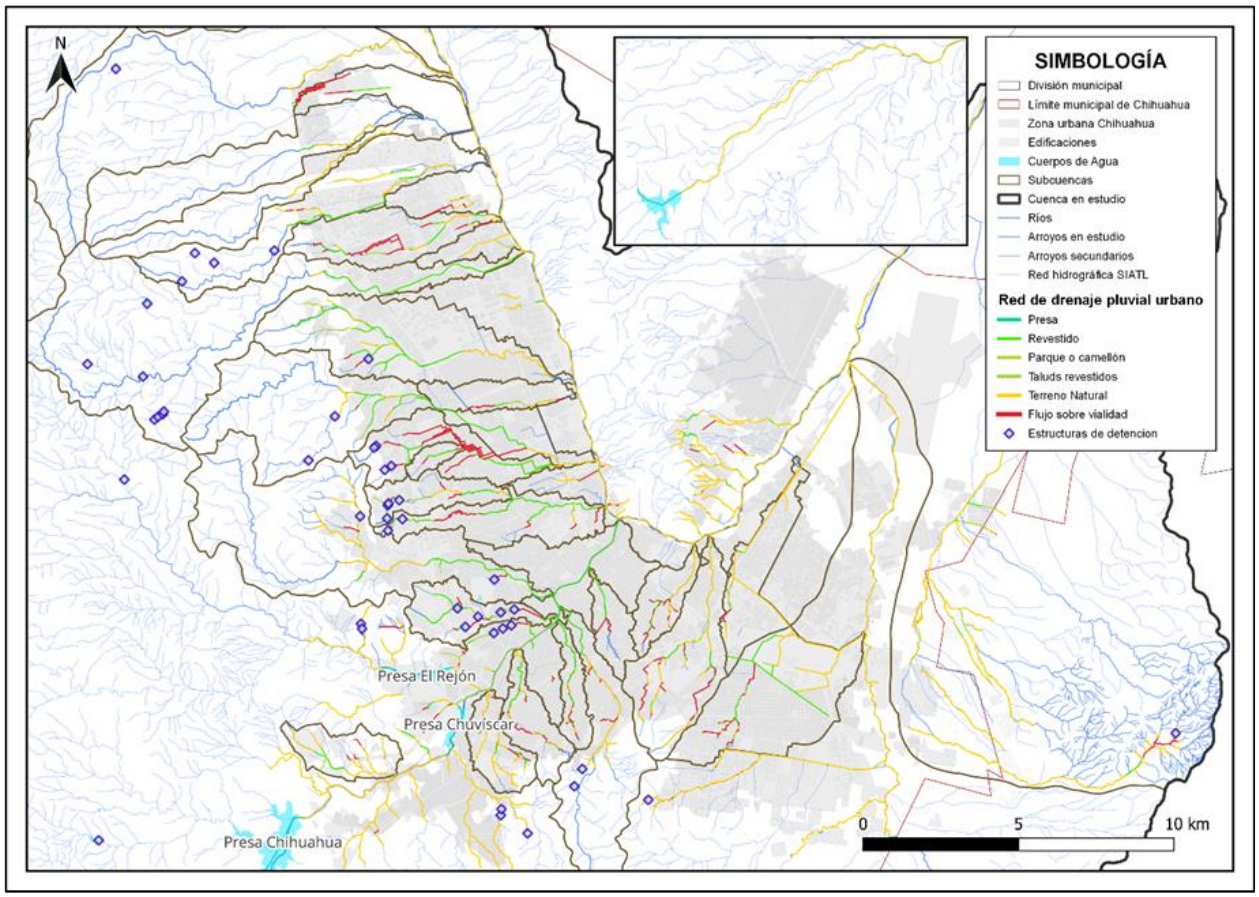


Figura 77. Estructuras de detención pluvia (regulación) en la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia.

Análisis de flujo pluvial sobre vialidades

Como se mencionó anteriormente, aunque no se pueda afirmar que todos los flujos sobre canales revestidos o con taludes revestidos representen un peligro hidráulico bajo, se considera que las zonas con flujos principales o secundarios sobre vialidades presentan un alto riesgo hidráulico ante inundaciones. Como complemento al análisis del funcionamiento hidráulico de los arroyos y canales urbanos de la ciudad, se identificaron zonas de alto riesgo de inundación donde el agua fluye sobre vialidades. En la Figura 78 se muestra un croquis con la ubicación de los puntos de acceso al mapa de la red de drenaje pluvial para identificar los flujos sobre vialidades, y a continuación se describen dichos puntos.

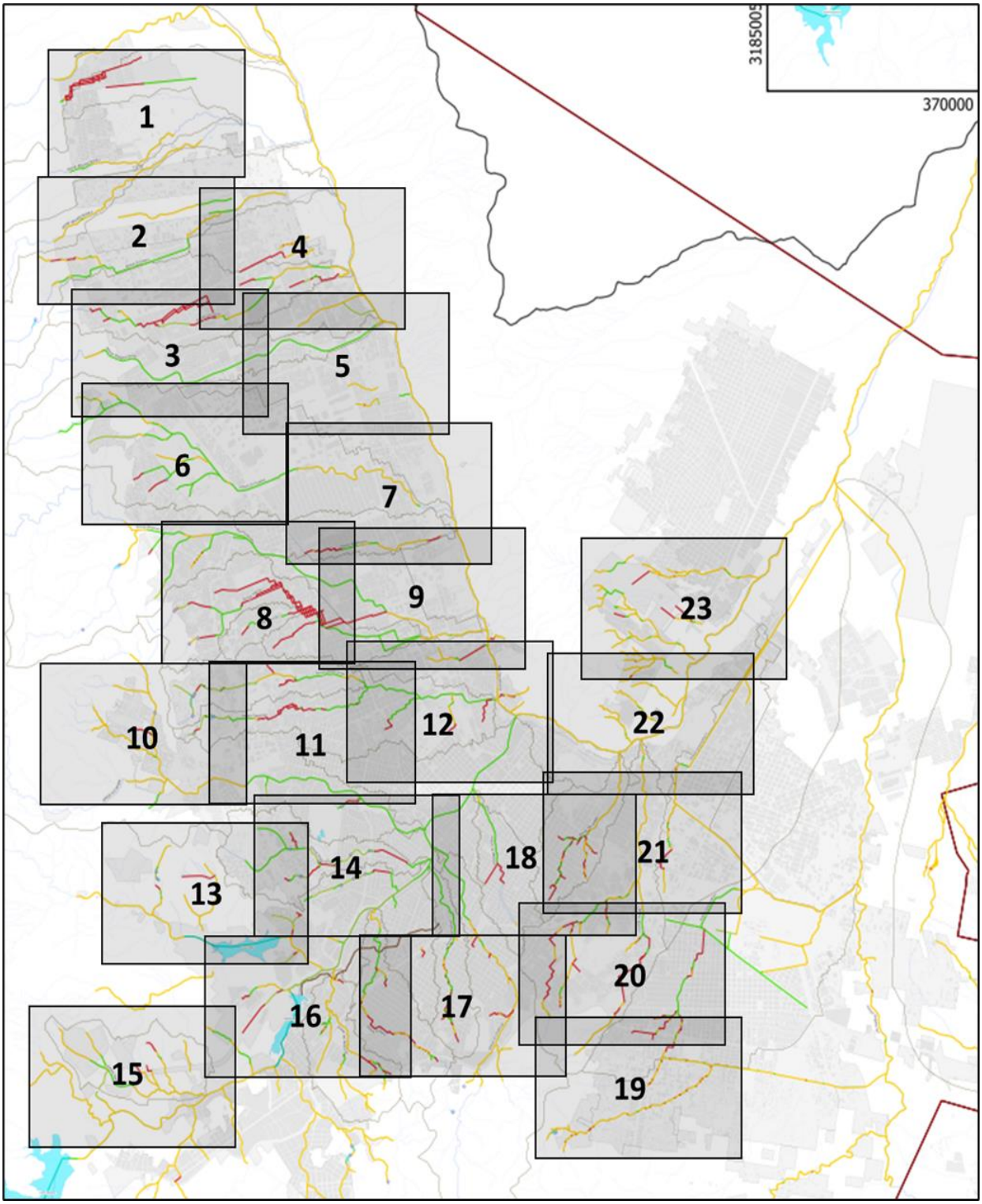


Figura 78. Ubicación de mapas de flujo sobre vialidades. Fuente: elaboración propia.

Se presentan algunas de las zonas más representativas de la Ciudad de Chihuahua que presentan problemas de escurrimiento fluvial por las calles, las figuras y descripción completa puede observarse en el Informe 10.

En la Figura 79 se muestran varios de los escurrimientos pluviales sobre vialidades más problemáticos de la ciudad, referentes al arroyo Saucito y sus afluentes que cruzan colonias como Tierra y Libertad, Lourdes e Infonavit Vallarta. Se destacan principalmente los flujos sobre vialidad desde la intersección de las vialidades 15 de enero y Antonio Makarenko, hasta la intersección de las vialidades Juan Escutia y González Cossío, donde se ubica una captación pluvial.

Sin embargo, dicha captación no es suficiente para flujos que se presentan aun cada año, por lo que se continúan presentando escurrimientos sobre la colonia Infonavit Vallarta principalmente por la vialidad Río Aros y posteriormente la Av. Broadway. También se destacan los escurrimientos sobre la Av. Quetzalcóatl, 16 de Septiembre (también llamada c. Egipto y c. Vietnam) y sobre la Av. Universidad de la Sorbona y vialidad Liberación.

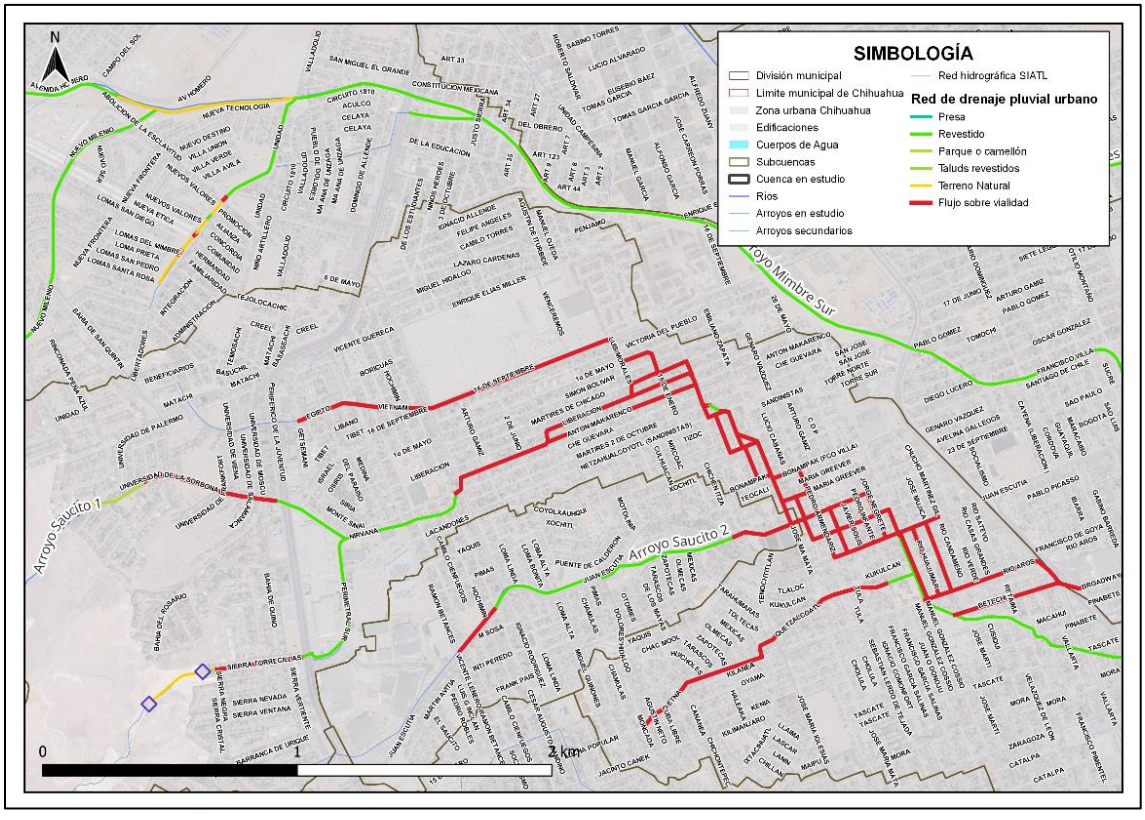


Figura 79. Flujo pluvial sobre vialidades (8/23). Fuente: elaboración propia.

En la Figura 80 se muestran principalmente los escurrimientos sobre las vialidades del arroyo Plaza de Toros y sus afluentes, teniendo varios cambios entre tipos de revestimiento como revestido y parque, generando intermitencia en el peligro hidráulico generado. Se denota especialmente la problemática del flujo dentro de los fraccionamientos Hacienda Santa Fe y Encordada Santa Fe, así como sobre la Av. 26ª, en la cual desemboca casi la totalidad de la cuenca. Asimismo, se denota que, sobre dicho cauce, así como el cauce al sur de este, se encuentran diversas estructuras de regulación que ayudan a reducir parcialmente la problemática de inundaciones.

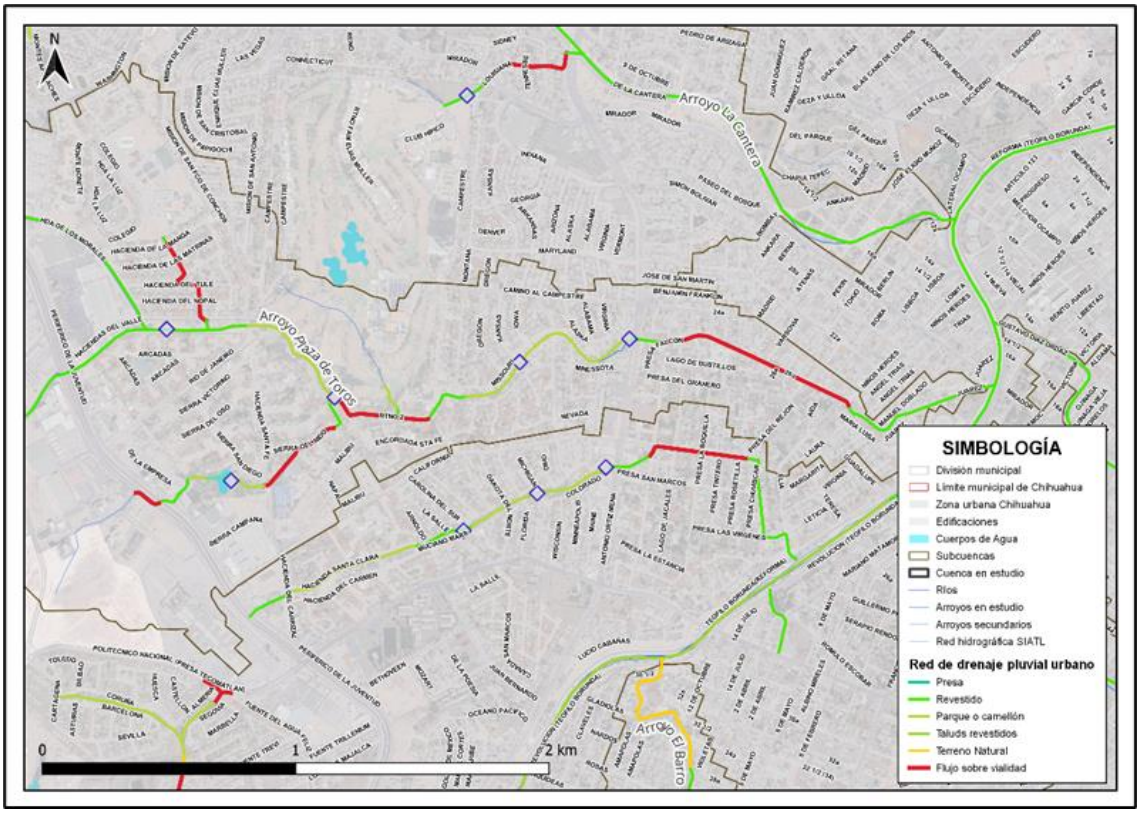


Figura 80. Flujo pluvial sobre vialidades (14/23). Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en la Figura 81 se aprecian varios escurrimientos sobre vialidades de la zona conocida como “El Reliz” y algunos escurrimientos del arroyo Las Malvinas y arroyo El Barro. En la zona de El Reliz, se destaca el flujo sobre la Av. Teófilo Borunda, el cual fluye sobre la vialidad, luego conducido por el camellón y de nuevo desemboca en la vialidad en la intersección con la vialidad Pedro Zuloaga. En el caso del arroyo Malvina se destaca el flujo sobre la Av. 98 ½ y la vialidad Rubio, y en el caso del arroyo El Barro se destaca el flujo sobre la vialidad Paseo del Norte y la vialidad Batalla de Calupulapan.

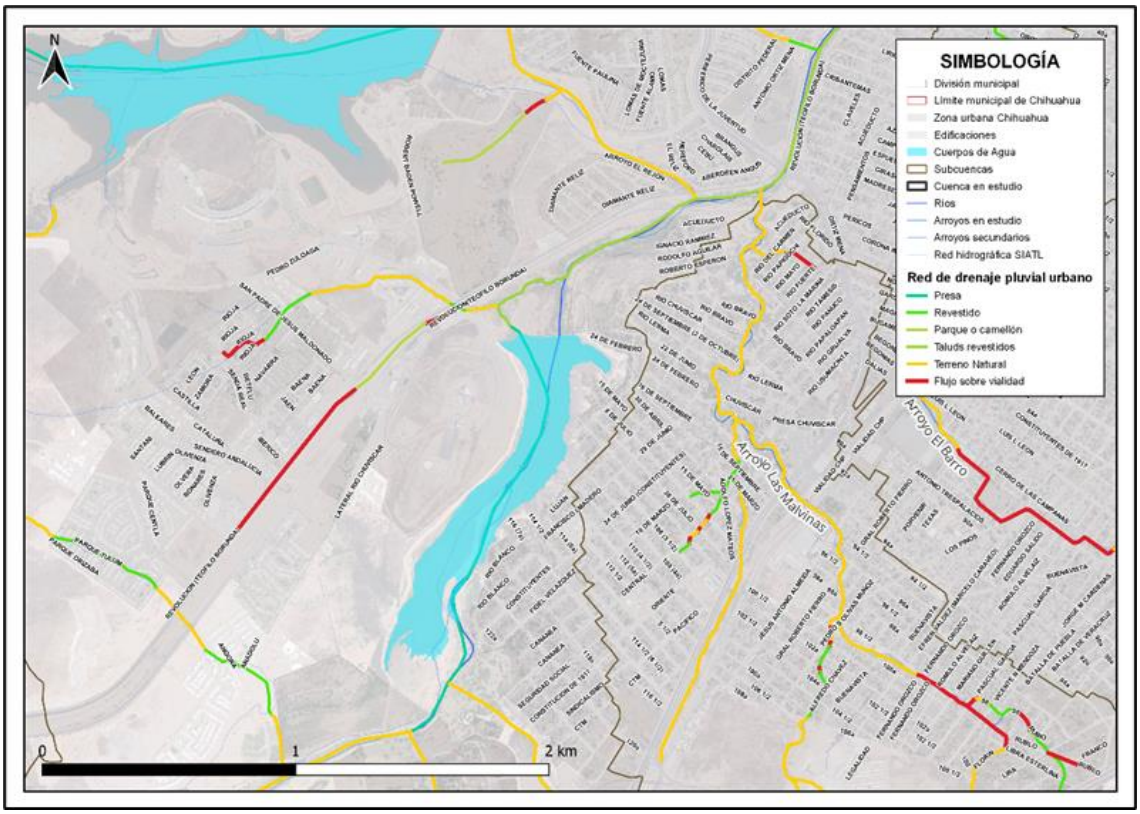


Figura 81. Flujo pluvial sobre vialidades (16/23). Fuente: elaboración propia.

En total, se identificaron 514.30 km de escurrimientos urbanos, de los cuales 62.33 km (12.12%) fluyen sobre una vialidad en por lo menos 310 ubicaciones o cruces, y 323.92 km (62.98%) fluyen en sección natural sin revestimiento, por lo que, si bien algunos de los escurrimientos de mayor importancia se encuentran canalizados, algunos escurrimientos principales y la mayoría de los secundarios aun fluyen en sección natural o por vialidades.

Por otro lado, y de manera generalizada, se destaca la problemática de la variación en tipos de revestimiento a lo largo de muchos cauces. Teniendo algunos de ellos, como ejemplo, cambios de flujo sobre vialidad, después a revestidos, posteriormente terreno natural y siguiendo a vialidad. Lo que genera escenarios de peligro focalizados sobre las vialidades.

11.8. Alteraciones Hidrológicas en Cuencas de Ríos y Arroyos por Urbanización

Aumento de afectaciones por inundaciones a causa de la urbanización

El proceso en que una ciudad va creciendo (urbanización), es altamente complejo, ya que involucra una gran cantidad de factores sociales, económicos, geográficos, políticos, etc., por lo que tanto en la ciudad de Chihuahua como en gran parte de Latinoamérica y otras regiones de países en vías de desarrollo, la urbanización se ha llevado en la gran mayor parte de los casos sin un orden adecuado, o por lo menos, con menos orden y planeación de la deseada para que el proceso de urbanización no genere indirecta e inintencionadamente afectaciones a los propios habitantes de la ciudad, e incluso, a los habitantes de otras ciudades.

Esto es de importancia en el análisis de manejo de agua de lluvia ya que, las inundaciones en zonas urbanas y sus afectaciones, se relacionan directamente con la forma en que se ha ido urbanizando una zona, por lo que son igualmente complejas y dependientes de una gran cantidad de factores ambientales y de origen humano.

Dentro de la categoría de urbanización no planificada, o falta de planeación, se reconocen algunas de las siguientes como causas de las afectaciones por inundaciones en zonas urbanas y su aumento:

- Cambio de uso de suelo no controlado
- Asentamientos irregulares
- Falta de planeación a nivel de cuenca o unidad hidrológica

Especialmente, el cambio de uso de suelo de una cuenca durante su urbanización genera un cambio en las superficies que antes de la ésta eran permeables y ante un evento de lluvia permitían que la mayor parte del agua se infiltrara y solo una parte de del agua de lluvia escurriera, y posterior a la urbanización se conviertan en superficies impermeables (como son calles, banquetas, techos, etc.) por lo que, tras la urbanización, la mayor parte del agua de lluvia escurra en lugar de infiltrarse. Dicho de otra manera, genera un cambio en el régimen hidrológico de las cuencas debido al aumento en el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, el cual es la relación entre el agua pluvial que escurre respecto al agua precipitada.

La Figura 82 muestra la magnitud del aumento del coeficiente de escurrimiento al urbanizar una zona. Para lluvias de baja intensidad con un periodo de retorno de 2 años, el coeficiente de escurrimiento aumenta de 0.11 a 0.70 después de la urbanización, lo que representa casi seis veces el valor del coeficiente de escurrimiento no urbanizado. Para tormentas con un periodo de retorno de 10 años los valores del coeficiente de escurrimiento son prácticamente inversos; es decir, en una zona no urbanizada aproximadamente el 78% del agua precipitada en una tormenta con un periodo de retorno de 10 años se infiltra y el 22% escurre, y tras la urbanización, para la misma tormenta de periodo de retorno de 10 años, aproximadamente el 76% del agua precipitada escurre y solo el 24% se infiltra.

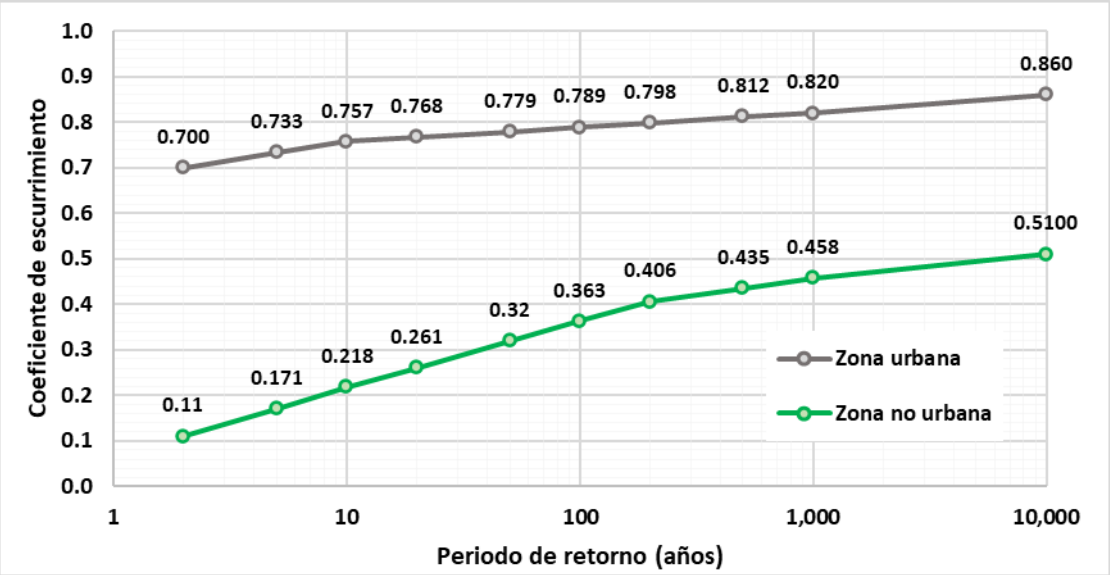


Figura 82. Variación del coeficiente de escurrimiento a diversos periodos de retorno en zona urbana y no urbana de la ciudad de Chihuahua. Fuente: elaboración propia con datos de Hernández-Samaniego, (2018) [(163)].

En la Figura 83 se ilustra el aumento típico del caudal y caudal máximo de escurrimiento de una cuenca después de ser urbanizada. La línea azul representa la cantidad de agua que normalmente pasa por un punto específico de cauce durante una tormenta, es decir, el flujo en un arroyo o río cuando llueve. Durante la tormenta, el flujo aumenta rápidamente y luego disminuye gradualmente durante horas, días e incluso semanas en algunos ríos de zonas bajas de grandes cuencas, lo que genera un flujo base continuo.

En contraste, la línea roja muestra la cantidad de agua que fluye por el mismo cauce después de que su cuenca ha sido urbanizada. En este caso, la cantidad de agua es significativamente mayor, y el flujo máximo se alcanza en menos tiempo debido a que las superficies urbanas ofrecen menos resistencia al flujo de agua de lluvia al ser menos rugosas.

En resumen, la urbanización de una cuenca resulta en un mayor volumen y flujo de agua pluvial, con el flujo máximo ocurriendo en menos tiempo. Este cambio en el régimen hidrológico se traduce en un aumento en la frecuencia y gravedad de las inundaciones.

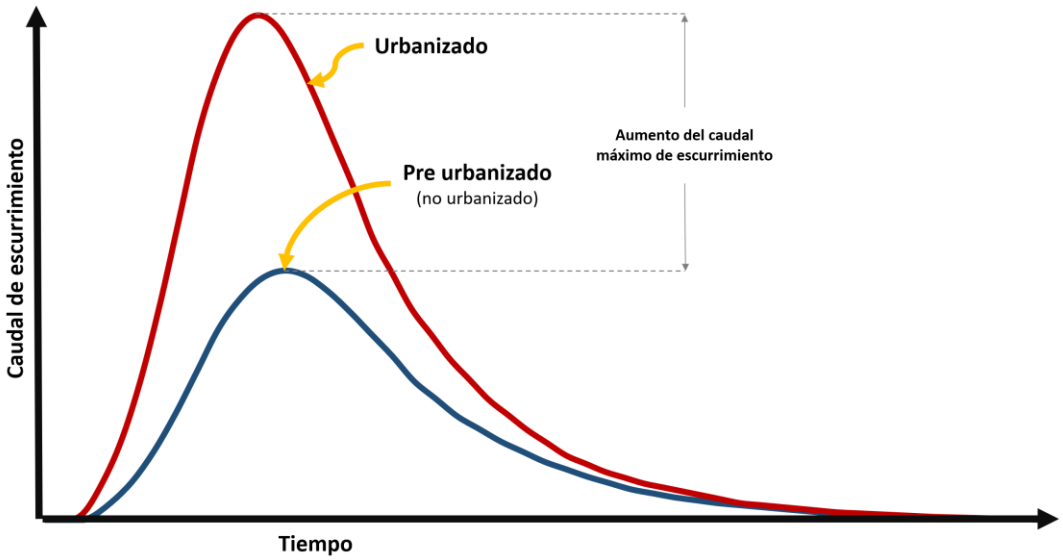


Figura 83. Ejemplo esquemático del aumento de caudal de escurrimiento en una cuenca tras urbanización. Fuente: elaboración propia.

En el contexto específico de la ciudad de Chihuahua, la Figura 84 ilustra cómo el crecimiento de la zona urbana ha conducido a la urbanización de las cuencas de los arroyos de la ciudad, incluyendo las cuencas de los 26 arroyos y dos ríos que se están estudiando. Este crecimiento probablemente ha resultado en un aumento tanto en el caudal como en el volumen de escurrimiento pluvial en estas áreas. Además, la proyección de la expansión urbana hasta el año 2040, también mostrada en la misma figura, indica que la superficie urbanizada de varias cuencas de arroyos de la ciudad seguirá aumentando, lo que resultará en un mayor caudal y volumen de escurrimiento.

Entre los 26 arroyos y dos ríos analizados, destacan los casos de los arroyos Magallanes, Saucito 2, San Rafael, Concordia 2, La Canoa y La Manteca, los cuales tienen todas sus cuencas urbanizadas. De igual manera, los arroyos Los Arcos, Galera Norte y Sur, y Plaza de Toros tienen más del 90% de sus cuencas urbanizadas, lo que prácticamente equivale a una urbanización total. Además, los arroyos Saucito 1, Las Malvinas y El Barro tienen más del 85% de sus cuencas urbanizadas.

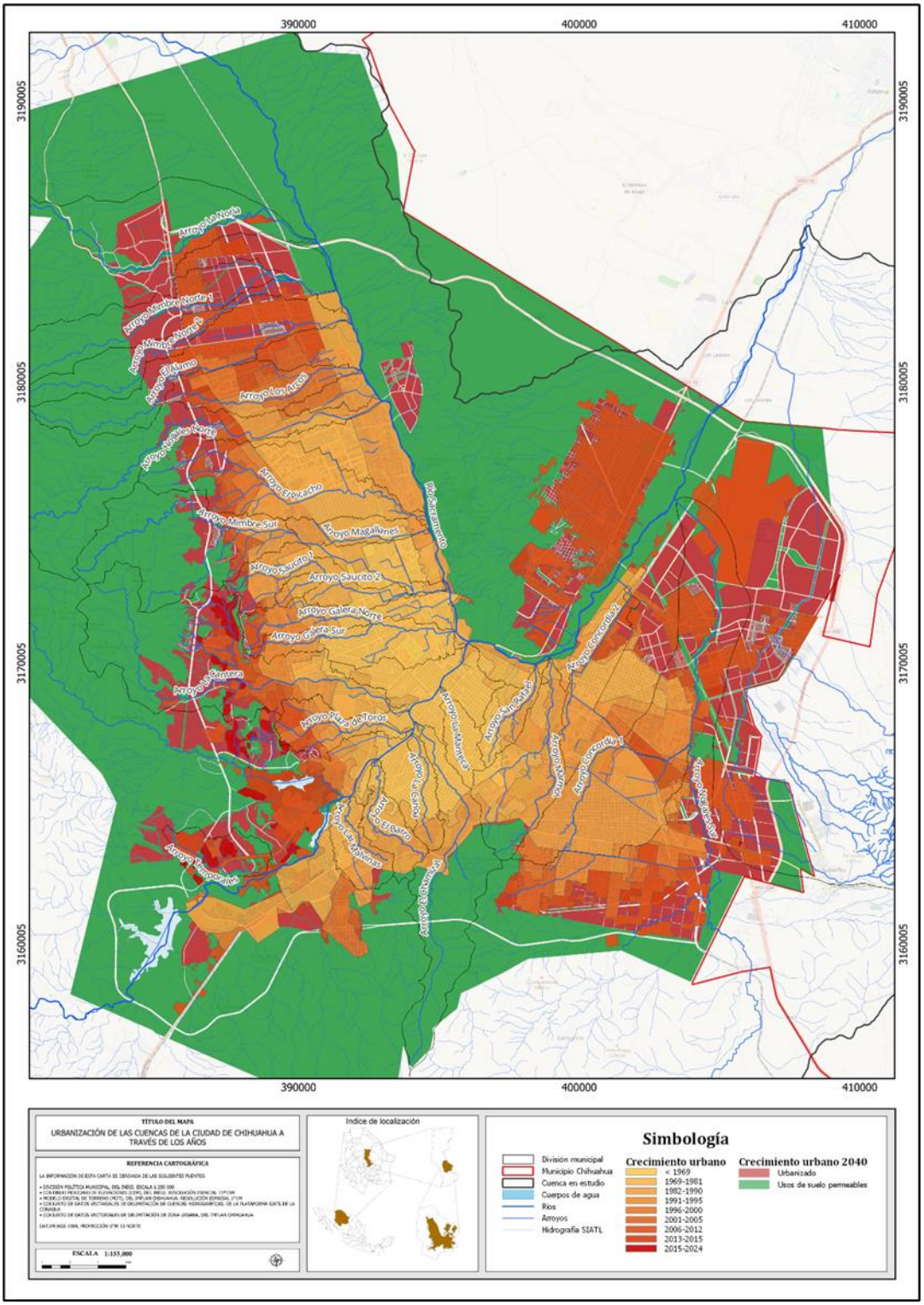


Figura 84. Aumento de superficie urbanizada de cuencas de cauces urbanos de la ciudad de Chihuahua: Fuente: elaboración propia con información del IMPLAN.

Además del aumento de la superficie urbanizada en las cuencas de los arroyos, otro problema relacionado entre la urbanización y las afectaciones por agua de lluvia es el cambio en el curso de esta al construir la traza urbana sobre los escurrimientos naturales. Aunque en muchos casos la traza urbana sigue los cursos naturales del agua a través de ríos y arroyos, en otros casos se modifican estos escurrimientos, creando zonas donde, sin canalizaciones o acciones adecuadas de manejo del agua de lluvia, el agua fluye por la traza urbana hacia las áreas más bajas. Este fenómeno se conoce coloquialmente con frases como "el agua sigue su curso" o "el agua tiene memoria".

Aumento de caudal pluvial en una cuenca por urbanización Arroyo La Cantera

Como se muestra en la Figura 84, prácticamente todos los arroyos que se encuentran aguas arriba de la junta de los ríos Chuvíscar y Sacramento han sido urbanizados, comenzando desde la parte más baja de la cuenca del arroyo y avanzando hacia la parte más alta. Esta forma específica de urbanización, en dirección aguas abajo hacia aguas arriba, genera problemáticas específicas en cuanto al drenaje pluvial urbano y, en general, respecto a las obras de manejo de agua de lluvia en la zona.

Es probable que, debido a esta forma de urbanización, las obras de manejo de agua de lluvia construidas en las primeras décadas de urbanización, como en las décadas de 1970 y 1980, tales como canales y estructuras de detención (regulación), hayan quedado paulatinamente sub-dimensionadas conforme aumenta el caudal de escurrimiento debido al aumento de la superficie urbanizada de la cuenca.

Por ello, se analizó como ejemplo de esta problemática la cuenca del arroyo La Cantera, la cual ha ido urbanizándose aproximadamente desde la década de 1960, para la cual se dispone de información sobre la superficie urbana de la ciudad desde ese año. Para dicho análisis, se calculó el aumento del coeficiente de escurrimiento de la cuenca, basándose en el cambio de superficie no urbana a urbana debido al crecimiento urbano de la ciudad, desde 1969 hasta 2024, y se proyectó al 2040 con base en la zonificación secundaria del plan de desarrollo urbano 2040 (Figura 85).

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

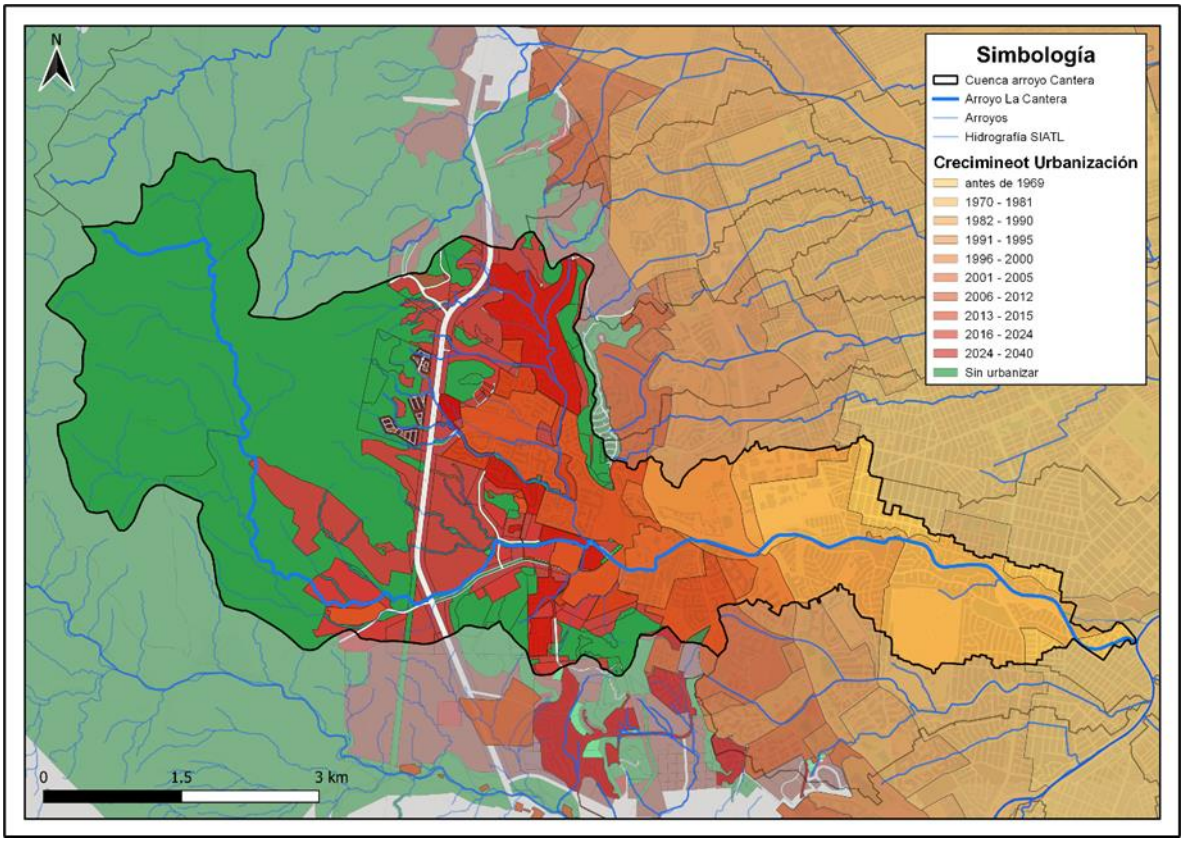


Figura 85. Crecimiento urbano en la cuenca del arroyo La Cantera. Fuente: elaboración propia con información del IMPLAN.

En la Tabla 52 se muestran los valores de superficie urbana de la cuenca a diversos años y en Figura 86 se observa gráficamente como ha ido cambiando su superficie de no urbana a urbana.

Tabla 52. Variación del área urbanizada y no urbanizada en la cuenca del arroyo La Cantera del año 1969 al año 2040. Fuente: elaboración propia.

Año	No urbana		Urbana	
1969	29.825	97.85%	0.655	2.15%
1981	26.801	87.93%	3.679	12.07%
1990	25.494	83.64%	4.986	16.36%
1995	24.694	81.02%	5.786	18.98%
2000	24.428	80.15%	6.052	19.85%
2005	23.666	77.64%	6.814	22.36%
2012	21.248	69.71%	9.232	30.29%
2015	20.780	68.18%	9.700	31.82%
2024	19.397	63.64%	11.083	36.36%
2040	14.711	48.26%	15.769	51.74%

En la Figura 86 se muestra especialmente como aproximadamente entre los años 2038 a 2042 la cantidad de superficie urbana será mayor que la no urbana.

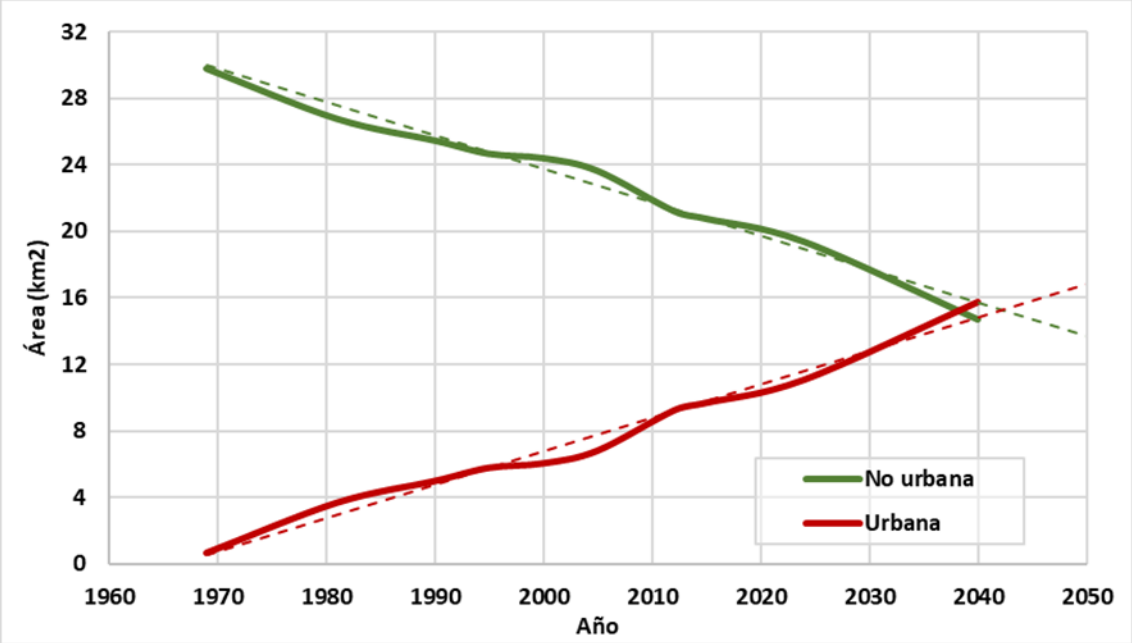


Figura 86. Variación del área urbanizada y no urbanizada en la cuenca del arroyo La Cantera del año 1969 al año 2040. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 53, es notable que los valores de escurrimiento para el año 2040 son significativamente mayores que los registrados en 1969, el año más antiguo del que se tiene registro en el área de la cuenca. En el periodo de retorno de 2 años, el valor del coeficiente de escurrimiento para el año 2040 (0.42) es más de cuatro veces mayor que el valor registrado en 1969 (0.12).

Tabla 53. Coeficientes de escurrimiento de la cuenca del arroyo La Cantera a diversos periodos de retorno del año 1969 al año 2040. Fuente: elaboración propia.

Año	CE por Periodo de retorno								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000
1969	0.12	0.18	0.23	0.27	0.33	0.37	0.41	0.44	0.47
1981	0.18	0.24	0.28	0.32	0.38	0.41	0.45	0.48	0.50
1990	0.21	0.26	0.31	0.34	0.40	0.43	0.47	0.50	0.52
1995	0.22	0.28	0.32	0.36	0.41	0.44	0.48	0.51	0.53
2000	0.23	0.28	0.33	0.36	0.41	0.45	0.48	0.51	0.53
2005	0.24	0.30	0.34	0.37	0.42	0.46	0.49	0.52	0.54
2012	0.29	0.34	0.38	0.41	0.46	0.49	0.52	0.55	0.57
2015	0.30	0.35	0.39	0.42	0.47	0.50	0.53	0.55	0.57
2024	0.32	0.38	0.41	0.45	0.49	0.52	0.55	0.57	0.59
2040	0.42	0.46	0.50	0.52	0.56	0.58	0.61	0.63	0.65

Se calcularon los caudales a 9 periodos de retorno de cada uno de los años en los que se encontró información sobre la superficie urbana o no urbana de la cuenca, aplicando la fórmula del método Racional. En la Tabla 54 se muestran los caudales máximos de escurrimiento del arroyo la Cantera considerando el cambio de superficie no urbana a urbana en los años analizados y una proyección al año 2040. Estos mismos valores se muestran de manera gráfica en las Figuras 62 a 64.

Tabla 54. Caudales de escurrimiento del arroyo La Cantera a 9 periodos de retorno desde el año 1969 hasta el año 2040. Fuente: elaboración propia.

Intensidad de lluvia por Periodo de retorno (mm/h)									
-	13.47	16.15	18.18	20.21	22.89	24.92	26.94	29.62	31.65
Año	**Caudal (m^3/s) por Periodo de retorno**								
	2	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**200**	**500**	**1,000**
1969	13.48	24.12	34.04	44.81	61.58	75.63	91.07	107.06	120.25
1981	19.91	31.46	41.97	53.10	70.08	84.21	99.62	116.10	129.51
1990	22.69	34.64	45.40	56.68	73.75	87.93	103.31	120.01	133.52
1995	24.39	36.58	47.50	58.88	76.00	90.20	105.57	122.40	135.98
2000	24.96	37.23	48.19	59.61	76.75	90.95	106.32	123.19	136.79
2005	26.58	39.08	50.19	61.70	78.89	93.12	108.48	125.47	139.13
2012	31.72	44.95	56.53	68.32	85.69	99.99	115.31	132.69	146.54
2015	32.71	46.09	57.76	69.61	87.00	101.32	116.63	134.09	147.98
2024	35.66	49.45	61.38	73.40	90.89	105.25	120.54	138.23	152.22
2040	45.62	60.83	73.67	86.25	104.06	118.55	133.79	152.23	166.58

En la Tabla 54 se muestran los caudales máximos de escurrimiento del arroyo la Cantera considerando el cambio de superficie no urbana a urbana en los años analizados y una proyección al año 2040. Estos mismos valores se muestran de manera gráfica en la Figura 87.

Como se puede observar en la Figura 87, el aumento del caudal debido a la urbanización en la cuenca del arroyo La Cantera es significativo. El caudal máximo registrado en 1969 durante una tormenta con un periodo de retorno de 10 años (34.04 m3/s) es prácticamente igual al caudal máximo registrado en 2024 durante una tormenta con un periodo de retorno de 2 años. Incluso, para el año 2040, se proyecta que una tormenta con periodo de retorno de 2 años provocará un escurrimiento superior al registrado durante una tormenta con periodo de retorno de 10 años en 1969. En otras palabras, y simplificando algunos conceptos estadísticos, el escurrimiento causado por la "peor tormenta en 10 años" en 1969 ocurría cada 10 años, mientras que hoy en día ese mismo nivel de escurrimiento se presenta cada 2 años y se proyecta que en 2040 ocurra prácticamente cada año.

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

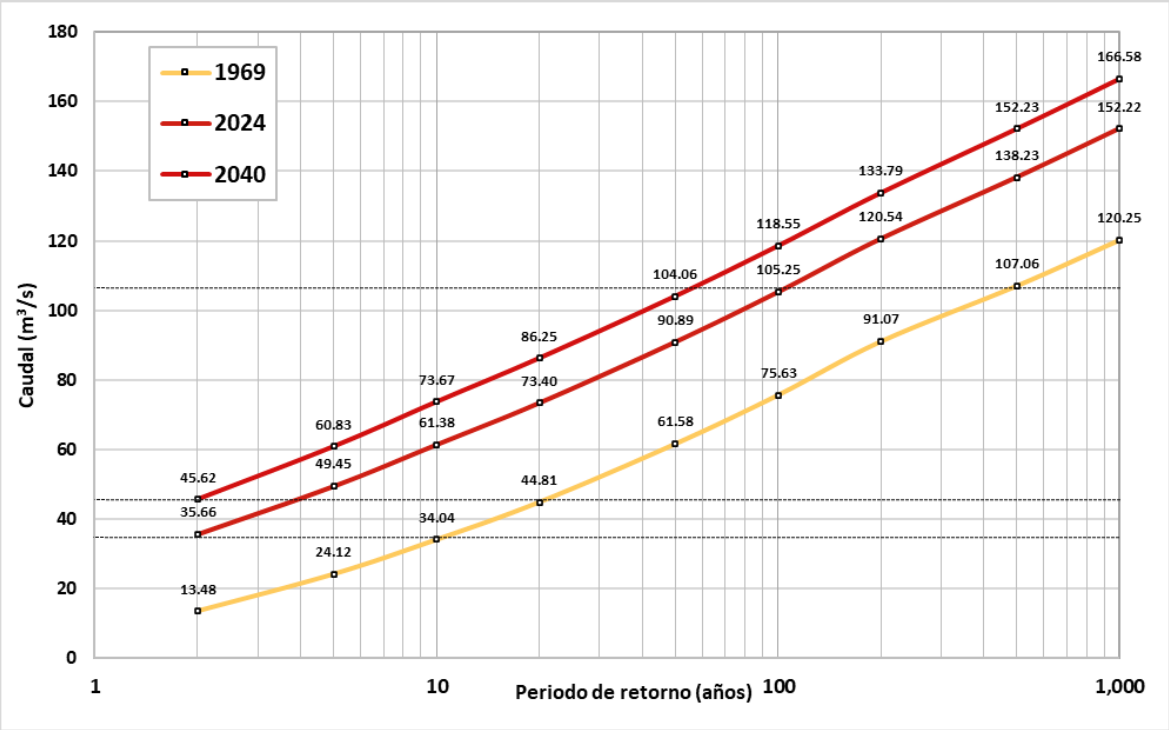


Figura 87. Aumento de los caudales del arroyo La Cantera, a diferentes periodos de retorno desde el año 1969 al año 2040, a causa del aumento del área urbanizada-3. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, al año 2040, el escurrimiento provocado por la tormenta con periodo de retorno de 2 años (45.62 m^3/s) es prácticamente el mismo que el que se presentaba en el año 1969 con la tormenta de periodo de retorno de 20 años (44.81 m^3/s), es decir, ese escurrimiento de orden de 45 m^3/s, en el 2040 se presentará cada 2 años en lugar de cada 20 años.

Respecto al diseño y sub dimensionamiento de obras de manejo de agua de lluvia, la gran mayoría de los canales sobre arroyos principales de la ciudad de Chihuahua, son considerados por la CONAGUA como cauces de propiedad nacional, o zona federal, al cumplir con las características para ello: serán cauces propiedad de la nación "ríos y sus afluentes directos o indirectos, desde el punto del cauce en que se inicien las primeras aguas permanentes, intermitentes o torrenciales, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional" que cuenten con un cauce definido en el que su depresión topográfica (cárcava) resultado del escurrimiento pluvial que cuente con por lo menos 2.00 m de ancho y una profundidad de 0.75 m del tirante del nivel de aguas máximo ordinario (NAMO) [(164)].

Para dichos cauces se solicita que su diseño hidráulico se realice considerando el caudal correspondiente al periodo de retorno de 500 años [165]. Para el caso del arroyo La Cantera, claramente cumple con las características para ser considerado de propiedad nacional, por lo que analizando la información de la Figura 87 se aprecia que el caudal de diseño del canal de este arroyo (Tr=500 años) ha ido en aumento; es decir, si el canal se hubiera diseñado en los años 1960, su caudal de diseño hubiera sido 107.6 m^3/s y al año 2024 ese caudal correspondería a un periodo de retorno de solo un poco superior a 100 años, y para el 2040 el caudal corresponderá a un periodo de retorno entre 50 y 60 años únicamente.

Por último, al año 2040 quedará todavía más sub dimensionado, ya que se estima que para ese año su capacidad de conducción de 128 m^3/s, sea correspondiente al periodo de retorno de entre 200 y 100 años.

Urbanización de cuencas de Presas Chihuahua, Chuvíscar y El Rejón

De las cuatro presas con las que interactúa hidrológicamente la ciudad de Chihuahua, tres se encuentran al poniente: El Rejón, Chuvíscar y Chihuahua. Como se puede apreciar en la Figura 65, desde el siglo pasado la ciudad ha ido expandiéndose dentro de las cuencas de aportación de estas presas. Hasta aproximadamente la década de 1990, la cuenca de la presa Chuvíscar fue la más urbanizada. Sin embargo, la construcción de la prolongación de la Avenida Teófilo Borunda detonó la urbanización de la zona poniente de la ciudad, conocida como zona El Reliz, lo que generó un aumento significativo en la urbanización de la cuenca de la presa Chuvíscar y el inicio de la urbanización de la cuenca de la Presa El Rejón.

Por otro lado, en otra zona del poniente de la ciudad, la construcción de colonias y fraccionamientos como Altozano, Pedregal de San Ángel, Pedregal de Alba y Jardines del Pedregal, entre otras, ha contribuido a la urbanización de la cuenca de la Presa El Rejón (Figura 88).

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

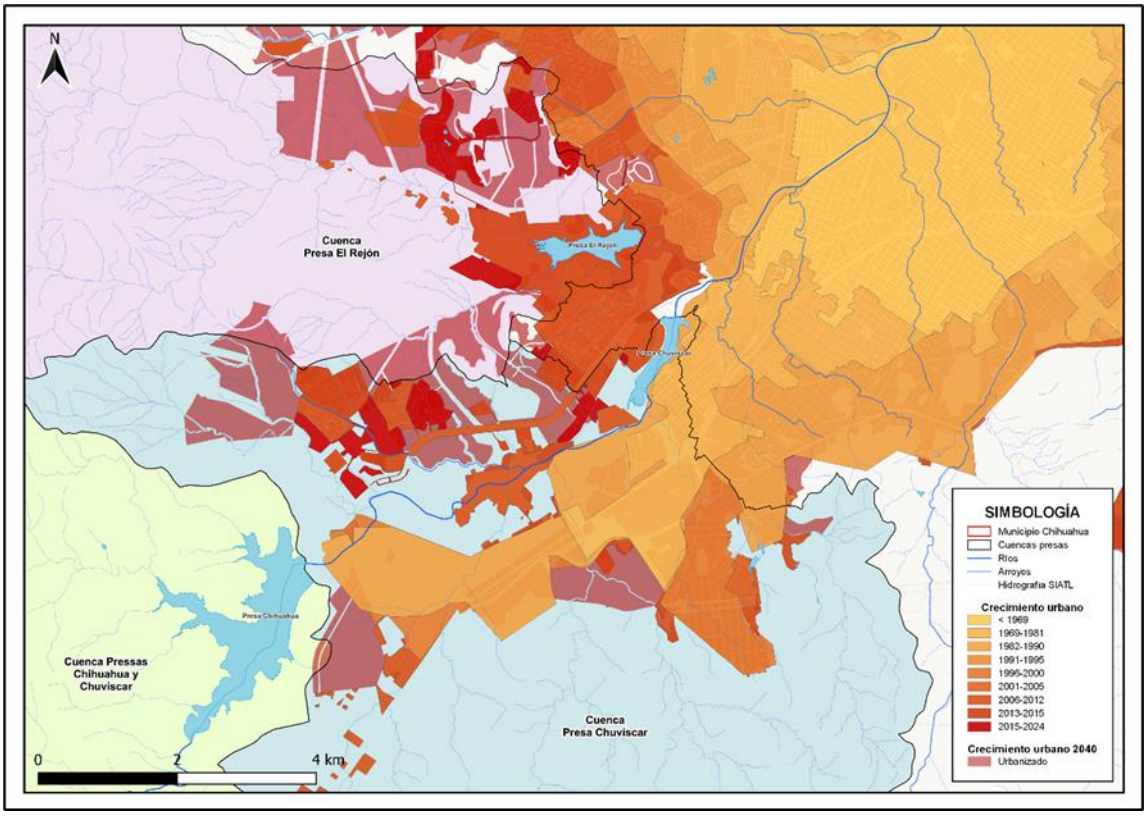


Figura 88. Urbanización de cuencas de presas El Rejón, Chuvíscar y Chihuahua-a. Fuente: elaboración propia.

La urbanización de las cuencas de los arroyos, especialmente en el caso de las tres presas mencionadas, es fundamental para el drenaje pluvial urbano y las obras de manejo de agua de lluvia. Estas presas, diseñadas principalmente para la regulación pluvial mediante obras de detención, consideran en su diseño hidráulico el coeficiente de escurrimiento del suelo de las cuencas de aportación. Originalmente, estas cuencas no estaban urbanizadas, pero con la urbanización se altera este coeficiente, incrementando el volumen de agua pluvial que las presas reciben durante cada tormenta. Esto compromete el diseño de la estructura de excedencias (vertedor), dejándola subdimensionada y aumentando el riesgo de fallo.

Es especialmente importante revisar estos aspectos en la cuenca de la Presa El Rejón, ya que no cuenta con otras estructuras de regulación aguas arriba. En el caso específico de la Presa Chuvíscar, cuenta con un factor que juega a su favor en términos de seguridad: la presa Chihuahua. Al estar ubicada aguas arriba de la Chuvíscar, la presa Chihuahua regula parcialmente el caudal que llega a esta última, reduciendo así el riesgo de falla. Sin embargo, la presa Chuvíscar es la más antigua de las tres y actualmente se encuentra prácticamente azolvada en su totalidad, lo que aumenta su riesgo de falla. Por lo tanto, también se debe tener precaución en la urbanización de su cuenca de aportación.

11.9. Zonas Críticas de Inundación

Se define a las inundaciones como “la ocupación temporal sobre superficies donde comúnmente no lo está” [(4)], las cuales, además de ser una componente natural y normal del ciclo del agua, pueden o no conllevar afectaciones. Dependiendo de su naturaleza pueden ser pluviales (por precipitación local), fluviales (por escurrimiento), lacustres (desbordamiento de lagos y/o lagunas), costeras (por mareas altas y/o viento), por rotura de cortina de una presa, mal funcionamiento u operación de infraestructura hidráulica.

Se identificaron diversas zonas de inundación mediante los análisis realizados en este informe y utilizando los estudios previos realizados en el municipio de Chihuahua. Estos incluyen el Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua de los años 2014 [(134)] y del año 2022 [(135),] así como el estudio "Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo en Zonas Urbanas" del año 2018 [(163)]. Es importante destacar que, como se mencionó anteriormente, se consideraron todos los flujos sobre vialidades mostrados.

De acuerdo con el Atlas Riesgos del Municipio de Chihuahua 2014 se muestran las zonas de inundación identificadas en el municipio de Chihuahua, en el cual mediante simulaciones hidráulicas a superficie libre determinaron profundidades máximas de inundación a diversos periodos de retorno (Figura 89).

Se observan principalmente los flujos del arroyo La Cantera y del río Chuvíscar en su tramo canalizado que atraviesa la zona urbana (Figura 90). Además de estos dos, se muestran las profundidades de inundación significativas en el arroyo Nogales Norte, Galera Norte y Sur, así como en el arroyo Nogales Sur.

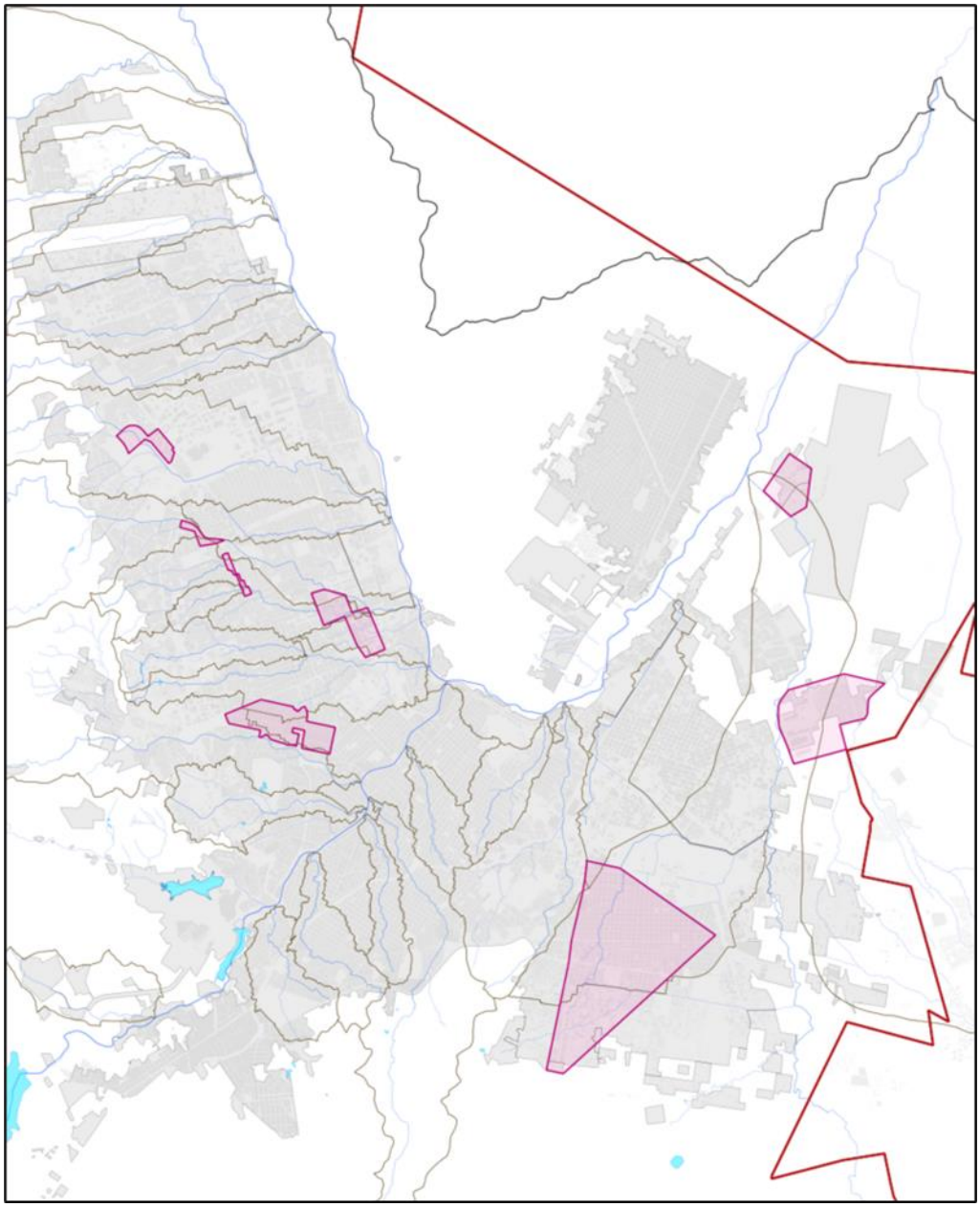


Figura 89. Localización en la ciudad de Chihuahua de sectores de riesgo. Fuente: recreación con datos del Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua (2022) [135].

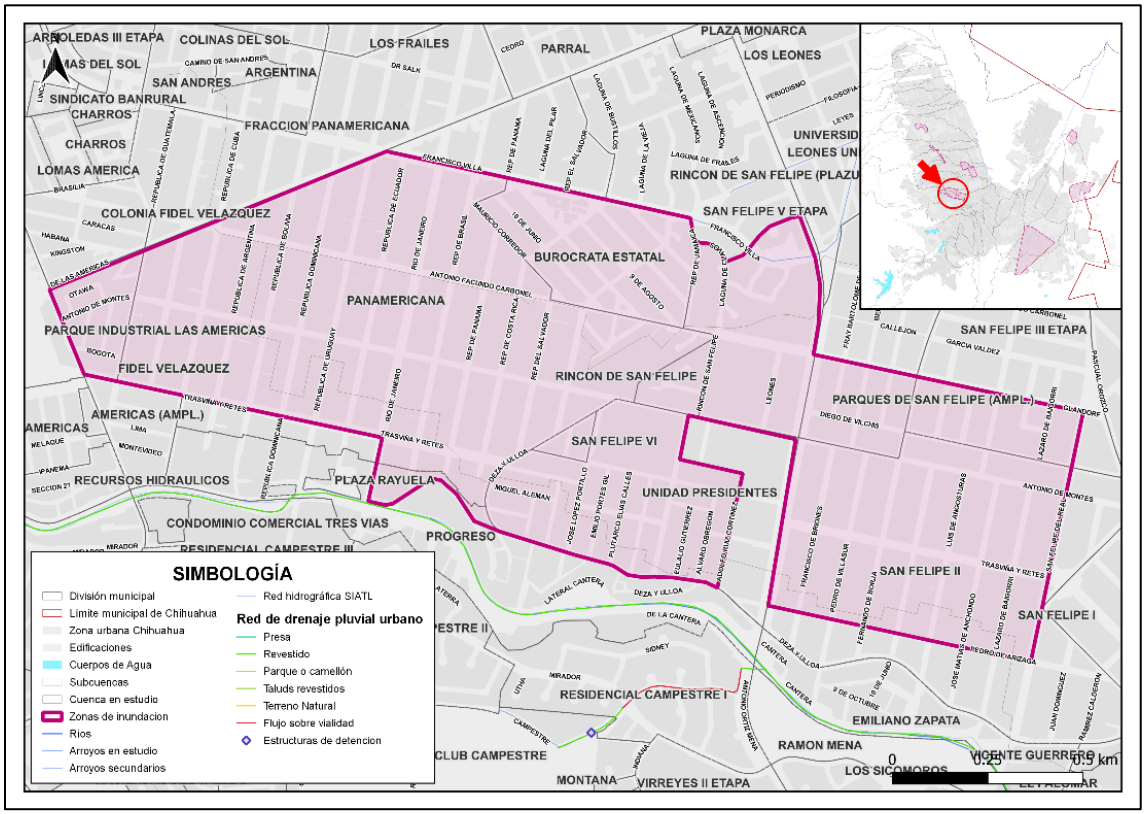


Figura 90. Zonas de inundación de atlas de riesgos del municipio de Chihuahua 2022, Sector 3. Fuente: recreación con datos del Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua (2022) [135].

En el año 2018 se realizó un estudio [163] sobre generación de mapas de riesgo ante inundaciones en zonas urbanas (Figura 91), el cual tomó como caso de estudio algunas cuencas parciales al norte de la ciudad de Chihuahua, las cuales se incluyen como subcuencas del presente estudio. En dicho estudio se identificaron profundidades de inundación con base en una simulación hidrológica y una simulación hidráulica cuasi-bidimensional a superficie libre.

Cabe destacar que se mencionan como principales puntos o zonas críticas de inundación los escurrimientos del arroyo Saucito y sus afluentes, siendo el que presenta más partes con escurrimientos en vialidad con profundidad superior a 0.15 m (altura promedio de una guarnición), también se destacan los escurrimientos sobre vialidad en la zona de Riberas de Sacramento, los del arroyo Los Arcos, del arroyo María de los Ángeles, Galera Sur, Galera Norte, el arroyo Plaza de Toros, especialmente dentro de los fraccionamientos Encordada Santa Fe, Hacienda Santa Fe; y sobre la Av. 26ª.

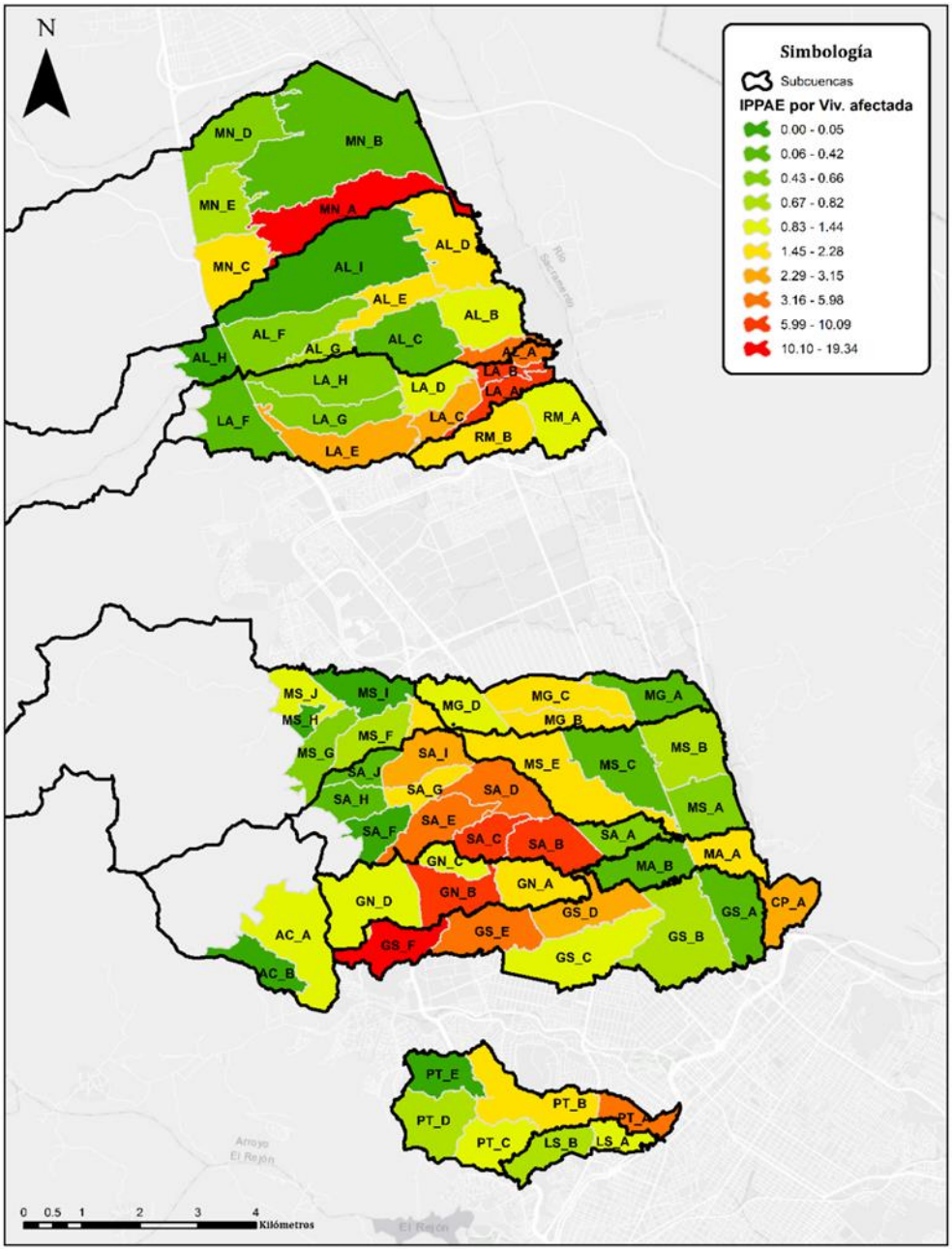


Figura 91. Índice Pérdida-Posesión Anual Esperado, promedio por vivienda afectada por cuenca sector. Fuente: Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas (2018) [163].

Según Hernández-Samaniego (2018), algunas de las zonas más afectadas por inundaciones, identificadas a través del cálculo del índice que considera la profundidad y velocidad de inundación, así como aspectos socioeconómicos de los propietarios de viviendas afectadas, incluyen áreas influenciadas por el arroyo Saucito y sus afluentes, los arroyos Galera Sur y Galera Norte, el arroyo Los Arcos y la parte baja del arroyo Plaza de Toros. Es importante destacar que las afectaciones causadas por el arroyo Saucito son mencionadas como una de las áreas más afectadas por inundaciones en la ciudad, tanto en el Atlas de Riesgos del Municipio de Chihuahua de los años 2014 y 2022, como en el estudio Índice Pérdida-Posesión para Generación de Mapas de Riesgo Ante Inundaciones en Zonas Urbanas, lo que sugiere que esta zona podría considerarse la más crítica y prioritaria para intervenciones de mitigación.

Además, se identificaron dos áreas de la ciudad donde no se identificaron los principales flujos de agua. En primer lugar, en la zona de las colonias San Felipe I y II, San Felipe Viejo, Santo Niño y colonias cercanas (Figura 92). Sin embargo, dado el tamaño de las cuencas analizadas en este estudio, es probable que exista un flujo significativo que antes era un arroyo y que actualmente fluye por las vialidades.

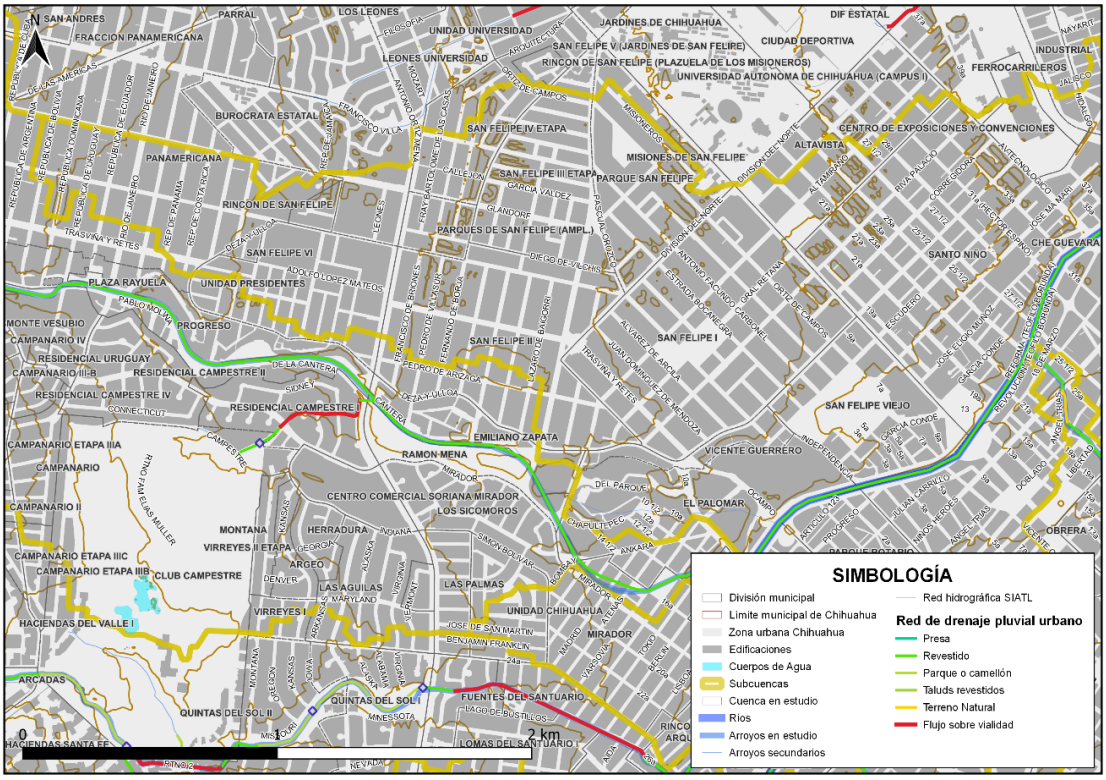


Figura 92. Arroyo en colonias San Felipe I y II, San Felipe Viejo y Santo Niño. Fuente: elaboración propia.

11.10. Acciones Propuestas para Zonas de Inundación

Las acciones recomendadas a realizar se dividieron en acciones de tipo estructural (obras civiles) y no estructural (acciones de mantenimiento o generación de estudios), identificando aquellas de tipo preventivo, correctivo y reactivo.

Se agruparon las acciones estructurales recomendadas en dos categorías principales: canalizaciones de arroyos que transcurren sobre vialidades o en su configuración natural, y obras de regulación (detención) que podrían construirse, rediseñarse o requerir mantenimiento. Estas medidas tienen como objetivo reducir el caudal máximo de escurrimiento de los arroyos sobre los que se encuentren. En relación con las canalizaciones propuestas, se sugiere realizar un análisis detallado de aquellos arroyos que atraviesan una mayor longitud sobre vialidades y/o en su configuración natural a lo largo de la zona urbana.

En relación con las obras de regulación pluvial (detención), se identificaron 46 posibles obras de este tipo que podrían ser construidas, rehabilitadas o rediseñadas, como se muestra en la Figura 93. Se destaca la presencia de obras existentes sobre el arroyo Plaza de Toros, de las cuales 3 de las 4 existentes podrían ser rehabilitadas, 1 rediseñada y se podrían construir 2 adicionales. Esto posiblemente resultaría en una significativa reducción del escurrimiento en la parte baja de dicha cuenca, especialmente en la calle 26ª.

Además, se incluyen como posibles acciones estructurales para el manejo del agua de lluvia aquellas mencionadas en el Atlas de Riesgos Municipales del año 2022, detalladas en la Tabla 55. Es importante mencionar que la ubicación de estas obras de regulación se propuso con base en la hidrografía de la zona, así como en una evaluación de las imágenes satelitales. Por lo tanto, se recomienda realizar anteproyectos de las ubicaciones propuestas para identificar las características topográficas y urbanas de los puntos seleccionados antes de su análisis.

Es fundamental aclarar que, de acuerdo con el Atlas de Riesgos Municipales de Chihuahua del año 2022, todas las acciones estructurales propuestas deben contar obligatoriamente, antes de su construcción, con un estudio hidrológico e hidráulico específico para su diseño hidráulico-geométrico. Estas acciones deben enfocarse en lograr una mitigación preventiva de afectaciones por inundaciones y deben basarse en un análisis y diagnóstico que justifique cada proyecto ejecutivo en su caso particular [135].

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

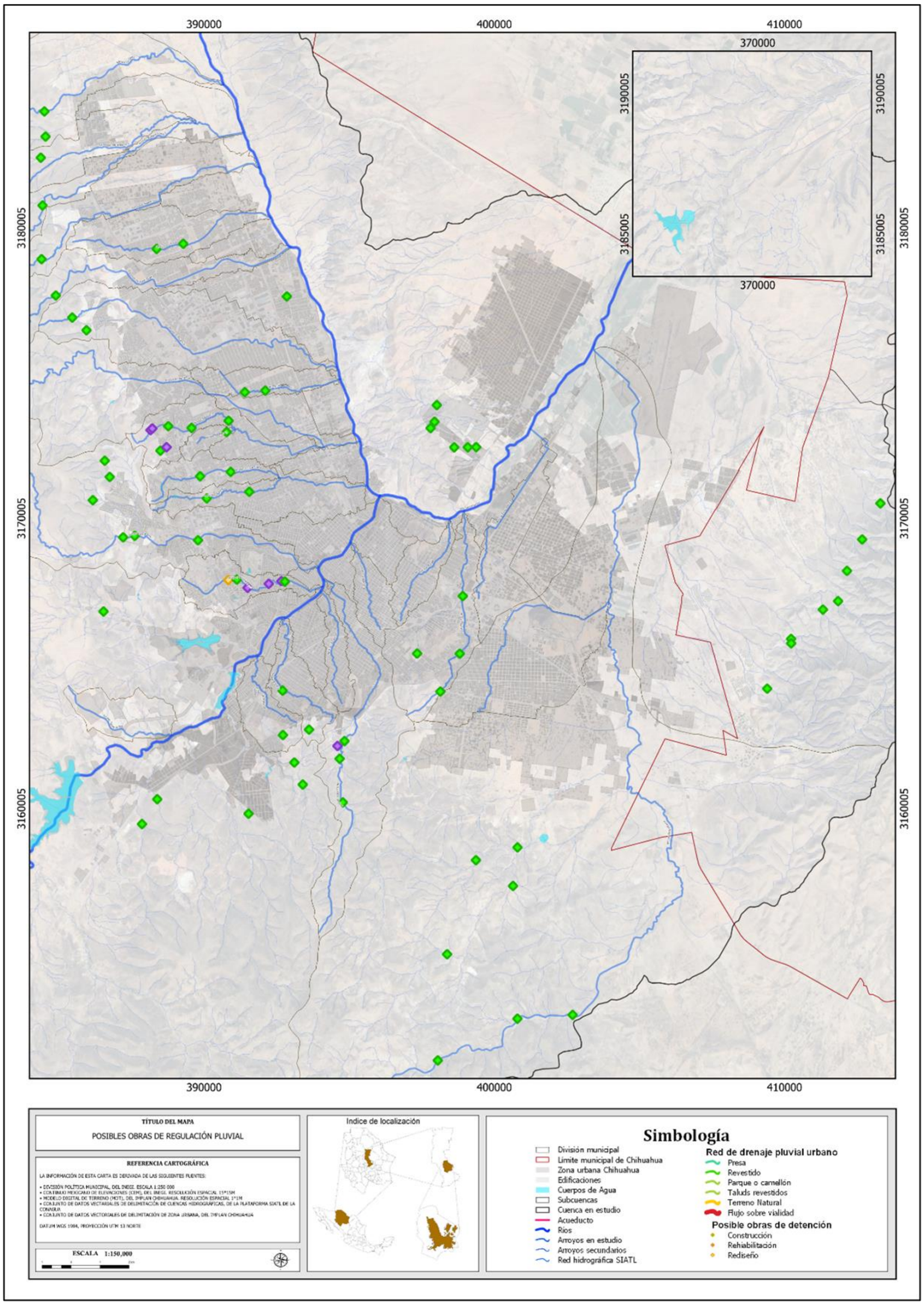


Figura 93. Ubicación de las propuestas de obras de regulación pluvial en el municipio de Chihuahua: Fuente: elaboración propia.

Tabla 55. Acciones estructurales de manejo de agua de lluvia propuestas en el Atlas de Riesgo Municipal de Chihuahua (2022). Fuente: Atlas de Riesgos (2022) [135].

N°	Unidad Hidrográfica	Superficie de Cuenca/Km²	Arroyos con Mayor Fragilidad	Recomendaciones para Generar Obras de Mitigación
1	UH-12	31.80	Nogales Norte	Se requieren intervenciones desde la cuenca alta, a través de obras con gaviones para ralentizar los caudales y propiciar la recarga natural. En las zonas urbanas, precisar los tramos de arroyos para revisar la variación de secciones, taludes y obras de reposición para reforzamiento de márgenes. El primer arroyo descarga al Río Sacramento y los otros dos al Río Chuvíscar. Las principales razones por las cuales se propician inundaciones, es porque las
2	UH-5	147.23	San Pedro	
3	UH-6	21.42	La Cantera	secciones de los arroyos son insuficientes, y es por ello que deben ser analizados de manera específica.
4	UH-9	15.57	El Mimbre Sur	Este es uno de los arroyos de mayor longitud, desde la cuenca alta hasta su descarga al Río Sacramento, con una longitud promedio de 18 Km, de los cuales ocho Km discurren por la zona urbana. Además de aplicar la recomendación anterior, se requiere atender las afectaciones recurrentes de cada año, ocurridas en las colonias Felipe Ángeles, Tierra y Libertad, Unidades de Infonavit, entre otras, además de analizar y proponer soluciones para los tirantes hidráulicos que se presentan de manera grave en las calles José Ma. Mata; Juan Escutia; Manuel González Cossío. La otra zona que se generan complicaciones es en la Zona Industrial, previo a su descarga al Sacramento.
5	UH-2	201.96	Nogales Sur y Concordia	La superficie de cuenca de este arroyo se desprende de la ladera sur oriente del Cerro Grande, y se desplaza con dirección hacia el Río Chuvíscar, pasando a menos de 500 m al poniente del Aeropuerto, sin embargo es un arroyo que presenta desbordamientos de manera recurrente en cada temporada de lluvias. Algunas de las colonias que impacta son: Villa Juárez, Los Nogales, Punta Oriente y el Aeropuerto, estos dos últimos sitios impactados gravemente en la temporada de lluvias 2013. Es necesario realizar un análisis de dicha ladera de esta subcuenca hidrográfica, para determinar las estrategias para implementar los controles hidrológicos más apropiados como podrían ser terraceos y gaviones, entre otras.

Dentro de las acciones no estructurales se identificaron las de programas de mantenimiento, generación de zonas de desarrollo controlado, generación de estudios y la propuesta de Ley de Responsabilidad de Impacto Hidrológico.

Programas de mantenimiento

Se recomienda mantener y fortalecer el programa de inspección, mantenimiento y limpieza de canales pluviales y arroyos en la ciudad de Chihuahua. Este programa debe incluir inspecciones

anuales durante la época de estiaje (invierno) de los 26 arroyos y 2 ríos analizados, identificando y resolviendo afectaciones antes de la temporada de lluvias (primavera-verano

Estudio diagnóstico pluvial detallado a nivel de ciudad

Antes de proceder con las acciones estructurales, se recomienda realizar un estudio diagnóstico de la situación pluvial en la ciudad de Chihuahua. Este estudio debe incluir la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones para personas, vehículos y viviendas, considerando 9 periodos de retorno. Se debe identificar la velocidad y tirante máximo de escurrimiento del agua pluvial en canales, obras de regulación, ríos, arroyos en sección natural y vialidades mediante una simulación hidrológica-hidráulica en dos dimensiones de flujo no permanente a superficie libre.

Con base en estos mapas y simulaciones, se deben determinar los costos asociados a las afectaciones por inundaciones y analizar el funcionamiento hidráulico de las 4 presas, 45 obras de detención, todos los canales pluviales, dos ríos, 26 arroyos principales y arroyos secundarios, así como el flujo sobre vialidades. La información recopilada permitirá generar propuestas de solución a nivel de anteproyecto, incluyendo obras para reducir las afectaciones por inundaciones y gestionar el agua de lluvia de manera efectiva.

Para priorizar las obras de manejo de agua de lluvia, se sugiere generar mapas de riesgo basados en el cálculo del Índice Pérdida-Posesión.

Control y limitación de la urbanización en las cuencas de las tres presas.

Se recomienda considerar toda el área de las cuencas de las presas Chihuahua, Rejón y Chuvíscar como zonas de desarrollo controlado. Dentro de estas zonas, se deben limitar los proyectos de urbanización y exigir la presentación y construcción de obras de reducción de impacto hidrológico antes de autorizarlos. Específicamente, se deben construir obras de detención y/o retención que restablezcan el caudal de escurrimiento previo a la urbanización para un periodo de retorno de al menos 10 años.

Además, se sugiere realizar un estudio sobre el funcionamiento hidráulico del vertedor de la Presa Chuvíscar, evaluando los beneficios y riesgos de su falta de volumen útil debido al azolve. También se debe considerar su función actual como espacio recreativo y estético en el Parque El Encino. Se sugiere evaluar la posibilidad de demoler la presa o restaurar su capacidad útil mediante el desazolve.

Cálculo de Índice de Resiliencia en ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos

Se propone calcular el "Índice de Resiliencia en Ciudades ante Fenómenos Hidrometeorológicos" para identificar áreas de oportunidad y deficiencias en el manejo del agua de lluvia a nivel urbano, y aplicar correcciones necesarias. Esta iniciativa busca contribuir a la creación de ciudades seguras que mantengan funcionalidad frente a desastres naturales, especialmente lluvia e inundaciones.

Una ciudad resiliente es aquella que está preparada, resiste, se adapta y se recupera ante situaciones críticas. Para calcular este índice, es necesario determinar primero el perfil de resiliencia de la ciudad, un análisis cualitativo de sus características resilientes ante fenómenos hidrometeorológicos. Este perfil evalúa la cantidad y calidad de la infraestructura pluvial, programas de ordenamiento territorial con enfoque ecológico, códigos de construcción, estudios de evaluación de riesgos frente a inundaciones, planes de mitigación de riesgos, presupuesto para actividades preventivas y emergencias, fortaleza de instituciones de reducción de desastres, evaluación de daños previos y tiempos de recuperación, entre otros aspectos.

Ley de Responsabilidad de Impacto Hidrológico

Se propone la creación de la Ley de Responsabilidad de Impacto Hidrológico en respuesta al aumento de inundaciones causadas por la urbanización. La urbanización de una cuenca modifica el régimen hidrológico, aumentando el volumen y caudal máximo de escurrimiento debido a más superficies impermeables y reduciendo el tiempo en que se presenta el caudal máximo. Aunque es difícil eliminar completamente estos impactos, se pueden mitigar parcialmente mediante obras de regulación, como presas de detención, que reducen y retrasan el caudal máximo de escurrimiento. Estas estructuras, conocidas como presas "rompe-picos", almacenan temporalmente el volumen de escurrimiento, disminuyendo el caudal de salida durante tormentas. En Chihuahua, las presas San Marcos, Chihuahua, Chuvíscar y El Rejón funcionan como presas rompe-picos, contribuyendo a la regulación hidráulica de la ciudad.

Respecto al uso de este tipo de estructuras para reducir el impacto hidrológico, es importante tener en cuenta que, si bien tienen un impacto muy positivo al disminuir el caudal máximo de escurrimiento de un cauce y retrasarlo, no reducen el volumen total de escurrimiento. Por lo tanto, no se puede considerar que generan un impacto hidrológico "cero". Sin embargo, permiten disminuir el caudal máximo del cauce hasta el valor que tenía antes de su urbanización (para un cierto periodo de retorno de diseño), lo que representa una reducción de impacto hidrológico significativa y beneficios considerables.

En la Figura 94 se muestran los escenarios típicos de los hidrogramas de un arroyo antes de ser urbanizado (Pre-urbanización), una vez que se ha urbanizado su cuenca y cómo se puede restablecer el caudal máximo mediante la regulación de volumen con una obra de detención.

Es importante destacar que el efecto de las obras de detención, ilustrado mediante los hidrogramas de los tres escenarios mencionados, es similar a la estrategia de "aplanar la curva" utilizada durante la contingencia de Covid-19. En este caso, la idea era regular el flujo de casos graves que requirieran hospitalización para que no se presentaran todos al mismo tiempo, sino de manera espaciada en el tiempo, lo que "aplanaba" la curva de contagios. De manera análoga, las estructuras de detención generan un "aplanamiento" de la curva de caudal de escurrimiento de un cauce (hidrograma), disminuyendo el flujo máximo al regular el volumen escurrido.

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 abordar el aumento de las inundaciones debido a la urbanización, se propone la creación de la Ley de Responsabilidad de Impacto Hidrológico. Esta ley se inspiraría en el artículo 86-bis de la Ley de Agua para el estado de Jalisco, que exige a los nuevos desarrollos urbanos que generen superficies impermeables la construcción de dispositivos de control de escurrimiento de agua pluvial, como obras de detención. Estas estructuras deben cumplir con características técnicas específicas y ser autorizadas por el organismo operador correspondiente, basándose en estudios hidrológicos e hidráulicos que incluyan la determinación de hidrogramas pre-urbanizados, urbanizados y regulados.

La ley propuesta requeriría que particulares y empresas presenten un proyecto ejecutivo y construyan obras de detención que regulen el caudal de salida del área urbanizada, alineándolo con el escenario pre-urbanizado para un periodo de retorno de 10 años. Además, se sugiere la elaboración de planes de infraestructura pluvial a nivel de cuenca para coordinar las obras de manejo de lluvia en áreas específicas de la ciudad, como recomienda Campos Aranda (2010).

Aunque la implementación de estas obras conlleva costos que se trasladan a los usuarios finales, la ley enfatiza la responsabilidad compartida de mitigar los impactos hidrológicos generados por la urbanización, promoviendo un desarrollo urbano más consciente y 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

12. Interpretación Integral del Estado del Agua

En este análisis integral del estado del recurso hídrico en el municipio de Chihuahua se abordan tanto las fuentes subterráneas como las superficiales, los diferentes usos del agua, la infraestructura existente para su suministro y tratamiento, así como las dinámicas y desafíos actuales en la gestión del recurso.

El municipio de Chihuahua, perteneciente al Estado de Chihuahua, tiene una superficie 836,765 ha que representa el 3.3% de la entidad y 937,674 habitantes. El 98.73% de la población vive en la zona urbana del Municipio. A pesar de localizarse en un entorno de relativa escasez hídrica, en Chihuahua el 98.9% de las viviendas disponen de agua, mientras que 96.25% de drenaje.

En el municipio de Chihuahua, el agua se suministra de dos maneras: a la zona urbana a través de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de Chihuahua, y de forma autoabastecida mediante concesiones otorgadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

La JMAS de Chihuahua, una institución pública descentralizada del Gobierno del Estado de Chihuahua abastece al sector residencial, comercial, industrial y público dentro de su área de servicio. Sin embargo, estos sectores también pueden obtener agua de manera simultánea mediante concesiones particulares de agua subterránea. Por otro lado, el uso del agua para actividades agrícolas y pecuarias no está bajo la jurisdicción del operador de agua local, sino que es gestionado directamente por CONAGUA.

Además de proporcionar servicios de agua potable y saneamiento, es crucial abordar las contingencias relacionadas con fenómenos extremos como inundaciones y sequías, que son altamente relevantes y frecuentes en la región. Por lo tanto, es urgente que la gestión del agua en el municipio de Chihuahua adopte un enfoque basado en la gestión del riesgo, teniendo en cuenta la variabilidad e incertidumbre de estos factores relevantes.

Debido a la importancia económica y social que presenta el contexto urbano y metropolitano de Chihuahua es crucial contar con un instrumento que permita planear de manera sostenible los recursos hídricos en el ámbito municipal. El desarrollo de la ciudad, el crecimiento poblacional, la industrialización, así como el cambio en los patrones climáticos y la falta de fuentes accesibles de suministro de agua ha provocado problemáticas complejas de resolver.

El área de estudio incluye las cuencas hidrológicas y acuíferos subterráneos que afectan al Municipio de Chihuahua, con el objetivo de que el Plan Municipal Hídrico represente adecuadamente el contexto metropolitano. Para ello, se llevaron a cabo estudios que sirven como herramienta fundamental para la elaboración del Plan Municipal Hídrico a largo plazo, analizando en profundidad las condiciones del municipio y ofreciendo soluciones adecuadas a su contexto específico.

Se analizaron diversos aspectos, comenzando por el natural, que incluye el clima y la geología. También se evaluó el contexto social, incorporando perfiles sociodemográficos y socioeconómicos, así como un análisis poblacional relacionado con el uso del agua. Además, se examinaron los posibles

riesgos y la capacidad de resiliencia hídrica de la zona de estudio, identificando problemas y oportunidades en términos de disponibilidad, uso, acceso y calidad del agua.

El estudio incluyó un análisis detallado de las aguas superficiales y subterráneas, identificando la generación de escurrimientos y caudales máximos a nivel de cuenca y subcuenca. Se identificaron zonas vulnerables y propensas a inundaciones, así como la capacidad de disponibilidad y abastecimiento de los diversos acuíferos que suministran agua al municipio de Chihuahua. También se evaluó el impacto antropogénico en los ámbitos urbano y rural, identificando posibles escenarios de oferta y demanda de agua en las localidades.

La caracterización del Municipio de Chihuahua fue un aspecto clave de estos estudios, realizados a múltiples escalas de análisis. Estos estudios proporcionaron una comprensión detallada del uso de los recursos hídricos en la región, basándose en la información disponible. Además, se analizaron los sistemas de infraestructura, principalmente en la zona urbana, y los problemas existentes relacionados con la gestión del agua.

Actualmente, la región norte de México, y específicamente el municipio de Chihuahua, enfrenta una crisis hídrica provocada por factores climáticos, como la sequía, y antropogénicos, como el consumo insostenible de los acuíferos. La expansión urbana ha llevado a la pavimentación y urbanización, lo que ha resultado en la pérdida de áreas de infiltración, impermeabilidad del suelo y modificación de los escurrimientos superficiales, generando problemas como inundaciones.

Derechos de Extracción y Uso del Agua

Es importante mencionar que el desarrolló de los análisis fue basado en los derechos de extracción que se tienen registrados en el REPDA, evaluando los volúmenes asignados para su explotación de acuerdo con su uso.

En 2023, el Municipio de Chihuahua reporta un derecho de extracción total de 300.27 hectómetros cúbicos (hm^3) al año, de los cuales el 92% provienen de fuentes subterráneas y el resto de las fuentes superficiales. La mayor parte del agua se destina al abastecimiento público-urbano, seguido del uso agrícola. En términos de volúmenes anuales, se aprovechan 174.22 hm^3 para uso público-urbano y 102.25 hm^3 para uso agrícola. La industria autoabastecida utiliza 10.11 hm^3, mientras que otros usos, como el ganadero y de servicios, representan el volumen restante.

El registro de derechos de agua es esencial para la gestión efectiva de los recursos hídricos, ya que proporciona un marco legal para la asignación y uso del agua, permitiendo un control y planificación adecuados. La correcta asignación y uso de estos derechos es fundamental para asegurar la sostenibilidad del recurso y satisfacer las demandas crecientes de la población y las actividades económicas.

Prestación de Servicios y Cobertura

La JMAS de Chihuahua es responsable de la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la zona urbana. La cobertura en la zona urbana alcanza el 98.92%,

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

mientras que en el área rural es del 92.6%. La JCAS apoya a las juntas rurales y comités de agua en la administración del recurso hídrico en estas áreas.

La infraestructura y la calidad del servicio son factores críticos para garantizar el acceso al agua potable y el saneamiento adecuado. La JMAS ha implementado mejoras en la red de distribución, incluyendo la sectorización y la gestión de presiones, lo que ha permitido mejorar la eficiencia en la distribución y reducir las pérdidas de agua. Sin embargo, se necesita una inversión continua en infraestructura para mantener y ampliar la cobertura, especialmente en áreas rurales y de rápido crecimiento urbano.

Uso del Agua en el Sector Agrícola y Pecuario

A pesar de no ser el sector con mayor agua asignada (35% del total), existe un profundo desconocimiento del uso del agua en el sector agrícola, derivado de la falta de medición de los usuarios, y la falta de aplicación del marco normativo por parte de CONAGUA. En general, la información que se tiene consiste en las concesiones que otorga la autoridad de agua, mismas que están registradas en el REPDA; sin embargo, no se sabe con exactitud cuánta agua realmente se aprovecha para los fines que fueron asignados. En ese sentido, se aborda el uso del agua agrícola y pecuario a través de las concesiones otorgadas y la productividad del sector.

En el sector agrícola, se tiene un uso asignado de 102.25 hm^3, de los cuales 92.33 hm^3 son de fuentes subterráneas. El municipio se caracteriza por el uso de dos métodos de riego predominantes: el riego por gravedad y el riego por goteo. En Chihuahua no existen distritos de riego, pero se identifican 21 unidades de riego que cubren una superficie de 10,000 hectáreas.

En el ámbito pecuario, se tiene asignado un volumen de 0.564 hm^3. Se realizó una estimación del volumen de agua consumido en el 2022, con base en referencia de consumo de líquido por cultivo y producción obtenida. Los resultados de la estimación son un volumen potencial utilizado de 1,031.4 hm^3, de los cuales se estima un volumen de precipitación de 502.4 hm^3, teniéndose un volumen utilizado de 529 hm^3. Este volumen es prácticamente cinco veces mayor que el concesionado. Esta situación manifiesta la urgente necesidad de medir los consumos del sector pecuario, generar datos y llevar a cabo estudios más profundos en el tema.

La implementación de tecnologías de riego más eficientes y prácticas de gestión sostenible del agua puede contribuir significativamente a reducir el consumo de agua y mejorar la productividad agrícola y pecuaria.

Infraestructura de Alcantarillado y Saneamiento

La cobertura de alcantarillado en el área urbana es del 96.24%, mientras que en el área rural no se dispone de datos detallados. En 2023, se contaban con cinco plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con una capacidad instalada de 3.71 m^3/s, de las cuales se trataban efectivamente 2.04 m^3/s. En lo que respecta a las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, no se cuenta con un inventario de la capacidad y el caudal tratado, solamente se cuenta con los 17 títulos autorizados para descargar sus aguas residuales en cuerpos federales.

La capacidad de tratamiento de aguas residuales es crucial para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua y proteger la salud pública. Las plantas de tratamiento deben operar de manera eficiente y cumplir con las normativas ambientales para asegurar que el agua tratada pueda ser reutilizada o devuelta a los ecosistemas sin causar daños. La modernización y expansión de la infraestructura de saneamiento son necesarias para atender la creciente demanda y los retos ambientales.

Dinámica de la Demanda de Agua

Históricamente, el sector doméstico ha recibido el mayor volumen de servicio de agua potable, seguido por los sectores comercial e industrial. La demanda de agua ha crecido significativamente, con un volumen suministrado estimado de 1,700 litros por segundo (lps) en 1970, aumentando a 2,000 lps en la década de 1980. El crecimiento de la mancha urbana, la falta de nuevas fuentes de abastecimiento y la necesidad de reemplazar tuberías obsoletas han complicado la operación de la red de agua potable. La dotación máxima de agua se registró en 2019 con 439 litros por habitante por día (l/hab/día).

El crecimiento poblacional y económico ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos. La planificación y gestión adecuadas son esenciales para satisfacer la demanda futura sin comprometer la sostenibilidad del recurso. Esto incluye la identificación y desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, así como la implementación de políticas de ahorro y eficiencia en el uso del agua.

La JMAS Chihuahua divide la ciudad en zonas de influencia para distribuir eficazmente el agua. En 2018, solo el 12% de los usuarios registrados tenía servicio continuo, pero la sectorización y la integración de tecnología autónoma para la medición han mejorado significativamente el control y la eficiencia en la distribución del agua. Actualmente, la JMAS ha implementado 218 distritos y cuenta con 164,763 cuentas de usuarios con servicio continuo.

La gestión de la demanda es una estrategia clave para asegurar un suministro sostenible. La sectorización permite una mejor identificación y solución de problemas en la red de distribución, como fugas y pérdidas de agua. Además, la tecnología de medición avanzada facilita el monitoreo del consumo y la implementación de programas de ahorro y eficiencia.

El municipio de Chihuahua se ubica en la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, con un clima semidesértico y una precipitación media anual de 396 mm. El abastecimiento de agua proviene principalmente de fuentes subterráneas, con solo el 1.2% del volumen total proveniente de fuentes superficiales.

Fuentes Superficiales y Subterráneas

El abastecimiento de agua potable al municipio de Chihuahua proviene principalmente de fuentes subterráneas como se señaló con anterioridad, de acuerdo con datos de la JMAS Chihuahua el agua utilizada de las fuentes superficiales para la zona urbana es solamente del 1.2 % solamente de volumen total. La importancia de las fuentes subterráneas en el municipio de Chihuahua se ha incrementado con el pasar del tiempo, la extracción y uso de los volúmenes de los acuíferos en la

zona urbana inició con el acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS), seguido en secuencia por el Tabalaopa-Aldama (ATA) y el Sauz-Encinillas (ASE).

Las principales captaciones de aguas superficiales en el municipio de Chihuahua se encuentran en la parte poniente de la mancha urbana, ubicadas aguas arriba sobre los tributarios del Río Chuvíscar.

Las principales fuentes superficiales son las presas El Rejón, Chuvíscar, Chihuahua y San Marcos. La capacidad hidráulica de las primeras dos es limitada debido a su azolvamiento. La Presa Chihuahua y la Presa El Rejón tienen derechos de extracción para uso público urbano, aunque en promedio solo se extraen 1.75 hm^3 de la Presa Chihuahua.

Las fuentes subterráneas incluyen los acuíferos Chihuahua-Sacramento, El Sauz-Encinillas y Tabalaopa-Aldama. La extracción y uso de estos acuíferos ha sido fundamental para el suministro de agua en el municipio, especialmente en la zona urbana. En el sistema rural se provee directamente el suministro de agua potable a partir de los pozos con título asignado para su explotación, existe una falta de información en relación de cómo se opera y como se le suministra en particular para cada localidad rural.

En el caso del suministro urbano, el sistema opera con pozos profundos de 200 a 500 m, con un total de 152 pozos activos emplazados en dichos acuíferos hasta diciembre de 2023: 80 en el ACHS, 51 en ATA y 21 en ASE.

En cuanto al caudal promedio que aportan los pozos de cada acuífero, se tiene que son de 2040 lps para el ACHS, 1372 lps para el ATA y 872 lps para el ASE, dando un total de 4284 lps.

La calidad y cantidad de las fuentes subterráneas y superficiales deben ser monitoreadas regularmente para prevenir la sobreexplotación y la contaminación. La JCAS realizó en el 2022 un análisis de diversas fuentes subterráneas en el estado de Chihuahua, abarcando un total de 202 aprovechamientos.

Los resultados indican que el 33.66% de los suministros superan el límite permisible de arsénico (As) para consumo humano, mientras que el 59.90% excede el límite para fluoruros (F) según la NOM-SSA1-127-2021. Además, el 31.18% de los suministros presentan ambos problemas simultáneamente.

Impacto del Cambio Climático

El cambio climático representa un desafío significativo para la gestión del recurso hídrico en el municipio de Chihuahua. Se espera que los patrones de precipitación se vuelvan más erráticos, con periodos de sequía más prolongados y eventos de lluvias intensas más frecuentes. Estos cambios pueden afectar la disponibilidad y calidad del agua, así como incrementar la vulnerabilidad de las infraestructuras hidráulicas y de saneamiento.

Es esencial implementar estrategias de adaptación que incluyan la gestión integrada de los recursos hídricos, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la inversión en infraestructuras resilientes. Además, es fundamental aumentar la capacidad de monitoreo y modelización climática para anticipar y gestionar los impactos del cambio climático de manera efectiva.

Conclusión

El municipio de Chihuahua enfrenta desafíos significativos en la gestión del agua, a pesar de contar con una cobertura relativamente alta de servicios básicos como el acceso al agua potable y drenaje en la zona urbana. La cobertura de alcantarillado en el área urbana es alta, pero existen brechas significativas en las zonas rurales. La capacidad de tratamiento de aguas residuales debe ser ampliada y modernizada para enfrentar la demanda creciente y proteger el medio ambiente.

La sobreexplotación de fuentes subterráneas, la falta de infraestructura adecuada y la necesidad de una gestión más eficiente y equitativa del recurso son algunos de los problemas más urgentes que requieren atención. La JMAS Chihuahua juega un papel crucial en el suministro de agua, pero las concesiones particulares y el autoabastecimiento también son importantes, especialmente en el sector agrícola y pecuario. Sin embargo, existe una discrepancia significativa entre el volumen de agua concesionado y el realmente utilizado en el sector agrícola, lo que destaca la necesidad de mejorar la medición y gestión de los consumos para asegurar una explotación sostenible. Un porcentaje considerable de las fuentes subterráneas excede los límites permisibles de arsénico y fluoruros según la NOM-SSA1-127-2021. Esto representa un riesgo para la salud pública y requiere acciones correctivas inmediatas.

El municipio enfrenta desafíos relacionados con la gestión de eventos extremos como sequías e inundaciones. Es urgente adoptar enfoques basados en la gestión de riesgos y la variabilidad climática. El desarrollo urbano, el crecimiento poblacional, la industrialización y los cambios en los patrones climáticos han creado problemas complejos en la gestión sostenible del agua. Es necesario un instrumento de planificación hídrica municipal que aborde estas problemáticas.

El cambio climático incrementa la vulnerabilidad hídrica del municipio, afectando la disponibilidad y calidad del agua. Se deben implementar estrategias de adaptación que incluyan una gestión integrada de los recursos hídricos y la promoción de prácticas sostenibles.

Para hacer frente a estos desafíos, se recomienda la implementación de tecnologías de riego más eficientes en el sector agrícola, el aumento del monitoreo de la calidad y cantidad de las fuentes de agua, el desarrollo e implementación de estrategias de adaptación al cambio climático, la promoción de programas de educación y concienciación sobre el uso eficiente del agua, y el fortalecimiento de las capacidades institucionales de la JMAS y otras entidades involucradas en la gestión del agua.

A pesar de los avances logrados, como la mejora en la eficiencia en la distribución mediante la sectorización y el uso de tecnología de medición avanzada por parte de la JMAS, se necesita una inversión continua para mantener y ampliar la cobertura, especialmente en áreas de rápido crecimiento urbano.

En resumen, el estado del agua en el municipio de Chihuahua requiere de una acción coordinada y urgente para garantizar un suministro sostenible y eficiente del recurso. La colaboración entre autoridades, sectores productivos y la comunidad es fundamental para abordar estos desafíos y asegurar la disponibilidad de agua para las generaciones presentes y futuras.

13. Referencias

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

2. 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.

3. Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua. Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua. Diagnóstico. Chihuahua:; 2009.

4. Centro de Estudios Estratégicos (CEE) y Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua. Estudio para la Definición del Borde Urbano, Zonas de Valor Ambiental y de Preservación Ecológica. Estudio. Chihuahua:; 2019.

5. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Conociendo México, Sexta edición. Aguascalientes:; 2016.

6. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Atlas del Agua en México. Ciudad de México:; 2018.

7. CONAGUA. Actualización de da Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2020.

8. CONAGUA. Actualización de la Disponibilidad Media Anual De Agua en el Acuífero El Sauz Encinillas (0807), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2020.

9. CONAGUA. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2020.

10. Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. [Online].; 2015 [cited 2023 12 11. Available from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015#gsc.tab=0 .

11. García, E.; CONABIO. Climas, clasificación KOPPEN, modificadas por García. México:; 1988.

12. Monforte G, Cantú P. Escenario del agua en México. CULCyT. 2009;(30): 31-40.

13. INEGI. INEGI. [Online].; 2020 [cited 2023 12 28. Available from: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos.

14. Gobierno Municipal de Chihuahua. Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024. Plan. Chihuahua: Gobierno Municipal de Chihuahua.

15. Fondo de Población de las Naciones Unidas, UNFPA. Población y Desarrollo. [Online].; 2021 [cited 2023 12 27. Available from: https://mexico.unfpa.org/es/topics/poblaci%C3%B3n-y-desarrollo-2.

16. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE). Salud, acciones y programas, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. [Online].; 2022 [cited 2023 12 27. Available from: https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-vigilancia-epidemiologica.

17. JMAS, Gobierno Municipal de Chihuahua, Fundación Produce y Fideicomiso para el cuidado del agua en el municipio de Chihuahua. Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos El Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama. Informe técnico. ; 2021.

18. Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020, Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua. [Online].; 2020 [cited 2023 12 27. Available from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5603318&fecha=22/10/2020#gsc.tab=0 .

19. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). [Online].; 2023 [cited 2022 12 27. Available from: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=repda.

20. JCAS, JMAS, JMAS Juarez y UACH. Inventario Estatal de Fuentes de Suministro de Agua Potable en el Estado de Chihuahua. ; 2022.

21. 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.

22. INEGI. Panorama censal de los organismos operadores de agua en México. [Online].; 2019 [cited 2023 03 02. Available from: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198800.pdf.

23. Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. [Online].; 2022 [cited 2023 12 27. Available from: https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion.

24. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). PIGOO. [Online].; 2023 [cited 2023 12 27. Available from: http://www.pigoo.gob.mx/organismosoperadores.jsp.

25. Consejo Estatal de Población Chihuahua. Programa Estatal de Población. [Online].; 2017 [cited 2023 12 27. Available from: https://ceg.chihuahua.gob.mx/PED/EJE5/MedianoP/COESPO.PDF.

26. Consejo Nacional de Población (CONAPO). Proyecciones de la Población de los municipios de México, 2015-2030. [Online].; 2019 [cited 2023 12 27. Available from: https://www.gob.mx/conapo/articulos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030-215756.%20Proyecciones%20de%20la%20Poblacin%20de%20los%20municipios%20de%20Mxico.

27. Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua. Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chihuahua Visión 2040. [Online].; 2021 [cited 2023 12 27. Available from: https://implanchihuahua.org/PDU2040.html.

28. CONAGUA. MAPS - Basic Data for Drinking Water and Sewerage Projects. [Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.]. Cd. México:; 2015.

29. Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). Índice de Competitividad Estatal. ; 2022.

30. Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua. Diagnóstico de la Forma, Estructura Urbana y Usos de Suelo. ; 2020.

31. Secretaría de Economía. Data México. [Online].; 2023 [cited 2024 01 12. Available from: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/chihuahua-ch?redirect=true.

32. Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico; Centro de Información Económica y Social (CIES). Perfil Económico 2023 Región Chihuahua. Chihuahua:; 2023.

33. INEGI. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2022. [Online].; 2023 [cited 2024 01 12. Available from: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463910534.

34. INEGI. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). [Online].; 2023 [cited 2024 01 12. Available from: https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/.

35. Instituto Mexicano del Seguro Social al IIIT. Panorama Económico - Social Municipio de Chihuahua. ; 2023.

36. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avance de Siembras y Cosechas. [Online].; 2022 [cited 2024 01 12. Available from: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.

37. Consejo para el Desarrollo Económico de Chihuahua. Consejo para el Desarrollo Económico de Chihuahua. [Online].; 2023 [cited 2024 01 12. Available from: http://codech.org.mx/.

38. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Consulta a la base de datos del REPDA. [Online].; 2023 [cited 2023 12 27. Available from: https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx.

39. Camacho H, Casados J. Repositorio IMTA. [Online].; 2017 [cited 2023 February 21. Available from: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/download/?key=221.

40. 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).

41. Junta Central de Agua y Saneamiento de Chihuahua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. PLAN ESTATAL HÍDRICO 2040 DE CHIHUAHUA. ; 2018.

42. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). [Online].; 2023 [cited 2022 12 27. Available from: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=repda.

43. JMAS/IMTA. Exploración Geofísica mediante sondeos electromagnéticos y caracterización isotópica en Sierra Azul y Estacion Terrazas, Chihuahua. CONVENIO DE COLABORACION NO: JMAS/IMTA TH1125-2011. ; 2011.

44. Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. [Online].; 2022 [cited 2023 12 27. Available from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0 .

45. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. [Online].; 2023 [cited 2024 02 12. Available from: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/.

46. Sistema de Información Geográfica Municipal (SIGMUN). Sistema de Información Geográfica Municipal. [Online].; 2023 [cited 2024 02 12. Available from: https://geoportal.mpiochih.gob.mx/sigmun/apps/webappviewer/index.html?id=abab1eab03774ce18c3610b842f11264.

47. INEGI. Censos Económicos. [Online].; 2019 [cited 2023 01 12. Available from: https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/.

48. Food and Agriculture Organization (FAO). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. [Online].; 2012 [cited 2024 02 12. Available from: https://www.fao.org/3/i2800s/i2800s.pdf.

49. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online].; 2024 [cited 2024 02 12. Available from: https://www.fao.org/home/en/.

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

51. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Guía Sobre Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones. México:; 2022.

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

53. Esparza M. La sequía y la escasez de agua en México. Situacion actual y perspectivas futuras. México. [Online].; 2014 [cited 2023. Available from: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-03482014000200008&script=sci_arttext.

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

55. Organización de las Naciones Unidas (ONU). El Agua: En el Centro de la Crisis Climática. Acción por el clima. [Online].; 2023. Available from: https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20afecta%20al,agua%20(ONU%2DAgua.

56. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)-Chihuahua Gobierno del Estado-Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS)-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Plan Estatal Hídrico 2040 del Estado de Chihuahua, Documento de Divulgación Segunda Edición 2022. Chihuahua:; 2022.

57. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. [Online].; 2024 [cited 2024 02 12. Available from: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf.

58. CONAGUA. Ley Federal de Derechos (LFD). [Online].; 2023 [cited 2024 02 12. Available from: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/831228/LEY_FEDERAL_DE_DERECHOS_2023.pdf.

59. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley de Aguas Nacionales. [Online].; 2023 [cited 2023 12 27. Available from: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf.

60. Cámara de Diputados del H, Congreso de la Unión. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. México:; 2024.

61. Cámara de Diputados del H, Congreso de la Unión. Ley de Aguas Nacionales. México:; 2023.

62. Honorable Cámara de Diputados. Cámara de Diputados, Servicio de Investigación y Análisis. [Online].; 2003 [cited 2024. Available from: https://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/dps03/7estruc.htm.

63. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México:; 2024.

64. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. Ley General de Movilidad y Seguridad Vial. México:; 2023.

65. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. México:; 2022.

66. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 3.1.6 Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes para el Ejercicio Fiscal 2023. México:; 2023.

67. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. Ley Agraria. México:; 2023.

68. H. Congreso de la Union. Ley Federal de Derechos. México:; 2023.

69. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica. México:; 1990.

70. CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. Ley Federal Sobre Metrología y Normalización. México:; 2009.

71. Cámara de Diputados del H, Congreso de la Unión. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN). México:; 2014.

72. Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. [Online].; 2022 [cited 2024. Available from:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5659411&fecha=27/07/2022#gsc.tab=0
.

73. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua. México:; 2012.

74. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. México:; 2020.

75. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2021-2024. [Online].; 2021. Available from: https://www.gob.mx/sedatu/documentos/programa-nacional-de-ordenamiento-territorial-y-desarrollo-urbano-2021-2024.

76. Gobierno de México. Comisión Nacional del Agua - Acciones y Programas - Normas Oficiales Mexicanas (NOM). [Online].; 2016 [cited 2024. Available from: https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-nom-83264.

77. Gobierno de México. Secretaría de Economía Acciones y Programas - Sabes cómo te benefician las Normas Oficiales Mexicanas. [Online].; 2021 [cited 2024. Available from: https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/sabes-como-te-benefician-las-normas-oficiales-mexicanas?state=published.

78. Gobierno de México. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) - Marco jurídico - Normas Oficiales Mexicanas. [Online].; 2024 [cited 2024. Available from: http://transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/marco-juridico/normas-oficiales-mexicanas#:~:text=Consulta%20por%20temas%20las%20Normas,aplicables%20a%20un%20producto%2C%20proceso.

79. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Prontuario Normas Oficiales Mexicanas. México:; 2021.

80. Comisión Nacional del Agua. Sistema Nacional de Información del Agua SINA. [Online]. México; 2020. Available from: https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-del-agua-sina.

81. Comisión Internaciónal de Limites y Aguas (CILA). Tratado relativo al aprovechamiento de las aguas de los ríos Colorado y Tijuana y del río Bravo (Grande) desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América. México - U.S.A.:; 1944.

82. H. Congreso del Estado. Constitución Política del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2024.

83. H. Congreso del Estado. Código Municipal para el Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2021.

84. H. Congreso del Estado. Ley del Agua del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2023.

85. H. Congreso del Estado. Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2018.

86. H. Congreso del Estado. Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2022.

87. H. Congreso del Estado. Ley de Desarrollo Urbano Sostenible del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2020.

88. H. Congreso del Estado. Ley de Vivienda del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2022.

89. H. Congreso del Estado. Ley de Catastro del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2017.

90. H. Congreso del Estado. Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. Chihuahua:; 2019.

91. H. Congreso del Estado. Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2024.

92. H. Congreso del Estado. Ley de Transporte del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2022.

93. Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Chihuahua. Periódico Oficial. Chihuahua:; 1942.

94. Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS)-Dirección Jurídica. Reglamento para los servicios públicos. Chihuahua:; 2017.

95. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Secretaría de Desarrollo Rural, Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS). Plan Estatal Hídrico 2040 del Estado de Chihuahua. Chihuahua:; 2022.

96. Gobierno del Estado de Chihuahua. Plan Estatal de Desarrollo Chihuahua 2022-2027. Chihuahua:; 2022.

97. Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua (JCAS). Programa de Mediano Plazo Gestión Hídrica 2022-2027. Chihuahua:; 2022.

98. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) - Organismo de Cuenca Río Bravo. Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía. Chihuahua:; 2014.

99. Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS). 3.3.1 Lineamientos para la Prestación de los Servicios Públicos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua. Chihuahua:; 2021.

100. Instituto Municipal de Planeación de la ciudad de Chihuahua (IMPLAN). Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua - Etapa I Diagnostico. Chihuahua:; 2006.

101. H. AYUNTAMIENTO de CHIHUAHUA. Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024. Chihuahua:; 2021.

102. Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS). Reglamentación Local Relativa a las Descargas de Aguas Residuales No Domesticas al Sistema de Drenaje. Chihuahua:; 1997.

103. H. Ayuntamiento de Chihuahua. Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Cambio Climático del Municipio de Chihuahua. Chihuahua:; 2023.

104. H. Ayuntamiento de Chihuahua. Reglamento de Construcciones y Normas Técnicas para el Municipio de Chihuahua. Chihuahua:; 2020.

105. H. Ayuntamiento de Chihuahua. Reglamento de Protección Civil del Municipio de Chihuahua. Chihuahua:; 2023.

106. H. Ayuntamiento de Chihuahua. Reglamento Del Parque Metropolitano Tres Presas Del Municipio De Chihuahua. Chihuahua:; 2024.

107. H. Ayuntamiento de Chihuahua. Manual de Organización de la Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología. Chihuahua:; 2023.

108. Naciones Unidas (ONU). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. ; 2023.

109. UACH Facultad de Ingeniería, CNA. Estudio Geofísico del Valle de Chihahua (Segunda Parte). ; 1980.

110. UACH Facultad de Ingeniería, CNA. Estudio Geohidrológico del Valle de Chihuahua (Primera Parte). ; 1978.

111. SARH. 1.Análisis de la Problemática de Abastecimiento de Agua Potable a la Ciudad de Chihuahua. ; 1985.

112. TEGEMIN S.A. de C.V., CNA. Actualización de Mediciones Piezométricas de los Acuíferos Reactivados. ; 1996.

113. CNA. Diseño de Redes de Monitoreo de los Acuíferos de los Valles de: Juárez, Jiménez-Camargo, Chihuahua-Sacramento en el estado de Chihuahua. ; 1996.

114. CONAGUA. Actualización de da Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2023.

115. Diario Oficial de la Federación (DOF). ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Chihuahua-Sacramento, clave 0830, en el Estado de Chihuahua, Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo. [Online].; 2015 [cited 2024 03 25. Available from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5404985&fecha=25/08/2015#gsc.tab=0 .

116. Ramos-Leal, J. et al.. Estructura hidrogeológica del acuífero Tabalaopa y su relación con la recarga natural.. Revista de Investigación Hidrogeológica. 2015;(23): 56-68.

117. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Geografía y Medio Ambiente. [Online].; 2023 [cited 2023 11 14. Available from: https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/.

118. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Disponibilidad por Acuíferos. [Online].; 2023 [cited 2023 12 27. Available from: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html.

119. Villalba-Breceda G. Análisis geológico-estructural de la región noreste de la Cuenca Sacramento y la Sierra Majalca, Chihuahua, México.. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 2010;(62): 437-451.

120. Pelayo-Villarreal AM, Vázquez-Montoya A. Análisis geológico-estructural del límite sur del acuífero Chihuahua-Sacramento. Revista mexicana de ciencias geológicas. 2013;(30): 380-393.

121. Ariel Consultores S.A. de C.V., SARH. Estudio hidrogeológico de los acuíferos de la zona de veda en la región de Aldama, Chih.. ; 1972.

122. CONAGUA. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2023.

123. Ariel Construcciones S.A., SARH. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS. 1972. Estudio Hidrogeológico de los acuíferos de la zona de veda en la región de Aldama, Chihuahua.; 1972.

124. CONAGUA. Actividades Geohidrológicas en los Acuíferos: Santa Clara, Aldama San Diego, Villalba, Conejos Médanos, Tabalaopa Aldama y Alto Río San Pedro, en el Estado de Chihuahua.. ; 2007.

125. Pérez AJ. Determinación de la Geometría del Acuífero Tabalaopa-Aldama, Chihuahua. ; 1996.

126. Villalba-Breceda G, Martínez-López J. Análisis estructural de la Sierra de Majalca, Chihuahua, México.. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 2007;(59): 1-20.

127. SARH, PROYESCO, S.A. Prospección geofísica de los Valles del Sauz y Tabalaopa, Chih., para Proporcionar Agua en Bloque a la Ciudad de Chihuahua, Chih. ; 1981.

128. CONAGUA. Actualización de la Disponibilidad Media Anual De Agua en el Acuífero El Sauz Encinillas (0807), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2023.

129. Comisión Nacional del Agua. Actualización Geohidrológica de los acuíferos Las Palmas, Palomas-Guadalupe-Victoria, Los Moscos, Josefa Ortiz de Domínguez, El Sauz-Encinillas, Laguna El Diablo, Laguna La Vieja, y Chihuahua-Sacramento, en el estado de Chihuahua. ; 2009.

130. Rivas L. Modelo de unidades geoeléctricas del acuífero El Sauz-Encinillas, Chihuahua México. [Online].; 2019 [cited 2024 03 02. Available from: http://repositorio.uach.mx/244/.

131. CONAGUA. Estudio de prospección geofísica de los valles El Sauz y Tabalaopa, Chihuahua, México. ; 1980.

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

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

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

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