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

INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DEL MEDIO NATURAL

INFORME I

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 PRIMERO INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DEL MEDIO NATURAL

1.	Introducción	7
1.1.	Antecedentes	7
1.2.	Objetivo, Procedimiento y Estructura del Informe	9
1.3.	Metodología	9
1.4.	Localización	10
2.	Marco Físico	12
2.1.	Fisiografía	12
2.2.	Geología	16
2.3.	Edafología	18
2.4.	Uso de suelo y vegetación	20
2.5.	Hidrología	23
3.	Hidrología Subterránea	30
3.1.	Acuífero Chihuahua-Sacramento	33
3.2.	Acuífero El Sauz-Encinillas	39
3.3.	Acuífero Tabalaopa-Aldama	46
4.	Clima	53
4.1.	Temperatura	56
4.2.	Precipitación	59
4.3.	Variabilidad Climática Estacional	61
4.4.	Cambio Climático	63
5. Referencias		71

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. 11

Figura 2. Representación del Relieve y Modelo de Elevación para el Centro Urbano derivados del Estudio para la Definición del Borde Urbano, Zonas de Valor Ambiental y de Preservación Ecológica. Fuente: CEE-1812 (2019) (7)..... 15

Figura 3. Representación Cartográfica de la Geología en el Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI..... 17

Figura 4. Representación Cartográfica de la Edafología en el Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI..... 19

Figura 5. Representación Cartográfica del Uso de Suelo y Cobertura Vegetal en el Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 22

Figura 6. Representación de la Región Hidrológica del Río Bravo. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI..... 24

Figura 7. Representación de las subcuencas del municipio de Chihuahua (Mapa de Cuencas). Fuente: Atlas de riesgos (2022) (4)..... 26

Figura 8. Representación de los arroyos principales del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 29

Figura 9. Componentes del ciclo hidrológico en México. Fuente: Estadísticas del Agua en México (15). 31

Figura 10. 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..... 32

Figura 11. Distribución de las profundidades del nivel freático en el acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 34

Figura 12. Configuración de la elevación del nivel del freático en msnm del acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 36

Figura 13. Configuración de la evolución del nivel del agua en msnm del acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 38
Figura 14. Distribución de las profundidades del nivel freático en el acuífero El Sauz-Encinillas. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 41
Figura 15. Configuración de la elevación del nivel del freático en msnm del acuífero El Sauz-Encinillas. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 43
Figura 16. Configuración de la evolución del nivel del agua en msnm del acuífero El Sauz-Encinillas. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 45
Figura 17. Distribución de las profundidades del nivel freático en el acuífero Tabalaopa-Aldama. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 48
Figura 18. Configuración de la elevación del nivel del freático en msnm del acuífero Tabalaopa-Aldama. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 50
Figura 19. Configuración de la evolución del nivel del agua en msnm del acuífero Tabalaopa-Adama. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) (17). 52
Figura 20. Representación Cartográfica Climatológica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI. 55
Figura 21. Promedio multianual de la temperatura. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020). 58
Figura 22. Distribución temporal de precipitación acumulada anual en mm. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020). 60

Figura 23. Precipitación máxima acumulada en 24 h en mm. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020). 61

Figura 24. Proyecciones de cambio climático de la precipitación en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC (27). 66

Figura 25. Proyecciones de cambio de porcentaje de la precipitación en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC (27). 67

Figura 26. Proyecciones de cambio climático de la temperatura en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC (27). 68

Figura 27. Proyecciones de cambio de porcentaje de la temperatura en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC (27). 69

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución porcentual de las características fisiográficas en el territorio del municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN 2019 [3]. 13

Tabla 2. Rango de pendientes para el desarrollo urbano. Fuente: PDU2040 (2009) [6]. 14

Tabla 3. Distribución porcentual del uso de suelo en el territorio del municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN 2019 [3]. 21

Tabla 4. Promedio multianual de la temperatura. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020). 57

Tabla 5. Variación mensual de diversas características climáticas. Elaborada por el IMPLAN con datos proporcionados por CONAGUA (2019). 62

Tabla 6. Categorías de intensidad de sequía del Monitor Norteamericano de Sequía. Fuente: MOSEMM [26]. 64

Acrónimos

Acrónimo	Significado
Msnm	Metros sobre nivel del mar
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
IMPLAN	Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CIES	Centro de Información Económica y Social
LAN	Ley de Aguas Nacionales
DOF	Diario Oficial de la Federación
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
NOM	Norma Oficial Mexicana
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistema de Información Geográfica
shp	shape
MDE	Modelo Digital de Elevación
Mm^3	Millones de metros cúbicos
SINA	Sistema Nacional de Información del Agua

CAPITULO PRIMERO: INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DEL MEDIO NATURAL

En este capítulo se abordarán diversos aspectos cruciales que proporcionarán un entendimiento integral del entorno hídrico y ambiental de la región. Aquí se definen las categorías clave que conforman el marco físico de análisis para la gestión del recurso hídrico.

Clima, Fisiografía, Geología, Hidrogeología, Hidrología Regional, Edafología, Vegetación, Cambio Climático.

Esta definición integral permitirá desarrollar estrategias y acciones específicas en el Plan Hídrico Municipal, abordando los desafíos y oportunidades derivados de la interacción compleja entre factores climáticos, geológicos y ambientales en la región.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El municipio de Chihuahua cuenta con una población de 937,674 habitantes registrada hasta el año 2020, según datos del INEGI [(1)]. A estos habitantes se les debe proporcionar servicios vitales como el suministro de agua potable, alcantarillado y saneamiento para cubrir sus necesidades básicas. Además, la región alberga diversas actividades industriales que generan una alta demanda de estos servicios y ejercen un fuerte impacto en la economía local. La fabricación y ensamble de las actividades industriales aportan un 24.4% del PIB de la región [(2)].

Adicionalmente, se encuentran ríos y cuerpos de agua en la zona que requieren ser saneados para garantizar el derecho humano a un ambiente sano. Es crucial tomar en cuenta la explotación de los acuíferos que abastecen a la ciudad: acuífero Chihuahua-Sacramento, Sauz-Encinillas y Tabalaopa-Aldama, con el propósito de disminuir el ritmo de la sobreexplotación y favorecer la recarga mediante la captación de agua de lluvia.

En este contexto, es evidente la necesidad de adoptar acciones y regulaciones adecuadas para asegurar la disponibilidad sostenible de agua y el manejo responsable de los recursos hídricos en la región. Con ello, se podrá garantizar el acceso equitativo a servicios de calidad para la población, satisfacer las demandas domésticas, industriales y proteger el medio ambiente de forma integral. Es fundamental que los esfuerzos se enfoquen en alcanzar una gestión eficiente del agua que respalde el desarrollo socioeconómico de la comunidad y fomente la conservación y el uso responsable de este valioso recurso.

Por consiguiente, el Municipio de Chihuahua enfrenta la necesidad de desarrollar un Plan Municipal que aborde de manera integral los problemas mencionados, tomando en cuenta a los principales actores involucrados, entre los cuales se destacan:

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

- Usuarios del recurso: Esto incluye tanto a la población en general como a las industrias y el sector agrícola que dependen del recurso hídrico para sus actividades. Además, es esencial considerar el impacto en el ambiente y la importancia de garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua para todos.

- Academia e Institutos de investigación: La colaboración con instituciones académicas y centros de investigación que han llevado a cabo investigaciones en el área es fundamental para contar con información científica actualizada y fundamentada, que oriente las decisiones y acciones del plan.

- Planificadores: Es vital involucrar a actores clave en la planificación, como el Ejecutivo del Gobierno Estatal y Municipal, la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la Ciudad de Chihuahua (JMAS) y la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS). Su conocimiento y experiencia en el ámbito del agua son fundamentales para diseñar estrategias eficientes y coordinadas.

- Tomadores de decisión: La participación de los órganos de gobierno, como el Cabildo Municipal y el Congreso del Estado, resulta crucial para la implementación efectiva del Plan Municipal. Su apoyo y respaldo son esenciales para asegurar que las medidas propuestas se conviertan en políticas públicas concretas.

La colaboración y coordinación entre estos actores será fundamental para lograr un enfoque integral y efectivo en la gestión del agua en el Municipio de Chihuahua. Al considerar las perspectivas y conocimientos de cada uno, se podrá diseñar un plan que atienda de manera equitativa las necesidades de la población, impulse el desarrollo sostenible de las industrias y el sector agrícola, y proteja adecuadamente el entorno natural y sus recursos hídricos. Solo mediante un esfuerzo conjunto y comprometido será posible enfrentar los desafíos actuales y asegurar un futuro próspero y sostenible para el municipio y sus habitantes.

El compromiso de esta administración municipal por conseguir la competitividad en la ciudad capital del Estado conlleva a participar en mejorar el abastecimiento de agua en cantidad y calidad suficiente para todos los usos, en colaboración con sectores gubernamental, académico, organizaciones no gubernamentales y sociedad civil. La visión que se plantea en términos hídricos es garantizar el suministro de agua para el uso sostenible y preservación del medio ambiente y mejorar la infraestructura del alcantarillado y saneamiento en el mediano y largo plazos. La disponibilidad de agua es crucial para la industria, el comercio y los servicios, impulsando sus operaciones y atrayendo nuevas inversiones. También es importante gestionar las aguas residuales a largo plazo para mejorar la eficiencia de los sistemas de recolección, conducción, tratamiento y reúso, reduciendo la dependencia de nuevas fuentes de agua. La gestión en la captación y conducción adecuada del agua superficial evita inundaciones y permite aprovecharla, contribuyendo a la disminución de la presión de los acuíferos y por lo tanto a la recuperación de los niveles freáticos. Es necesario abordar de manera integral el reordenamiento del ciclo del agua en busca del desarrollo sostenible, buscando la implementación de metodologías y participación ciudadana con líderes empresariales, sociales y académicos en la elaboración e implementación de este Plan. Esto permitirá trascender administraciones y comprometer a las dependencias

municipales, estatales y federales en la gestión hídrica como factor estratégico para la vida y la prosperidad en el municipio de Chihuahua; y de ser preciso, que mediante la implementación de proyectos, programas y estrategias se pueda lograr la corresponsabilidad y colaboración de la zona metropolitana de Chihuahua

1.2. Objetivo, Procedimiento y Estructura del Informe

El propósito fundamental consiste en desarrollar un Plan que articule un conjunto de acciones clave para alcanzar una gestión sostenible del agua en el Municipio de Chihuahua.

En este informe, el objetivo principal es llevar a cabo la integración exhaustiva del análisis del entorno natural, abarcando las características climáticas, fisiográficas, geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, edafológicas, de vegetación, así como los posibles cambios climáticos que se manifiestan en la región bajo estudio, que comprende el Municipio de Chihuahua.

Este objetivo se enmarca en un objetivo específico delineado en los términos de referencia bajo la numeración 1. Consiste en obtener los diagnósticos más recientes necesarios para comprender la situación del agua en el Municipio de Chihuahua. Esto implica la consolidación de información actualizada, estudios, diagnósticos, datos y análisis existentes, con el fin de desarrollar una interpretación precisa del estado actual de los recursos hídricos en la región.

1.3. Metodología

La metodología se realizó de la siguiente manera: iniciando con la recopilación y análisis de la información existente, que incluyó planos, estudios realizados y características del marco físico y medio natural, así como datos específicos del municipio de Chihuahua, efectuados por distintos organismos gubernamentales, académicos y particulares.

Es importante destacar que no está dentro del alcance del análisis de información, el validar o verificar dichos datos proporcionados, por lo cual se referencia la fuente del estudio, dato o información presentada en este documento, para cualquier duda y aclaración. Se realizó el análisis climático, considerando los patrones predominantes en espacio y tiempo como las temperaturas promedio y la precipitación. Asimismo, se examinó la fisiografía, identificando diversas unidades de paisaje presentes en el territorio.

En cuanto a la geología y la hidrogeología, se realizó el análisis, identificando y describiendo las formaciones geológicas presentes y su influencia en la disponibilidad y calidad del agua subterránea. La hidrología regional fue evaluada, analizando el comportamiento de los ríos y cuerpos de agua a nivel local y regional, y se llevó a cabo la interpretación de la información edafológica, identificando los diferentes tipos de suelos y su capacidad de retención de agua.

Adicionalmente, se efectuó un análisis de la vegetación, identificando los diversos tipos de vegetación presentes en el territorio. Por último, se realizó la vinculación con el cambio climático, examinando las tendencias históricas y proyectadas en el clima y sus posibles impactos en el medio natural del municipio.

Estos análisis proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en políticas y estrategias de manejo del agua, conservación del entorno y desarrollo sostenible del municipio y sus habitantes. Además, permiten anticipar y planificar medidas de adaptación y mitigación ante los efectos del cambio climático en el recurso hídrico y los ecosistemas.

1.4. Localización

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 [(3)]. 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.

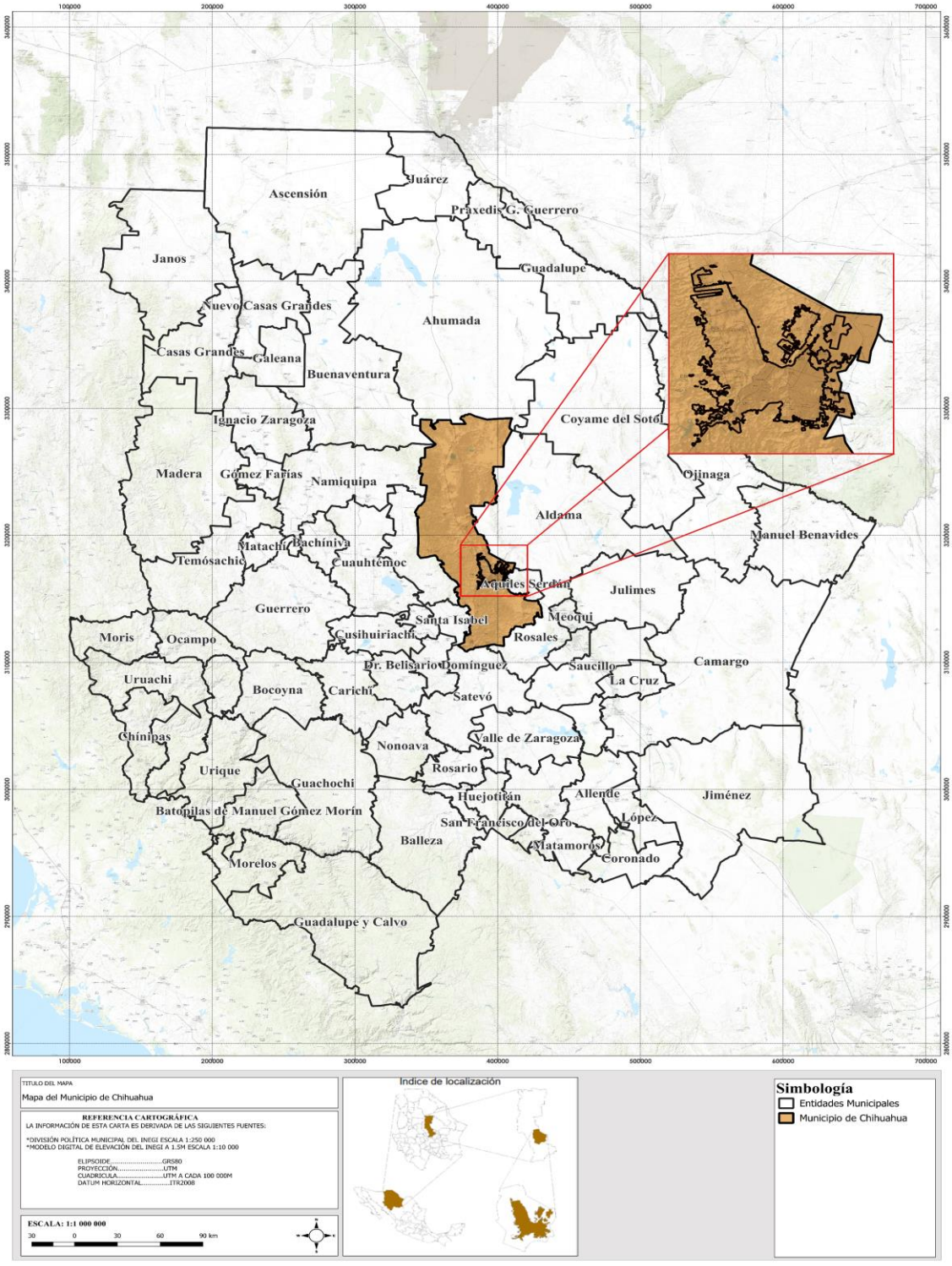


Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

2. Marco Físico

Este marco abarca una serie de elementos y variables que influyen directamente en la gestión del agua a nivel local, proporcionando la base para la planificación y toma de decisiones en el ámbito hídrico.

2.1. Fisiografía

El municipio de Chihuahua abarca dos distintas provincias fisiográficas: "Las Sierras y Llanuras del Norte" y "La Sierra Madre Occidental". Estas regiones, en conjunto, conforman la altiplanicie mexicana que se extiende desde el centro del país hacia el norte. 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 [(4)].

En su mayor parte, el municipio está compuesto por un extenso valle que se extiende de sur a norte, con la ciudad de Chihuahua en su epicentro. Este valle está enmarcado por sistemas orográficos paralelos, orientados en dirección sur-norte. La Ciudad de Chihuahua se asienta en este valle formado por los ríos Chuvíscar y Sacramento, que confluyen para desembocar en la vertiente del Golfo.

En cuanto a las topoformas en el municipio de Chihuahua, destacan cuatro elementos distintivos en las áreas naturales de valor ambiental y preservación ecológica: la Sierra Azul, que se asemeja a la zona con tres presas con lomeríos y sierras; y la Sierra Nombre de Dios, que se caracteriza por su topografía de sierras, bajadas y llanuras. Las elevaciones topográficas varían en todas direcciones en el centro de población [(5)].

En el oeste del municipio, en Paloma, limítrofe con Santa Isabel, Riva Palacio, Namiquipa y Buenaventura, encontramos un sistema orográfico compuesto por serranías significativas en cuanto a altitud, como Huerachi, Majalca, La Campana, El Nido, El Pajarito y Sierra Azul, siendo esta última la de mayor altitud en el municipio. Otro sistema se forma con las serranías de La Silla, El Charco, Mápula y El Cerro Grande, mientras que un tercero inicia en la cantera y lleva los nombres de Nombre de Dios, El Cobre, La Parrita y Ojo Laguna.

Desde una perspectiva geológica, el municipio se caracteriza por su estabilidad, al estar ubicado en una región prácticamente libre de actividad sísmica, en el centro de una extensa meseta, rodeada por dos sistemas orográficos del norte del continente. La composición litológica se basa principalmente en conglomerados sedimentarios, aunque también se encuentran afloramientos de rocas ígneas, principalmente amalgamas de riolita y toba andesítica en cerros de considerable altura.

En términos fisiográficos, la mayor parte del territorio pertenece a la provincia de "Sierras y Llanuras del Norte", mientras que el resto se incluye en la "Sierra Madre Occidental". En

cuanto a las subprovincias, el 62.5% del municipio se encuentra en el "Bolsón de Mapimí", el 24.6% en "Sierras y Llanuras Tarahumaras", el 12.8% en "Sierras y Llanuras de Durango" y solo el 0.1% en "Sierras Plegadas del Norte" [3]. La Tabla 1 exhibe el desglose de los sistemas de topoformas en el municipio de Chihuahua.

Tabla 1. Distribución porcentual de las características fisiográficas en el territorio del municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN 2019 [3].

División	Subdivisión	%
Sistema de Topoformas	Bajada típica	30.5
	Sierra alta con mesetas	29.1
	Sierra escarpada	8.8
	Llanura aluvial salina	5.6
	Llanura aluvial salina	4.6
	Valle de laderas tendidas con lomerío	4.3
	Llanura aluvial de piso rocoso o cementado	4.3
	Lomerío escarpado con llanuras	4.0
	Lomerío con mesetas	1.6
	Sierra plegada	1.5
	Sierra alta con lomerío	1.3
	Lomerío ramificado	1.3
	Lomerío escarpado con llanuras	1.2
	Llanura aluvial inundable y salina	0.9
	Lomerío típico	0.4
	Meseta con cañadas	0.4
	Llanura aluvia con lomerío	0.2

Según la topografía del terreno, se presentan los rangos de pendientes para el desarrollo urbano en la Tabla 2. En estas imágenes, se destaca la prominencia de las sierras con pendientes pronunciadas: Nombre de Dios al centro, Sierra Azul al oeste, la Sierra de Mapúla al sur y la Sierra de Santo Domingo al este. Esta última se encuentra fuera del centro de población. Asimismo, se puede observar en la Figura 2 del modelo de elevación para el centro de población que la parte más baja (1150-1280 msnm) es la dirección por donde discurre la cuenca hidrológica del Río Medio Conchos – 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

Tabla 2. Rango de pendientes para el desarrollo urbano. Fuente: PDU2040 (2009) [6].

Rangos de pendiente %	Denominación	Recomendaciones y usos
0-2	Llano a casi llano	Apto, con riesgo de inundación. Problemas con redes subterráneas, problemas de erosión, recreación intensiva, preservación ecológica,
2-5	Suavemente ondulado	Apto, óptimo para el desarrollo urbano. No presenta problemas de escurrimiento superficial de redes subterráneas ni construcción. Uso agrícola, zona de recarga, recreación, preservación ecológica.
5-15	Moderadamente ondulado	Apto, óptimo para el desarrollo urbano con dificultad en redes subterráneas y vialidad. Buen drenaje superficial. Construcción, recreación, industria.
15-30	Quebrado	Accesible para la construcción con problemas para la introducción de redes subterráneas. El destino preferente debe ser para usos de recreación y equipamientos especiales, preservación ecológica, obra de recarga de acuíferos o zonas de amortiguamiento para el desarrollo urbano.
30-55	Fuertemente quebrado	Riesgo por pendiente quebrada. No apta para usos urbanos, dificultad para redes subterráneas, vialidad y construcción, recreación pasiva, reforestación.
55-80	Empinado	Alto riesgo por fuertemente quebrado. No apta para el desarrollo urbano.
>80	Muy empinado	Alto riesgo por fuertemente quebrado. No apta para el desarrollo urbano.

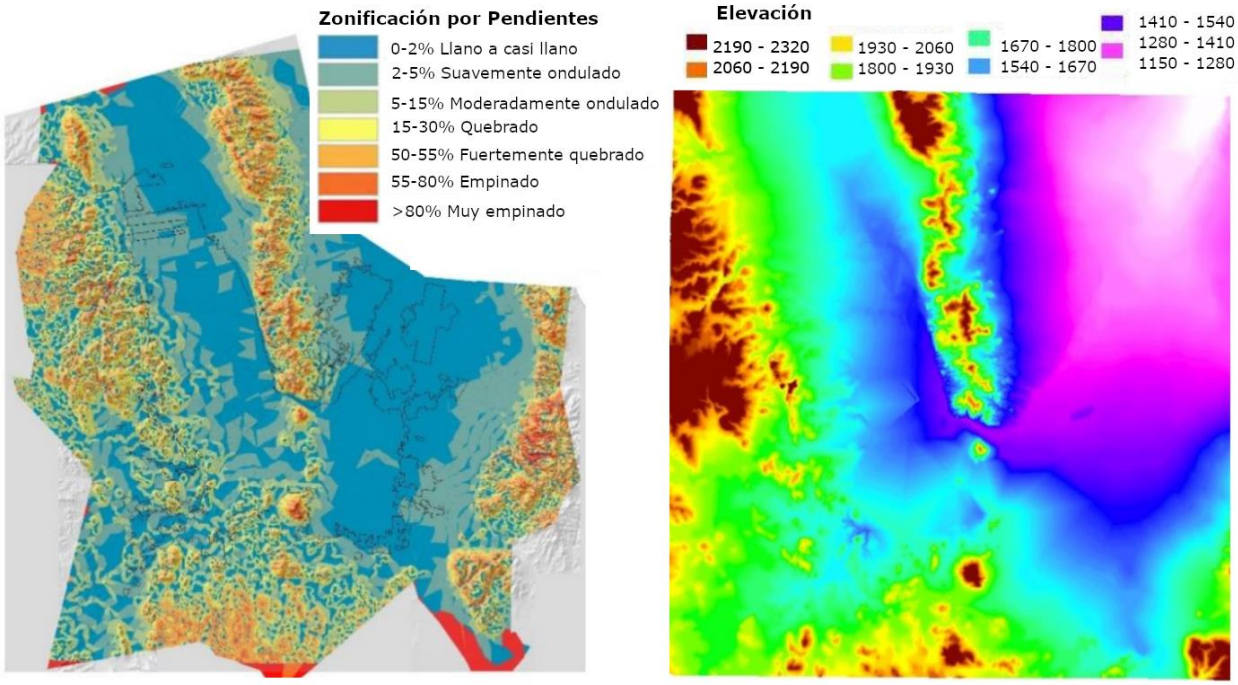


Figura 2. Representación del Relieve y Modelo de Elevación para el Centro Urbano derivados del Estudio para la Definición del Borde Urbano, Zonas de Valor Ambiental y de Preservación Ecológica. Fuente: CEE-1812 (2019)[7].

2.2. Geología

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 [(4)]. Estas rocas ígneas son exclusivamente de naturaleza volcánica y abarcan edades desde el precámbrico hasta épocas recientes.

Específicamente en la Sierra Azul y en las Tres Presas, encontramos una roca de tipo riolita-toba ácida. Esta roca volcánica es rica en sílice y compuesta principalmente por fenocristales de cuarzo y feldespato alcalino. En cambio, en la Sierra Nombre de Dios, se presenta un tipo de conglomerado que pertenece a la categoría de rocas sedimentarias, formadas por la precipitación y acumulación de materia mineral a partir de una solución, con la compactación de restos vegetales y/o animales que se consolidan en rocas duras. Según datos del Servicio Geológico Mexicano y su posición estratigráfica, la Sierra Nombre de Dios se relaciona con la época del Eoceno, lo que implica una antigüedad de aproximadamente 55 millones de años [(7)].

En relación con las fallas y fracturas, particularmente en la zona de la presa San Marcos, se identifican al menos dos sistemas de fracturamiento y fallamientos principales, cada uno acompañado de sistemas secundarios perpendiculares. El primer sistema se orienta de norte a sur, con un sistema secundario complementario de este a oeste. Estos sistemas varían en orientación, inclinación y buzamiento, con desplazamientos que pueden alcanzar más de mil metros en la cuenca de Sacramento-Chihuahua. Se considera que este sistema es el responsable de la formación del actual valle de Chihuahua.

El segundo sistema de fracturamiento y fallamiento se orienta de noroeste a sureste, con variaciones que van desde el norte 40 grados al oeste hasta el norte 50° al oeste. Su sistema complementario se orienta de norte 40 grados al este hasta el norte 50° al este. La inclinación de los planos de falla varía ampliamente, al igual que los desplazamientos asociados, que oscilan desde centímetros hasta varios cientos de metros. Este sistema incluye características geológicas como las fallas de Punta de Agua, el sistema Mesa-La Trampa, el sistema de Peñas Azules, las fallas del cañón de Majalca, las fallas que originan los diques mineralizados de uranio en San Marcos y las fallas en el campo San Pedro [(4)].

En lo que respecta a la caldera de San Marcos, se observan diques radiales y domos resurgentes concéntricos de edades posteriores a las unidades volcánicas más recientes, estrechamente relacionados con la mineralización de uranio.

La geología de la zona de estudio está representada por rocas que varían en el tiempo geológico del Cretácico Inferior al Cuaternario, incluyendo rocas sedimentarias marinas y continentales y rocas ígneas como se muestra en la Figura 3.

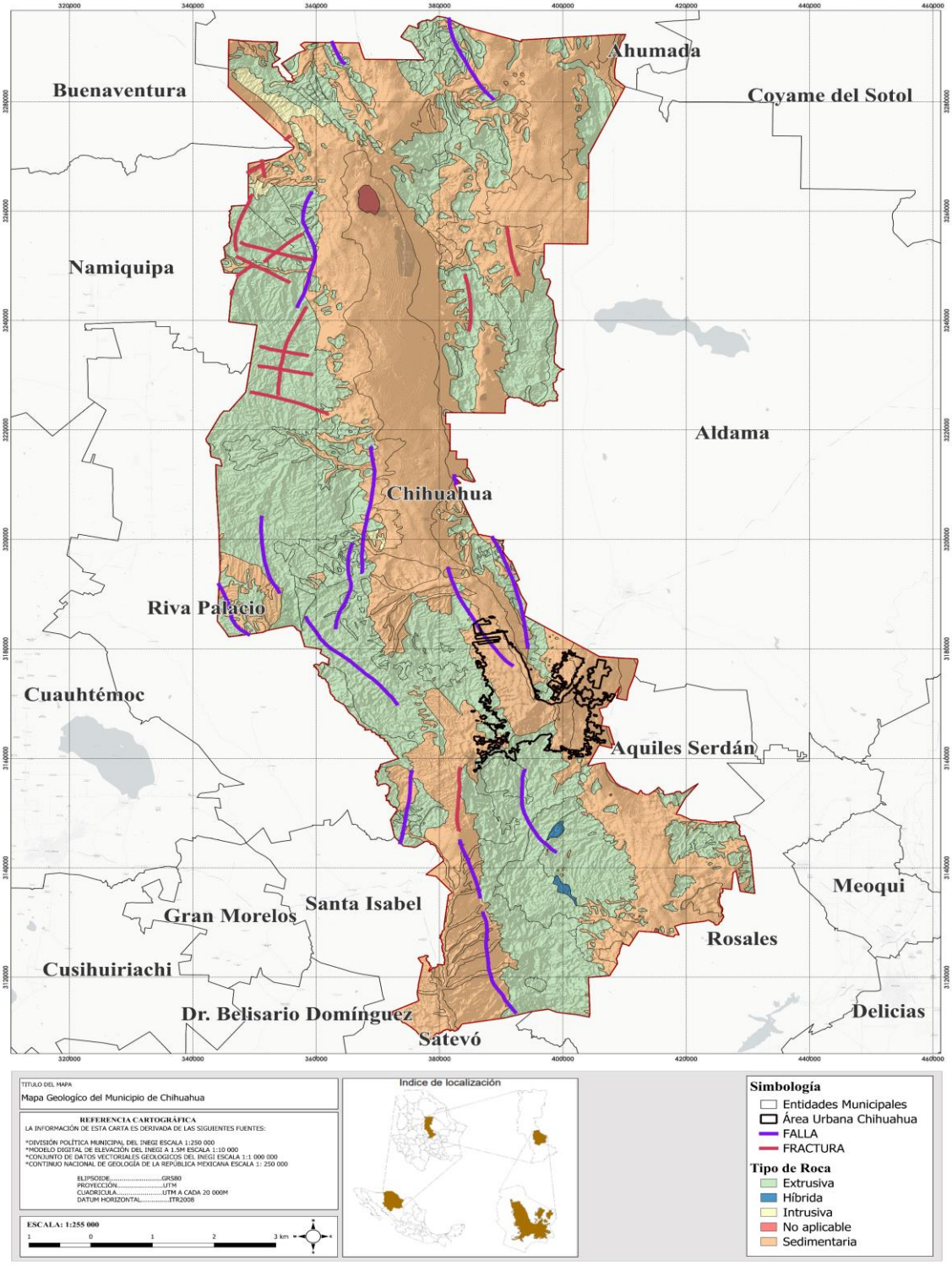


Figura 3. Representación Cartográfica de la Geología en el Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

2.3. Edafología

La importancia de comprender las características del suelo radica en evaluar su idoneidad para diversos propósitos, como la agricultura, ganadería, silvicultura, construcción y otros usos. Los suelos se forman a través de la compleja interacción de factores como el material parental o roca, clima, materia orgánica, relieve y tiempo. Específicamente en las áreas colindantes a los ríos Sacramento y Chuvíscar, se encuentran suelos de origen aluvial con alta permeabilidad, compuestos por fragmentos líticos y minerales [(5)].

Se visualiza en la Figura 4, como sobresalen cuatro tipos principales de suelos: Xerosoles, Regosol, Feozem y Litosol, cada uno con características distintivas [(7)]:

Xerosoles: Derivado del término griego "Xeros," que significa "seco." Representan el tercer tipo más común en el país (constituyendo el 9.5% de la extensión). Suelen mostrar una capa superficial de color claro debido a un bajo contenido de materia orgánica. Bajo esta capa, es posible encontrar un subsuelo con composición similar o rico en arcillas.

Regosol: La palabra proviene del griego "reghos," traducido como "manto," "cobija" o "capa de material suelto que cubre la roca." Estos suelos tienen un desarrollo limitado y, como resultado, no presentan capas altamente diferenciadas. Por lo general, son de color claro o empobrecidos en materia orgánica, mostrando similitudes con la roca que les da origen.

Feozem: Su nombre deriva del griego "phaeo," que significa "pardo," y del ruso "zemljá," que se traduce como "tierra." En conjunto, se refiere a "tierra parda." Constituyen el cuarto tipo más abundante en el país. Se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes, similar a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin las capas ricas en cal que suelen tener estos dos tipos de suelos.

Litosol: La palabra proviene del griego "lithos," que significa "piedra." Literalmente traducido como "suelo de piedra," estos suelos son los más comunes en el país, cubriendo el 22% de la superficie total. Se caracterizan por su escasa profundidad, generalmente inferior a 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y susceptibilidad a la erosión varían significativamente según otros factores ambientales [(8)].

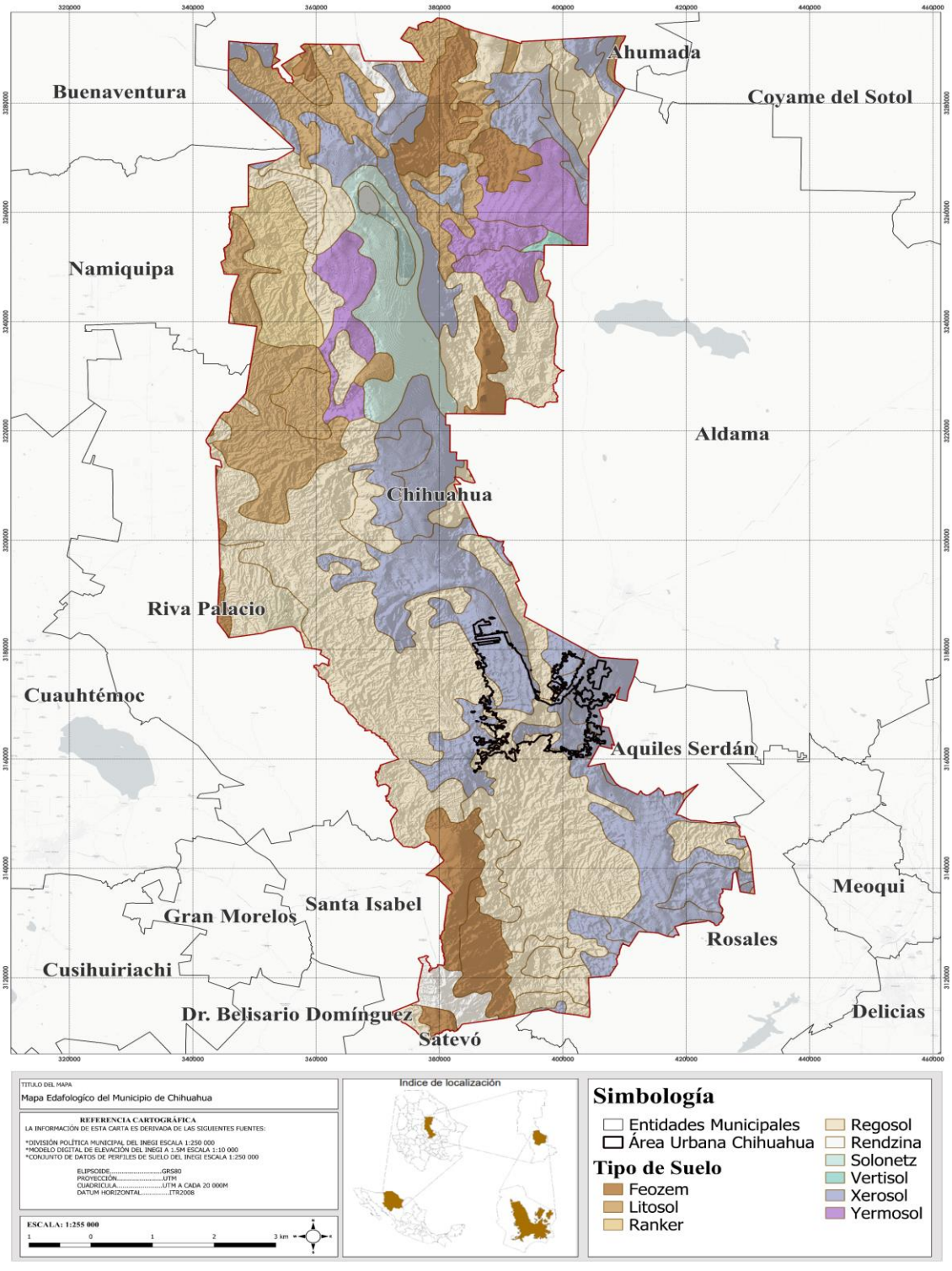


Figura 4. Representación Cartográfica de la Edafología en el Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

2.4. Uso de suelo y vegetación

La comprensión del uso del suelo y la vegetación se deriva de la información geoespacial a nivel nacional, que abarca la distribución del suelo agrícola, la vegetación natural e inducida en todo el país, incluyendo el uso pecuario, forestal y otros usos relacionados con la cubierta vegetal [(1)].

El municipio de Chihuahua, con una extensión total de 8,384.37 km² (equivalente a 838,437 hectáreas), representa el 3.4% de la superficie continental del estado, estimada en 247,455.29 km² [(6)]. Aunque predominantemente rural, con una destacada presencia de vegetación natural que se diversifica a lo largo del territorio, cuenta también con una extensa área urbana, situada principalmente en la parte este-central del municipio como se muestra en la Figura 5. Este crecimiento urbano ha mantenido un equilibrio, generando zonas de servicios complementarias a la actividad económica.

En el municipio, el suelo agrícola se destaca como uno de los usos más relevantes, abarcando casi todo el territorio, desde el norte hasta el suroeste, rodeado principalmente por suelos con cobertura vegetal, especialmente pastizales (Figura 5).

Las cifras detallan que los pastizales ocupan más de 307,000 hectáreas, constituyendo el 36.7% del total del municipio, seguidos por los matorrales con 195,132 hectáreas (23.3%) y el área boscosa con poco más de 134,000 hectáreas (16%) como se muestran en la Tabla 3. Es relevante destacar que el área destinada a la producción agrícola abarca 85,961 hectáreas, correspondiendo al 10.3% de la superficie total del municipio [(9)] [(3)].

De especial interés es la asignación de casi 29,000 hectáreas para áreas urbanas en el municipio, representando el 3.4% del área total municipal. A pesar de esta proporción aparentemente baja, en comparación con la superficie urbana total del estado (107,882 hectáreas), estas áreas urbanas del municipio constituyen un significativo 27% [(9)] [(3)].

El municipio de Chihuahua exhibe una variada vegetación, resultado de su ubicación en una zona de transición entre las planicies desérticas y las elevadas formaciones montañosas de la Sierra Madre Occidental. Las áreas de mayor altitud, al oeste, presentan vegetación más templada, incluyendo bosques de encino y pino-encino. En cambio, en la zona este, influenciada por un clima cálido desértico, predominan plantas características del desierto, como gramíneas resistentes y especies adaptadas a condiciones desérticas.

El municipio se distingue por la presencia extensa de pastizales, que cubren casi el 40% de su territorio, seguidos por áreas de matorral xerófilo que abarcan el 25%. La vegetación predominante incluye pastizales naturales o inducidos, presentes en suelos de aluvión, con una diversidad que va desde plantas xerófilas y arbustos hasta especies de agaves, yucas, cactáceas y leguminosas. En las zonas elevadas de las montañas, se encuentran bosques de coníferas, como pino, encino y madroño.

Tabla 3. Distribución porcentual del uso de suelo en el territorio del municipio de Chihuahua. Fuente: PACMUN 2019 [(3)].

Usos del suelo	Superficie	
	ha.	%
Pastizales	307,329	36.7
Matorral	195,132	23.3
Bosques	134,451	16.1
Agricultura	85,961	10.3
Vegetación secundaria	82,905	9.9
Asentamientos humanos	28,717	3.4
Cuerpos de agua	2,040	0.2
Sin vegetación	228	0.03
Total	836,765	100

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

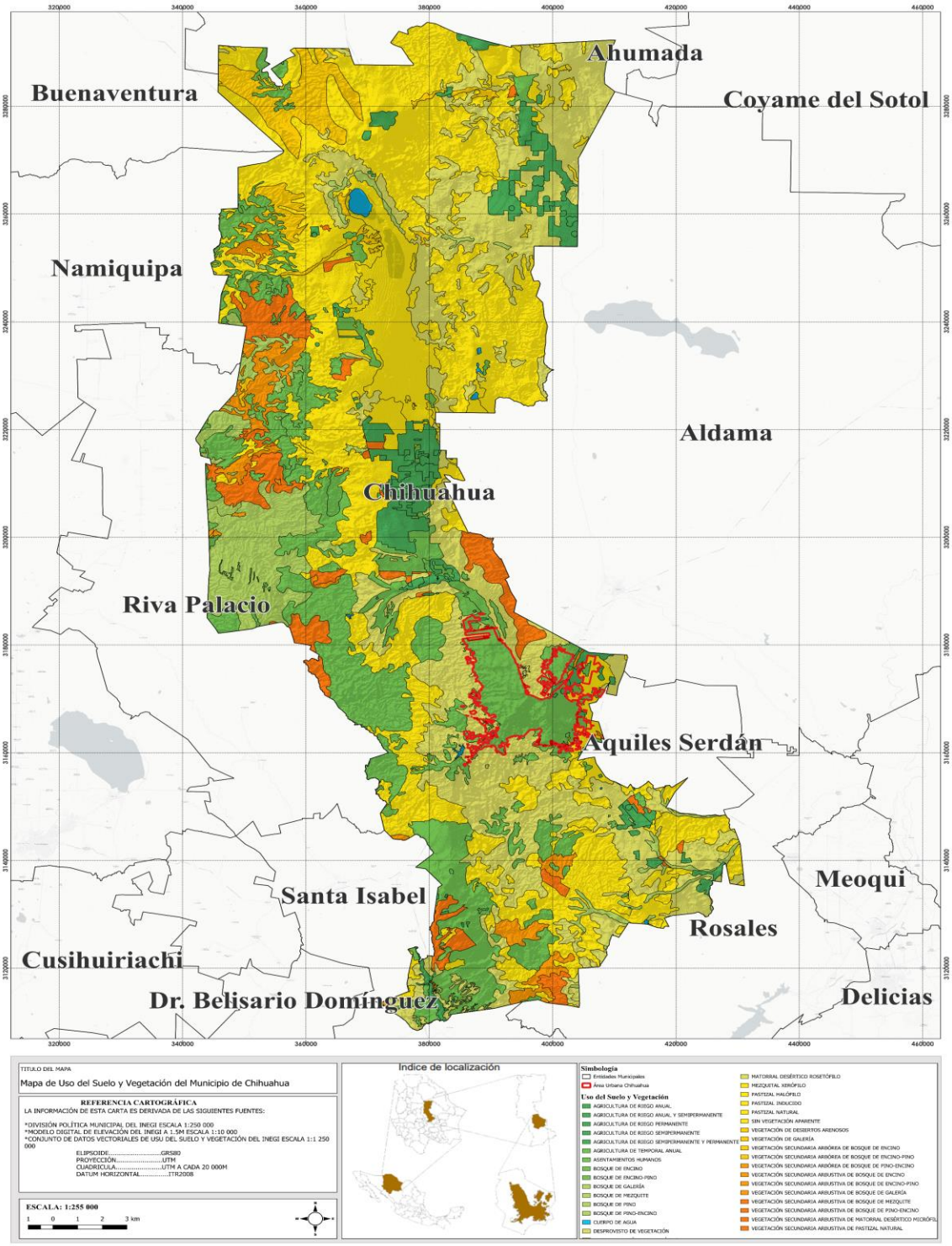


Figura 5. Representación Cartográfica del Uso de Suelo y Cobertura Vegetal en el Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

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

2.5. Hidrología

En el ciclo hidrológico, la precipitación pluvial se distribuye entre la evapotranspiración, el escurrimiento superficial y la infiltración en el subsuelo. Según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el agua renovable per capita en el municipio de Chihuahua es de 1 012 m^3 por año. Este valor es inferior al promedio nacional, que es de 1 500 m^3 por año [(10)].

La disponibilidad de agua en el municipio de Chihuahua está determinada por la combinación de los recursos superficiales y subterráneos. Los recursos superficiales consisten en los ríos, arroyos y lagos, mientras que los recursos subterráneos consisten en los acuíferos. Los principales ríos del municipio de Chihuahua son el Río Bravo, el Río Chuvíscar y el Río Sacramento. Estos ríos proporcionan agua para el consumo humano, la agricultura y la industria. El municipio de Chihuahua también cuenta con varios acuíferos, que proporcionan agua para el consumo humano y la agricultura. Los acuíferos más importantes son: Chihuahua-Sacramento, Tabalaopa-Aldama y Sauz-Encinillas.

2.5.1. Hidrología superficial

La Región Hidrológica Administrativa a la que pertenece la mayor parte del estado de Chihuahua es la correspondiente al Río Bravo VI [(11)](Figura 6). El municipio de Chihuahua se encuentra en la región hidrológica la RH24 Bravo-Conchos, en la cuenca hidrológica (K) Río Conchos-Presa El Granero. Esta cuenca se subdivide en 11 subcuencas distribuidas dentro del municipio.

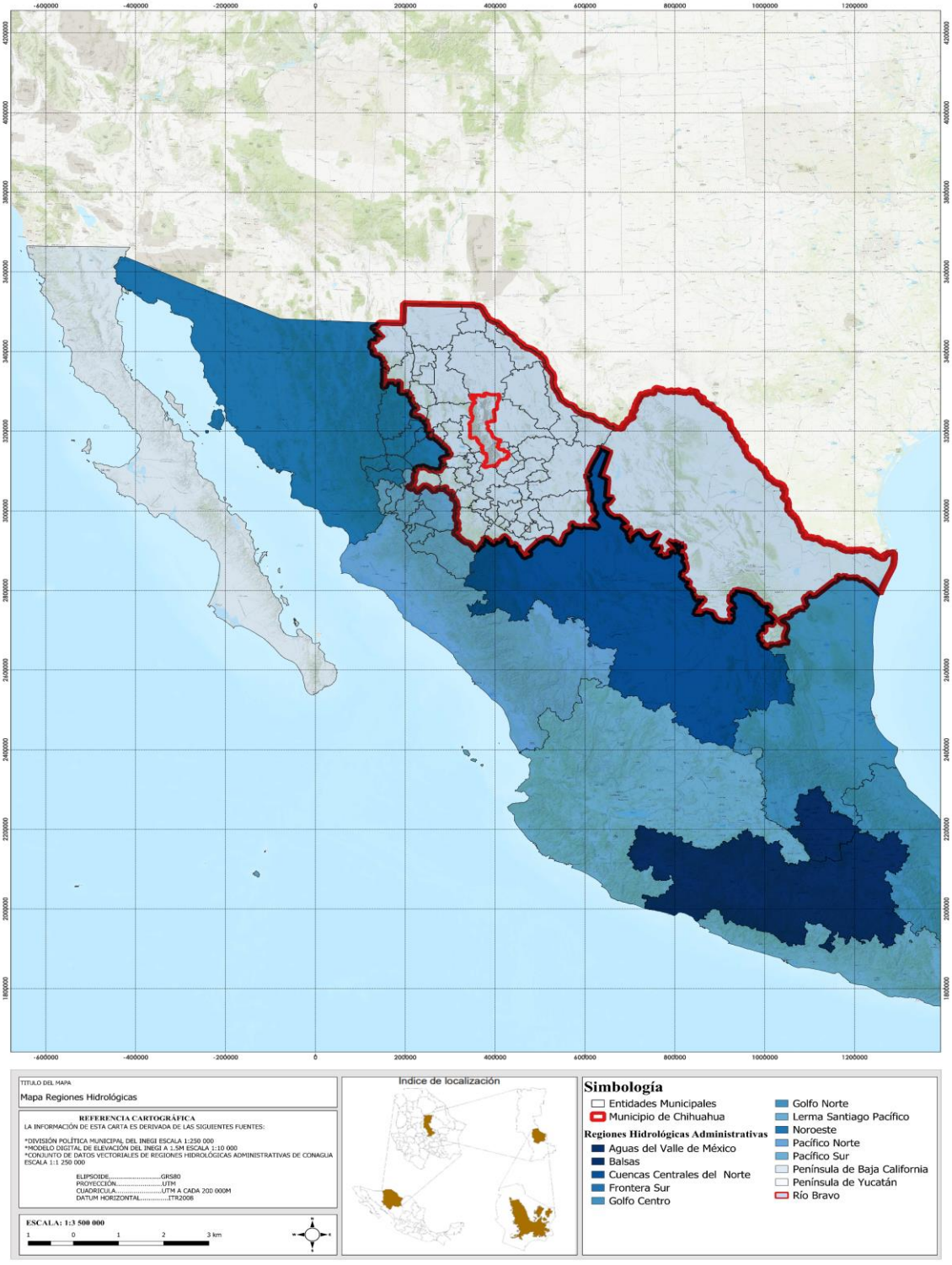


Figura 6. Representación de la Región Hidrológica del Río Bravo. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

Las cuencas que abarcan el territorio municipal son las siguientes: la Cuenca Arroyo el Carrizo y Otros, situada al norte del municipio y desglosada en las subcuencas Laguna del Cuervo, Laguna del Diablo y Laguna Encinillas; la Cuenca Río Conchos-Presa El Granero, ubicada en el centro-sureste del municipio y subdividida en las subcuencas Río Chuvíscar, Sacramento, Presa Chihuahua y Arroyo Bachimba; y la Cuenca Río San Pedro, localizada hacia el suroeste del municipio y dividida en las subcuencas Río Santa Isabel y Presa Francisco I. Madero (Figura 7) [(4)].

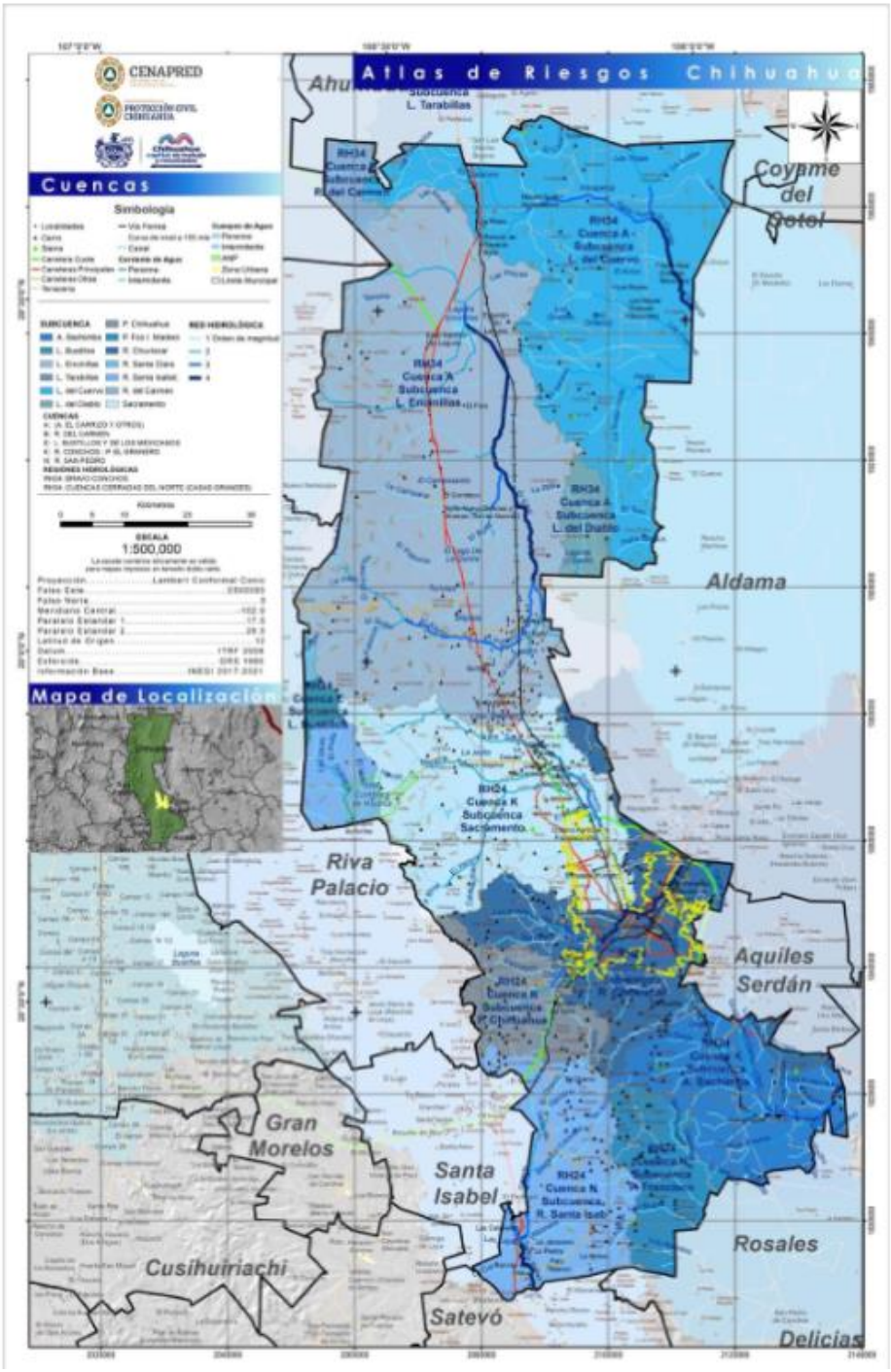


Figura 7. Representación de las subcuencas del municipio de Chihuahua (Mapa de Cuencas). Fuente: Atlas de riesgos (2022) [4].

2.5.2. Hidrografía

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 (Figura 8). 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 [5] [4].

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 [5] [4].

La longitud total de los Ríos Chuvíscar y Sacramento, junto con los arroyos de la ciudad (Figura 8), alcanza los 191 km, de los cuales aproximadamente 108 km de cauce no están revestidos, destacando alrededor de 4 km lineales de áreas arboladas.

En cuanto a las presas, el municipio alberga tres. La Presa Chihuahua, ubicada al oeste de la ciudad, construida en 1960, funciona como control y embalse para el Río Chuvíscar, el Río Sacramento y varios arroyos temporales. Además de su función hidrológica, se utiliza para actividades recreativas como la pesca, con una cortina de 35 m de altura y 817 m de largo, con una capacidad útil de 32 millones de m^3; esta es la única que aporta un pequeño volumen de agua para el abastecimiento de agua potable a la ciudad.

Las presas Chuvíscar y El Rejón, situadas en el área urbana de Chihuahua, fueron originalmente construidas para abastecer de agua potable a la población. La Presa Chuvíscar cuenta con una capacidad total de almacenamiento de 2.1 millones de m^3, pero su azolve cubre el 71% de su

capacidad útil, lo que la limita a funciones de control de avenidas. Su cortina, de cantera, tiene 22 metros de altura y 280 m de largo. En cuanto a la Presa El Rejón, su cortina mide 33 m de altura y 320 m de largo, con una capacidad total de almacenamiento de 6.6 millones de m^3 y una capacidad útil de 2.3 millones de m^3. Ambas presas albergan diversas especies de peces [7] [4].

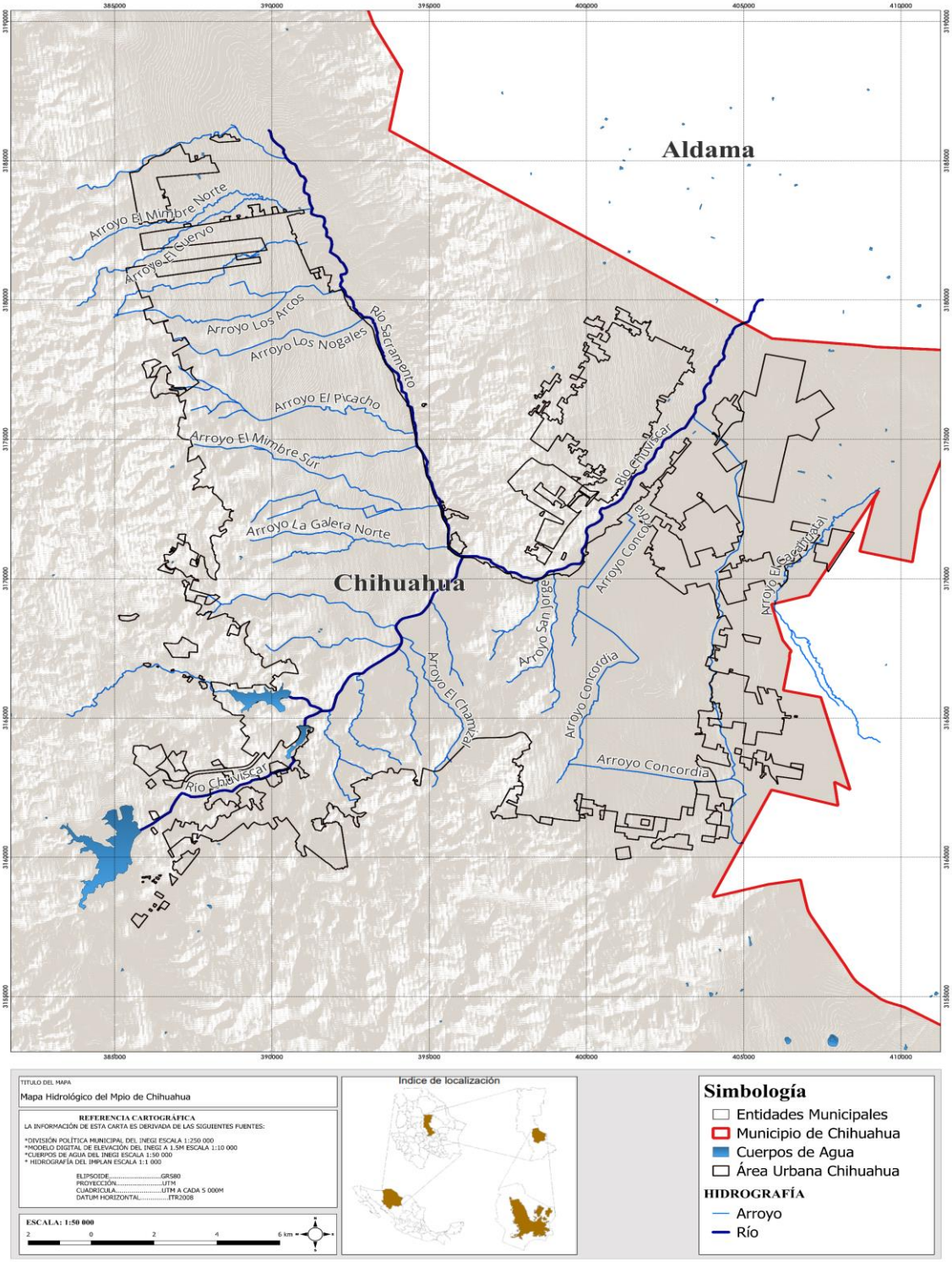


Figura 8. Representación de los arroyos principales del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

3. Hidrología Subterránea

La Ciudad 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. A continuación, se ofrece una visión general de los acuíferos de los cuales se extrae el agua.

Según la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) está obligada a publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la disponibilidad de las aguas nacionales. En lo que respecta al agua subterránea, esto se hace por acuífero y se basa en estudios técnicos pertinentes. Cabe destacar que estos acuíferos han sido objeto de estudio desde la década de 1960, tanto por las entidades predecesoras de la CONAGUA como por la misma institución.

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 Sáuz–Encinillas y Tabalaopa-Aldama”, evalúan los balances hídricos y la disponibilidad de agua de los acuíferos siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 [(12)]. Esta norma, centrada en la conservación del recurso hídrico, establece los criterios y métodos para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

Además, la delimitación de las áreas de estudio de estos acuíferos se define en el “ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos” [(13)], emitido por la CONAGUA. Es importante destacar que los tres acuíferos mencionados, fundamentales para el suministro de agua potable en la Ciudad de Chihuahua, están clasificados como Zonas de Veda en distintos grados y categorías. Esta clasificación implica restricciones en el aumento de la extracción de agua por parte de los usuarios actuales y en la emisión de nuevas concesiones o asignaciones, de acuerdo con lo establecido en cada decreto específico. Los decretos que declaran una Zona de Veda incluyen una descripción detallada de los límites territoriales donde se aplican estas regulaciones.

Los acuíferos situados dentro de los límites del municipio de Chihuahua se caracterizan por presentar un déficit en sus balances hídricos, según lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015. Esto implica que la cantidad de agua extraída supera a la estimada como recarga natural. La recarga de estos acuíferos se realiza principalmente a través de la infiltración de agua procedente de la precipitación.

La Figura 9 muestra los componentes del ciclo hidrológico en México, tal como los considera CONAGUA para la elaboración del Anuario de Estadísticas del Agua en México. De este análisis se deriva el concepto de “Cantidad máxima de agua que puede explotarse anualmente en una región”. Esta cantidad se refiere al volumen de agua que se renueva naturalmente a través de la lluvia y a la proveniente de otras regiones o países (importaciones). Se calcula sumando el escurrimiento natural medio superficial interno anual y la recarga total anual de los acuíferos, y luego restando los flujos de agua que salen hacia otras regiones [(15)].

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

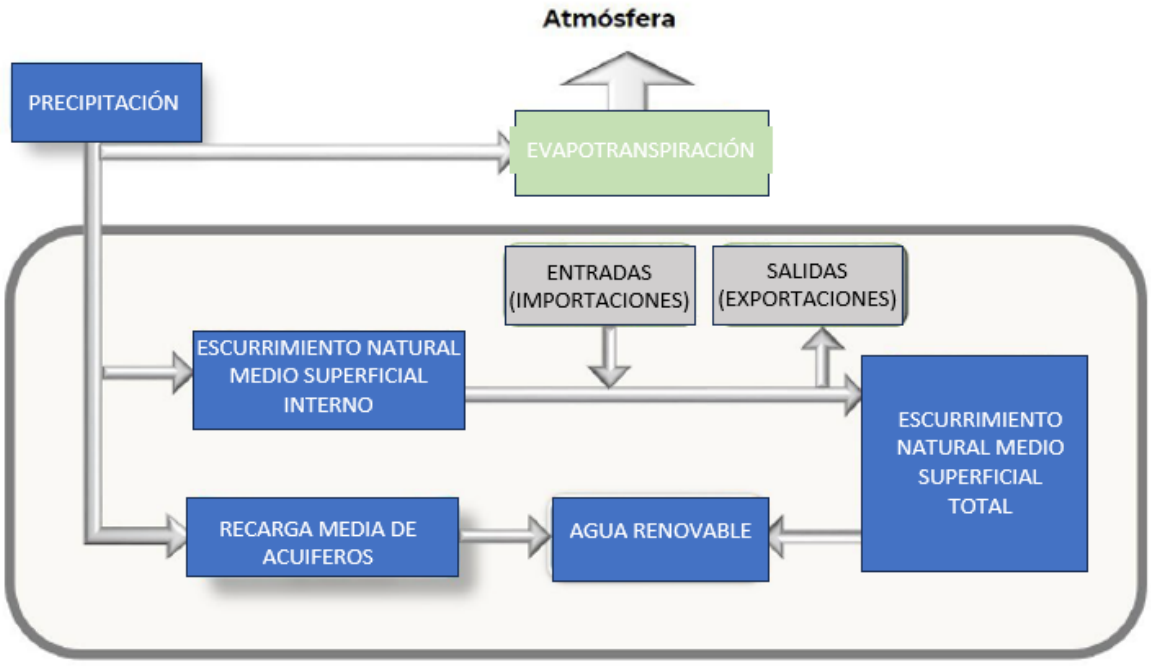


Figura 9. Componentes del ciclo hidrológico en México. Fuente: Estadísticas del Agua en México [15].

Algunos acuíferos presentan periodos de renovación excepcionalmente largos, calculados como la relación entre su capacidad de almacenamiento estimada y su tasa de recarga anual. Estos acuíferos se clasifican como fuentes de aguas no renovables. En el caso específico de los acuíferos que abastecen al municipio de Chihuahua, aún no se dispone de estudios que determinen con precisión sus tiempos de renovación. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) no ha establecido un período específico para diferenciar entre aguas renovables y no renovables. Factores como el ritmo de disminución y profundización de los niveles freáticos y/o piezométricos, así como la variabilidad en los patrones de precipitación agravada por el Cambio Climático, influyen en esta clasificación.

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 [16]. Hacia el sur, destacan los acuíferos Alto Río San Pedro y Villalba, como se muestra en la Figura 10. 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.

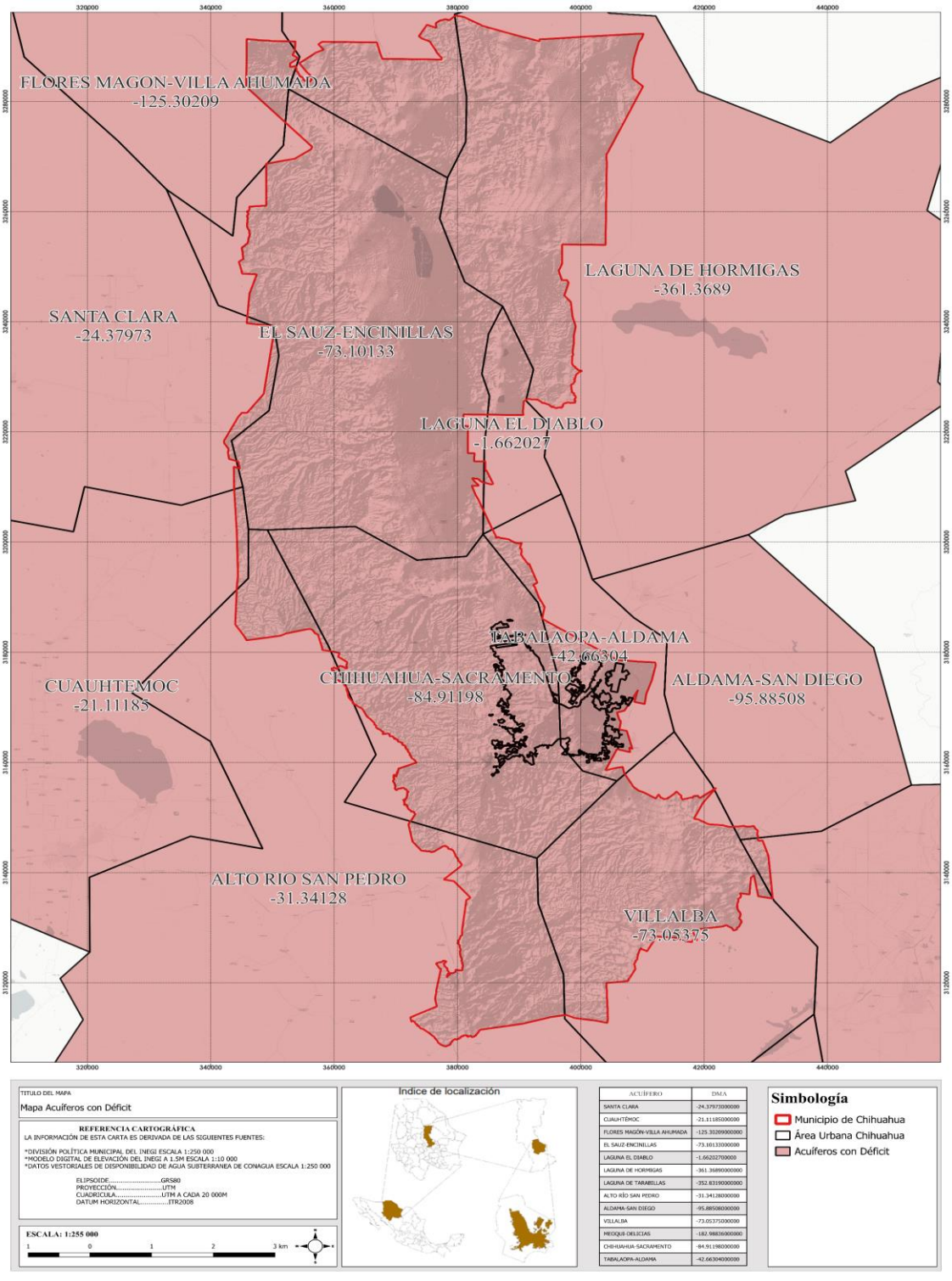


Figura 10. Representación de los acuíferos dentro del municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua, CONAGUA e INEGI.

3.1. Acuífero Chihuahua-Sacramento

El acuífero Chihuahua-Sacramento, es el primer acuífero que incorporo agua para abastecimiento de la ciudad de Chihuahua, designado por la CONAGUA como 0830, se sitúa en una extensión geográfica de 1889.32 km^2. Sus coordenadas abarcan desde los meridianos 106° 32’ 48.48” a 105° 57’ 41.76” y los paralelos 28° 24’ 19.8” a 28° 56’ 45.96”. Limita al este con el acuífero Tabalaopa-Aldama, al sureste con el acuífero Villalba, al oeste con el acuífero Alto Río San Pedro, y al norte con el acuífero El Sauz-Encinillas [16].

El acuífero Chihuahua-Sacramento se desarrolla en depósitos aluviales paleógenos-cuaternarios que llenaron una fosa tectónica delimitada por bloques elevados, incluyendo la prolongación de las Sierras Majalca y Nombre de Dios hacia el sur. El espesor de estos depósitos es mayor en la parte norte del valle y disminuye hacia el sur. Situado en una cuenca tectónica, su espesor podría superar los 600 m según datos geofísicos, aunque los pozos más profundos alcanzan unos 400 m, compuestos por sedimentos clásticos aluviales [16] [5] [17].

Los cortes litológicos evidencian sedimentos gruesos como arena y grava, así como conglomerados parcialmente consolidados con permeabilidad moderada a alta. Áreas con mayor presencia de sedimentos finos, como limo y arcilla, también son identificables. Según datos geofísicos, el espesor del relleno aluvial es de aproximadamente 300 m en la zona de Sacramento-Ejido Ocampo, marcando el límite norte del acuífero.

Ubicado en una cuenca tectónica con orientación NNO-SSE, una continuación de la fosa tectónica del Sauz-Encinillas hacia el sur, limitada por bloques tectónicos en el oeste (Mogote-La Haciendita) y en el este (Sacramento), se clasifica como un acuífero de tipo libre a semiconfinado, heterogéneo y anisotrópico [16]. El espesor varía de 350 a 750 m en sus extremos sureste y noroeste, respectivamente. Las condiciones de confinamiento resultan en presión artesiana en algunas áreas, con la porción porosa en el valle y la parte fracturada en las zonas de recarga. A mayores profundidades, las rocas calcáreas representan otra unidad aún no explorada, con permeabilidad secundaria debido al fracturamiento. Las formaciones Benigno y Chihuahua, aunque extensas, tienen un potencial acuífero limitado [16] [5].

Comportamiento del Acuífero Chihuahua-Sacramento

En la evaluación de los niveles acuíferos del año 2021, se observan variaciones notables en las profundidades del acuífero. En la región suroeste, cerca de la porción norte de la presa El Rejón, se registran profundidades máximas de aproximadamente 190 m. Por otro lado, en la parte sur del acuífero, hacia el noroeste del cerro Grande, se observan profundidades mínimas de alrededor de 24.6 m (ver Figura 11). También se aprecian profundidades de aproximadamente 60 m en la zona norte y noreste del acuífero, a lo largo y en las proximidades del río Sacramento [12].

En términos generales, las mayores profundidades se encuentran en la parte occidental del acuífero, especialmente al oeste del río Sacramento, abarcando prácticamente toda la base de la Sierra El Mogote donde las profundidades oscilan entre 130 y 180 m.

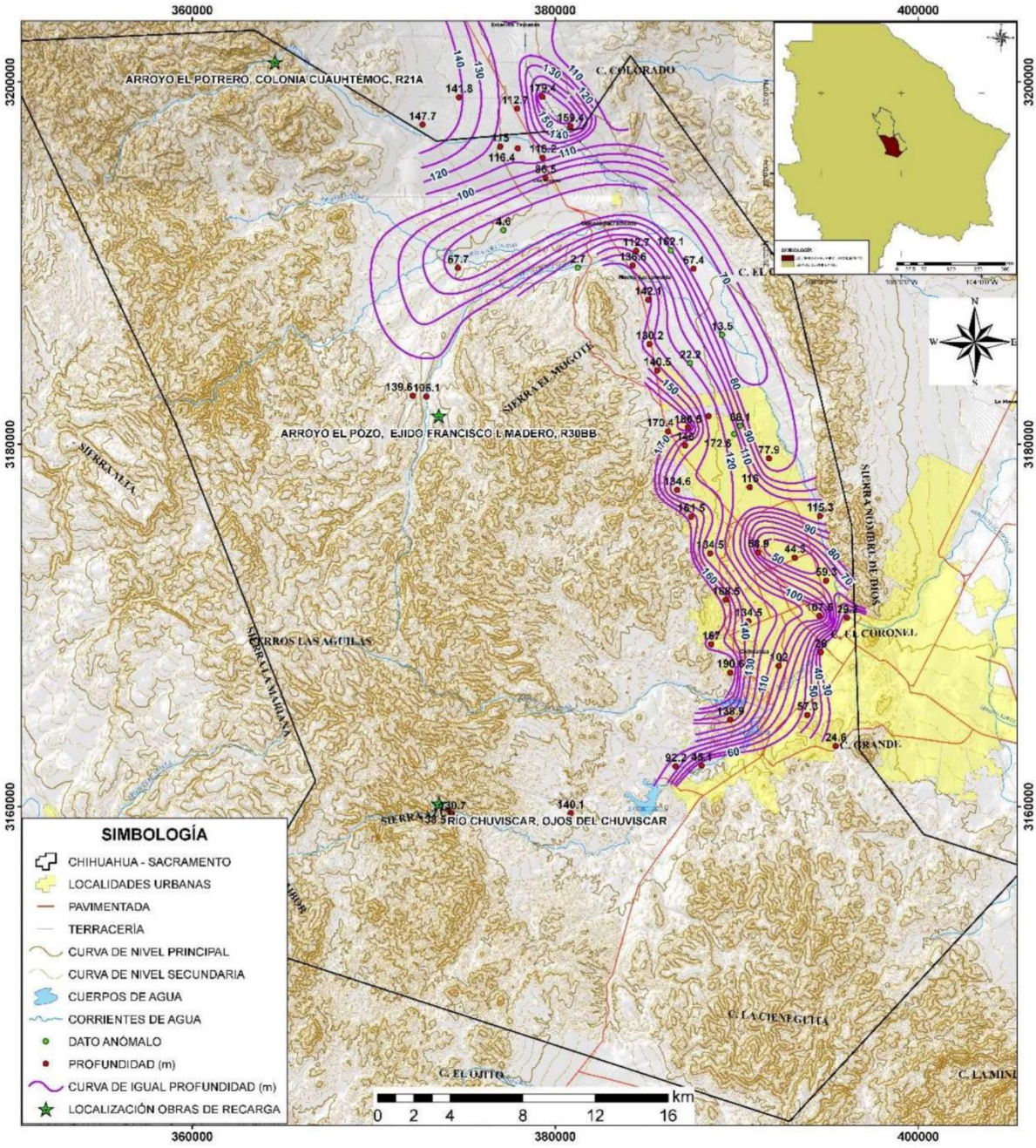


Figura 11. Distribución de las profundidades del nivel freático en el acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021)[(17)].

La altitud del nivel freático en msnm revela diversas áreas con elevaciones notables del agua subterránea. Una de estas áreas se ubica en el suroeste del acuífero, precisamente en la región

conocida como Ojos del Chuvíscar, junto al río homónimo, registrando un valor de 1572.9 msnm. Otra área destacada se localiza al noroeste del acuífero, cerca de la localidad de Francisco I. Madero, en las inmediaciones del arroyo Jesús María, con un valor de 1556.9 msnm. En contraste, las elevaciones más bajas del nivel freático se encuentran en la porción sureste del acuífero, hacia el oeste, en la confluencia de los ríos Chuvíscar y Sacramento, con un valor de 1315 msnm (ver Figura 12) [(17)].

En relación con la dirección del flujo del agua subterránea, en términos generales, se observa un desplazamiento desde las cadenas montañosas, como la Sierra El Mogote en el lado occidental del acuífero, hacia la Sierra Nombre de Dios en el lado oriental del acuífero, en dirección al centro del valle. No obstante, es importante destacar la presencia de varios conos de abatimiento que se forman en el flanco oriental de la Sierra El Mogote y que afectan parcialmente el flujo del agua subterránea.

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

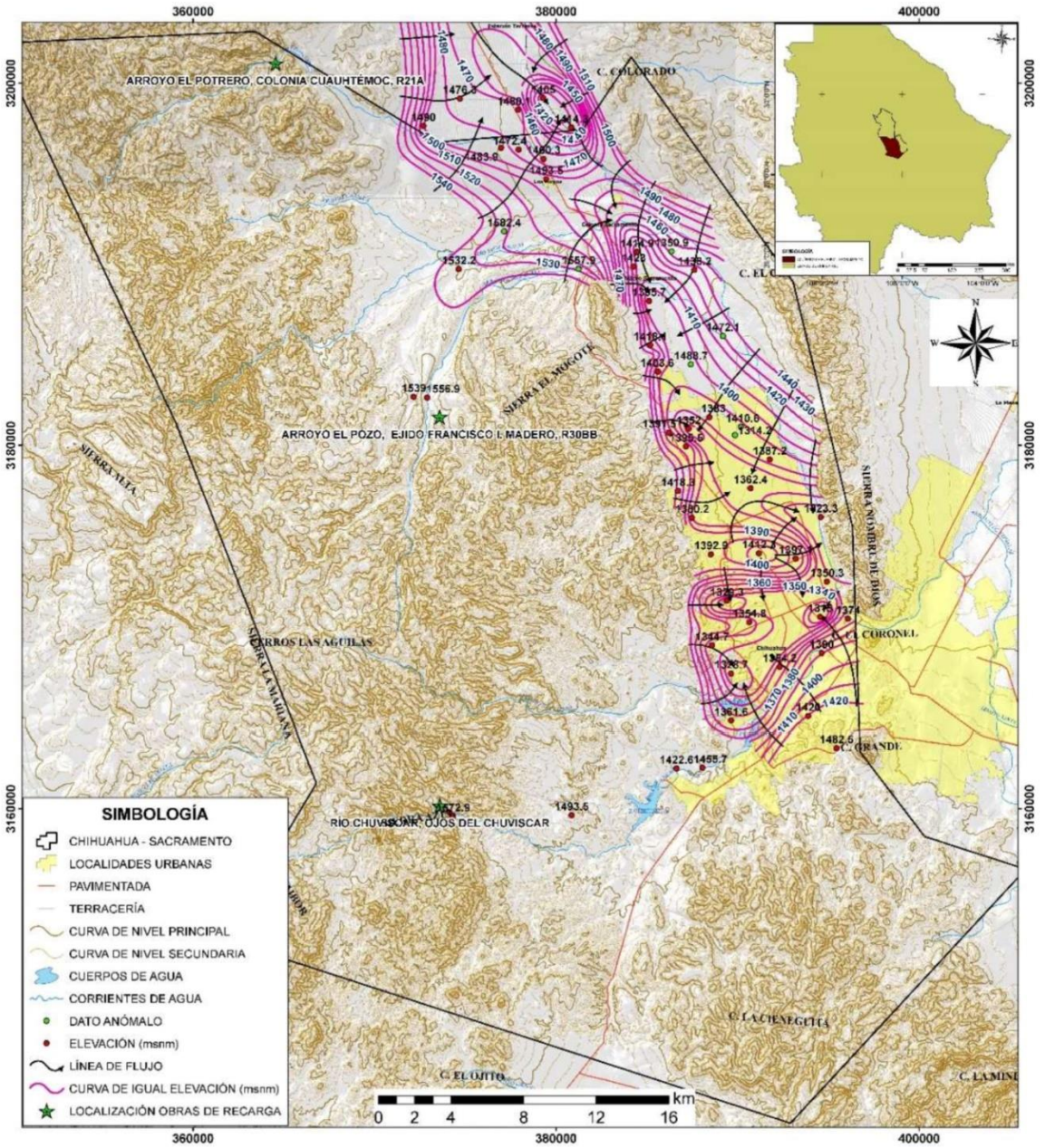


Figura 12. Configuración de la elevación del nivel del freático en msnm del acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

Evolución del nivel del agua en el periodo de 2011 a 2021

La Figura 13 presenta la evolución del nivel del agua durante un lapso de 10 años, abarcando desde 2011 hasta 2021. En esta representación gráfica, se resaltan tanto las recuperaciones (valores positivos) como los abatimientos (valores negativos) del nivel freático.

Los descensos más pronunciados se observan en la región central-noroeste del acuífero, alcanzando un valor de -74 m. Simultáneamente, se evidencian algunas recuperaciones de menor magnitud en la zona central-sur del acuífero, especialmente en la zona urbana de la ciudad de Chihuahua, con valores oscilantes entre 1 y 4.4 m. En términos generales, el acuífero experimenta un descenso total de aproximadamente -25.58 m durante la década, equivalente a un promedio anual de abatimiento de -2.55 m [(17)].

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

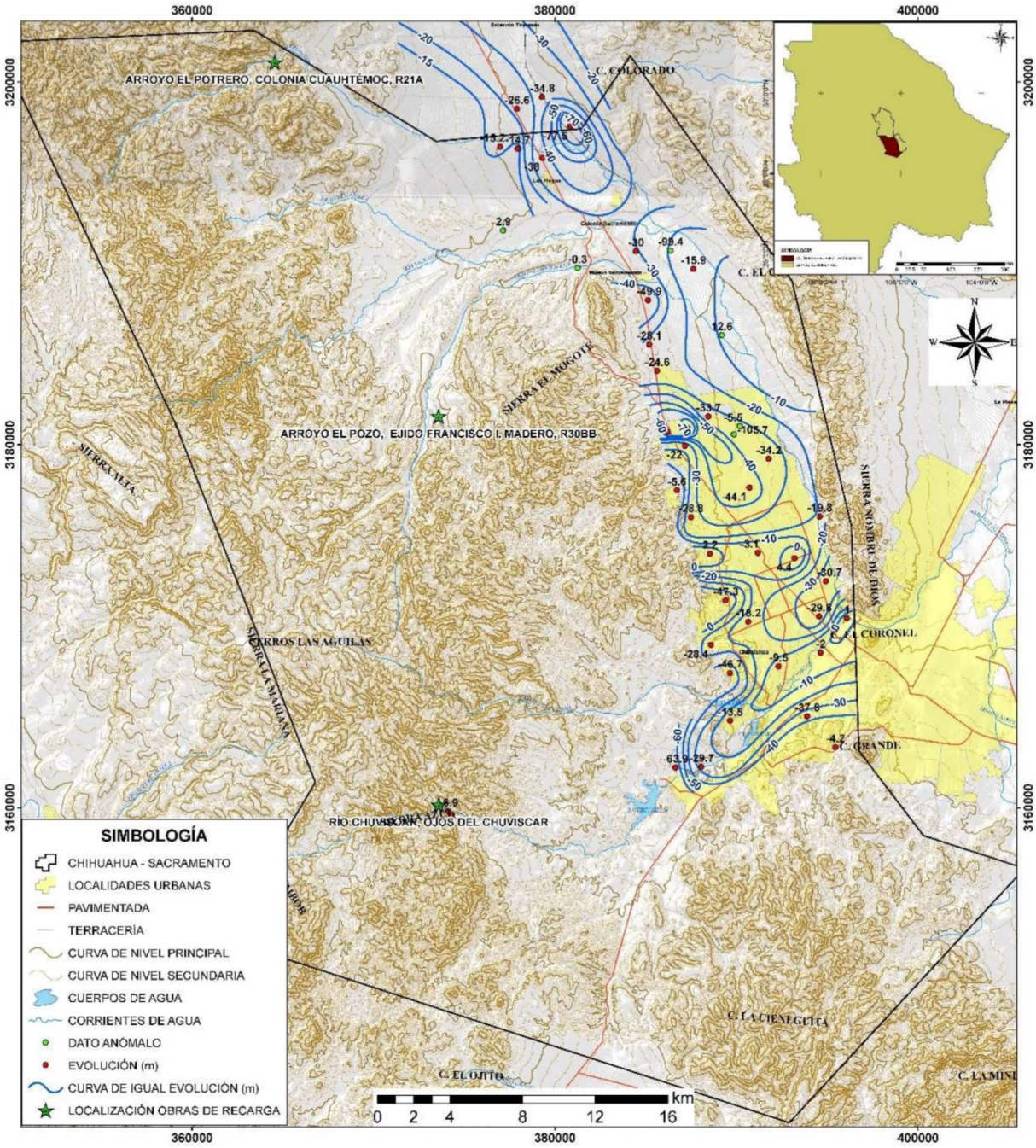


Figura 13. Configuración de la evolución del nivel del agua en msnm del acuífero Chihuahua-Sacramento. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

3.2. Acuífero El Sauz-Encinillas

El acuífero El Sauz-Encinillas fue incorporado para el abastecimiento del agua potable en la década de los 90's; identificado por CONAGUA con la clave 0807, abarca una extensión geográfica de 2743.17 km², comprendida entre los meridianos 106° 43' 28.56" y 106° 09' 36.36", así como los paralelos 28° 53' 31.92" y 29° 39' 42.12". Sus límites se definen al este con los acuíferos Laguna de Hormigas y Laguna El Diablo, al sur con el acuífero Chihuahua-Sacramento, al oeste con los acuíferos Santa Clara y Flores Magón-Villa Ahumada, y al norte con el acuífero Tarabillas [(18)].

Este acuífero se encuentra confinado al oeste por la extensa cadena montañosa de Sierra Majalca-El Nido-Paporín, que alcanza altitudes máximas de 2700 msnm, como el cerro La Campana, situado a la salida del cañón de Santa Clara, con una diferencia de elevación de aproximadamente 1200 m respecto al valle. Adyacente al oeste del valle El Sauz-Encinillas se encuentra el valle intermontañoso de Santa Clara, con una elevación promedio de 2000 m sobre el nivel del mar.

En la salida de los arroyos procedentes de las mencionadas sierras, especialmente de la Sierra Majalca-El Nido-Paporín, se forman numerosos abanicos aluviales que, en ocasiones, se fusionan y se caracterizan por la presencia de sedimentos granulares, que van desde gravas hasta limos y arcilla. El acuífero se sitúa en una cuenca tectónica cuyo espesor, según sondeos geofísicos, alcanza los 800 m en el centro del valle. Está compuesto por sedimentos clásticos aluviales de granulometría variable, reflejando las distintas facies sedimentarias fluviales y lacustres que evolucionaron durante el relleno sedimentario del valle. A medida que nos aproximamos a las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, el espesor de este relleno disminuye [(18)(17)].

La unidad actualmente explorada corresponde al relleno sedimentario, aunque algunos pozos han perforado rocas volcánicas fracturadas que aún no han sido investigadas. El basamento y los límites del flujo subterráneo del acuífero están constituidos por ignimbritas compactas de composición riolítica y una secuencia volcánica predominantemente andesítica. Estas unidades suelen presentar baja permeabilidad en el subsuelo, pero cuando se encuentran fracturadas, actúan como zonas de recarga en la superficie, formando las sierras que limitan el valle.

En niveles más profundos, las rocas calizas cretácicas constituyen el basamento regional, exhibiendo una notable permeabilidad que se manifiesta en inundaciones durante las operaciones mineras. El sistema acuífero se caracteriza por su naturaleza heterogénea y anisótropa, mayormente de tipo libre, con condiciones de semiconfinamiento en áreas locales debido a la interdigitación de estratos de baja permeabilidad. Este sistema se localiza en una fosa tectónica (graben) rellenada con sedimentos de variados tamaños de grano, alcanzando un espesor máximo de 800 m en sedimentos aluviales que disminuye en dirección a las laderas de las sierras circundantes, donde se encuentran los abanicos aluviales. A profundidades mayores, las rocas volcánicas y las calizas manifiestan permeabilidad secundaria debido al fracturamiento, configurando otra unidad que aún no ha sido investigada, aunque existen indicios de su presencia en trabajos mineros, especialmente en acuíferos cercanos [(18)].

Comportamiento del acuífero El Sauz-Encinillas

La distribución de las profundidades en el acuífero El Sauz-Encinillas en 2021 revela valores máximos de 179 m al sur y mínimos de 4.4 m en las proximidades de la Laguna Encinillas (ver Figura 14). De manera general, las áreas de menor profundidad se ubican en las partes más bajas del valle, aumentando gradualmente en dirección hacia las sierras circundantes.

Destaca una extensión de 42 km de longitud y 6.8 km de ancho con profundidades cercanas a los 10 m, que se extiende desde el centro del acuífero hasta la Laguna Encinillas. En la zona central-sur, cerca de El Sauz, las profundidades oscilan entre 30 y 60 m. Finalmente, en la porción sur del acuífero, se identifica un área específica con profundidades notables, variando desde 60 hasta 179 m [(17)].

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

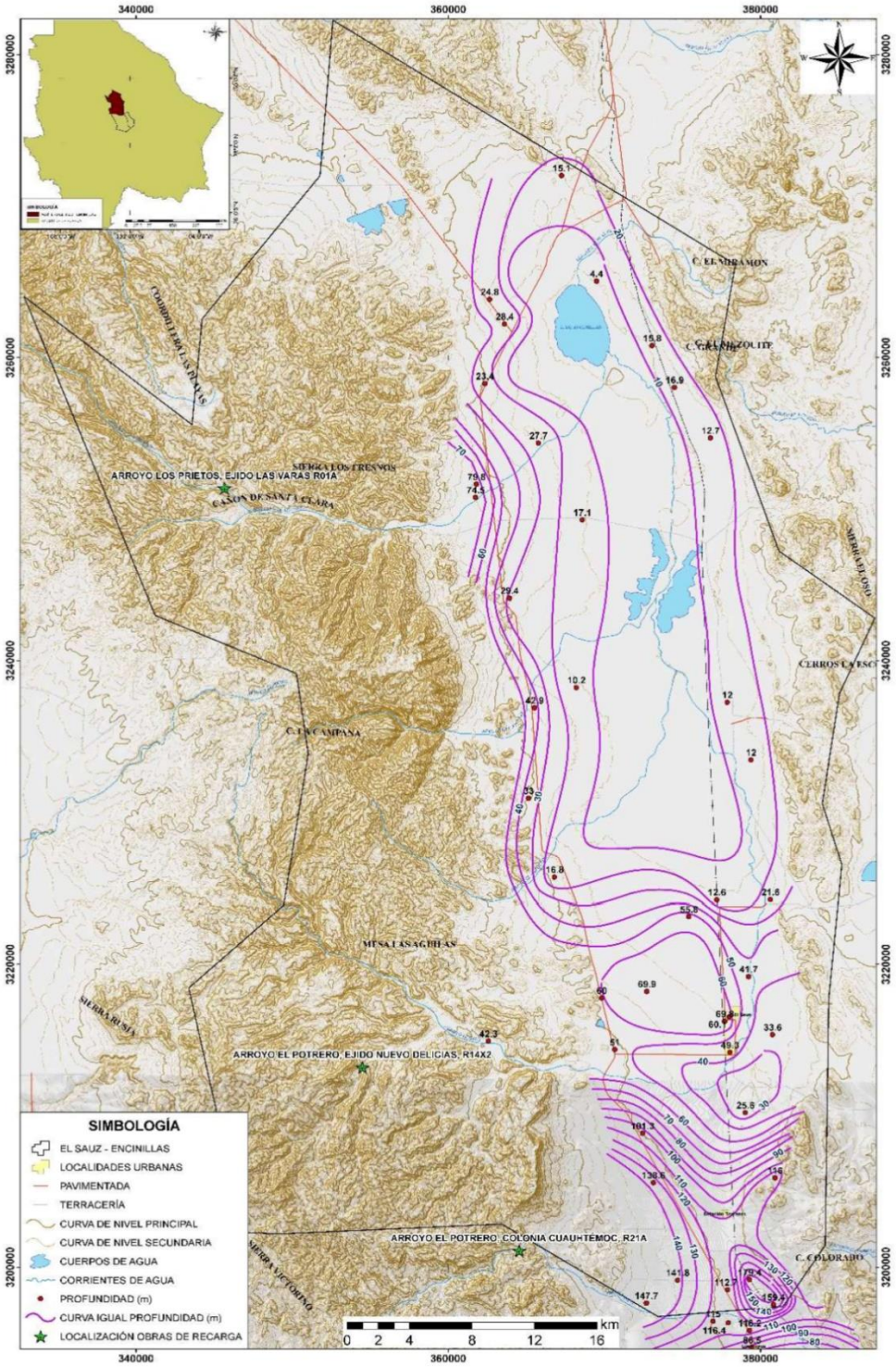


Figura 14. Distribución de las profundidades del nivel freático en el acuífero El Sauz-Encinillas. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

La elevación máxima del nivel del agua subterránea se evidencia en las regiones noroeste y oeste del acuífero, a lo largo del flanco oriental de la Sierra Los Fresnos y la Mesa Las Águilas, registrando valores cercanos a 1570 msnm. En contraste, la elevación mínima se localiza en la porción sur del acuífero, aproximadamente a 1420 msnm (ver Figura 15).

Se destaca una zona de aproximadamente 33 km de longitud por 7 km de ancho, que se extiende desde la parte central hasta la zona norte del acuífero, con elevaciones del nivel del agua que varían entre 1512 y 1520 msnm. La dirección predominante del flujo sigue una trayectoria desde las sierras hacia el valle.

En la sección central del acuífero, se observa una ligera disminución en la elevación del nivel del agua hacia el norte y el sur (alrededor de 15 m y 100 m, respectivamente). Esto sugiere que esta área podría comportarse como una divisoria hidráulica, desplazándose hacia el norte o sur según las extracciones de agua subterránea [(17)].

En la porción sur del acuífero, se identifica un cono de abatimiento o una zona de depresión piezométrica, con una elevación del nivel del agua de alrededor de 1420 msnm. A medida que nos alejamos de esta región, se observa un aumento en el nivel del agua, propiciando un flujo de agua subterránea desde los alrededores hacia esta área específica.

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

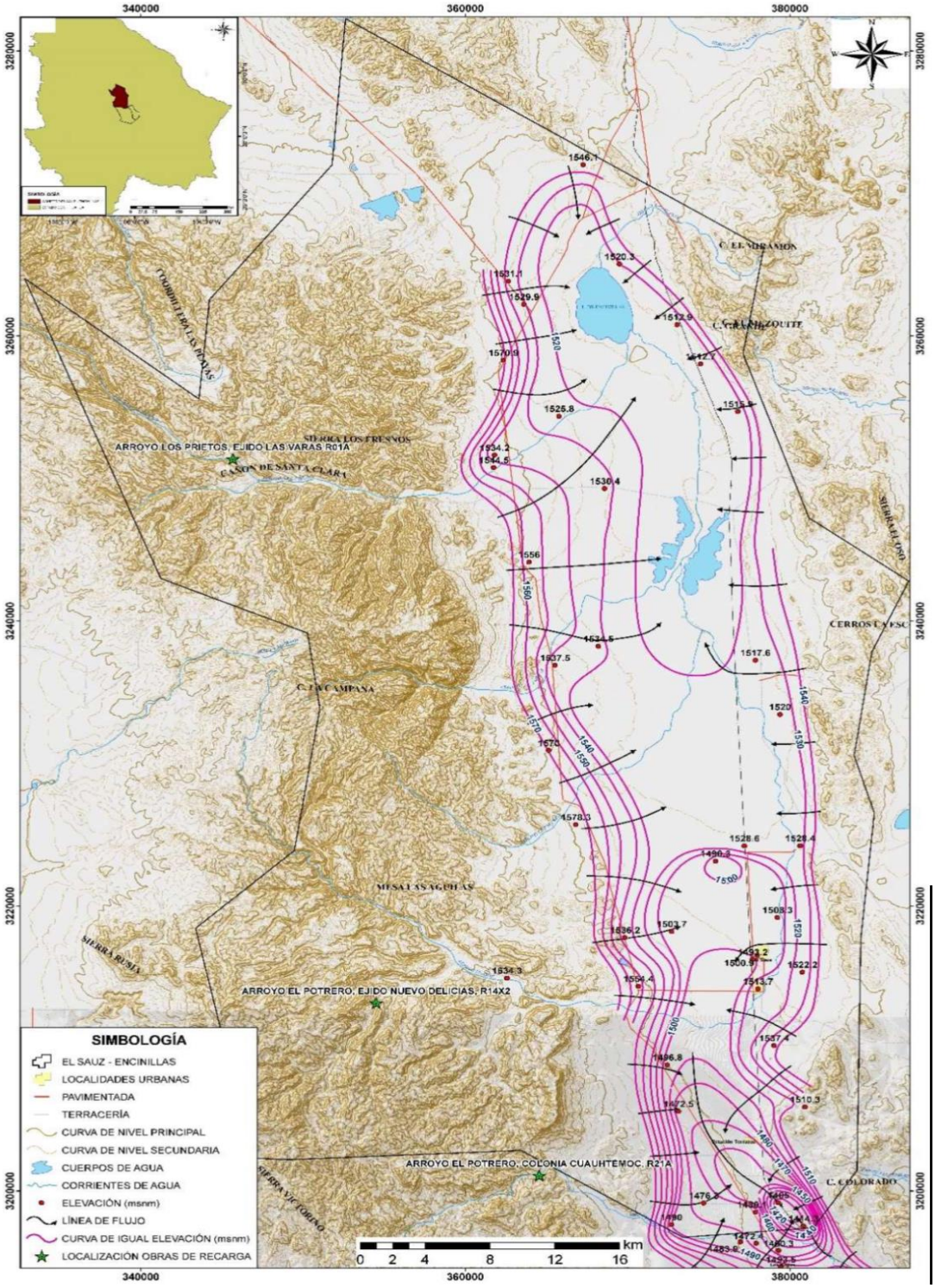


Figura 15. Configuración de la elevación del nivel del freático en msnm del acuífero El Sauz-Encinillas. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

Evolución del nivel del agua en el periodo de 2012 a 2021

La variación del nivel del agua en el acuífero El Sauz-Encinillas a lo largo de un lapso de 9 años, abarcando desde 2012 hasta 2021 se puede observar en la Figura 16.

Las disminuciones más notables se evidencian en la porción sur del acuífero, alcanzando un valor de aproximadamente -70 m, y en la sección central, en dirección noroeste desde la localidad El Sauz, con un descenso de alrededor de -25 m. En contraste, las recuperaciones son notorias en las áreas del norte, noroeste y oeste del acuífero, especialmente desde el pie de monte de la Sierra Los Fresnos hasta la Mesa Las Águilas, con valores fluctuantes entre 5 y 24 m. A medida que nos alejamos del pie de monte y nos adentramos en el valle, comienzan a manifestarse disminuciones. Los valores de abatimiento más significativos suelen observarse en la parte central y hacia el sur del acuífero. El acuífero presenta una disminución total de aproximadamente -8.68 m, con un promedio anual de abatimiento de -0.96 m.

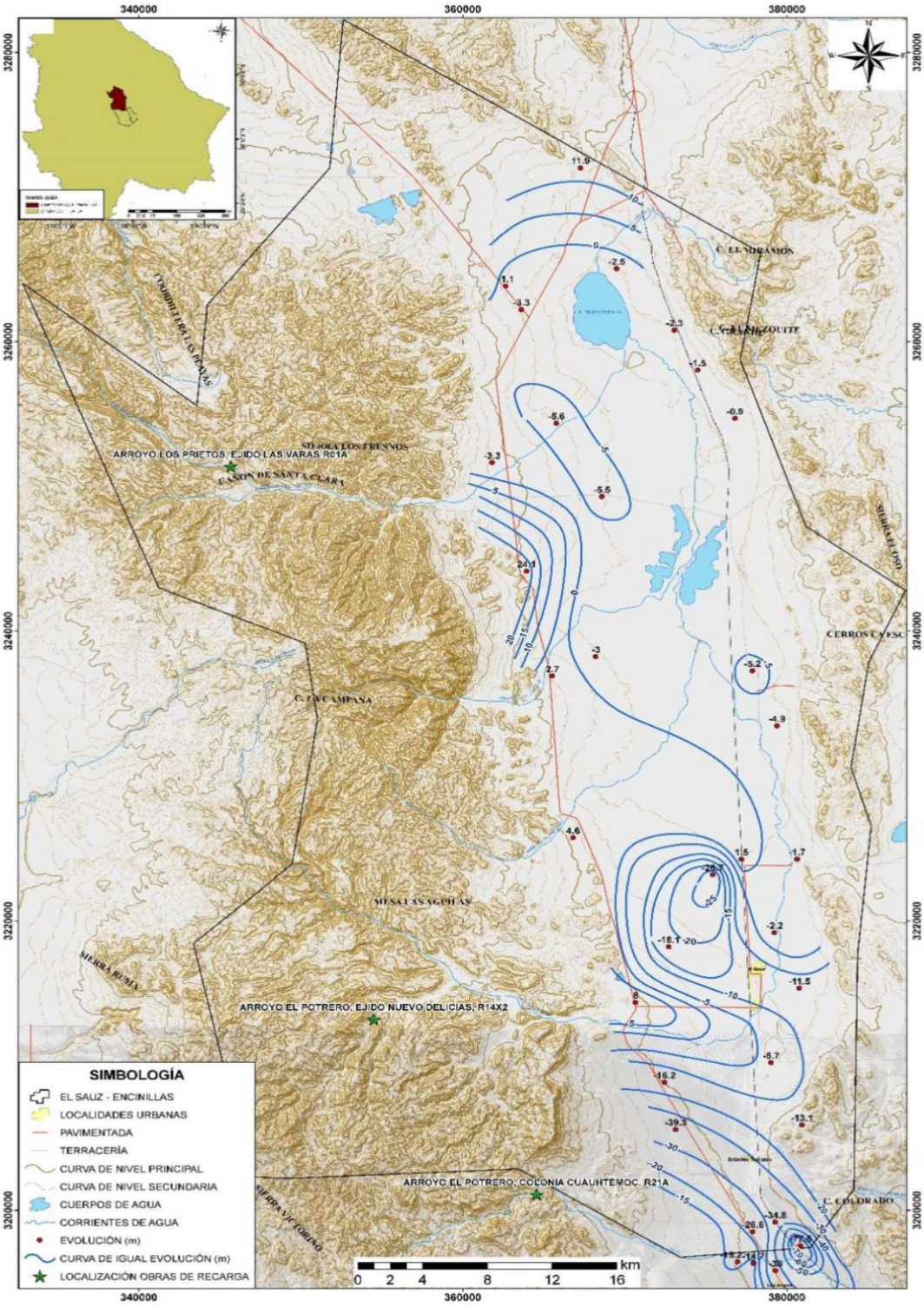


Figura 16. Configuración de la evolución del nivel del agua en msnm del acuífero El Sauz-Encinillas. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

3.3. Acuífero Tabalaopa-Aldama

El acuífero Tabalaopa-Aldama se incorporó para el abastecimiento de agua potable en la década de los 80's; identificado con la clave 0835 por la CONAGUA, se extiende geográficamente entre los meridianos 106° 11' 17.52" a 105° 52' 03" y los paralelos 28° 31' 59.16" a 29° 0' 9.36", cubriendo un área de 728.07 km^2. Sus límites geográficos son al norte con el acuífero Laguna El Diablo, al este con los acuíferos Laguna de Hormigas y Aldama San Diego, al sur con el acuífero Villalba y al oeste con el acuífero Chihuahua-Sacramento [(19)].

Este acuífero se sitúa en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, compuesto por depósitos de arena intercalados con limo y arcilla, con espesores que varían entre 50 y 800 m. Bajo este paquete aluvial, se encuentra una secuencia volcanoclástica que incluye riolitas, tobas y piroclastos, con permeabilidades que oscilan de baja a media. Esto sugiere la presencia de dos medios distintos, uno granular y otro fracturado. El basamento y las fronteras que limitan el flujo subterráneo están conformados por las mismas rocas volcanoclásticas, excepto cuando no presentan permeabilidad secundaria, y por una secuencia metasedimentaria cuyos afloramientos se encuentran en la base de la Sierra El Cuervo, al noroeste de Ciudad Aldama [(19)].

El Acuífero Tabalaopa-Aldama se clasifica como de tipo libre, con una permeabilidad que varía de media a baja. Se encuentra alojado en sedimentos aluviales que se depositaron en el centro del valle y están compuestos por arena intercalada con arcilla y limo estratificado, con un espesor que puede alcanzar los 800 metros. La principal fuente de recarga proviene del agua de lluvia que se infiltra en las zonas de mayor elevación. Otra fuente de recarga es la infiltración vertical del agua de lluvia que cae en el valle y los retornos de riego agrícola. La secuencia estratigráfica abarca desde el Precámbrico hasta el período Reciente [(19)(17)].

El basamento que sostiene la secuencia paleozoica y mesozoica está compuesto por rocas gnéisicas, anfibolíticas, graníticas y metamórficas del Precámbrico. Estas rocas han experimentado fases de compresión y distensión, dando lugar a la formación de grandes bloques elevados y hundidos. Estos movimientos a veces se traducen en desplazamientos horizontales de tipo transcurrente o cabalgamiento, influyendo en la sedimentación y deformaciones posteriores.

En el área, se encuentran abundantes fallas normales con una orientación noroeste-sureste que afectan a toda la secuencia estratigráfica. Estas fallas son resultado de un evento distensivo de tipo Cuencas y Sierras. Además, al noreste del acuífero se reporta una serie de pliegues anticlinales y sinclinales en rocas cretácicas, causados por el evento compresivo de la Orogenia Laramide. Estas estructuras tectónicas contribuyen a la complejidad geológica de la región [(19)(17)].

Comportamiento del Acuífero Tabalaopa-Aldama

En el análisis de las profundidades del nivel del agua correspondiente al año 2021, se destacan valores máximos en distintas áreas del acuífero. En la porción sureste, específicamente al oeste de la Sierra Santa Eulalia, se registran niveles de aproximadamente 208 m. La zona central-poniente, situada al sur de la Sierra Nombre de Dios, presenta niveles de alrededor de 18 m, mientras que, en el noroeste, cerca del arroyo El Mimbre, se observan valores cercanos a los 183 m. Las profundidades mínimas se localizan en la parte norte del acuífero, cerca del bosque de Aldama o la boquilla de Aldama, con valores que oscilan entre 7.5 y 17.6 metros (consulte la Figura 17) [(17)]. De manera general, se evidencia profundidades menores en la zona central del acuífero, a lo largo del río Chuvíscar, y un aumento progresivo al alejarnos de esta área en dirección a las Sierras Nombre de Dios y Sierra San Ignacio.

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

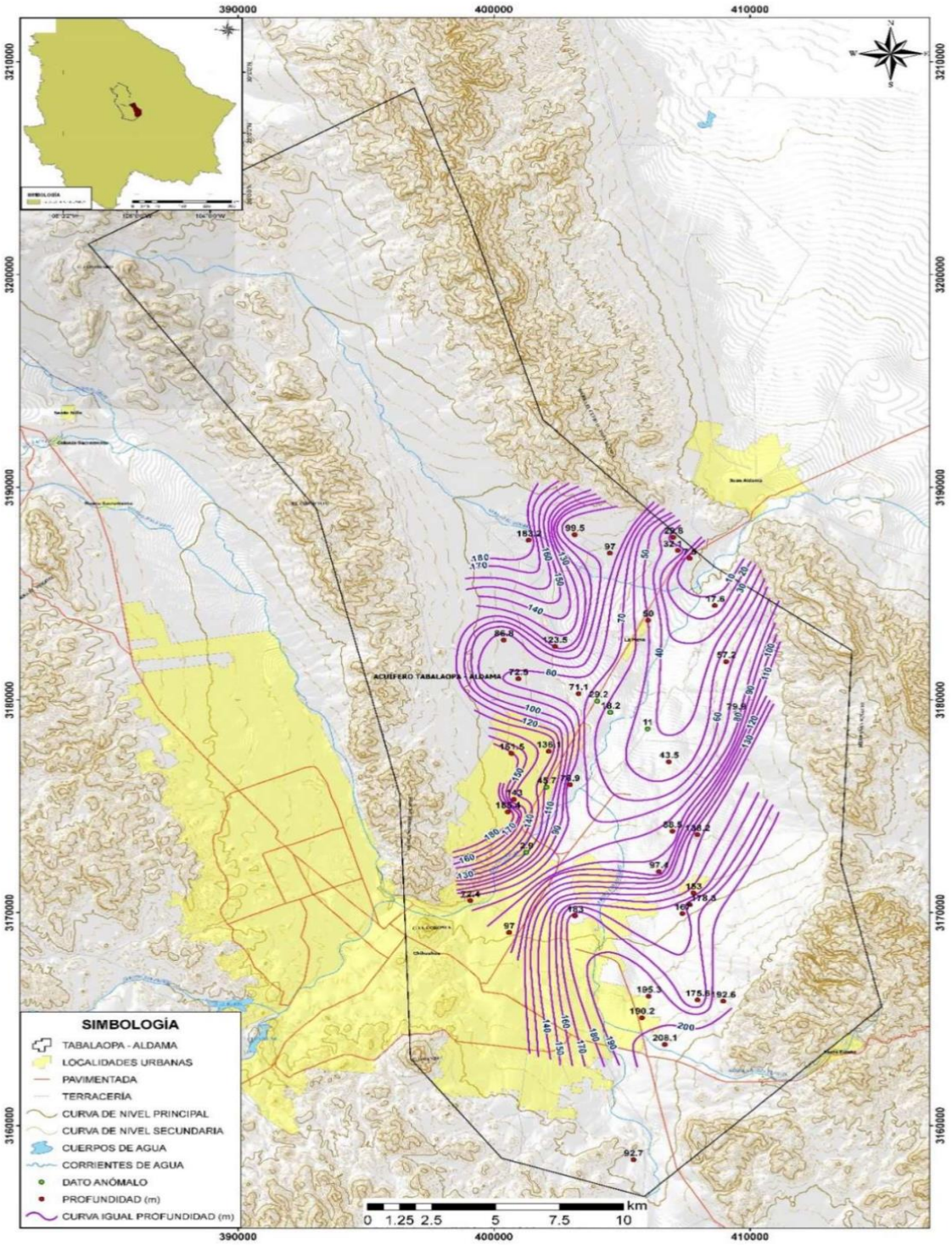


Figura 17. Distribución de las profundidades del nivel freático en el acuífero Tabalaopa-Aldama. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

Una de las áreas destacadas por sus elevadas altitudes en el nivel del agua subterránea se localiza al sur del acuífero, presentando un valor de 1396.2 msnm. Otras zonas con niveles significativos se sitúan al oeste del acuífero, en la dirección de la Sierra Nombre de Dios, con altitudes cercanas a los 1320 msnm (consulte la Figura 18).

En cuanto a la dirección del flujo del agua subterránea, de manera general, se observa que se desplaza desde las sierras, como la Sierra Nombre de Dios en el lado oeste del acuífero y la Sierra San Ignacio en el lado este del acuífero, hacia el centro del valle. En el valle, se pueden identificar algunas áreas con conos de abatimiento, ubicados en direcciones sureste, centro y noroeste del acuífero, con altitudes de 1210, 1220 y 1190 msnm, respectivamente [(17)].

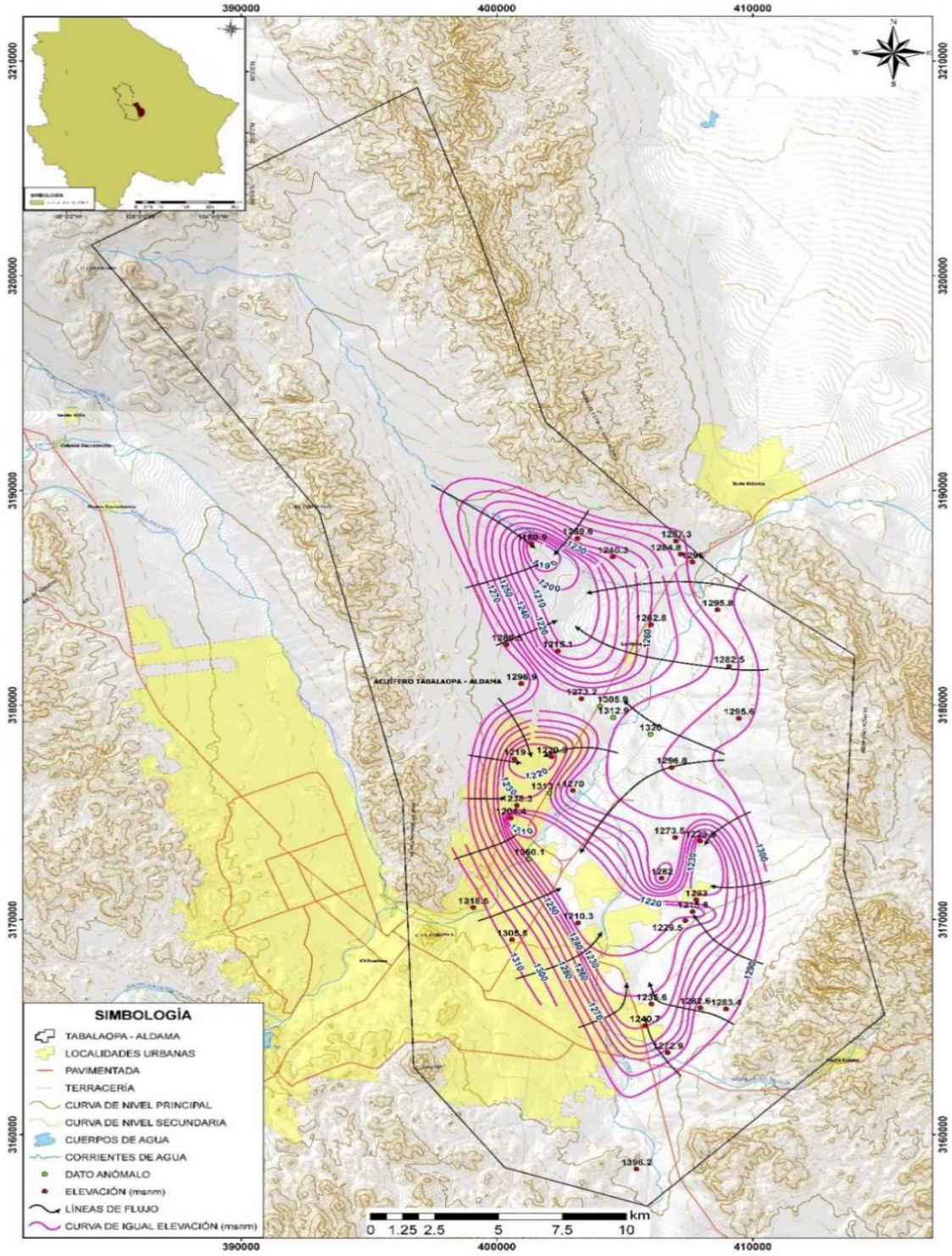


Figura 18. Configuración de la elevación del nivel del freático en msnm del acuífero Tabalaopa-Aldama. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

Evolución del nivel del agua en el periodo de 2012 a 2021

La Figura 19 presenta la evolución del nivel del agua durante un lapso de 9 años, abarcando desde 2012 hasta 2021. Se observan variaciones significativas, con abatimientos máximos de hasta 115 m en una zona muy localizada, al noroeste del acuífero, cerca del arroyo El Mimbre. Además, se identifican recuperaciones de hasta 14 m en la parte central-poniente del acuífero.

Es relevante señalar que los abatimientos de menor magnitud se concentran en la zona central, a lo largo del río Chuvíscar y sus alrededores, y aumentan a medida que nos alejamos de esta área en dirección a las Sierras Nombre de Dios y San Ignacio. En términos generales, el acuífero experimenta un abatimiento total de alrededor de -27.7 m en el lapso de 9 años, equivalente a un promedio anual de abatimiento de -3.1 m [(17)].

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

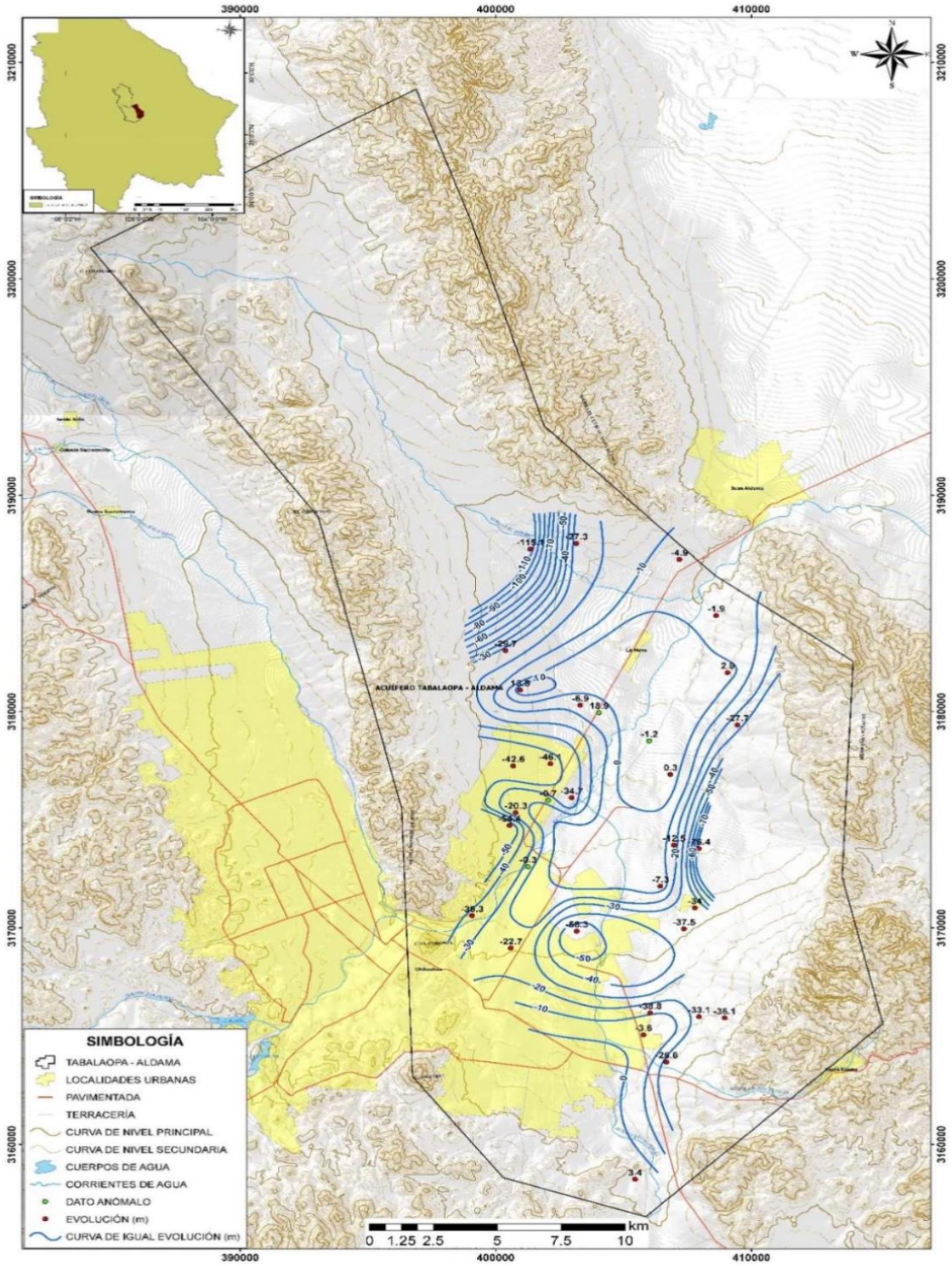


Figura 19. Configuración de la evolución del nivel del agua en msnm del acuífero Tabalaopa-Adama. Fuente: Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos el Sauz-Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama (2021) [17].

4. Clima

Los elementos que determinan el clima son: la presión atmosférica, vientos, temperatura y humedad (vapor de agua, nubes, precipitación y evaporación), de tal forma que el clima resulta ser un factor importante para evaluar el funcionamiento hidrológico, en función de otros parámetros tales como la infiltración, escurrimiento y evaporación [(1)].

Según la clasificación climática de Köppen [(20)], 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 [(20)] (Figura 20):

- "BS0kw" corresponde a un clima seco templado, caracterizado por ser templado con veranos cálidos. Presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 12°C y 18°C, mientras que el mes más frío registra temperaturas de 3°C a 18°C, y el mes más cálido presenta temperaturas superiores a los 18°C. Este tipo de clima se caracteriza por recibir precipitación en la época de verano.
- "BS0hw(w)" corresponde a un clima seco cálido, caracterizado por ser cálido. Presenta temperaturas medias anuales mayores a los 22°C, mientras que el mes más frío registra temperaturas promedio menores a los 18°C. Este tipo de clima se caracteriza por recibir precipitación en la época de verano.
- "BS1kw" corresponde a un clima semiseco templado, caracterizado por ser templado con veranos cálidos. Presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 12°C y 18°C, mientras que el mes más frío registra temperaturas de 3°C a 18°C, y el mes más cálido presenta temperaturas superiores a los 18°C. Este tipo de clima se caracteriza por recibir precipitación en la época de verano.
- "BWkw" corresponde a un clima muy seco templado, caracterizado por ser templado con veranos cálidos. Presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 12°C y 18°C, mientras que el mes más frío registra temperaturas de -3°C a 18°C, y el mes más cálido presenta temperaturas superiores a los 18°C. Este tipo de clima se caracteriza por recibir precipitación en la época de verano.
- "C(E)(w1)" corresponde a un clima semifrío subhúmedo, caracterizado por ser templado con veranos cálidos. Presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 5°C y 12°C. Este tipo de clima se caracteriza por tener precipitaciones escasas todo el año.
- "C(w1)" corresponde a un clima templado subhúmedo, caracterizado por ser templado con veranos cálidos. Presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre12°C y 18°C. Este tipo de clima se caracteriza por tener una humedad media entre 43 y 55%.

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.

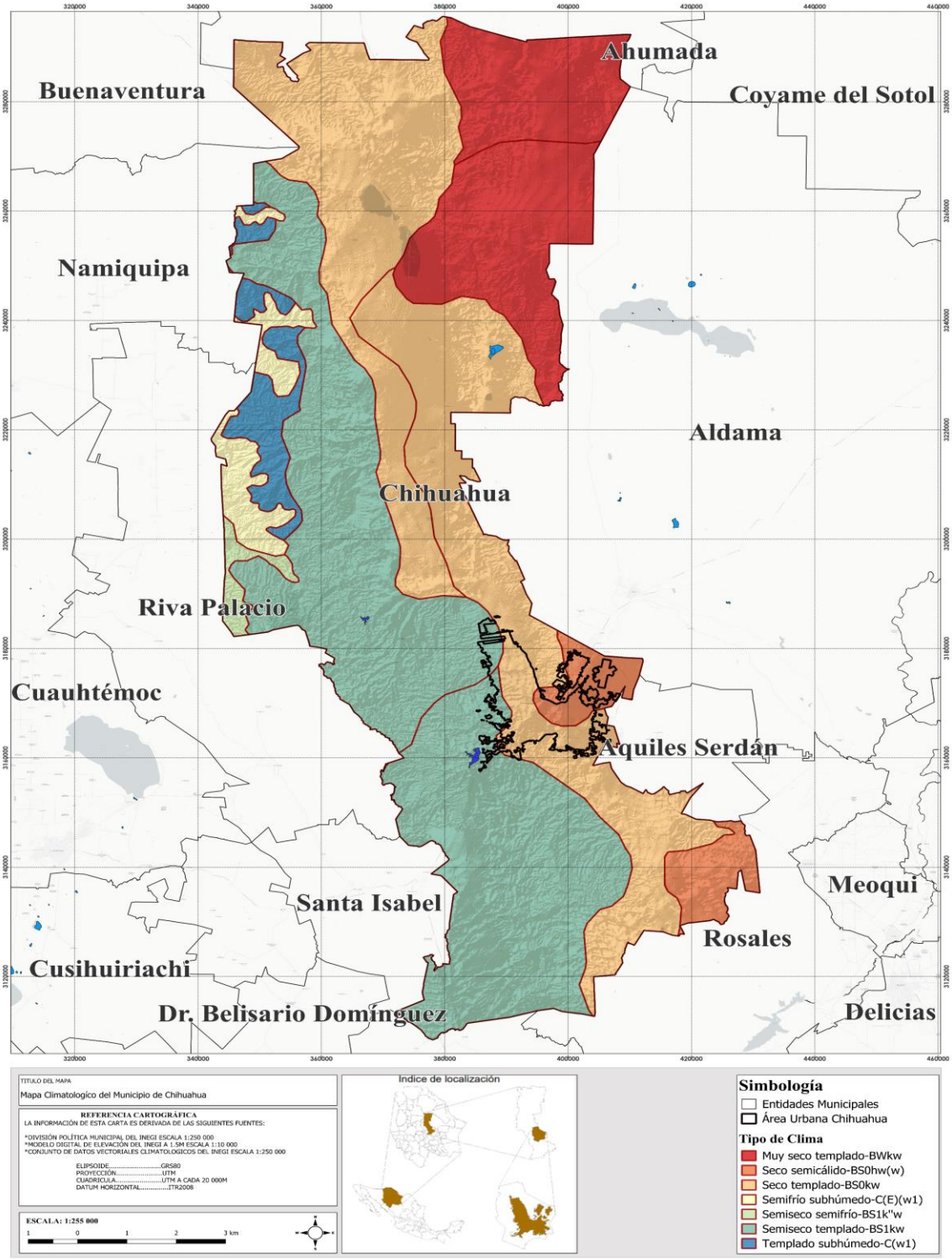


Figura 20. Representación Cartográfica Climatológica del Municipio de Chihuahua. Elaborado por el autor con base en la información proporcionada por IMPLAN Chihuahua e INEGI.

De acuerdo con la clasificación de Koppen [20], la mayor parte del centro de población se encuentra en la región climática BS1kw, semiárido, templado, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C., temperaturas del mes más caliente mayor de 22°C, con lluvias en verano. Se puede distinguir la localización de tres tipos de climas en el centro de población, siendo el semiárido el que prevalece en la zona urbanizada y, a medida que se aleja de ella, el clima se vuelve árido, correspondiendo al tipo de suelo y coberturas que existen. La actividad humana y su intervención en el entorno impactan en el clima.

Se llevó a cabo una minuciosa interpretación de las características climatológicas de la zona de estudio mediante el análisis detallado de la información proporcionada por el IMPLAN. Este análisis se fundamentó en los datos recopilados por el IMPLAN para la ciudad de Chihuahua durante el periodo de 1980 a 2019. Los registros de precipitación se extrajeron de la base de datos desarrollada por la Universidad Autónoma de Chihuahua para el Estudio de Evaluación de las Fuentes Actuales de Abastecimiento a la Ciudad de Chihuahua. Este estudio abarcó una evaluación de la viabilidad de fuentes alternas y un anteproyecto de la infraestructura hidráulica requerida. Para abordar la ausencia de datos, el IMPLAN aplicó la metodología de correlación lineal en el análisis de datos faltantes.

Las estaciones meteorológicas clave en este análisis se basaron principalmente en la información recopilada por la estación Observatorio de CONAGUA, identificada con el número 08040. Los datos de esta estación se correlacionaron con los de la estación Presa Rejón (08114) y la estación Presa Chihuahua (08185) [21]. Cabe destacar que estas tres estaciones meteorológicas son las únicas actualmente en operación, contribuyendo de manera significativa a la fiabilidad y actualización de los datos analizados.

4.1. Temperatura

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, como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Promedio multianual de la temperatura. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020).

Año	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)
1980	38.8	-4.8	17.8
1981	38.9	-2.8	17.6
1982	39.0	-4.4	18.5
1983	37.6	-7.6	17.7
1984	36.3	-5.3	17.7
1985	39.0	-8.0	17.9
1986	35.7	-6.3	17.1
1987	38.0	-8.3	16.3
1988	38.2	-7.5	17.2
1989	40.3	-7.7	18.3
1990	38.3	-6.6	16.9
1991	38.8	-5.7	17.2
1992	39.8	-5.5	16.5
1993	36.6	-6.3	17.4
1994	40.1	-6.2	18.3
1995	37.3	-3.7	18.1
1996	38.0	-8.4	18.1
1997	37.4	-10.7	17.4
1998	40.3	-6.5	18.7
1999	37.9	-6.0	18.8
2000	37.9	-6.2	18.8
2001	38.2	-6.2	18.8
2002	39.8	-5.8	19.0
2003	40.8	-4.2	19.4
2004	39.7	-5.1	18.4
2005	40.2	-2.7	19.4
2006	38.7	-6.5	19.4
2007	38.9	-7.6	18.4
2008	38.7	-5.9	18.6
2009	38.3	-5.2	18.6
2010	40.0	-10.3	18.0
2011	39.7	-19.3	19.3
2012	38.9	-4.3	19.3
2013	37.7	-7.1	19.3
2014	37.8	0.3	18.2
2015	39.7	4.2	19.1
2016	38.3	1.0	19.1
2017	40.3	0.4	19.6
2018	39.3	2.3	19.4
2019	37.9	3.6	19.4

En la Figura 21, se destaca una tendencia inusual de aumento en las temperaturas mínimas, llegando incluso a descender por debajo de los 0°C. La variación térmica anual se sitúa entre los 26°C y 39.8°C, salvo el incidente extremo mínimo registrado en 2011. Esta figura revela 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.

Los años 2011 y 2010 resaltan como períodos con eventos climáticos extremos, caracterizados por temperaturas mínimas muy bajas en 2011 y temperaturas máximas excepcionalmente altas en 2010.

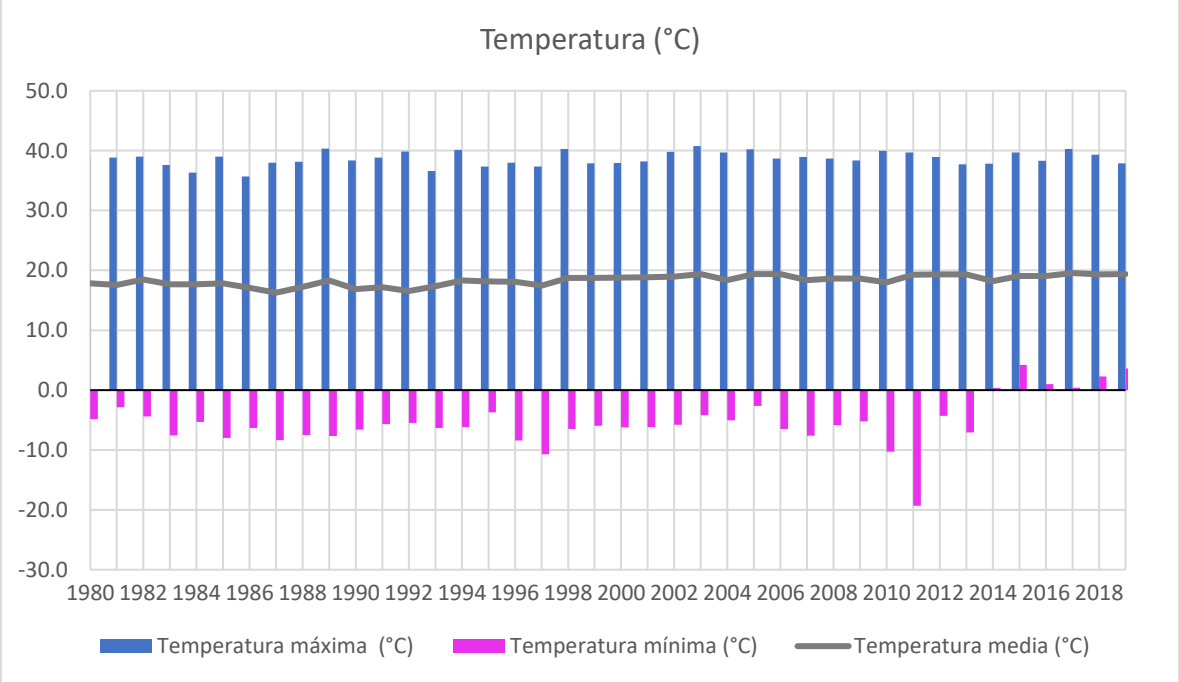


Figura 21. Promedio multianual de la temperatura. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020).

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

4.2. Precipitación

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 en la Figura 22 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. Ejemplos notables de eventos excepcionales de lluvia son los años 1986 y 1990, que registran precipitaciones de 735.3 mm y 789.6 mm respectivamente. Por otro lado, años como 1982 y 1994 se caracterizan por tener precipitaciones notablemente inferiores. Para definir años secos se compara con la precipitación media acumulada de la serie de tiempo, de los 60 años con registros considerados el 55% de los años son considerados secos. Ejemplos destacados de años secos incluyen 1982, 1994 y 2011. En contraste, años como 1986, 1990 y 2013 se destacan por presentar precipitaciones notoriamente superiores al promedio, sugiriendo periodos húmedos.

El año 2004 emerge como un periodo inusualmente húmedo, registrando una precipitación de 628.6 mm. Asimismo, otros años como 1995 y 2000 exhiben eventos significativos en términos de precipitación. Estos eventos extremos enfatizan la importancia de considerar la variabilidad extrema al planificar y gestionar los recursos hídricos en la región.

Es esencial destacar la evolución en la frecuencia de años con precipitación por debajo del promedio. Durante el periodo de 1980 al 2000, se contabilizaron 9 años con precipitación inferior a la media, lo que se conoce como sequía. En cambio, del año 2000 al 2019, este número aumentó a 13 años con condiciones de sequía. Esta observación subraya una tendencia que debe ser monitoreada de cerca, ya que podría tener implicaciones significativas para la disponibilidad de recursos hídricos en 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

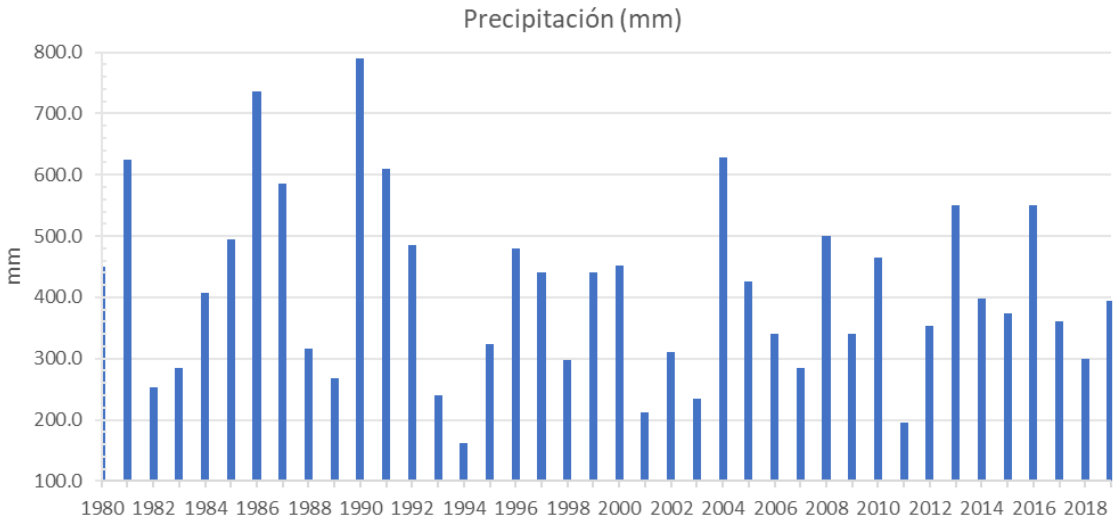


Figura 22. Distribución temporal de precipitación acumulada anual en mm. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020).

Durante el periodo de 1986 a 2013 en Chihuahua, el estudio de la precipitación acumulada en 24 horas y el número de días con lluvia revela patrones climáticos notables (Figura 23). Destacando, la precipitación acumulada registrada en este lapso corresponde a la famosa tromba de 1990, donde se acumularon 100.5 mm en un solo día. Esto refleja que el tipo de tormenta en la región es de alta intensidad y corta duración, ya que en un día puede presentarse el acumulado al 30% de la lluvia anual, lo que conlleva a que sea desfavorable a la infiltración y por ende a la recarga de los acuíferos, así mismo a mayor vulnerabilidad de la población a sus pertenencias y su propia existencia.

Se evidencia una variabilidad anual en el número de días con lluvia. El año 2009 se distingue por alcanzar 87 días de lluvia, mientras que 1994 y 2001 muestran cifras comparativamente bajas, con 36 y 43 días respectivamente. Esta variabilidad, a su vez, puede influir en la saturación del suelo y la recarga de acuíferos, elementos cruciales para la gestión hídrica en la región.

No se establece una correlación directa entre la cantidad de días con lluvia y la magnitud de la precipitación máxima en 24 horas. Un ejemplo paradigmático es el año 2004, que, a pesar de ostentar la mayor precipitación máxima, no registró la mayor cantidad de días con lluvia. No obstante, emerge como un año de eventos climáticos extremos, caracterizado por una alta precipitación total anual, la segunda máxima precipitación en 24 horas y un elevado número de días con lluvia.

El análisis revela una correlación positiva fuerte de 0.77 (coeficiente de Pearson= 0.77) [(22)] entre la precipitación total anual y la precipitación máxima en 24 horas. Esta información sugiere que años con niveles elevados de precipitación total anual tienden a experimentar eventos de

lluvias intensas en un periodo de 24 horas, subrayando la importancia de considerar estas relaciones en la planificación y gestión de recursos hídricos en la región de Chihuahua.

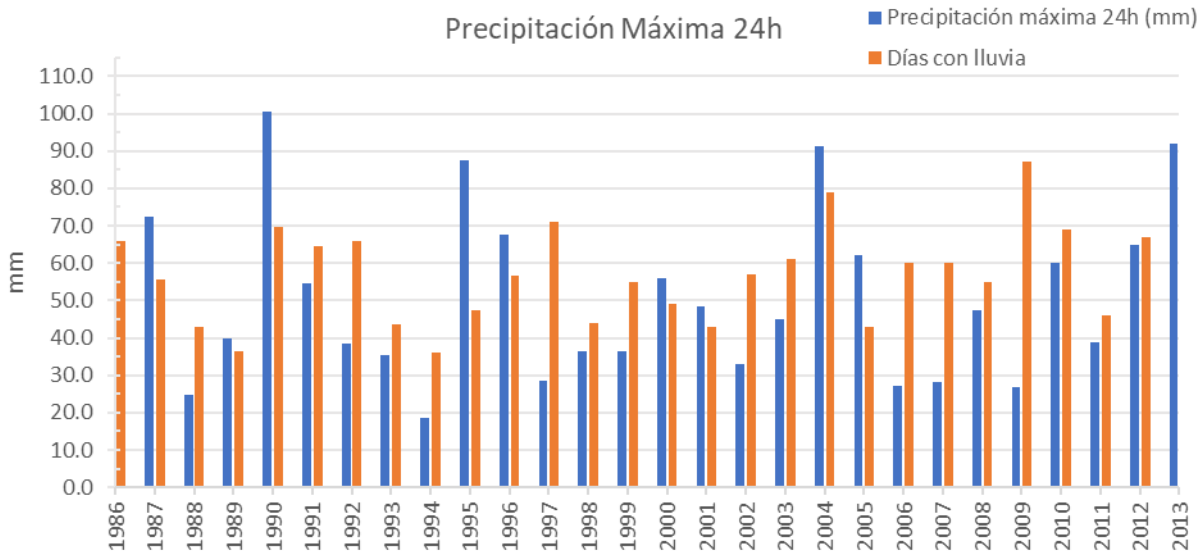


Figura 23. Precipitación máxima acumulada en 24 h en mm. Elaborado por el IMPLAN con datos de CONAGUA (2020).

4.3. Variabilidad Climática Estacional

La variación mensual en las condiciones climáticas es esencial para comprender la dinámica atmosférica a lo largo del año. En el análisis detallado de los datos recopilados, se observan patrones distintivos en la precipitación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa en la ciudad de Chihuahua como se puede observar en la Tabla 5. Cada mes presenta características únicas que influyen en diversos aspectos de la vida cotidiana, desde la gestión de recursos hídricos hasta la planificación agrícola.

Tabla 5. Variación mensual de diversas características climáticas. Elaborada por el IMPLAN con datos proporcionados por CONAGUA (2019).

Variable	Mes												Total anual / promedio
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Precipitacion (mm)	8.6	5.2	5.2	8.0	16.2	37.6	102.5	100.1	79.0	25.7	9.5	9.7	407.5
Temperatura media (°C)	9.2	11.7	14.9	19.0	22.8	26.1	25.0	23.9	22.0	18.3	13.4	10.0	18.0
Temperatura máxima (°C)	8.7	11.1	14.3	18.3	22.2	25.5	24.5	23.5	21.7	18.1	13.4	9.8	17.6
Temperatura mínima (°C)	-4.9	-2.9	-0.4	3.6	8.5	14.2	15.8	14.8	11.1	4.5	-1.0	-4.6	4.9
Rapidez del viento media (km/h)	2.0	2.3	2.8	2.8	2.8	2.3	2.4	2.5	1.9	2.0	1.9	2.3	2.3
Rapidez del viento máxima (km/h)	2.9	4.8	5.0	4.7	4.1	3.9	4.4	8.0	3.4	3.1	3.8	5.4	4.5
Rapidez del viento mínima (km/h)	1.4	0.0	1.5	1.7	1.8	1.1	1.0	0.8	0.9	0.8	1.2	1.0	1.1
Humedad relativa (%)	47.8	38.4	31.5	27.1	26.7	34.3	51.9	57.8	60.1	52.7	54.1	50.2	44.4

Nota: El rango de años utilizados para la temperatura fue de 1960 a 2019, debido a que se cuenta con una mayor cantidad de información.

Nota: El rango de años utilizados para la rapidez del viento fue del 2008 a 2020, debido a solamente se cuenta con información de esta variable para este rango de años de la estación Observatorio.

Nota: El rango de años utilizados para la humedad relativa fue del 2010 a 2019, debido a solamente se cuenta con información de esta variable para este rango de años de la estación Observatorio.

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. En cuanto a la velocidad del viento, se observa una relativa estabilidad a lo largo del año, con valores generalmente bajos. Marzo y agosto destacan con las velocidades medias más altas, aunque en términos generales, las velocidades se mantienen moderadas. La rapidez máxima del viento varía a lo largo del año, siendo más pronunciada en agosto, evidenciando una estacionalidad en la intensidad del viento, especialmente en agosto y julio, cuando se registran las velocidades máximas más elevadas. 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.

4.4. Cambio Climático

México como en específico, el Municipio y la Ciudad de Chihuahua es particularmente vulnerable al cambio climático por su posición geográfica y las condiciones socioeconómicas de su población. Es prioritario entender las amenazas que enfrentan la población, las actividades económicas, la infraestructura y el sistema natural [(23)]. El municipio de Chihuahua presenta condiciones de alta vulnerabilidad ante el cambio climático, dadas sus características geográficas, como su latitud, relieve y localización [(24)]. Las sequías, temperaturas extremas y lluvias torrenciales han ocasionado graves pérdidas.

Esos eventos ponen en riesgo la vida de la población, su bienestar y patrimonio; comprometen la conservación de los ecosistemas, su biodiversidad y los servicios que estos proveen; también limitan las oportunidades de desarrollo en el corto y mediano plazo [(25)].

Así mismo, el impacto agregado de los eventos extremos, resultado del cambio climático, puede intensificar otros problemas ambientales sociales, como el cambio del uso de suelo, la forma y estructura de los asentamientos urbanos, los procesos productivos o el estado de los ecosistemas ([(24)]. Se proyecta que los impactos del cambio climático se distribuirán de una manera heterogénea en México, debido a los distintos tipos de clima, la distribución de los recursos naturales, la infraestructura instalada, el desarrollo económico y la concentración demográfica [(23)].

El constante crecimiento de la población y el gran desarrollo que en los últimos años ha experimentado el municipio de Chihuahua, inciden en la generación de problemas medioambientales y urbanos como la contaminación atmosférica, la generación de basura y una mayor demanda de agua, entre otros que, aunados al desequilibrio ecológico y deterioro ambiental, propician condiciones que obligadamente conducen hacia un futuro en el que se avizora una creciente demanda de recursos naturales y el consecuente deterioro de éstos; una insuficiente creación de oportunidades productivas, así como la incapacidad para satisfacer la demanda de infraestructura, equipamiento y servicios.

La ciudad de Chihuahua ha mostrado un acelerado crecimiento demográfico que se ha traducido en un rápido y desordenado proceso de urbanización. El crecimiento del área urbana ha sido acelerado sobre todo a partir de la década de los noventa. Un crecimiento acelerado ha llevado a una urbanización desordenada y una baja densidad de población, lo que aumenta el consumo de combustibles fósiles y cambia el uso de suelo. Crecimiento de 3,815 ha a 19,024 ha entre 1970 y 2005, con una disminución de la densidad de población de 67.35 a 37.51 habitantes/ha [(3)].

Esta dispersión se traduce en la falta de consolidación urbana y la existencia de grandes espacios vacíos al interior de la ciudad, condición que se calcula asciende al 15 % del área urbana total, es

decir, poco más de 3 mil 900 hectáreas [3]. Este modelo de desarrollo disperso trae consigo altos costos e ineficiencia en el funcionamiento de los diferentes sistemas urbanos (movilidad, equipamiento, infraestructura, espacio público, entre otros) y repercute de manera directa en el incremento de consumo de combustibles fósiles utilizados para el transporte y la prestación de los servicios públicos, así como en el cambio de uso de suelo de reserva ecológica a urbano.

El abastecimiento de agua para consumo humano de la ciudad de Chihuahua presenta serios problemas ya que es mayor el volumen de agua que se extrae de los acuíferos que el que logra recuperarse vía la recarga de éstos. Las corrientes de agua más sobresalientes son los ríos Chuvíscar y Sacramento, mismos que la contaminación y deforestación han degradado a niveles preocupantes. 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 deterioro en general de su cauce. Las tres presas ubicadas en la zona urbana están en inminentes posibilidades de contaminación por instalaciones agropecuarias y por asentamientos humanos localizados aguas arriba del río Chuviscar, sobre vertientes dirigidas a los vasos de las presas.

Del agua que precipita sobre el territorio, prácticamente el 50% escurre fuera de la cuenca por la Boquilla de Aldama, sólo un poco más del 3% es el volumen máximo que se retiene en las presas aproximadamente un 8 % se infiltra y llega al acuífero, y el 40% restante se evapora o es absorbido por la vegetación y el suelo superficial. De primordial importancia resulta la construcción de infraestructura tanto urbana como rural, que favorezca la retención de las aguas pluviales y posibilite una mayor recarga de los acuíferos, actualmente sobreexplotados [3].

Dada la variabilidad en los datos de precipitación anual utilizado en el capítulo 2.7.2 resulta relevante relacionar esta información con la clasificación estándar de sequías según su intensidad (Tabla 6).

Tabla 6. Categorías de intensidad de sequía del Monitor Norteamericano de Sequía. Fuente: MOSEMM [26].

Rango	Clave	Categoría
-0.8 < SI ≤ -0.5	D0	Anormalmente seco
-1.3 < SI ≤ -0.8	D1	Sequía moderada
-1.6 < SI ≤ -1.3	D2	Sequía severa
-2.0 < SI ≤ -1.6	D3	Sequía extrema
SI ≤ -2.0	D4	Sequía excepcional

Nota: SI es el índice estandarizado de sequía, evalua la diferencia que existe entre los valores de la variable analizada y la condición considerada como “normal” en una muestra normalizada.

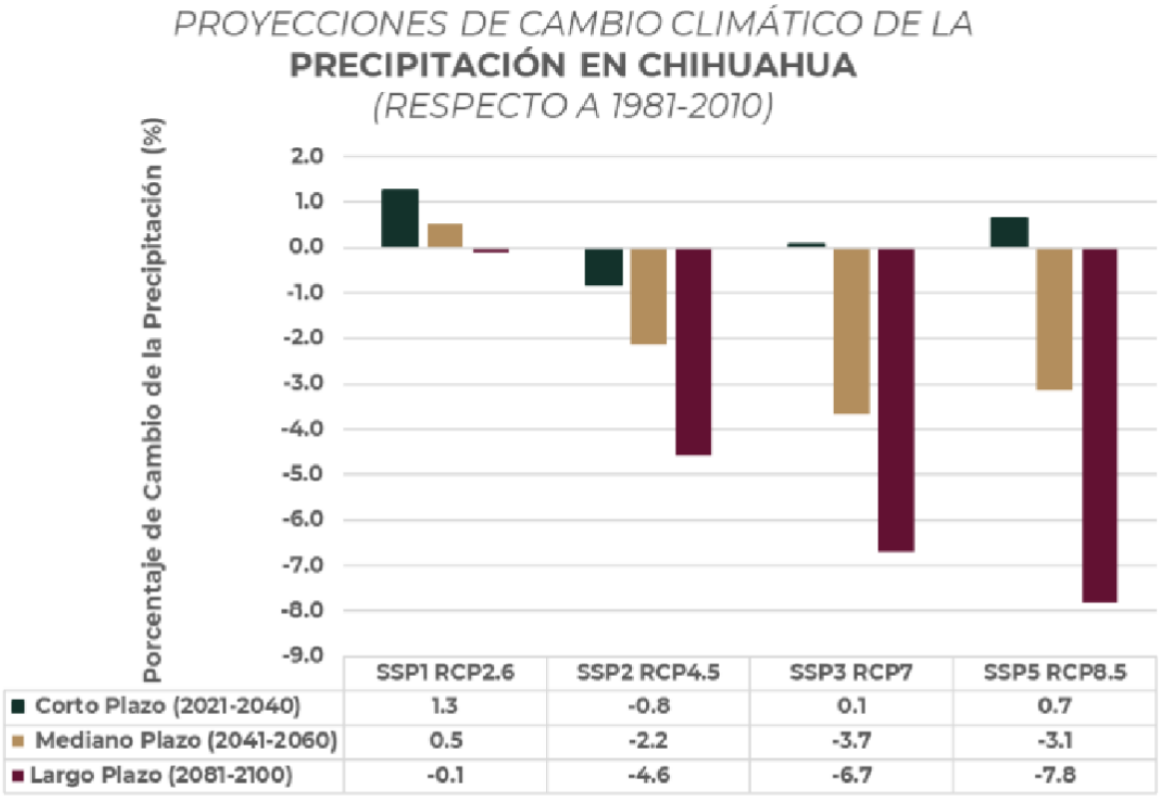
Eventos prolongados de precipitación significativamente menor que el promedio, como los experimentados en 1982, 1994 y 2001, podrían haber llevado a clasificar estos años como sequía extrema. La escasez generalizada de agua podría haber resultado en restricciones más severas en el uso del agua.

La ausencia de precipitación durante periodos prolongados, como se evidencia en 1982 y 1994, podría ser considerada como sequía excepcional. Pérdidas excepcionales en cultivos y pastizales, junto con escasez crítica de agua, podrían haber requerido medidas de emergencia en la restricción del uso del agua.

Relacionando estos datos con la clasificación de sequías, se destaca la presencia de condiciones secas y sequías moderadas a excepcionales en varios años específicos. Esto subraya la importancia de monitorear y gestionar eficientemente los recursos hídricos en Chihuahua, especialmente durante años que presentan patrones de precipitación por debajo del promedio.

De acuerdo con SEMARNAT Y el INECC el municipio de Chihuahua se encuentra vulnerabilidad media al cambio climático en lo que corresponde a la producción forrajera ante el estrés hídrico por lo que es necesario determinar planes de contingencia para la sequía. También se encuentra en una vulnerabilidad media de la producción ganadera extensiva a inundaciones, a deslaves, inundaciones.

De acuerdo con las proyecciones de cambio climático desarrollado para el estado de Chihuahua, por SEMARNAT y el INECC se observan las proyecciones a futuro de cuatro escenarios de cambio climático en tres periodos de tiempo (Figura 24). Cada uno de ellos muestra una representación plausible de cómo podrían ser las condiciones a futuro si se cumplen ciertas consideraciones. En los mapas se representa el escenario más pesimista (SSP5 RCP8.5) a largo plazo (2081-2100) [27].



	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
Corto Plazo (2021-2040)	1.3	-0.8	0.1	0.7
Mediano Plazo (2041-2060)	0.5	-2.2	-3.7	-3.1
Largo Plazo (2081-2100)	-0.1	-4.6	-6.7	-7.8

Figura 24. Proyecciones de cambio climático de la precipitación en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC [27].

Las proyecciones de la precipitación muestran en el escenario más favorable (SSP1 RCP 2.6) una ligera variación de la precipitación en los diferentes periodos, mientras que en el escenario más pesimista (SSP5 RCP 8.5) tiene un ligero incremento en el corto plazo, y una disminución gradual de la precipitación en el mediano y largo plazo hasta llegar a 7.8% por debajo con respecto a 1981-2010.

En la Figura 25 se observa que la disminución de la precipitación para el municipio de Chihuahua va del orden de 5 a 7%.

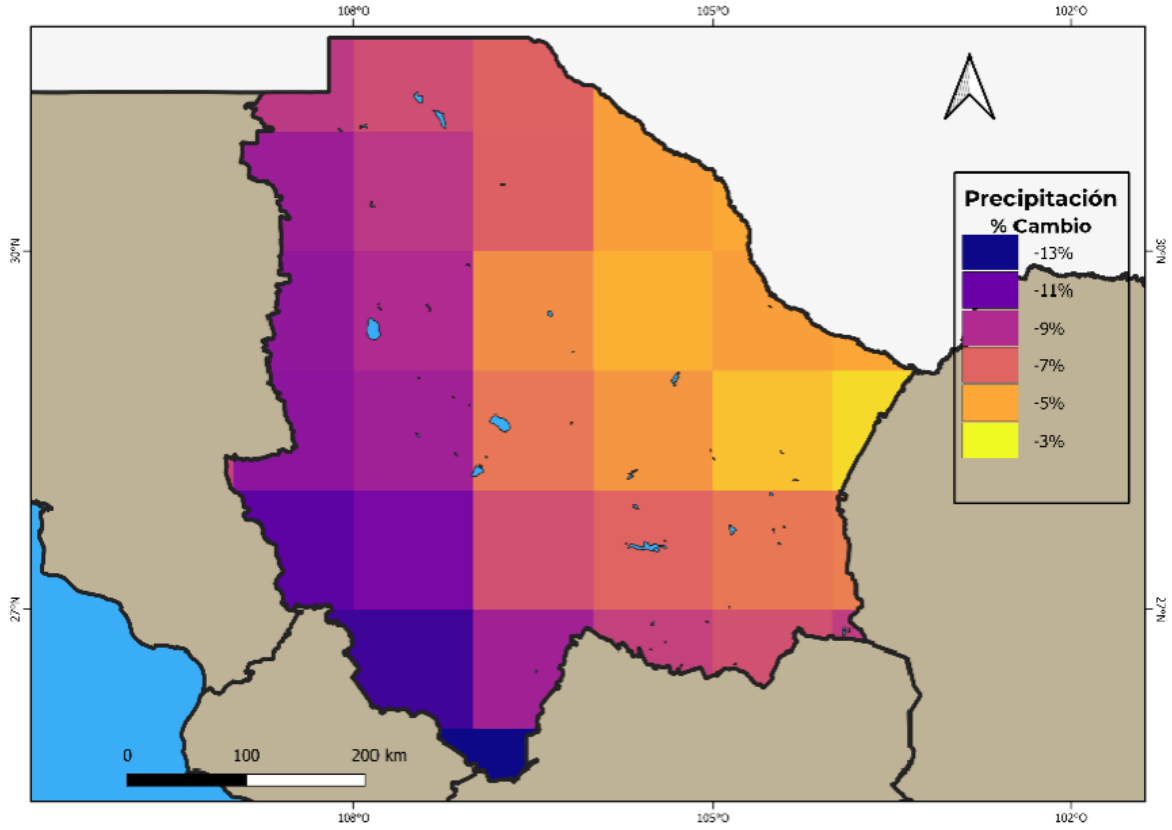


Figura 25. Proyecciones de cambio de porcentaje de la precipitación en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC [27].

Las proyecciones de la temperatura para el estado de Chihuahua muestran en todos los escenarios de cambio climático un incremento gradual de la temperatura (Figura 26) que va de 1.2 a 1.6°C en el escenario más favorable (SSP1 RCP2.6), y de 1.4 a 5.4°C en el escenario más pesimista (SSP5 RCP8.5).

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

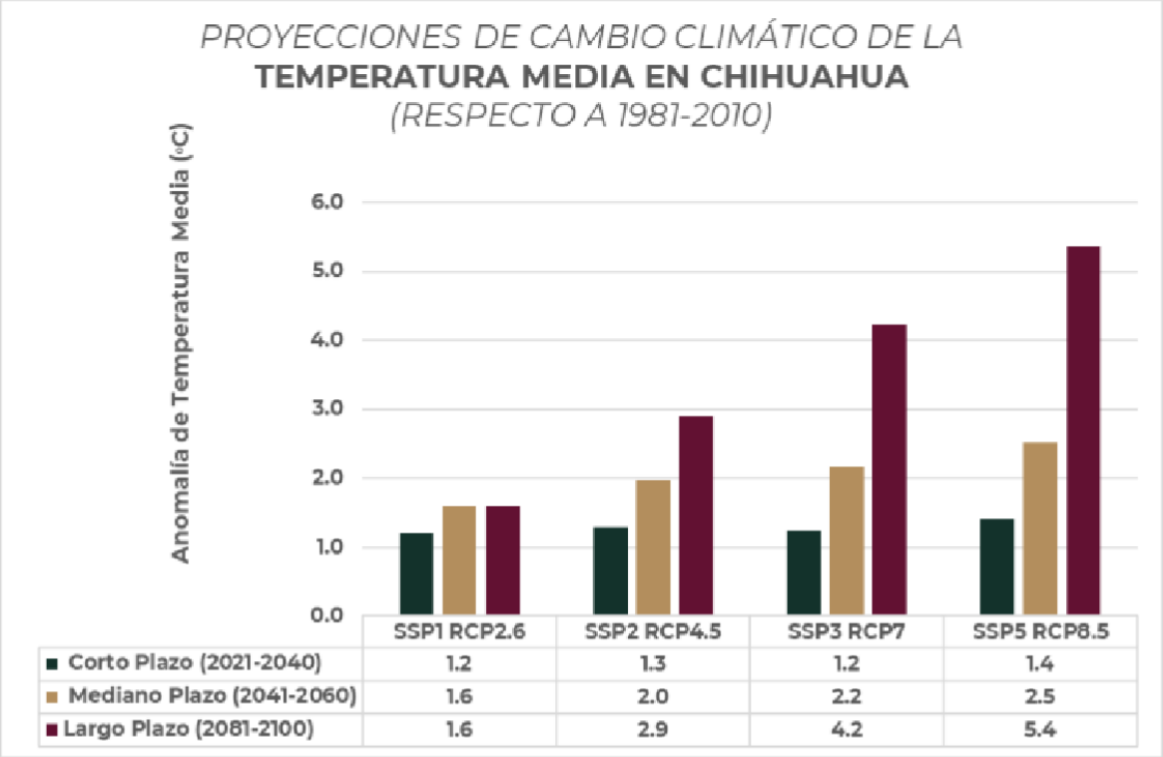


Figura 26. Proyecciones de cambio climático de la temperatura en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC [27].

En la Figura 27 se puede observar el mayor incremento de la temperatura en el municipio de Chihuahua va de los 5.2 a 5.4°C para la proyección más pesimista.

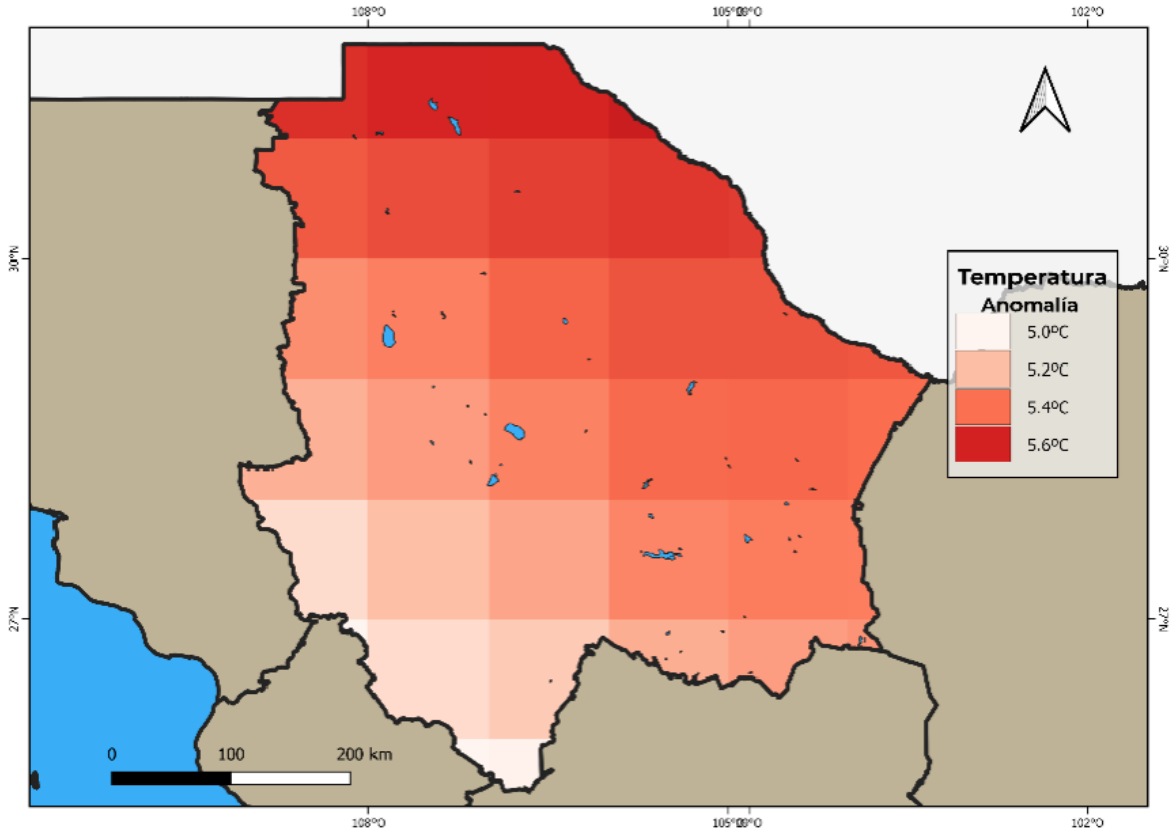


Figura 27. Proyecciones de cambio de porcentaje de la temperatura en Chihuahua. Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPC [27].

La ciudad de Chihuahua ha experimentado ondas extremas de calor y frío similares a las observadas en otras partes del mundo. Estos fenómenos están influenciados por factores como el crecimiento demográfico, el desarrollo de infraestructura urbana, y los cambios en el uso del suelo urbano y periurbano.

Las ondas de calor se han vuelto más intensas debido al aumento de las temperaturas máximas. Las ondas frías, diferenciados de las heladas locales, afectan una gran parte de la atmósfera urbana y están asociados con altas presiones atmosféricas y variabilidad en las temperaturas [28]. Tienen impactos significativos en la salud humana, infraestructura física y producción sectorial.

Debido a la presencia de estos cambios de temperatura es importante resaltar la función que cumplen las áreas verdes, tales como: purificación del aire, conservación del agua y el suelo, mitigación del efecto "islas de calor", por citar algunos. Actualmente en la Ciudad ed Chihuahua cuenta con aproximadamente 785 hectáreas de espacios públicos en la ciudad, conformados por 1,611 parques (sin incluir plazas, jardines, ni camellones, etc) [3]. Con base en esta información, la

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

ciudad de Chihuahua presenta un déficit bastante considerable de este tipo de áreas, comparada con otras ciudades en el mundo.

Es importante mencionar que estas áreas verdes se encuentran dispersas en toda la zona urbana, lo que resulta en una ineficiente red de espacios públicos; y si a ello se le suma el uso de vegetación inadecuada, las condiciones del clima y la escasez de agua en Chihuahua, se tiene como resultado altos costos de mantenimiento para la administración pública; condición que se agrava al observar que muchas de éstas deben ser regadas por medio de pipas, toda vez que la red de agua tratada es muy limitada en su distribución. Se indica también que no existe una política de incentivos lo suficientemente efectiva por parte de la autoridad para propiciar que la ciudadanía participe de forma activa en programas de mantenimiento de los espacios vecinales, por lo que no se ha logrado fortalecer la cultura de mantenimiento por parte de los usuarios de las áreas verdes [(3)].

La principal fuente de contaminación atmosférica en la ciudad es la causada por las fuentes móviles (transporte), ya que el parque vehicular hasta el 2018, según el INEGI, es de 541 mil vehículos, lo que representa una tasa de motorización del orden de 0.6 automóviles por habitante (uno por cada dos personas). Destaca que solo el 16.5% de los viajes realizados en la ciudad se hace en transporte público colectivo, cifra que coloca a Chihuahua en una situación sin referente a nivel nacional ya que el promedio de viajes de trasporte público en el país oscila entre el 50 y el 60 % [(3)].

El principal problema de contaminación del suelo lo constituyen los residuos que provienen de casas habitación, de actividades de servicios públicos y privados, de construcciones y demoliciones o de establecimientos comerciales, así como de la actividad industrial. Los residuos generan problemas como: la proliferación de fauna nociva, malos olores, deterioro de la imagen urbana y el riesgo latente de contaminación de los acuíferos superficiales y subterráneos. Es éste, el tema de mayor sensibilidad en la ciudadanía, ya que es en este rubro donde más denuncias se atienden por parte de las autoridades municipales. Estas denuncias refieren, desde depósitos ilegales de escombro hasta tiraderos clandestinos de basura domiciliaria.

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

5. Referencias

1. 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/.
2. Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico; Centro de Información Económica y Social (CIES). Perfil Económico 2023 Región Chihuahua. Chihuahua:; 2023.
3. H. AYUNTAMIENTO de CHIHUAHUA. PLAN DE ACCION CLIMATICA MUNICIPAL (PACMUN®) MUNICIPIO DE CHIHUAHUA 2019. Chihuahua:; 2019.
4. 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.
5. Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua. Plan Sectorial de Agua Pluvial en la Ciudad de Chihuahua. Diagnóstico. Chihuahua:; 2009.
6. Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua (IMPLAN). Plan de Desarrollo Urbano 2040. Chihuahua:; 2009.
7. 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.
8. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Guía para la Interpretación de Cartografía - Edafología. INEGI; 2004.
9. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Conociendo México, Sexta edición. Aguascalientes:; 2016.
10. SEMARNAT. Informe del Medio Ambiente. [Online]. [cited 2023 12 11. Available from: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap6.html.
11. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Atlas del Agua en México. Ciudad de México:; 2018.
12. 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.

13. Diario Oficial de la Federación (DOF). Segunda Sección Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Online].; 2001 [cited 2023 12 11. Available from: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=756719&fecha=05/12/2001#gsc.tab=0.

14. Gleick PH. The World's Water 2002-2003: The Biennial Report on Freshwater Resources: Island Press. Washington D.C.:; 2002.

15. CONAGUA. Estadísticas del Agua en México. ; 2019.

16. CONAGUA. Actualización de da Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2020.

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. CONAGUA. Actualización de la Disponibilidad Media Anual De Agua en el Acuífero El Sauz Encinillas (0807), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2020.

19. CONAGUA. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), Estado de Chihuahua. Ciudad de México:; 2020.

20. García, E.; CONABIO. Climas, clasificación KOPPEN, modificadas por García. México:; 1988.

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

22. Chacón-Lizarazo O, Bermudez V, Hernández-Lalinde J, Espinosa-Castro J, Peñaloza M, Díaz E, et al. obre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: verificación de supuestos mediante un ejemplo aplicado a las ciencias de la salud. 2019; 37(10).

23. INECC. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático ; 2019.

24. SEMARNAT-INECC. Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Comisión Intersecretarial de Cambio Climático; 2012.

25. CEPAL-IAI. Respuestas urbanas al cambio climático en America Latina. Santiago de Chile: Naciones Unidas; 2013.

26. Gobierno de México. Monitor Mesoamericano de Sequía. [Online]. [cited 2023 12 11. Available from: http://galileo.imta.mx/Sequias/moseq/marcoteoricoGob.html.

27. SEMARNAT-INECC. Proyecciones de cambio climático y descarga de fichas climáticas por estado. [Online]. [cited 2023 12 11. Available from: https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/Proyecciones/P_08.html.

28. Martinez AI. Indicadores base de adaptación al cambio climático en la ciudad de Chihuahua. 2022..

29. Gutiérrez M, Reyes-Gómez V, Alarcón-Herrera MT, Núñez-López D. Acuíferos en Chihuahua: estudios sobre. Tecnociencia Chihuahua. 2016 Mayo-Agosto; X(2): 7.