

PROYECTO

ORDENAMIENTO HÍDRICO COLABORATIVO DE LA CUENCA DE MÉXICO Y SU ENTORNO

CLAVE: 322638

PRODUCTO 1:

**ESTUDIO IDENTIFICANDO PRINCIPALES VULNERABILIDADES EN LOS
SISTEMAS DE SUMINISTRO Y DE DESAGÜE DE LA CUENCA DE MÉXICO,
CON RECOMENDACIONES (AÑO 1).**

11 DE DICIEMBRE DE 2023

1. Índice

1	INTRODUCCIÓN	15
1.1	El problema del agua en el Valle de México	15
1.1.1	Perspectivas locales sobre el abastecimiento de agua	17
1.2	Objetivo de investigación	22
1.2.1	Objetivo general de investigación.	22
1.2.2	Meta general de investigación.	22
1.3	Metodología transdisciplinaria planteada.	23
2	ANTECEDENTES	25
2.1	Breve historia del abastecimiento de agua al Valle de México	25
2.1.1	Introducción	25
2.2	Evolución geológica e hidrología del Valle de la Cuenca de México	26
2.2.1	Pueblos originarios en la gestión hídrica de la cuenca hasta el s. XVI	27
2.2.2	La presión urbana en el abastecimiento del agua	35
2.2.3	Conclusiones:	37
2.3	Desarrollo sostenible y sustentabilidad hídrica	40
2.4	Derecho humano al agua y políticas hídricas	44
2.4.1	1 derecho humano al agua y normativa	44
2.5	Políticas hídricas en la ZMVM	47
2.6	Gobernanza del agua en el Valle de México	49
2.7	Programa general de ordenamiento territorial de la ciudad de México	53
2.7.1	Desalojo de aguas residuales PGOT 2023:	58
2.8	Plan estatal de desarrollo urbano del Estado de México	60
2.8.1	Introducción:	60
2.8.2	Hidrología Estatal	60
2.8.3	Regiones Hidrológicas estatales	61
2.8.4	Cuenca Río Moctezuma	62
2.8.5	RH18 Balsas -Cuenca Río Cutzamala	63
2.8.6	Sistema de lagos	64
2.8.7	Lago de Zumpango:	66

2.8.8 Lago Dr. Nabor Carrillo:	66
2.8.9 Infraestructura de drenaje del Valle de México	67
3 ZONA DE ESTUDIO	68
3.1 Zona Metropolitana del Valle de México	68
3.2 Cuenca del Valle de México y su entorno	71
3.3 Núcleos para el desarrollo de contralorías del agua	73
3.3.1 Proceso de análisis de la información disponible para el nodo Xochimilco	80
3.3.2 Nodo Texcoco	85
3.3.3 Nodo Tula	89
3.4 Fisiografía de la zona de estudio	98
3.4.1 RECOMENDACIONES	105
3.4.2 Zonificación geotécnica	106
3.4.3 Fallas geológicas y grietas	108
3.4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
3.5 Hidrología de la zona de estudio	111
3.6 Geohidrología de la zona de estudio	117
3.6.1 Unidades hidrogeológicas	118
3.6.2 Zonas hidrogeológicas	118
3.6.3 Elevación del nivel estático	119
3.6.4 Profundidad del nivel estático	120
4 DEMANDA DE AGUA	121
4.1 Continuidad urbana de la ZMVM	121
4.1.1 Crecimiento poblacional de la ZMVM.	121
4.1.2 Crecimiento de la infraestructura hidráulica.	123
4.2 Población de la ZMVM	124
4.3 Usos de agua	126
4.3.1 Agua superficial	129
4.3.2 Agua subterránea	130
5 FUENTES DE ABASTECIMIENTO	131
6 SUMINISTRO DE AGUA	139

6.1	Suministro de Agua en la zona Metropolitana del Valle de México	139
6.2	Déficit en el abastecimiento	146
7	SISTEMA DE DRENAJE	148
7.1	SISTEMA DE DRENAJE DE LA CUENCA DE MÉXICO	148
7.2	Gran Canal de Desagüe	148
7.3	Subsistema Poniente	150
7.4	Sistema Drenaje profundo	151
7.5	Cuerpos de regulación	155
7.6	Plantas de tratamiento	155
7.7	Salidas artificiales	157
8	VULNERABILIDAD EN ABASTECIMIENTO	159
8.1	Calidad del agua superficial	159
8.2	Calidad del agua subterránea	166
8.3	Hundimiento del suelo	283
8.4	Vulnerabilidad en los sistemas de abastecimiento de agua potable	286
9	Cambio de paradigma	294
10	Pronostico con inteligencia artificial	297
10.1	Cambio climático	297
10.2	Ánálisis de sequías	299
11	Conclusiones y recomendaciones	300
12	Bibliografía	304

Figuras

<i>Figura 1. Mapa de realización propia. La ZMCM es parte de una zona volcánica con erupciones acontecidas en diversas fases, CITATION San05 \l 2058 (Santoyo, 2005).....</i>	26
<i>Figura 2. Mapa de realización propia, modelo tridimensional de la cuenca, fondo de imagen satelital, nos da una idea del total de agua en la zona de captación y actual Zona Metropolitana.....</i>	27
<i>Figura 3. Mapa de elaboración propia La Cuenca de México está delimitada por distintas sierras de mayor y menor</i>	28
<i>Figura 4. Imagen de realización propia del sistema de precipitación, escurrimiento y captación de agua en las distintas conformaciones geológicas</i>	28
<i>Figura 5. Mapa de elaboración propia La Cuenca de México está delimitada hacia el nivel 2240.....</i>	29
<i>Figura 6. Thomas Filsinger. Recreación de la composición urbana y gestión de los lagos en el tiempo prehispánico del lago de México y Texcoco.....</i>	29
<i>Figura 7. De izquierda a derecha, El acueducto de Chapultepec a Tenochtitlan desde 1381 proveyó de agua a la ciudad según Teresa Robles.....</i>	30
<i>Figura 8. Fuente Salto del agua. AGN. Construcción de Acueducto Xochimilco aproximadamente en 1908.....</i>	32
<i>Figura 9. Autor desconocido. AGN. Construcción de Acueducto Xochimilco aproximadamente en 1908</i>	34
<i>Figura 10. Comparación de un antiguo canal de la Ciudad de México urbanizado en la actualidad.....</i>	35
<i>Figura 11. Foto de Tajo de Nochistongo, primeras obras de expulsión de las aguas de los lagos por el norte de la ciudad.....</i>	36
<i>Figura 12. Foto de las obras más recientes del TEO (Túnel Emisor Oriente) actual estrategia para el control de las inundaciones y desagüe residual.....</i>	36
<i>Figura 13. Afectaciones por los desbordamientos de 2021 en Tula Fuente René: Nodo Tula</i>	37
<i>Figura 14. Mapa de elaboración propia con el Sistema de Desagüe de la Zona Metropolitana, a la derecha, un acercamiento a la salida del drenaje por la Planta de Atotonilco hacia Tula del agua residual de la ciudad.....</i>	37
<i>Figura 15. la lucha por el agua en un contexto social de los pueblos, arriba las mujeres Mazahuas, 'grupo inconforme con las obras del Cutzamala.Imagen 17 web, la lucha por el agua en un contexto social de los pueblos en la actualidad en Xochimilco.....</i>	39
<i>Figura 16. Mapa de realización propia con ubicación de subcuencas nodos, cuerpos de agua, red de trasvase de agua desde la región Lerma-Cutzamala y áreas naturales protegidas. https://ceiba.org.mx/compendio-infografica-rhaxiii/.....</i>	53
<i>Figura 17. de realización propia. El río de los remedios, el Magdalena y el Eslava dan cuenta de la persistencia e incremento de descargas clandestinas de aguas servidas y residuos sólidos de todo tipo, el Canal Nacional y el Gran Canal han sido focos tóxicos durante décadas, con concentraciones de metales pesados, hidrocarburos y dioxinas, entre otros. Las lagunas y presas de regulación de la CDMX están azolvadas y con procesos acelerados de eutrofización por el exceso de materia orgánica y altas concentraciones de nitratos y nitritos, además de los desechos sólidos, cuya toxicidad no se mide".</i>	

Figura 18. Mapa de realización propia con ubicación de subcuencas nodos, cuerpos de agua, red de trasvase de agua desde la región Lerma-Cutzamala y áreas naturales protegidas. https://ceiba.org.mx/compendio-info-grafica-rhaxiii/	53
Figura 19. de realización propia. El río de los remedios, el Magdalena y el Eslava dan cuenta de la persistencia e incremento de descargas clandestinas de aguas servidas y residuos sólidos de todo tipo, el Canal Nacional y el Gran Canal.....	54
Figura 20. de realización propia. La Presa San Lucas en Xochimilco recibe los residuos contaminados del Río Santiago “El mal uso del agua agudiza el déficit en la distribución adecuada en calidad y cantidad en amplios sectores del oriente de la ciudad.” CITATION IPD22 \l 2058 (IPDP, 2022).....	54
Figura 21. de elaboración propia. Infraestructuras hidráulicas con más de 100 años de antigüedad que sufren la vulnerabilidad territorial de los impactos de sísmicos en Xochimilco. La red ha sufrido cambios para adaptarse a la nueva necesidad sin embargo estos espacios actualmente están inutilizados.....	56
Figura 22. Mapa de elaboración propia. CDMX en el contexto del drenaje y obras de control de inundaciones con la extensión de los antiguos lagos, permite comprender la ubicación de los nodos con respecto al suelo lacustre	58
Figura 23. Mapa de elaboración propia con información PGOT sobre dotación de agua doméstica por alcaldía .	59
Figura 24. RH12 Lerma-Santiago	61
Figura 25. Mapa sustraído de PEDU 2019. Cuencas que corresponden con el Estado de México.....	62
Figura 26. Mapa sustraído de PEDU 2019. Cuencas que corresponden con el Estado de México.....	63
Figura 27. Mapa sustraído de CONAGUA. Sistema de humedales o Ciénegas que corresponden con la Cuenca del Río Lerma	64
Figura 28. Mapa de elaboración propia. Cuerpo de agua de Zumpango al centro norte del Estado.....	66
Figura 29. Mapa de elaboración propia. Lago Dr Nabor Carrillo, oeste de Texcoco, con los ríos que desembocan y las áreas disponibles de inundación, de alta factibilidad para la gestión hídrica de la metrópolis	67
Figura 30. de elaboración propia. Sistema Lerma-Cutzamala con cuerpos de agua y subcuencas que lo conforman. Las zonas de área natural (ANP) tienen un vínculo directo con el sistema del Gran Canal de Desagüe, el Drenaje Profundo y el TEO,.....	68
Figura 31. Zona Metropolitana del Valle de México	69
Figura 32. Entidades federativas de la Cuenca de Valle de México.	72
Figura 33. Mapa de nodos con regiones hidrológicas, obras de trasvase, ubicación de nodos, antiguos cuerpos de agua histórico en la Cuenca de México	74
Figura 34 y Figura 35 elaboración propia. Modelo de la Cuenca con la cota de elevación 2240 como nivel general de los lagos.	75
Figura 36. Mapa de elaboración propia con información de dotación de agua y uso doméstico en Xochimilco.	76
Figura 37. Mapa de elaboración propia con información INEGI, capa de hundimientos en el suelo de los antiguos lagos de la cuenca, escurrimientos y zonas urbanas en Xochimilco actuales.....	77

<i>Figura 38. Mapa de elaboración propia con información de dotación de agua y uso doméstico en Xochimilco, esta es la alcaldía que el menor volumen de agua de uso doméstico con un 7 % del total de agua recibida, también en la escala de la ciudad la zona sur de la ciudad es de las que recibe menor cantidad de agua</i>	80
<i>Figura 39. Mapa de elaboración propia de Xochimilco.....</i>	82
<i>Figura 40. Mapa de elaboración propia con información de densidad poblacional del nodo Xochimilco.....</i>	82
<i>Figura 41 . Superior mapa de elaboración propia con información filtrada de INEGI, SIG-CDMX, PAOT, entre otras. En la imagen de abajo se realizó una impresión para su difusión entre la comunidad interesada de Xochimilco .</i>	84
<i>Figura 42. Mapa de elaboración propia con información de INEGI, Lago de Texcoco con los cauces de sus 9 ríos. Papalotla, Xalapango, San Juan, Cozcacuaco, Texcoco sur, Santa Mónica, Chapingo, Coatepec, varios de estos modificados hidrológicamente con el proyecto de NAIM</i>	86
<i>Figura 43. Mapa de la descarga en el Río Tula, por Atotonilco y Río Salado con polígonos de subcuencas</i>	90
<i>Figura 44. Fotografía de la reunión con los participantes del nodo Tula</i>	91
<i>Figura 45. Mapa digitalizado de los canales de riego que desbordan en Río Tula.....</i>	94
<i>Figura 46. Mapa de elaboración propia con información de INEGI de la alcaldía Tláhuac con cuerpos de agua, escurrimientos, zona urbana y las obras de drenaje que desalojan las aguas residuales</i>	97
<i>Figura 47. Mapa de elaboración propia con información de INEGI de la alcaldía Tláhuac con cuerpos de agua, escurrimientos, zona urbana y las obras de drenaje que desalojan las aguas residuales</i>	98
<i>Figura 48. Tipos de falla; a) normal y b) inversa (GeologiaWeb, 2023).....</i>	102
<i>Figura 49. Emersión de ademe de pozo (2011) en San Juan de Aragón, Ciudad de México.....</i>	102
<i>Figura 50. Grieta típica en zona plana (E, Santoyo 2011).</i>	103
<i>Figura 51. Distribución de hundimientos anuales entre 1991 y 2007 en la catedral de la Ciudad de México (E, Santoyo 2011).</i>	104
<i>Figura 52. Mapa de zonificación geotécnica (Gaceta oficial de la Ciudad de México, 2017)</i>	108
<i>Figura 53. Tipos de falla; a) normal y b) inversa (Geologiaweb, 2023).....</i>	109
<i>Figura 54. Mega grieta en Chalco, Estado de México (Garcia, Z, 2023).....</i>	110
<i>Figura 55. Lluvias anuales en las cuencas hidrográficas de la zona de estudio (mm)</i>	114
<i>Figura 56. Lluvias mensuales en las cuencas hidrográficas de la zona de estudio (mm)</i>	115
<i>Figura 57. Fuente: elaboración propia con información del Censo de Población y Vivienda, 2020.</i>	125
<i>Figura 58. Piramide de población de ZMVM.....</i>	126
<i>Figura 59. Zonas administrativas en materia de aguas superficiales y subterráneas.....</i>	127
<i>Figura 60. Demanda bioquímica de oxígeno (2021)</i>	134
<i>Figura 61. Demanda química de oxígeno (2021).....</i>	135
<i>Figura 62. SST (2021)</i>	137
<i>Figura 63. Coliformes fecales (2021)</i>	138
<i>Figura 64. Entrega de agua por alcaldía para la Ciudad de México</i>	139
<i>Figura 65. Aportación de agua acumulada por año para la Ciudad de México</i>	139

<i>Figura 66. Aportación de agua acumulada por año para el Estado de México.</i>	141
<i>Figura 67. Aportación acumulada de agua ZMVM (suma CDMX y EDOMEX).</i>	141
<i>Figura 68. Distribución de agua por entidad.</i>	142
<i>Figura 69. Aportación acumulada (CDMX+EDOMEX) mediante pozos para la ZMVM</i>	144
<i>Figura 70 Gran Canal de Desagüe.</i>	150
<i>Figura 71 Subsistema Poniente.</i>	151
<i>Figura 72 Principales estructuras del Sistema de Drenaje Profundo</i>	155
<i>Figura 73 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales según capacidad instalada (l/s)</i>	157
<i>Figura 74 Salidas artificiales del Sistema de Drenaje de la Cuenca de México</i>	159
<i>Figura 75. Demanda bioquímica de oxígeno (2021)</i>	162
<i>Figura 76. Demanda química de oxígeno (2021)</i>	164
<i>Figura 77. SST (2021)</i>	165
<i>Figura 78. Coliformes fecales (2021)</i>	166
<i>Figura 79. Hundimientos totales (2018-2019)</i>	285
<i>Figura 80. Velocidad de hundimiento (1999-2007)</i>	286
<i>Figura 81. Hundimientos totales (2018-2019)</i>	294
<i>Figura 82. Proyectos en el cambio de paradigma</i>	296
<i>Figura 83. Ejemplo de cambio climático con el huracán Otis</i>	298
<i>Figura 84. Sequía en el año 2023 en todo el país</i>	298
<i>Figura 85. Análisis de series de tiempo del Sistema Cutzamala mediante Wavelets.</i>	299
<i>Figura 86. Pronóstico de sequía en el Sistema Cutzamala.</i>	300
<i>Figura 87. Entradas y salidas en las presas del Sistema Cutzamala.</i>	300
<i>Figura 88. Pronostico bajo varios escenarios de recorte en el Sistema Cutzamala. Fuente CONAGUA.</i>	300
<i>Figura 89. Lo que alguna vez fue una cuenca que captaba e infiltraba agua.</i>	301
<i>Figura 90. Visión estratégica de recuperación de cuerpos de agua.</i>	301
<i>Figura 91. Comparación de costo por m³ nivelado del abastecimiento de agua</i>	302

Tablas

<i>Tabla 1. Relación propuesta entre las coberturas del suelo de América del Norte (CCA) y del método del Número de Curva (USDA)</i>	99
<i>Tabla 2. Listado de las estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio.</i>	112
<i>Tabla 3. Puntos con información satelital en la zona de estudio.</i>	113
<i>Tabla 4 Unidad hidrogeológica</i>	118
<i>Tabla 5 Zona hidrogeológica</i>	118
<i>Tabla 6 Zonas administrativas de los recursos hídricos</i>	127
<i>Tabla 7 Títulos y volúmenes de Aguas Nacionales del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México</i>	128
<i>Tabla 8 Disponibilidad media anual superficial de la Cuenca de México</i>	130
<i>Tabla 9 Disponibilidad media anual subterránea de la Cuenca de México</i>	130
<i>Tabla 10 Sitios de medición, RENAMECA (CONAGUA)</i>	131
<i>Tabla 11 Características de los componentes del Emisor Central</i>	152
<i>Tabla 12 Características de los componentes del Túnel Emisor Poniente</i>	152
<i>Tabla 13 Características de los componentes del Sistema Oriente-Sur</i>	153
<i>Tabla 14 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en la Cuenca de México</i>	156
<i>Tabla 15 Sitios de medición, RENAMECA (CONAGUA)</i>	159
<i>Tabla 16 Sitios de medición, RENAMECA (CONAGUA)</i>	167

Siglas y acrónimos

AHI	Asentamientos Humanos Irregulares
CEPUM	Constitución de los Estados Unidos Mexicanos
CDMX	Ciudad de México
GO	Gaceta Oficial
CAEM	Comisión del Agua del Estado de México
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
OCAVAM	Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SACMEX	Sistema de Agua de la Ciudad de México
SECTI	Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

Glosario

DEFINICIONES DE LA NORMA Oficial Mexicana NOM-004-CONAGUA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

Acuífero: Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

Ademe: Tubo generalmente metálico o de policloruro de vinilo (PVC), de diámetro y espesor definidos, liso o ranurado, cuya función es evitar el derrumbe o el colapso de las paredes del pozo que afecten la estructura integral del mismo; en su porción ranurada, permite el flujo del agua hacia los elementos mecánicos de impulsión de la bomba.

Cierre de pozos: Conjunto de trabajos que se ejecutan para clausurar pozos, ya sea de manera temporal o definitiva. Su finalidad es evitar la contaminación del agua subterránea, eliminar el riesgo físico, preservar el rendimiento del acuífero y evitar posibles contaminaciones entre acuíferos.

Contra ademe: Tubería, generalmente de acero, utilizada en la ampliación de la parte superior de un pozo, cuya función es evitar derrumbes y entradas de aguas superficiales e infiltraciones que contaminen al acuífero.

Desinfectante: Sustancia o proceso que destruye o impide la reproducción de microorganismos infecciosos tales como las bacterias y los enterovirus.

Filtro granular: Material redondeado de origen natural, exento de materia orgánica o cualquier sustancia que altere o modifique sus propiedades físicas y químicas naturales, cuyo tamaño se selecciona en función de las características del acuífero; se coloca entre el ademe y el contra ademe o pared de la unidad geológica horadada, siendo su función principal la de evitar la entrada de material fino al interior del pozo.

Mantenimiento de pozos: Conjunto de actividades cuyo objetivo es mantener la eficiencia de la captación dentro de un intervalo aceptable y que prolongue la vida útil de los pozos.

Pozo abandonado: Cualquier perforación que penetra total o parcialmente un acuífero y que, debido a la inconveniencia económica, física o técnica para su operación o rehabilitación, ha quedado fuera de servicio.

Pozo para extracción de agua: Obra de ingeniería en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción y que permite extraer agua del subsuelo.

Rehabilitación de pozos: Conjunto de trabajos que se ejecutan en un pozo, sin incrementar la profundidad, encaminados a corregir deficiencias en el funcionamiento del mismo y cuya finalidad es mejorar el caudal de explotación respecto a la condición inicial que se registraba antes de los trabajos, prolongar su vida útil, mejorar la calidad del agua o la combinación de estos objetivos en un caso ideal.

Rejilla; cedazo: Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, para permitir el paso del agua al interior del pozo.

Reposición de pozos para extracción de agua: Se entenderá como la construcción de un pozo nuevo, cuando un diagnóstico técnico aconseje el cierre del existente.

Sellado de pozos: Son los trabajos realizados en el pozo, tendentes a restituir las condiciones del terreno natural.

Resumen

El área metropolitana de la Ciudad de México, como es el caso de las grandes ciudades del centro y norte del país, ha dependido por su agua principalmente de la sobreexplotación de acuíferos y la importación de agua de otras cuencas, en ausencia de políticas para hacer respetar la capacidad de carga de las fuentes locales ni de aprovechar las aguas pluviales y residuales localmente disponibles. El costo energético, económico, social y ambiental de estas estrategias está llegando a sus límites.

La actual administración inició la transición hacia la gestión sustentable del agua en la Cuenca de México con su apoyo a la lucha histórica de las comunidades de Texcoco-Atenco, al cancelar el aeropuerto bajo construcción en la principal zona de almacenamiento de aguas pluviales de la Cuenca; en su lugar esta zona fue decretada como Área Natural Protegida con el fin de recuperar y fortalecer el papel regulador vital de sus lagos.

Además, la Mesa Metropolitana del Agua, en donde participan el Sistema del Aguas de la Ciudad de México, la Comisión del Agua del Estado de México y la Conagua, ha acordado el Plan Metropolitano de Abastecimiento de Agua Potable se basa en el aprovechamiento de fuentes locales, al proponer la potabilización del agua de las Presas Madín y Guadalupe y la habilitación del Lago Tláhuac-Xico y la optimización de los volúmenes obtenidos de los Sistemas Lerma y Cutzamala. Sin embargo, actualmente la moneda está en el aire. Siguen avanzando nuevos proyectos inmobiliarios e industriales sin factibilidad hídrica junto con invasiones y fraccionamientos ilícitos. Las presas que alimentan el Sistema Cutzamala están en sus niveles más bajos históricamente, y la sobreexplotación de acuíferos genera hundimientos diferenciales que dañan muebles e infraestructura, para extraer agua fósil cuya potabilización es casi incosteable.

La crisis del agua que se acerca bien podrá ser utilizada por ciertos intereses para buscar justificar nuevos trasvases intensivos en capital y energéticos, social y ambientalmente conflictivos, y de cuestionable valor.

Este proyecto generará una evaluación objetiva de las vulnerabilidades del actual modelo basado en la importación, sobreexplotación, expulsión e hiperurbanización acompañada por la desinversión en obras locales, siendo un

modelo que se repite en las principales ciudades y zonas metropolitanas del centro y norte del país.

Generará propuestas en torno a: a) los cambios en la política pública requeridos para frenar la urbanización hídricamente no sustentable; b) las obras requeridas para cerrar los ciclos del agua al interior de las cuencas metropolitanas serán de relevancia nacional.

Sobre todo, plantea construir la Contraloría del Agua de la Cuenca de México, una voz ciudadana crítica y propositiva, con arraigo local y visión metropolitana. Se espera que la Contraloría pueda servir como modelo para lograr la voluntad política requerida para mantener el camino hacia la sustentabilidad en las cuencas metropolitanas del país.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 El problema del agua en el Valle de México

El agua es un bien público determinante para el bienestar social, económico y ambiental de las comunidades (Pedrozo Acuña, 2022). Durante cuatro siglos, las obras de drenaje, evacuación de aguas negras y pluviales, así como las infraestructuras de transvase de agua para abastecer la Ciudad de México (CDMX) modificaron la condición natural cerrada de la cuenca denominada Valle de México y, desde mediados del siglo XX también como Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (González-Reynoso, 2018).

En los últimos años, se ha registrado declives importantes en la disponibilidad hídrica a nivel nacional siendo justamente el centro del país una de las más impactadas, las principales causas de dicha situación ha sido la falta de un ordenamiento hídrico-territorial, que ha permitido el establecimiento de todo tipo de actividades, en zonas donde la disponibilidad hídrica es precaria o hasta deficitaria (Breña-Naranjo, 2023).

Actualmente, la disponibilidad anual por habitante en México ha pasado de 10 mil metros cúbicos (m^3) promedio de 1960 a 4 mil m^3 en 2000 y 3.2 mil m^3 en 2020 (IMCO, 2023). Dicho deterioro y explotación de los cuerpos de agua, sumado la extensa urbanización del Valle de México ha tenido lugar sobre el suelo ganado por la desecación de los lagos (González-Reynoso, 2018) y el incremento de las sequías, provocará que para 2030, la disponibilidad de agua en México descienda por debajo de los 3 mil m^3 (IMCO, 2023).

Diferentes autores (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016) (González-Reynoso, 2018) (Peña-Díaz, 2019) muestran que el agua es un tema crítico para la sustentabilidad de la CDMX, así como de la ZMVM y de la Cuenca de México (y/o Cuenca del Valle de México). Dicha cuenca, está sujeta a un gran estrés hídrico debido a la sobreexplotación de los acuíferos (Peña-Díaz, 2019), principalmente porque la zona presenta un crecimiento urbano desmesurado que demanda agua y rebasa la oferta, es decir, la extracción de agua ha llevado a su límite a los acuíferos de la zona (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldivar, & Cervantes, El agua en la Ciudad de México, 2009) (Pastrana-Miranda & González-

Caamal, Injusticia ambiental y marginación: la falta de accesos al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2022).

La Cuenca del Valle de México y ZMVM es la región económica más importante del país que enfrenta la mayor sobreexplotación de sus recursos hídricos, y, a su vez la escasez del agua afecta el bienestar de diversos grupos de la población y restricción para el crecimiento económico (Rodríguez-Tapia, Morales-Novelo, Sosa-Rodríguez, Altamirano-Cabrera, & Torres-Ayala, 2016).

La problemática del agua radica en el deterioro de la calidad y disponibilidad, así como en la deficiencia en la distribución y los servicios de drenaje (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldivar, & Cervantes, El agua en la Ciudad de México, 2009). Por lo que, el abastecimiento de agua en cantidad suficiente y con la calidad adecuada es una preocupación creciente en la ZMVM, ya que enfrenta una profunda crisis (Fernández & Bandala, 2018). Otro factor importante es el aumento de la densidad de la población y la dinámica de la expansión urbana con una marcada tendencia al crecimiento de las zonas urbanas y disminución de la población rural (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016).

De manera que, el conflicto de la distribución del agua aumenta día a día, principalmente a la inequidad en el reparto entre alcaldías de la ciudad (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldivar, & Cervantes, El agua en la Ciudad de México, 2009) (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016), así como los municipios de las áreas conurbadas, del Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala. Los asentamientos más pobres tienen un consumo mínimo de agua promedio por habitante al día, tan sólo de 28 litros. Mientras que, en los sectores de máximos ingresos es de 800 a 1000 litros por habitante al día (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldivar, & Cervantes, El agua en la Ciudad de México, 2009).

Por ejemplo; el sistema de agua de la CDMX debido a su tamaño y complejidad, en gran parte por las dificultades de transportar el agua, algunas áreas están bien abastecidas mientras que otras como Iztapalapa, Tlalpan y Xochimilco sufren deficiencias crónicas de los servicios de agua. Otras alcaldías como Milpa Alta, Álvaro Obregón, Tláhuac y Cuajimalpa cuentan con el servicio de agua potable de

manera intermitente, es decir en tandeados (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldivar, & Cervantes, El agua en la Ciudad de México, 2009), lo que ocasiona malestar social y conflictos frecuentes.

El problema del abastecimiento del agua potable no es solamente sus fuentes, sino incluye un sistema complejo de captación, conducción y distribución en enfrenta serias limitantes. En específico, se refiere al envejecimiento de la infraestructura, aumento de costos de operación, falta de mantenimiento, así como pérdida de calidad y cantidad de recursos que han llevado a que el sistema opere al límite de sus capacidades físicas y económicas (Martínez, Perevochtchikova, Escolero, & Kralisch, 2010), por ejemplo en la CDMX la infraestructura hidráulica carece de mantenimiento lo que se manifiesta en las frecuentes fugas que consumen aproximadamente del 30% al 40% del volumen de agua (Fernández & Bandala, 2018).

La Cuenca del Valle de México y la ZMVM necesita nuevas redes que suministren agua y que estén mejor conectadas. Dada la escasez de agua a la que enfrenta la región, se necesita una combinación de fuentes de abastecimiento nuevas, una mayor eficiencia en el uso del agua y una mejor infraestructura de distribución para aliviar la problemática de suministro (Fernández & Bandala, 2018) (de Coss, 2017).

En la ZMVM el agua refleja la problemática social y ambiental del territorio, aspectos que se han incrementado con el paso de los años (Iracheta & Dávalos, 2004) (Rodríguez-Tapia, Rodríguez-Novelo, Sosa-Rodríguez, Altamirano-Cabrera, & Torres-Ayala, 2016).

1.1.1 Perspectivas locales sobre el abastecimiento de agua

En muchas ciudades el abastecimiento de agua potable requiere buscar nuevas fuentes de abasto para construir acueductos cada vez más largos y costosos; una situación semejante se presenta en el drenaje pluvial de todas las ciudades,

debido a la creciente urbanización que cambia las condiciones naturales por áreas con menor permeabilidad (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016). Situación que se presenta en la Cuenca del Valle de México ya que gran parte de sus recursos hídricos son para abastecer a los sectores públicos urbanos e industriales que se encuentran en mayor concentración en la ZMVM (Pastrana-Miranda & González-Caamal, Injusticia ambiental y marginación: la falta de acceso al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2022).

Actualmente, 32% del agua de abastecimiento urbano en la Cuenca del Valle de México proviene de extracciones insostenibles de fuentes sobreexplotadas de los acuíferos del Valle. Además, cerca de 33% del agua no se usa eficientemente en comparación con buenas prácticas internacionales, ya sea porque los niveles de pérdidas físicas y comerciales en los sistemas de agua (570 a 650 litros diarios por toma), son superiores a las buenas prácticas internacionales (<125 litros diarios por toma), o porque los usuarios finales consumen volúmenes mayores (300 litros diarios por persona) a los que se consumen en otras ciudades (Banco Mundial, 2013).

De tal manera que la sobreexplotación de los acuíferos en la Cuenca del Valle de México es el resultado de un mayor volumen de extracción de agua del subsuelo con respecto a la cantidad que se infiltra, por lo que, asegurar nuevas fuentes externas es cada vez más difícil, el agua es cada vez más escasa y la oposición social a su apropiación crece (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldivar, & Cervantes, El agua en la ciudad de México, 2009).

Dada la prevalencia de pozos privados no regulados tanto en áreas rurales como urbanas en la CDMX y zonas conurbadas de la Cuenca del Valle de México, los habitantes que obtienen agua de fuentes subterráneas pueden ser considerablemente mayor de lo que indican las estimaciones oficiales (Mahlknecht, Hirata, & Ledesma, 2018) (González , Vázquez, Aguilar, & Arriaga , 2022)

Respecto a la situación de los servicios de abastecimiento en la CDMX es diferente al caso de la mayor parte del resto de la Cuenca del Valle de México; no existe un organismo operador descentralizado o desconcentrado que preste el servicio. El Sistema de Agua de la CDMX (SACMEX), es un organismo operador y encargado de abastecer de agua a la ciudad, pero trabaja dentro de la administración de la CDMX, y no tiene autonomía presupuestaria. De la misma manera, la operación de la red de distribución final al usuario está a cargo de las delegaciones de la CDMX y no de SACMEX (Banco Mundial, 2013).

El abastecimiento de agua potable en la CDMX incluye una compleja estructura administrativa para el manejo del agua (Tabla 1), en la que interactúan organismos de diferentes niveles: federal, regional, estatal y local. La CONAGUA es la instancia del gobierno federal encargada de la administración del agua a nivel nacional y actúa a nivel regional a través del “Organismo de Cuenca Región XIII, Aguas del Valle de México” (OCAVM). SACMEX. Y, el Programa de Acción Inmediata (PAI), el cual es un programa de emergencia de perforación de pozos del Gobierno Federal (CONAGUA, 2009).

Tabla 1. Resumen de las fuentes de abastecimiento a la Ciudad de México.

Fuente	Sistema	Operador	Área de Captación	Edad	Aportación
Pozos SACMEX	549 pozos en la zona urbana, México D.F.	SACMEX	Acuífero (Zona Metropolitana de la CDMX)	30–60 años	14 m ³ /s
Batería Chiconautla	41 pozos		Acuífero (Cuautitlán-Pachuca)	> 50 años	1.33 m ³ /s
Sistema PAI	156 pozos distribuidos en 7 ramales o baterías	OCAVM	Acuífero (Cuautitlán-Pachuca) y Acuífero Texcoco	> 40 años	2.83 m ³ /s
Sistema Lerma	250 pozos	SACMEX	Acuífero Toluca y Acuífero (Ixtlahuaca-Atlacomulco)	> 40 años	4.4 m ³ /s
Sistema Cutzamala	7 presas 6.7 –	OCAVM	Cuenca del Río Cutzamala	> 30 años	9.6 m ³ /s
Captación de manantiales	18 manantiales	SACMEX	Sierra de Ajusco, Sur de la CDMX	> 30 años	0.8 m ³ /s

m³= Metros cúbicos.

Fuente: CONAGUA, 2009 (CONAGUA, 2009).

Respecto al Sistema Cutzamala, éste abastece el 25% de la ZMVM (Gobierno de la Ciudad de México, 2023). En la tabla 2, se muestra el almacenamiento actual y histórico del Sistema Cutzamala de las tres presas principales que bastecen de agua a la CDMX, se observa una diferencia negativa total de 44.80%, lo que representa un déficit debido a la falta de lluvias del presente año.

Tabla 2. Almacenamiento actual e histórico del Sistema Cutzamala

Presas	Almacenamiento		Almacenamiento Histórico		Diferencia
	Actual	Mm ³	Porcentaje	Mm ³	Porcentaje
Villa Victoria	51.79	27.90	146.04	78.60	-50.70
El Bosque	113.36	56.00	175.60	86.80	-30.80
Valle de Bravo	146.06	37.00	340.44	86.30	-49.30
Total	311.21	39.80	662.09	84.60	-44.80

Mm³= Millones de metros cúbicos.

Fuente: (CONAGUA, 2023) (Gobierno de la Ciudad de México, 2023)

Por lo tanto, derivado de los bajos niveles de almacenamiento en las presas del Sistema Cutzamala, la CONAGUA, SACMEX y CAEM (Comisión del agua del Estado de México, actualmente Secretaría del Agua del Estado de México), han llevado a cabo diversas reuniones desde el año 2021 a la fecha. De manera conjunta entre dichos organismos se determinó reducir el gasto. La primera reducción se realizó el 14 de junio de 2022 de 14.8 m³/s a 14.1 m³/s. La segunda reducción fue el 15 de agosto del año pasado de 14.8 m³/s a 13.2 m³/s. La tercera reducción se realizó el pasado 17 de octubre, donde se redujo de 13.2 a 12.2 m³/s, el cual es el gasto que actualmente se extrae del Sistema Cutzamala (Gobierno de la Ciudad de México, 2023).

En la siguiente tabla se muestra la diminución de los volúmenes de almacenamiento y disponible. El año pasado en la misma fecha se observó que el caudal entregado fue de 13.094 m/s y el volumen disponible fue para 9.11 meses.

Mientras que, en el presente año con un gasto reducido a 12.041 m³/s a partir de 17 de octubre con un volumen disponible será de aproximadamente 4.36 meses.

Tablas 3. Almacenamiento del Sistema Cutzamala

Año	Almacenamiento actual		Caudal entregado	Volumen disponible
	Mm ³	%	m ³ /s	Meses
2020	549.591	70.23	15.584	10.42
2021	557.663	71.26	13.475	10.65
2022	497.200	63.54	13.094	9.11
2023	311.211	39.77	12.041	4.36

Fuente: (Gobierno de la Ciudad de México, 2023).

Con base en esta crisis de estiaje, CONAGUA, SACMEX y CAEM realizaron diferentes simulaciones para definir la reducción del gasto. El gasto mínimo de operación es de 155 Mm³/s, lo que significa que este nivel mínimo para obtener gasto a través de Sistema Cutzamala. Por lo tanto, si se continua con el gasto de 13.2 m³/s para el día tres de abril ya no se podría obtener gasto. El siguiente escenario de 12.2 m³/s se proyectó que el nivel mínimo sería el 18 de abril del 2024. La simulación de 11.2 m³/s, se presentó que el 18 de mayo de 2024. Para la simulación de 10.2 m³/s, el nivel mínimo de operación es el 11 de junio de 2024. Y, para el gasto simulado de 9.2 m³/s, es el único escenario que no toca el nivel mínimo de operación. Entonces, derivado de estas simulaciones, de manera conjunta entre CONAGUA, CAEM y SACMEX determinaron la reducción en un acto de responsabilidad para evitar llegar al nivel mínimo de operación (Gobierno de la Ciudad de México, 2023). Dicha reducción del caudal de abastecimiento se verá reflejada en la disminución de la presión las horas de servicio (Tabla 4).

Tabla 4. Simulación de caudal de entrega.

Simulación	Caudal (m³/s)
1	13.2
2	12.2
3	11.2

Simulación	Caudal (m ³ /s)
4	10.2
5	9.2

m³/s= Metros cúbicos por segundo.

Fuente: (Gobierno de la Ciudad de México, 2023).

Otra perspectiva local para el abastecimiento de agua es por parte del Gobierno de la Ciudad de México (2023), la cual presentó una iniciativa de Reforma a la Constitución para aprovechar el agua de lluvia por lo que se pretende captar una cuarta parte del agua que actualmente se extrae de los pozos.

La iniciativa se realizó de manera conjunta con la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTI) y SACMEX. Propuesta que busca profundizar, ampliar y diversificar el Programa “Cosecha de Lluvia” para el presente año y el próximo 2024. Además de complementarlo con otras políticas públicas en el cuidado y aprovechamiento del agua para mejorar el abasto de agua de personas que viven en colonias de escasez hídrica con la instalación de sistemas cosechadores de lluvia. (Gobierno de la Ciudad de México, 2023).

1.2 Objetivo de investigación

1.2.1 Objetivo general de investigación.

Identificar y analizar las principales vulnerabilidades del sistema hidrológico de la Cuenca de México y su entorno, y generar propuestas técnicamente fundamentadas y socialmente viables para lograr la transición hacia un sistema eficiente y sustentable.

1.2.2 Meta general de investigación.

Contar con tres estudios describiendo las obras, las políticas y los instrumentos requeridos para lograr la sustentabilidad hídrica del sistema de gestión del agua en la Cuenca de México.

1.3 Metodología transdisciplinaria planteada.

La metodología planteada se enfoca en la identificación de dinámicas críticas del actual sistema de gestión del agua para la Cuenca, las cuales tendrán que ser transformadas para prevenir su colapso y lograr la sustentabilidad.

En la primera fase (2023), se realizará un diagnóstico integral del sistema hídrico del cual dependen los habitantes de la Cuenca por su agua y por su seguridad frente a posibles inundaciones, identificando sus principales vulnerabilidades.

Tablas 3. Metas de investigación e incidencia

Etapa	1			
Objetivo	Metas de Investigación específicas	Indicadores	Solución propuesta	Resultado previsto
5. Diagnosticar las vulnerabilidades en el actual modelo de gestión de agua para la región hidropolitana de la Cuenca de México	Estudio identificando las principales vulnerabilidades en los desagües de la Cuenca del Valle de México	Porcentaje de avance del estudio de vulnerabilidades	Emitir las recomendaciones para las vulnerabilidades encontradas en las cuatro zonas nodales en el suministro y desagüe de la Cuenca del Valle de México	Conocer las vulnerabilidades en el actual sistema del modelo de la gestión del agua

El área metropolitana de la Ciudad de México, como es el caso de las grandes ciudades del centro y norte del país, ha dependido por su agua principalmente de la sobreexplotación de acuíferos y la importación de agua de otras cuencas, en ausencia de políticas para hacer respetar la capacidad de carga de las fuentes locales ni de aprovechar las aguas pluviales y residuales localmente disponibles. El costo energético, económico, social y ambiental de estas estrategias está llegando a sus límites.

La actual administración inició la transición hacia la gestión sustentable del agua en la Cuenca de México con su apoyo a la lucha histórica de las comunidades de Texcoco-Atenco, al cancelar el aeropuerto bajo construcción en la principal zona de almacenamiento de aguas pluviales de la Cuenca; en su lugar esta zona fue

decretada como Área Natural Protegida con el fin de recuperar y fortalecer el papel regulador vital de sus lagos.

Además, la Mesa Metropolitana del Agua, en donde participan el Sistema del Aguas de la Ciudad de México, la Comisión del Agua del Estado de México y la Conagua, ha acordado el Plan Metropolitano de Abastecimiento de Agua Potable se basa en el aprovechamiento de fuentes locales, al proponer la potabilización del agua de las Presas Madín y Guadalupe y la habilitación del Lago Tláhuac-Xico y la optimización de los volúmenes obtenidos de los Sistemas Lerma y Cutzamala. Sin embargo, actualmente la moneda está en el aire. Siguen avanzando nuevos proyectos inmobiliarios e industriales sin factibilidad hídrica junto con invasiones y fraccionamientos ilícitos. Las presas que alimentan el Sistema Cutzamala están en sus niveles más bajos históricamente, y la sobreexplotación de acuíferos genera hundimientos diferenciales que dañan muebles e infraestructura, para extraer agua fósil cuya potabilización es casi incosteable.

La crisis del agua que se acerca bien podrá ser utilizada por ciertos intereses para buscar justificar nuevos trasvases intensivos en capital y energéticos, social y ambientalmente conflictivos, y de cuestionable valor.

Este proyecto generará una evaluación objetiva de las vulnerabilidades del actual modelo basado en la importación, sobreexplotación, expulsión e hiperurbanización acompañada por la desinversión en obras locales, siendo un modelo que se repite en las principales ciudades y zonas metropolitanas del centro y norte del país.

Generará propuestas en torno a: a) los cambios en la política pública requeridos para frenar la urbanización hídricamente no sustentable; b) las obras requeridas para cerrar los ciclos del agua al interior de las cuencas metropolitanas serán de relevancia nacional.

Sobre todo, plantea construir la Contraloría del Agua de la Cuenca de México, una voz ciudadana crítica y propositiva, con arraigo local y visión metropolitana. Se espera que la Contraloría pueda servir como modelo para lograr la voluntad política requerida para mantener el camino hacia la sustentabilidad en las cuencas metropolitanas del país.

2 ANTECEDENTES

2.1 Breve historia del abastecimiento de agua al Valle de México

2.1.1 Introducción

Con la intención de hacer una revisión de la situación actual del abastecimiento de agua en el Valle de la Cuenca de México y su entorno, a continuación se describen brevemente los antecedentes sobre disponibilidad y gestión del agua en el Valle de México, abordando temas e ideas desde la formación hidrogeológica de la Cuenca de México, la historia lacustre de sus pueblos originarios y el proceso histórico de abastecimiento de agua hasta la integración de una Zona Metropolitana de más de 20 millones de personas, que actualmente vive en estrecha relación con el agua, lo que propicia complejos procesos para el suministro y desalojo del agua de la Cuenca, estas problemáticas han convertido a la Ciudad de México y su zona conurbada en un fenómeno geográfico que traspasa sus propios límites políticos, ambientales y administrativos.

A partir de esto, nacen las preguntas sobre la gestión hídrica territorial, que determinan la necesidad de un reconocimiento a partir de su complejidad, integrando por ejemplo el estudio de los grandes fracturamientos debido a fenómenos naturales como los sismos en zonas urbanas de Chalco (Bandala, 2018), en laderas, barrancas y cerros de Texcoco, o en las zonas chinamperas de Xochimilco-Tláhuac, estos remanentes de los antiguos sistemas hidrológicos dicen mucho de la situación actual de explotación, de la gestión del agua de la cuenca y de la calidad de sus recursos hidrogeológicos.

A continuación, se da a conocer el registro de estos precedentes comenzando desde el proceso de conformación de la cuenca, sus cambios hidrogeológicos, los cuales fueron aprovechados por sus habitantes para conformar la construcción de un paisaje original a partir del agua, hasta los cambios tecnológicos aplicados para el abastecimiento de agua en la ciudad y su territorio en los períodos industriales. Este recuento ayuda a vislumbrar un proceso complejo de

vulnerabilidad como tema principal de este estudio, buscando responder a las preguntas: ¿De dónde obtenemos el agua para vivir?, ¿Cómo se abastece de agua a una ciudad de más de 20 millones de habitantes? Y ¿Cuáles han sido los impactos sociales y ambientales de dicho abastecimiento?

2.2 Evolución geológica e hidrología del Valle de la Cuenca de México

La Cuenca de México se ubica en el extremo sur de la Mesa Central, en los meridianos $90^{\circ}15'$ y $99^{\circ} 30'$, paralelos $19^{\circ}00'$ y $20^{\circ}15'$. Para este ejercicio de investigación se propone un polígono de estudio que es el resultado de las principales elevaciones que conforman una cuenca en términos hidrológicos y topográficos, este polígono ha sido empleado en otras investigaciones como en el libro de Memorias de las Obras del Drenaje Profundo o los de la Dra. Adriana Palma, experta en agua subterránea (UNAM 2023) y comprende los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y la CDMX.

El agua en la Cuenca de México es un recurso que vive un proceso cíclico de recargas, evaporaciones, escorrentías y acumulaciones desde hace millones de años, sus cambios hidrogeológicos han ocurrido a través de



Figura 1. Mapa de realización propia. La ZMCM es parte de una zona volcánica con erupciones acontecidas en diversas fases, CITATION San05 \l 2058 (Santoyo, 2005).

7 grandes períodos desde el Oligoceno, Mioceno, Plioceno, Pleistoceno y Cuaternario Superior, (Pineda, 1996) este último tiempo con formaciones volcánicas que cambiaron la geografía del centro hace aproximadamente 700,000 años debido al crecimiento de la Sierras Chichinautzin y otras fronteras geográficas del sistema Popocatépetl al sur oriente de la Cuenca. (Santoyo, 2005)

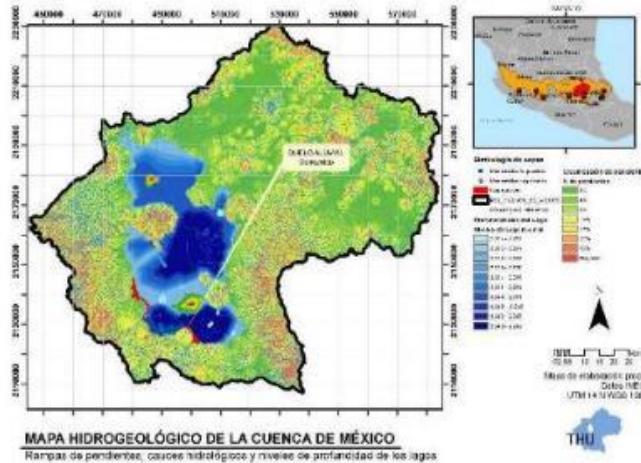


Figura 2. Mapa de realización propia, modelo tridimensional de la cuenca, fondo de imagen satelital, nos da una idea del total de agua en la zona de captación y actual Zona Metropolitana

Esta transformación geológica cambió la dinámica de flujos y ríos de la cuenca, pasando de una forma exorreica, lo que significa, expulsando el agua de los ríos a través de los valles del sur para después con la acción geológica, convertirse en una cuenca endorreica, o lo que es lo mismo, una contención de los escurrimientos para acumularse en grandes cuerpos de agua de alturas variables, estas nuevas formaciones, actuaron como “presas” que se azolvieron en grandes cuerpos de agua dando vida a los lagos conocidos después como Zumpango, Xaltocan, Texcoco, México, Xochimilco y Chalco, lagos llenados por escurrimientos que afloraban desde las sierras, recorriendo senoidales de cerros y montes hasta las partes bajas de los lagos, combinado sus aguas perennes y permanentes con un “universo” según el ingeniero Antonio Peñafiel, de manantiales que nacían en este nuevo suelo, algunos hasta dentro de los antiguos lagos. (Pineda, 1996)

2.2.1 Pueblos originarios en la gestión hídrica de la cuenca hasta el s.

El suelo permeable de las sierras y el suelo arcilloso del fondo del lago

Figura 3. Mapa de elaboración propia La Cuenca de México está delimitada por distintas sierras de mayor y menor

facilitaron el florecimiento de pueblos en cerros cercanos, cerros modificados con sistemas de terrazas para aprovechar las fuentes manantiales hasta llegar a las llanuras lacustres de los lagos. Según Gabriel Espinosa Pineda, de todos los ríos de la Cuenca, el más caudaloso era el Cuautitlán, el cual fue desviado en tiempos prehispánicos ya que este desaguaba en Zumpango haciendo que se derramara sobre Xaltocan, y a su vez, sobre Texcoco, que al subir de nivel provocaba las inundaciones en Tenochtitlan.

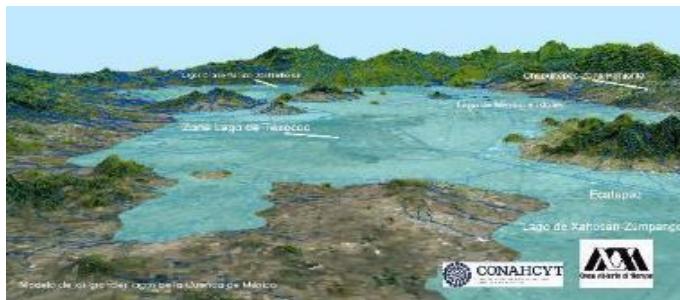


Figura 4. Imagen de realización propia del sistema de precipitación, escurrimiento y captación de agua en las distintas conformaciones geológicas

Los pueblos lacustres de la cuenca pudieron desarrollar técnicas para realizar obras de gran envergadura como el aprovechamiento de manantiales, la desviación de ríos, la construcción de represas, diques-calzadas, puentes, embarcaderos y un largo etcétera. (Rabiela, Cultura hidráulica y simbolismo mesoamericano del agua en el México prehispánico, 2009). Los pueblos de la cuenca conservan desde tiempo atrás la cultura de la ciudad lacustre, cultura de gestión integral del agua en el territorio, los sistemas de abastecimiento de canales para riego, movilidad fluvial y el uso agrícola de los lagos y cerros como en Texcotzingo, Texcoco o las chinampas de Xochimilco-Tláhuac-Chalco lo comprueban, obras de infraestructura que han influido en el ordenamiento del territorio actual, en el abastecimiento hídrico de la ciudad.

En algunos casos como Xochimilco, los manantiales caracterizaban la composición hidrogeológica porosa a flor de tierra de las sierras y volcanes de la cuenca, según el libro Memorias del drenaje Profundo, "...los lagos se evaporaban año tras año, lo que hasta ellos escurría por arroyos y manantiales. Así, en su estado original, la cuenca mantuvo el siguiente ciclo simple: Lluvias = evaporación + escurrimientos...Cualquier infiltración afloraba de nuevo en los manantiales a orillas de las planicies centrales como en Teotihuacan, Chapultepec, Xochimilco, Chimalhuacán, Texcoco, entre otros..." (Secretaría de Obras, 1975)

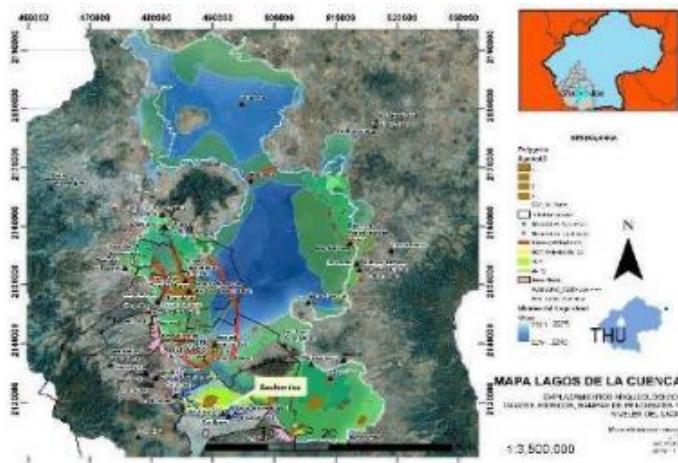


Figura 5. Mapa de elaboración propia La Cuenca de México está delimitada hacia el nivel 2240.



Figura 6. Thomas Filsinger. Recreación de la composición urbana y gestión de los lagos en el tiempo prehispánico del lago de México y Texcoco

Esta habría sido la mecánica de las aguas de los lagos desde tiempos primigenios y al mismo tiempo de la visión del manejo del agua para distintos fines. Por ejemplo, el dique para la separación de las aguas dulces y saladas, diseñado por

Nezahualcóyotl, el cuál dividía las lagunas de Texcoco y México, el complejo hídrico de Texcotzingo o el propio sistema de chinampas que permitió gestionar las aguas de los lagos para beneficio de la vida humana productiva. En el caso de Tenochtitlan, que desde su fundación fue abastecida con manantiales de Chapultepec según Jorge Legorreta pero que gracias a las alianzas políticas con el pueblo de Azcapotzalco permitieron dar lugar a la construcción de un acueducto sobre el lago, desde los cerros de Chapultepec, obra iniciada en 1418 por Chimalpopoca con aproximadamente cinco kilómetros de largo y con dos canales sobre un terraplén (Legorreta, 2006).



Figura 7. De izquierda a derecha, El acueducto de Chapultepec a Tenochtitlan desde 1381 proveyó de agua a la ciudad según Teresa Robles.

El sistema hidráulico de las ciudades prehispánicas era complejo, comprendía diques, calzadas, compuertas, puentes, acequias, represas, embarcaderos, islas hechas a mano, etc. (Rabiela, Cultura hidráulica y simbolismo mesoamericano del agua en el México prehispánico , 2009). En sus obras de infraestructura, se revelan soluciones a dificultades inherentes de la situación metropolitana vigentes aún en nuestra actualidad, estas son: la necesidad de agua potable, el problema de las inundaciones, la expansión demográfica, urbanización, comercio y comunicaciones. (Bandala, 2018).

Para el tiempo de la invasión española, la demanda de agua requirió seguir con las prácticas indígenas de separación de las aguas durante el siglo XVI y principios del XVII, obras que representan esta época son los albardones de San Lázaro, el albaradón o dique de Ecatepec en los lagos de Zumpango y Xaltocan, etc. Desde el s. XVI las obras de acueductos satisfacían las necesidades de los pueblos distantes en la cuenca, principalmente al norte de la ciudad. (Musset, El desagüe

evangélico: Carmelitas, Jesuitas y Franciscanos frente a las inundaciones de México (1607-1691) , 1993)

Para este tiempo, la situación de muchos pueblos y ciudades originarias de la Cuenca de México cambió en cuanto al abastecimiento de agua, la ley virreinal proveía con cuerpos de agua a otros tipos de industria como la ganadera que demandaban una gestión del agua diferente, una nueva gestión de las aguas que contaminaría manantiales y arroyos temporales, cuerpos someros que abastecieron por mucho tiempo a los pueblos de los cerros alejados y del centro de la ciudad. Es importante mencionar que las políticas de congregación en tiempo de la Colonia representaron un cambio en las formas productivas locales asociados al agua, la idea de conformar pueblos centralizados requirió adecuar formas de gestión, centralizando y priorizando el abastecimiento, lo que aceleraría la urbanización territorial dispersa de pueblos integrados productivamente a un gran lago, y que subsistían con sus recursos locales. (Musset, 1990) .

Lo anterior es significativo porque el establecimiento de la Nueva España se superpone al trazo original del altépetl. (Seed, 1982) en (Cristiani, 2014). Esta última consideración propicia un cambio en el territorio debido a que la infraestructura hidráulica con base en albardones, calzadas, acequias y compuertas se convierte en parte de los determinantes del trazo. En el siglo XVI estas variaciones cambiaron el control hídrico original implementado por los indígenas, conformando una nueva relación con el agua que trajo consecuencias tiempo después, entre estas, la vulnerabilidad ante inundaciones en la Ciudad de México, se había llegado a pensar en la idea de trasladar la capital a otro sitio o en encontrar la manera de evacuar las aguas de los grandes lagos que causaban un peligro para sus habitantes, de los diferentes proyectos de la época se eligió el que, para el momento era el más viable, un tajo abierto para desaguar los lagos del norte a través de la sierra baja de Nochistongo, y luego por Huehuetoca 1607. (Musset, El desagüe evangélico: Carmelitas, Jesuitas y Franciscanos frente a las inundaciones de México (1607-1691) , 1993)

Así, el agua superficial disponible comenzó con la historia de su explotación y desalojo a través de un Gran Canal de Desagüe, que con el tiempo se ampliaría a través de túneles profundos, evacuando las aguas de los antiguos lagos tanto superficiales como de lluvia, esto convierte a las obras del drenaje en un gran sistema de protección contra inundaciones urbanas, gestión del agua que impacta hasta hoy en la propia recarga acuífera de los ecosistemas de la cuenca, en la composición de los suelos de sus suelos y la disponibilidad de agua.



Figura 8. Fuente Salto del agua. AGN. Construcción de Acueducto Xochimilco aproximadamente en 1908

La Ciudad de México fue abastecida de agua al menos desde 1410 según (Manuel Perló Cohen, 2018) La totalidad del sistema de distribución de agua en la Ciudad de México constaba de los siguientes elementos: los acueductos de Santa Fe, Desierto y de los Leones; la Alberca Chica o de Moctezuma en Chapultepec, de la cual salían tres ramales principales construidos en piedra y a base de arcos de medio punto: del Bosque, de la Merced y de San Pablo, que abastecían ciento veinticinco fuentes privadas y cinco públicas: la del Bosque, la de la garita de Belén, la del Cautivo, la de la plazuela de San Juan y la del Salto del Agua (Bribiesca, 1959: 84-85, citado en Pineda, 2000) de los manantiales que abundaban en Chapultepec, Santa Fe, Desierto de Leones, con el tiempo, las nuevas fuentes se extendieron con acueductos desde Tlalpan, San Ángel y Villa de Guadalupe, etc.

Para el año de 1847 se inicia el aprovechamiento del agua subterránea incluyendo pozos brotantes (artesianos), para finales del siglo XIX se llegó a un total de 1,100

pozos perforados el uso público y privado en el centro de la ciudad de los nuevos Valles (Granja, 2018).

2.1.5. Cambios técnicos en el manejo del agua para el abastecimiento y las consecuencias en la salud de los acuíferos

Después de un largo periodo de cambios políticos como el virreinato y la independencia, a finales del s. XIX el crecimiento demográfico, la naciente industrialización y las ideas higienistas del porfiriato llevaron a cabo un cambio radical en la totalidad de la infraestructura ampliando su nivel tecnológico, esto mejoró la calidad del agua y del servicio, la dotación del líquido y el drenaje conformaron en la ciudad moderna un sistema indivisible de articulación, llamado “ciclo del agua urbana”, que tomó en cuenta las siguientes premisas para establecer su funcionalidad: la higiene y la calidad del agua, la distribución homogénea del recurso, las necesidades de los grandes establecimientos públicos como hospitales y escuelas; la industria y la generación de electricidad; la limpieza de calles, atarjeas y drenajes, y el desalojo de aguas negras y pluviales. (Granja, 2018)

El liberalismo de principios del siglo XIX según Habermas 1989 en (Granja, 2018) afirmaba que “el libre funcionamiento y la libertad individual promoverían el “interés público” y que éste tendría una mayor probabilidad de ser satisfecho en mayor grado si se facilitaban los intereses de la libertad económica y del mercado, en vez de regularlos.” Estas medidas fueron aplicadas a las áreas de los servicios públicos como salud, educación y planeación urbana. El proceso de desecación de los lagos que se vivió antes y después del porfiriato generó un mercado de adquisición de tierras que se habían ido descubriendo conforme los niveles del agua de los lagos iban descendiendo, Por lo cual todo el siglo XX podría considerarse como de gran crecimiento demográfico y expansión urbana.

En este periodo es cuando se decide implementar la última tecnología de bombeo eléctrico del agua subterránea creando redes de tuberías herméticas en

la distribución de agua potable para las nuevas colonias del centro de la Ciudad de México como el Acueducto de Xochimilco, obra emblemática de la ingeniería hidráulica mexicana. (Flores, 1991), fue así que se unificaron las obras monumentales para el abastecimiento de agua y del drenaje para la protección contra inundaciones definitiva de los lagos, a cambio de la salud de la cuenca, esto es relevante si consideramos la disminución del agua superficial y subterránea, el hundimiento del suelo, la aparición de fallas geológicas en zonas urbanas, inundaciones y sequías, etc. que actualmente se viven en la zona metropolitana.

En algunas partes del acuífero como en Xochimilco el agua ha sido extraída desde 1910 con baterías de pozos, diezmando los niveles freáticos de manantiales y en general de los cuerpos de agua superficiales que abundaban en pueblos como Santa Cruz Acalpixca, Atemoaya, San Gregorio Atlapulco, Tláhuac, San Luis Tlaxialtemalco, etc. (Flores, 1991). Actualmente estos pozos se siguen explotando, ahora, directamente desde su acuífero, a más de 700 m por debajo de los suelos del antiguo lago. (Manuel Perló Cohen, 2018)



Figura 9. Autor desconocido. AGN. Construcción de Acueducto Xochimilco aproximadamente en 1908

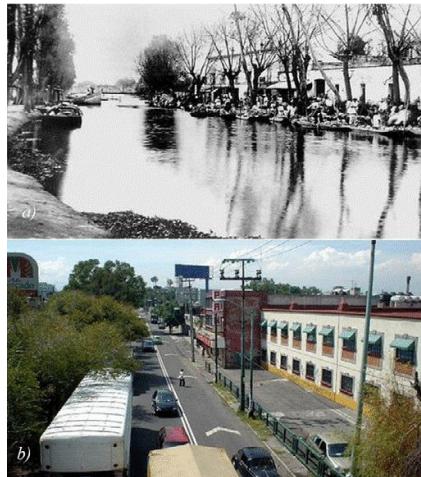


Figura 10. Comparación de un antiguo canal de la Ciudad de México urbanizado en la actualidad.

Fuente: <https://es.slideshare.net/cucomagallanes/tierra-agua-y-bosques-en-chalco>

2.2.2 La presión urbana en el abastecimiento del agua

Entre 1940 y 1950 se registra un mayor crecimiento poblacional en la zona metropolitana, una tasa de 5.9%, que corresponde con una etapa de desconcentración de la población hacia el sur de la ciudad. A partir de este punto aumenta la superficie poblada, pasando de 240.6 km² en 1940 a 536.6 km² en 1960, las obras de abastecimiento y saneamiento habían sido diseñadas para un máximo de 500 mil habitantes, llegando a tener con el tiempo una demanda de abasto de 10 millones de habitantes (Manuel Perló Cohen, 2018),

A partir de este tiempo se amplían las obras de abastecimiento hacia las cuencas del alto Lerma y después hacia el Cutzamala, esta expansión de la ciudad hacia el Estado de México, Hidalgo, Morelos; la Ciudad de México fusionó los centros de los pueblos, entrelazando los límites de las zonas conurbadas en una extensa red metropolitana de gran crecimiento, que, para 2010 tendría una población de 20 millones o casi el 20% de la población total del país, esto ha causado un desequilibrio entre la disponibilidad y la demanda de agua en la zona metropolitana, resultando ser una de las regiones con mayor número de cuencas sobreexplotadas (27%) (IMCO, 2023)



Figura 11. Foto de Tajo de Nochistongo, primeras obras de expulsión de las aguas de los lagos por el norte de la ciudad



Figura 12. Foto de las obras más recientes del TEO (Túnel Emisor Oriente) actual estrategia para el control de las inundaciones y desagüe residual.

En el caso del saneamiento, en los años 70's se implementó una ampliación de las obras de drenaje profundo hasta llegar al TEO en 2008, un túnel de 62 km de largo y 7 metros de diámetro con capacidad de transportar hasta 150 m³/s de agua residual, sin retorno al acuífero, lo que ha conllevado hundimientos, poca eficiencia del sistema y problemas de inundaciones, volviendo la operación de desalojo más difícil, con una reducción considerable de su eficiencia.

Según (Bandala, 2018) en el área metropolitana de la CDMX, el 70 % del agua residual producida es descargada al ambiente sin tratamiento. Sin embargo, en los últimos años los sitios de descarga del sistema de drenaje como Atotonilco viven en una zona de alta contaminación industrial generada también por el corredor Tula-Tepeji-Vito, (Zambrano García et al. 2009). La ciudad de Tula y barrios cercanos también han reportado casos de afectados ambientales debido

a desbordamientos del río Tula en el año 2021, qué, según los pobladores, se ha debido a un deficiente control en las descargas de agua residual sobre el río y problemas en el control de las presas Requena y Endhó que administra CONAGUA.

En Tula el crecimiento del nivel freático ha sido de manera constante, el agua de nuevos manantiales aflora con flujos de 0,1 a 0,6 m³/s debido a la saturación de las descargas residuales en esta cuenca (Bandala, 2018) esta condición de saturación hídrica ha llevado a proponer proyectos para la exportación de agua tratada hacia la ZMVM, sin embargo en el tema de vulnerabilidad, la índole social también es un determinante para el acceso a estas fuentes como en el caso del sistema Lerma con la lucha de diferentes grupos sociales que se oponen a la exportación de su agua territorial



Figura 13. Afectaciones por los desbordamientos de 2021 en Tula Fuente René: Nodo Tula



Figura 14. Mapa de elaboración propia con el Sistema de Desagüe de la Zona Metropolitana, a la derecha, un acercamiento a la salida del drenaje por la Planta de Atotonilco hacia Tula del agua residual de la ciudad

2.2.3 Conclusiones:

Desde el tiempo antiguo de los grandes lagos, cuando el recurso hídrico surgía de los estratos porosos de la cuenca, la saturación hídrica de los acuíferos denotaba un alto grado de recarga y disponibilidad hídrica, esta gran capacidad de captación también habría sido una característica del paisaje original, el cual cambiaba según su concentración de humedad en una relación cercana con los sistemas de manantiales, lagos, arroyos temporales, cascadas, etc., estos fenómenos del agua proveían y también representaban retos que los pueblos lograban solucionar a través de obras colectivas administrando grandes cuerpos de agua, esto habría ayudado a la subsistencia de ciertas prácticas lacustres en la cuenca hasta nuestros días como es el caso de las chinampas de Xochimilco.

Las ciudades en la cuenca han coexistido gracias a los avances en el entendimiento de los ciclos del agua y su hidrogeología, sin embargo, al mismo tiempo estamos siendo testigos en estas últimas décadas de una expansión urbana sobre los espacios cruciales para la producción de servicios ambientales a gran escala, transformando los suelos de conservación sobre cerros, lagos, laderas, etc., reservas, que en gran medida son producidas por recargas acuíferas locales.

Esta falta de conservación de los ciclos hídricos compromete la disponibilidad del agua potable doméstica y la producción agrícola entre otros. Actualmente el 60% del agua empleada en la Zona Metropolitana se obtiene del acuífero de la Ciudad de México, el otro 40% del agua proviene de fuentes externas como el Sistema Lerma-Cutzamala, cuencas distantes que son explotadas para sustituir el déficit de agua que se vive en la Cuenca de la Ciudad de México.

La visión actual del estado plantea un enfoque hacia incrementar el abastecimiento de agua en la ciudad, lo que significa la expansión de obras hacia otros pueblos, estos proyectos presentan rechazo y conflicto social en las localidades desde donde se trata de trasladar el agua para la ciudad (Reynoso, 2018) la cuestión social también influye en la vulnerabilidad del sistema, sin mencionar el alto costo de los trasvases, estas comunidades locales han desarrollado una cultura de resistencia a este tipo de proyectos.

Esta condición de crisis en la Zona Metropolitana ha dificultado la disponibilidad, propiciando fenómenos graves como el tráfico de agua a través de pipas en colonias enteras, muchas de ellas en asentamientos irregulares, que impactan en la salud de los acuíferos, poniendo en riesgo el sistema de abastecimiento que cada vez es más vulnerable, y requiriendo grandes inversiones para obtener el recurso, tanto por la dificultad de la disponibilidad como por el control de la calidad o la factibilidad social, lo que define al abastecimiento de agua y los retos actuales en la ZMVM y su entorno.



Figura 15. la lucha por el agua en un contexto social de los pueblos, arriba las mujeres Mazahuas, grupo inconforme con las obras del Cutzamala.Imagen 17 web, la lucha por el agua en un contexto social de los pueblos en la actualidad en Xochimilco.

Fuente: <https://www.laizquierdadiario.com/Pronunciamiento-contra-la-represion-a-la-comunidad-del-pueblo-de-San-Gregorio>

Para el tema del abastecimiento, (Escolero, 2018) enlista 3 indicadores para evaluar índices de vulnerabilidad en los sistemas de agua: La infraestructura, ambiental y socio administrativa.

Actualmente la consolidación de fuerzas político administrativas en el centro del país podría favorecer la dinámica organizativa de un mismo gobierno del agua en la región “hidropolitana” y alrededores, según el término empleado por (Cohen, 2018) el tema del agua origina la posibilidad de acuerdos y planes de trabajo para efectuar los cambios necesarios en una gestión integrada también por la voz de las personas.

La historia de la Cuenca y su entorno está llena de propuestas y proyectos que apuntan hacia una respuesta diferente de hacer frente a la situación hídrica del territorio. Un ejemplo son las obras del Lago de Texcoco, propuesto por el Dr. Nabor Carrillo en los años 60's y últimamente retomado por las administraciones de izquierda como símbolo de restauración del patrimonio natural, proyecto que ha detonado un avance en la recuperación de cuerpos lacustres perdidos durante el periodo del desalojo de las aguas de la Cuenca en la Ciudad de México.

Este tipo de proyectos pueden tener gran impacto en la resolución de problemas de suministro y desalojo de las aguas, pero también como parte de la gestión y aprovechamiento de los recursos hídricos en la metrópolis por el gran número de presas, vasos reguladores y cuerpos lacustres que existen. También habrían de ser consideradas las presiones que provocaría el cambio climático en las fuentes de agua subterránea, su impacto en el abastecimiento local, el manejo de las lluvias "atípicas", de grandes escurrimientos que puedan colapsar la movilidad de la ciudad como ahora sucede o en el caso extremo con escenarios prolongados de sequías.

2.3 Desarrollo sostenible y sustentabilidad hídrica

Para abordar el tema de sostenibilidad y sustentabilidad hídrica, se debe presentar el concepto de sostenibilidad. Fue por primera vez utilizado en la Comisión de Brundtland en la Asamblea General de la ONU en 1987 (CEPAL, 2023). Esta asamblea fue encabezada por Gro Harlem Brundtland quien presidía la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. A su cargo se planteó la existencia de la tensión entre el crecimiento económico y la preservación de los recursos: impulsar el progreso y realizar de ambiciones humanas son acciones insostenibles para el medio ambiente (ONU, 1987).

En el informe la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987), entre los pendientes más importantes para la agenda internacional se planteó la población y recursos, la seguridad alimentaria, las especies y los ecosistemas, la energía, la industria y el desafío urbano (formación de ciudades). Dentro de este contenido, el asunto agua estaba subsumido en el apartado de seguridad alimentaria.

Al respecto se destacaba la relevancia del ordenamiento de los recursos hídricos. Se proponía equilibrar las acciones para combatir la escasez (con irrigación) y la abundancia (con alta producción agrícola). Desde ese momento se reconocían los hundimientos como consecuencia de la extracción excesiva de agua subterránea. Además, se argumentó que la regulación de su uso era necesaria mediante nuevas reglamentaciones o impuestos (ONU, 1987).

En el año 2000, en el II Foro Mundial del Agua con sede en La Haya (Países Bajos) el concepto de ‘seguridad hídrica’ fue incluido como un objetivo estratégico. Además de la incorporación de este en la discusión, se delimitaron acciones para guiar los esfuerzos hacia el cumplimiento del desarrollo sostenible. Esto consideraba el adecuado manejo de los recursos hídricos (IMTA, 2018). De acuerdo el mismo autor, el concepto de seguridad hídrica es el siguiente:

“La capacidad de una sociedad para disponer de agua en cantidad adecuada y calidad aceptable para su supervivencia y la de todos los seres vivientes en los ecosistemas en que habitan, así como para asegurar su desarrollo socioeconómico sostenible, gestionando los riesgos climáticos, meteorológicos y antrópicos relacionados con el agua, en un clima de paz a través de una buena gobernanza”.

Esto plantea claramente el vínculo entre el consumo de agua y la sostenibilidad, respecto a los recursos naturales como a los recursos económicos. Además, según Tzatchkov y Rodríguez (2022), la seguridad hídrica tiene dos pilares fundamentales: el derecho humano al agua -asunto abordado en el apartado

previo- y la gobernanza del agua –tema que será examinado en la siguiente sección.

También en el año 2000 se acordaron los objetivos del Desarrollo del Milenio. El séptimo (de los 8 objetivos) fue garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, en él se contempló la sub-meta vinculada con el agua: “7.C. Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento” (CEPAL, 2023). Esta fue la primera mención de una meta relacionada con el agua, sin embargo, no se aludía a la sustentabilidad.

Más adelante ONU-Agua (2013), señaló que para poder lograr la seguridad hídrica se requiere 4 factores fundamentales: buena gobernanza, cooperación intersectorial, paz y estabilidad política, y financiamiento. El primer factor consiste en contar con regímenes legales adecuados, instituciones, infraestructura y capacidad en un mismo lugar. Por su parte, la cooperación intersectorial se refiere el hecho de que los estados soberanos discutan y coordinen sus acciones para conocer los conflictos de interés y poder resolverlos en mutuo acuerdo, la infraestructura comprometida, los recursos humanos y los sistemas políticos y sociales.

En el caso de la paz y la estabilidad política, tercer factor, también la ONU-Agua (2013) apunta a que se evitan los efectos negativos de los conflictos, entre estas consecuencias se contempla la baja calidad o cantidad del agua. En cuanto al cuarto factor –o financiamiento- se alude a la existencia de un financiamiento innovador que tenga la función de complementar los fondos públicos.

En este sentido, se contempla la participación del sector privado con esquemas de micro financiamiento. En conjunto estos 4 factores enmarcarían los resultados en 4 dimensiones principales. La primera de ellas es: el agua potable y el bienestar humano. Con esto la ONU-Agua (2013) se refiere a que las poblaciones que tienen acceso a suficiente agua que sea salubre y asequible para cubrir las necesidades

tanto para consumo (hidratación) como para garantizar la higiene con la intención salvaguardar la salud y el bienestar y cumplir con el derecho humano al agua.

La segunda dimensión se refiere a los ecosistemas, al hecho de éstos puedan ser preservados y puedan tener un correcto funcionamiento, en el que tanto la naturaleza como las personas puedan confiar y que esto incluya la provisión de agua dulce. La tercera dimensión se relaciona con el desarrollo y las actividades económicas. La disposición de un suministro de agua adecuado permitiría la producción de alimentos y energía, industria, transporte y turismo (UNWATER, 2013). En las actividades primarias, secundarias y terciarias el agua resulta fundamental para el crecimiento económico.

Durante las dos siguientes décadas, la discusión sobre sostenibilidad se afianzó, teniendo cada vez mayor centralidad en la agenda internacional. Esto permitió que el tema del agua –así como el de la seguridad hídrica- concentrara mayor atención de las instancias internacionales. Muestra de ellos que en 2015 se acordaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que conforman la agenda 2030 (ONU, 2015 a), que, a diferencia de los Objetivos del Milenio (ODM) colocan al centro de la discusión el concepto de sostenibilidad y es de éste que parten los vértices temáticos.

En este punto sobre el impulso de la economía, es muy importante hacer una pausa para enfatizar las diferencias que tiene la industrialización y el consumo de recursos hídricos respecto a su contexto. Al respecto, la ONU (2015 a) menciona que:

“la producción de los países industrializados está por lo general bien subvencionada y protegida contra la competencia internacional. Estos subsidios incitan al uso excesivo de los suelos y de los productos químicos, a la contaminación de los recursos hídricos y de los alimentos con esos productos, así como al deterioro del campo”.

Esto permite reconocer que los países que se encuentran a la vanguardia de la producción agrícola y tienen mayor cantidad de recursos económicos disponibles, también es donde existe una mayor propensión a la contaminación y deterioro del ecosistema. El hecho de que existan mecanismos que promuevan la subvención, también afianza el uso desmedido de los recursos hídricos.

Finalmente, la última dimensión relacionada con la seguridad hídrica son los peligros relacionados con el agua y el cambio climático. La ONU-Agua (2013) considera que las poblaciones son resilientes a los problemas relacionados con el agua, ya sean inundaciones, sequías, y la contaminación.

Finalmente, en 2015, el reconocimiento de la seguridad hídrica se plasmó en la meta 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Desde la perspectiva del equilibrio entre consumo y preservación de los recursos se estableció puntualmente en la meta 6.4 “aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua”. Esta inclusión en los ODS sintetiza los esfuerzos por orientar la agenda internacional a buscar tanto el desarrollo sostenible y la sustentabilidad hídrica

2.4 Derecho humano al agua y políticas hídricas

De la vinculación entre el derecho humano al agua y las políticas hídricas, en primera instancia se aborda cuál es el marco regulador de este derecho. Esta revisión incluye normativa a nivel nacional, nacional y local. Esto permite construir el panorama en el que se enmarca la toma de decisiones en materia de políticas hídricas.

2.4.1 I derecho humano al agua y normativa

En 2010, durante la 108° sesión plenaria, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas reconoció el acceso al agua y al saneamiento como un derecho humano (ONU, 2010). A partir de este reconocimiento los Estados y organizaciones internacionales fueron exhortados a otorgar recursos financieros y tecnológicos para ampliar el acceso al agua a la mayor parte de la población, especialmente a aquella que se habita países en desarrollo.

Un lustro más tarde, en el marco de la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible llevada a cabo del 25 a 27 de septiembre de 2015 en Nueva York fue firmado, por 150 líderes mundiales, el plan nombrado *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (ONU, 2015 a). Éste se estructuró con 17 objetivos principales orientados a lograr el desarrollo sostenible en forma equilibrada e integrada (ONU, 2015 b). Se busca que este equilibrio e integración entre las 3 dimensiones: económico, social y ambiental.

De acuerdo con la ONU (2015 c), dentro de los 17 objetivos, el sexto de ellos se refiere a asegurar el acceso al agua y su saneamiento para todos. Este objetivo está dividido en 6 metas distintas. La primera meta consiste en lograr el acceso universal y equitativo al agua; la segunda se refiere al acceso al saneamiento e higiene y poner fin a la defecación al aire libre. La tercera meta se enfoca en mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación y aumentando el tratamiento del agua.

En el caso de la cuarta meta, se busca alcanzar el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce (implementar gestión integrada). La sexta meta se divide en dos: protección y restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua y ampliar la cooperación internacional para apoyar a países en desarrollo para crear programas y tecnología que permita el tratamiento de aguas residuales.

Respecto al marco regulatorio mexicano, de acuerdo con la Comisión Nacional de Derechos Humanos (2014) el reconocimiento del acceso al agua como un derecho humano se logró gracias a la reforma constitucional al 4o artículo de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos (CEPUM). Dicha reforma se publicó el 8 de febrero de 2012 en el Diario Oficial de la Federación y fue enunciado de esta manera:

“Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines” (Párrafo 6, Artículo 4to de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos).

La consideración del acceso al agua potable como un derecho humano se incorporó en la CEPUM sólo 2 años después de que Organización de las Naciones Unidas lo reconoció en la Asamblea General. También en cuanto a la CEPUM, en el artículo 27 de la ley suprema del sistema jurídico mexicano, se enuncian los principales instrumentos reguladores que ordenan el actuar en materia hídrica en el país.

El primero de ellos a la Ley de Aguas Nacionales (LAN) publicada por primera vez en 1992 (DOF, Ley de Aguas Nacionales , 2023) y conformado por 124 artículos. En segunda instancia se reconoce el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2014), éste está subsumido en el primer instrumento, el cual tuvo origen en 1994 y está integrado por 202 artículos.

Adicionalmente, como regulaciones subalternas, se reconoce la existencia de Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Un ejemplo de esto es la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2022) que está vinculada con la salud ambiental, agua para uso y consumo

humano. Esta norma establece límites permisibles estrictos para reducir la contaminación en el agua para uso y consumo humano y evitar así el deterioro de la salud de la población (Bañuelos, 2022).

En el caso puntual de la Ciudad de México, en mayo de 2003 se emitió la Ley del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad de México (GOCDMX, 2019), su objetivo es regular la gestión integral de los recursos hídricos y la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales.

Una década más tarde se promulgó la Ley del agua para el estado de México y municipios (2013). En ella, a diferencia de la otra regulación estatal sí se menciona explícitamente el derecho humano al agua en el artículo 11. Además, respecto al acceso a este derecho, se destaca la prioridad que se debe dar a sectores de la población que se encuentran en desventaja:

“El respeto al derecho humano al agua, que consiste en la atención de las necesidades de agua que tienen los ciudadanos para lograr su bienestar, particularmente quienes viven una situación de marginación socioeconómica; las necesidades de la economía para desarrollarse, y las necesidades del ambiente para su equilibrio y conservación” (IV fracción, artículo 11, la Ley del agua para el estado de México y municipios)

Esto permite reconocer, que, si bien es cierto, a nivel constitucional se ha reconocido el Derecho Humano al Agua, el resto de la normativa subnacional requiere actualizarse al respecto. El caso del Estado de México destaca en contraste con la Ciudad de México, por hacer mención de ese aspecto.

2.5 Políticas hídricas en la ZMVM

Al recordar que en 2010 se reconoció a nivel internacional el acceso al agua como un derecho humano, se considera ese momento como un parteaguas y en tanto punto de partida para describir aquí las principales políticas que se han emprendido en años recientes en pro del cumplimiento del derecho humano al agua.

En agosto de 2022, se presentó el Plan Integral para Acceder al Derecho Humano al Agua en el Valle de México (Gobierno de México, 2022). Su implementación se ha llevado a cabo desde 2019 –lo que representa un 40% en su avance se contempla su término hasta 2030. La responsabilidad de su ejecución es tripartita y está a cargo de: el Gobierno de la Ciudad de México, el Gobierno del Estado de México y la Comisión Nacional del Agua.

De acuerdo con el Gobierno de México, el objetivo de este Plan de Desarrollo tiene 3 ejes: hacer más eficientes los sistemas de abastecimiento existentes, reciclar el agua de la lluvia y recuperar los servicios ambientales de la cuenca. Este último aspecto está estrechamente relacionado con garantizar la sostenibilidad de las intervenciones, es decir, a pesar de que el plan esté centrado en garantizar el derecho humano al agua las acciones realizadas en torno al cumplimiento de este objetivo deben estar en armonía con el medio ambiente.

De manera concreta, el mantenimiento de la infraestructura hídrica del Valle de México es fundamental. Las medidas más relevantes al respecto son: la recuperación del Sistema Lerma y conservación del Sistema Cutzamala, la construcción de plantas de bombeo y potabilización, en Ixtlahuaca –así como presa de 'El Bosque' - y Atizapán (presa 'Madín II') respectivamente (CONAGUA, Gobierno de la Ciudad de México, & Gobierno del Estado de México, Programa Integral para Acceder al Derecho al Agua en el Valle de México, 2019-2030, 2022).

De acuerdo con las mismas instancias, en materia de saneamiento, esta acción sería implementada en las presas 'Villa Victoria' (ubicada en el municipio homónimo) y 'Colorines' (Valle de Bravo). Respecto a construcción, se contempla

la creación de una línea de construcción de agua potable que conecte al tanque 'Providencia' (Cuautitlán Izcalli) con el tanque 'La Caldera' (Los Reyes Acaquilpan).

En cuanto a las ampliaciones, en la Laguna de Zumpango (Estado de México) se contemplan 3 de éstas. Y respecto a la construcción entorno a una laguna, de Xico (en el límite entre la Ciudad y el Estado de México) se considera la construcción de un humedal, una planta potabilizadora y 2 plantas de tratamiento cuyo término se estipula hasta marzo de 2024. Finalmente, se toma en cuenta el mantenimiento permanente de pozo de CONAGUA.

2.6 Gobernanza del agua en el Valle de México

De acuerdo con Salcido y Chávez (2008), el término gobernanza (del inglés *governance*) se ha desarrollado en tres vertientes principales. La primera de ellas se vincula con el conservadurismo se enfoca en los movimientos de los años 60 y 70; la segunda es una crítica a las autoridades jerárquicas y tiene sustento en teorías libertarias. La tercera corriente sienta sus bases en el posmodernismo, el pluralismo y la fragmentación espacial. De estos tres enfoques, el último es el más reciente y también el que se ha elegido esquema conceptual para el presente análisis.

Los autores más relevantes de esta corriente coinciden el que la gobernanza se refiere a:

"coordinación horizontal y una integración de procesos decisivos que configuran un paradigma complejo por los subniveles y capas que debe cumplir para hacerse efectiva. Entre los actores a considerar por este paradigma, destacan las agencias internacionales, los gobiernos nacionales y subnacionales, las organizaciones no gubernamentales (ONG), las agencias de desarrollo y las organizaciones nacionales, municipales y locales, que buscan establecer un marco institucional que disminuya los costes de transacción" (Salcido & Chávez, 2008).

Desde esta perspectiva, para poder hablar de la gobernanza del agua en el Valle de México es elemental enfocarse de los actores políticos y sociales principales que intervienen en la gestión de los recursos hídricos al centro del país. Como antecedente a la presentación de actores se enumera brevemente en contexto en el que actual modelo de organización quedó establecido como hoy lo conocemos.

De acuerdo con Escobar (2009) la configuración administrativa que actualmente conocemos comenzó con la creación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 1989. Ésta fungía como órgano rector de la administración de los recursos hídricos del país, sin embargo, con la publicación de la Ley Nacional de Aguas en 1992, la función de la comisión se limitó a brindar apoyo técnico especializado a los gobiernos de los municipios. Desde entonces la CONAGUA dejó de participar en la construcción y operación de grandes obras. Esto potenció la participación de autoridades estatales y municipales.

A nivel subnacional, específicamente en el caso de la Ciudad de México destaca la creación del Organismo Público Descentralizado *Sistema de Aguas de la Ciudad de México* (SACMEX) en diciembre de 2002 (GO, 2002). Este sistema surge a partir de la fusión de Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF) y su objetivo es otorgar los servicios de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (SACMEX, 2023).

Respecto al estado de México, en 1999 se creó la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), en 2015 se formalizó la sectorización de esta instancia a la Secretaría de Infraestructura (CAEM, 2023). Recientemente, por iniciativa la gobernadora y el apoyo del Congreso de la entidad, CAEM en Secretaría del Agua (MF, 2023). En este contexto, tanto la Ciudad de México como el Estado de México, cuentan con más de 3 décadas gestionando los recursos hídricos de la zona con sus propios organismos.

Además de las instancias públicas, también se reconoce la participación del sector privado y el tercer sector (la sociedad civil). En este tenor, es pertinente cómo,

desde la perspectiva de Knoepfel, et. al. (2007), se constituyen el triángulo de actores de una política pública, que en este caso corresponde a los recursos hídricos del centro del país.

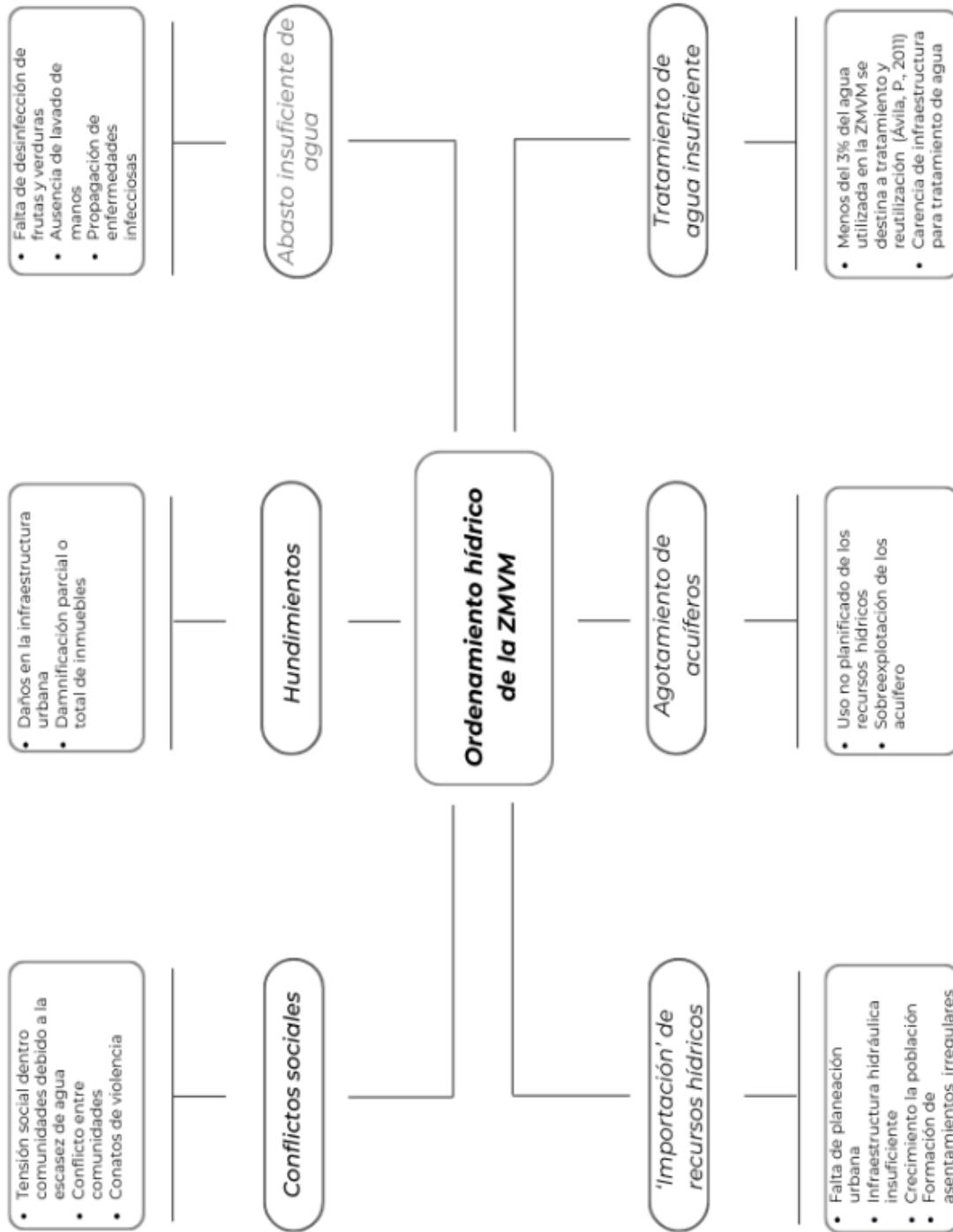
- 1) Autoridades político-administrativas quienes elaboran y aplican la política pública. - En este caso podemos identificar a la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), OCAVAM y SACMEX
- 2) Beneficiarios finales quienes padecen los efectos negativos del problema. - población en general
- 3) Grupo objetivo-quienes causan el problema. - La iniciativa privada en general, y específicamente la industria inmobiliaria

Respecto a las autoridades político administrativas, éstas se sitúan en el vértice superior y representan al conjunto de reglas que rigen las competencias y procesos administrativos, así como acuerdos menos formales. En este sentido, las autoridades enunciadas tienen las facultades de ejecución de abasto de agua y – hasta el momento- no ha contemplado colaborar con el sector privado para dar salida a las dificultades del acceso al agua.

En cuanto a los vértices inferiores, los beneficiarios son quienes viven directamente el impacto de la gestión de los recursos hídricos en el centro del país. La población se ve afectada por las restricciones en el acceso al agua tanto por su disponibilidad (tener agua entubada en casa), como por su calidad (que esta sea suficiente para el consumo humano). Ellos son los principales afectados, o beneficiados de las acciones que emprenda el grupo objetivo.

Con éste se hace referencia, a quienes pertenecen a la iniciativa privada, específicamente a quienes forman parte del sector inmobiliario. La expansión de megaproyectos puede generar tensiones entre los sectores populares donde son asentados y los nuevos habitantes (Ibarra, 2017). Entre el Estado de México y la Ciudad de México, la primera entidad ha sido la que más estudios tiene al respecto.

A continuación, y para sintetizar el contenido de este apartado se presenta un árbol de problemas. En el centro la problemática a tratar, en la parte inferior las causas, mientras que las consecuencias están en la parte superior del esquema:



2.7 Programa general de ordenamiento territorial de la ciudad de México

A continuación, se presenta un recuento de los programas de ordenamiento para las cuencas que componen este estudio, se enfatiza en el caso particular de los cuerpos de agua superficiales y subterráneas, su descripción funcionamiento y territorio en torno a las medidas que se han dispuesto en las nuevas versiones del PGOT 2023 aún en construcción. Se incluye una descripción gráfica para el mejor entendimiento del sistema hídrico a partir de la información oficial disponible públicamente.

La Ciudad de México se localiza en la Región Hidrológica número 26 denominada Pánuco. La Región Hidrológica Número 26 Pánuco se ha dividido en dos subregiones hidrológicas, Valle de México - Río Tula y la de Río Pánuco. La primera comprende 13 de las 77 cuencas hidrológicas de la Región Número 26 y las restantes 64 conforman la Subregión Hidrológica Río Pánuco (PGOT, 2022)

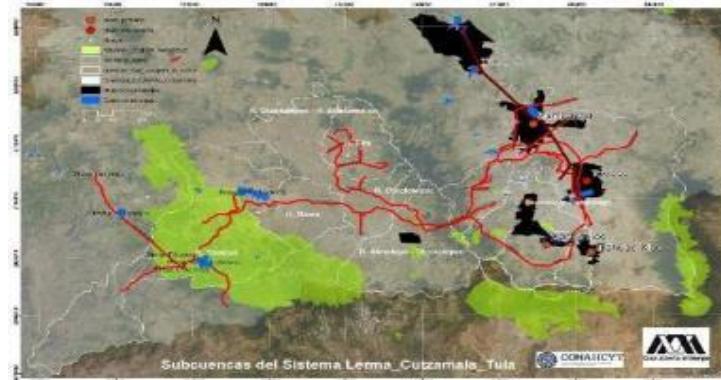


Figura 16. Mapa de realización propia con ubicación de subcuenca nodos, cuerpos de agua, red de trasvase de agua desde la región Lerma-Cutzamala y áreas naturales protegidas.
<https://ceiba.org.mx/compendio-info-grafica-rhaxiii/>



Figura 19. de realización propia. El río de los remedios, el Magdalena y el Eslava dan cuenta de la persistencia e incremento de descargas clandestinas de aguas servidas y residuos sólidos de todo tipo, el Canal Nacional y el Gran Canal

Sobre la gestión del agua en el programa de ordenamiento, se hace mención de que “El sistema de drenaje profundo evacúa la mayor parte del agua utilizada en la reproducción de la ciudad. El agua de lluvia, que tiene un gran potencial para la dotación de agua de calidad, se pierde al mezclarse con el drenaje doméstico y al ser conducida a través del drenaje profundo, a cuencas lejanas, en donde, además, ocasiona impacto ambiental por contaminación de suelos y ríos en desequilibrios de los balances hídricos de estas cuencas (IPDP, 2022)”



Figura 20. de realización propia. La Presa San Lucas en Xochimilco recibe los residuos contaminados del Río Santiago “El mal uso del agua agudiza el déficit en la distribución adecuada en calidad y cantidad en amplios sectores del oriente de la ciudad.” CITATION IPD22 \l 2058 (IPDP, 2022)

Así como la calidad del agua, “El nivel de contaminantes es muy alto en el agua usada de zonas urbanas con acceso a las redes de drenaje. La capacidad de depuración de aguas servidas en la CDMX apenas alcanza 30% y la capacidad de

distribución del agua tratada para usos urbanos es muy limitada, con cerca de 15% del volumen. La inversión de la CDMX para incrementar la capacidad de tratamiento y de distribución del líquido ha sido insuficiente, por lo que se ocupan grandes volúmenes de agua potable que requieren calidad ligeramente menor, de acuerdo con las normas oficiales. (IPDP, 2022)

En los párrafos anteriores se hace referencia a la situación actual de los cuerpos de agua que descargan en la cuenca y desembocan combinadas a través de los grandes drenajes hasta zonas del norte de la cuenca como Zumpango o Tula. El agua de lluvia se pierde al mezclarse con los drenajes urbanos, resultando en un agua residual con altos niveles de contaminantes. Así también se plantea la situación actual del sistema de aguas tratadas, de apenas un 15%, teniendo como resultado agua distribuida de manera desigual tanto en cantidad como en calidad.

Equipamiento público de abasto: Agua potable y drenaje

En el caso del agua potable, en la Ciudad de México existe una cobertura de 98% de las viviendas y 94% del drenaje. Sin embargo, esta infraestructura presenta importantes fallas ya que el 42% del agua suministrada se pierde en la red por fugas o tomas no contabilizadas o clandestinas, además de que 26% de los habitantes no recibe cantidades suficientes de agua y 16% no cuenta con un servicio diario, de acuerdo con (SACMEX, 2019). Adicionalmente, más de la mitad de esta agua proviene de la explotación de aguas subterráneas a 16 y 17.8 m³/s. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, el balance de agua subterránea en el valle de México es negativo ya que la extracción excede en 140% la magnitud de la recarga o volumen renovable. Esta situación tiene que ver con patrones de hundimientos, asentamientos y grietas en la capital del país. (IPDP, 2022) Pág. 78)



Figura 21. de elaboración propia. Infraestructuras hidráulicas con más de 100 años de antigüedad que sufren la vulnerabilidad territorial de los impactos de sísmicos en Xochimilco. La red ha sufrido cambios para adaptarse a la nueva necesidad sin embargo estos espacios actualmente están inutilizados

Gestión sustentable del agua, disponibilidad del agua

“El mal uso del agua agudiza el déficit en la distribución adecuada en calidad y cantidad en amplios sectores del oriente de la ciudad.” (IPDP, 2022) PGOT 2022

“La principal fuente de abastecimiento de agua para la Ciudad de México es el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, del cual se obtiene alrededor del 66.3% del agua potable que se consume en la ciudad. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, la disponibilidad de agua subterránea del Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta un déficit al año 2018 de - 561.05 millones de m³/año.” (IPDP, 2022) PGOT 2022,

El PGOT hace referencia a la capacidad de la Cuenca de México para producir su agua, dado que más de la mitad se produce en la misma, por otra parte, se menciona el cambio artificial del funcionamiento endorreico a uno exorreico, refiriéndose al sistema de drenaje actual, estas problemáticas, tanto el crecimiento irregular de la ciudad y la transformación de los suelos incrementa el cambio hidrológico de la cuenca, afectando la disponibilidad y el abastecimiento del agua, lo que también ha repercutido en las fallas, deslizamientos y

hundimientos de la ciudad, volviendo el territorio vulnerable en el sentido geológico por los impactos de sismos.

“Por otra parte, existen zonas de la Ciudad de México donde no se cuenta de manera continua con el servicio de agua potable, debido, en parte a la infraestructura hidráulica cuya vida útil ha sido rebasada o donde ha sido insuficiente la inversión para atender el rezago en cuanto a reposición, rehabilitación y ampliación de la infraestructura.” (IPDP, 2022) (PGOT, 2022).

“Un aspecto relevante de la problemática de los recursos hídricos de la Ciudad de México consiste en que en la actualidad se carece de fuentes sustentables de abasto de agua dentro de la demarcación, ya que no se cuenta con capacidad para poder satisfacer las necesidades de consumos de agua potable de sus habitantes, de manera que se ha tenido que recurrir a la extracción, cada vez mayor, de aguas subterráneas del Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, el cual se encuentra en condiciones severas de sobreexplotación.

Un aspecto fundamental de la gestión del agua está relacionado con los parámetros de calidad en las fuentes de extracción. De acuerdo con los últimos resultados obtenidos de SACMEX, se tiene identificado que en la zona oriente y norte de la Ciudad de México existen problemas en la calidad del agua acorde a los parámetros establecidos en la NOM-127 SSA1-1994, de tal manera que el agua que se extrae de los pozos ubicados en estas zonas necesita atender costos de potabilización para lograr que el agua producida sea apta para el consumo humano.

Uno de los efectos de la sobreexplotación del acuífero es la presencia de hundimientos diferenciales del subsuelo, lo que impacta en la eficiencia de la operación de las redes hidráulicas. Por ello, aunado a la medición y control de caudales, el mejoramiento de la operación del sistema requiere acciones de rehabilitación y sustitución de la red secundaria, cuya vida útil sobrepasa los 30 años. En consecuencia, se presentan fallas continuas que afectan la calidad del

servicio manifestándose en la presencia de fugas, operación de los equipos de bombeo y pérdidas físicas de la red hidráulica y de drenaje.

Según el PGOT 2022 la red de drenaje está conformada por 14,096 kilómetros, de los cuales el 17.39% corresponde a la red primaria con diámetros iguales o superiores a 0.60 metros; y el 82.61% corresponde a la red secundaria con diámetros inferiores a 0.60 metros. El 30% de la red de drenaje se localiza en las alcaldías de Iztapalapa y Gustavo A. Madero. La vida útil de la red de drenaje ha sido sobrepasada y presenta problemas de funcionamiento, el efecto de los hundimientos en pendientes de flujo invertidas y la generación de gases que provocan corrosión en las estructuras afectan la condición de operación de los colectores.

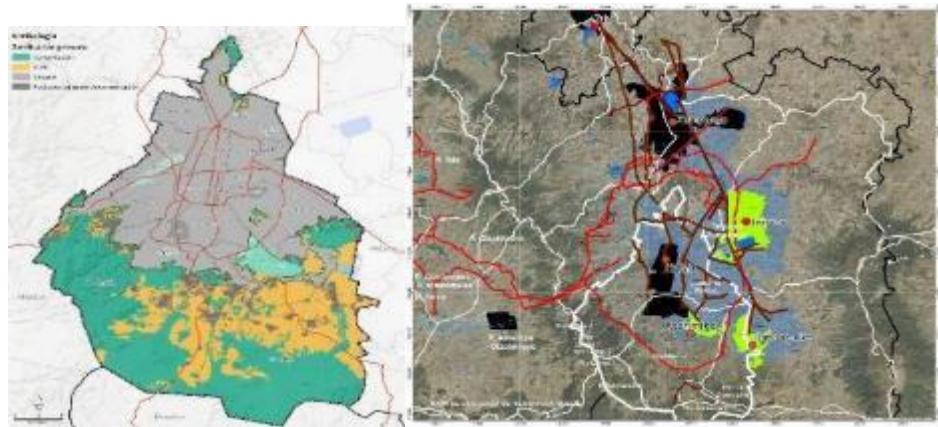


Figura 22. Mapa de elaboración propia. CDMX en el contexto del drenaje y obras de control de inundaciones con la extensión de los antiguos lagos, permite comprender la ubicación de los nodos con respecto al suelo lacustre

2.7.1 Desalojo de aguas residuales PGOT 2023:

El tratamiento de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México se enmarca en un contexto de atención metropolitana, dada la interrelación de las descargas de aguas residuales y las pluviales conducidas a través del drenaje profundo y - en una próxima etapa conducidas a través de Túnel Zimapán que podría abastecer de agua tratada a la ciudad de Querétaro en un futuro. La infraestructura para el tratamiento de aguas residuales está compuesta

principalmente por las plantas de tratamiento de aguas residuales y las redes de conducción y distribución del agua tratada, distribuidas en toda la Ciudad de México.

Las PTAR's se complementan con una red de agua tratada integrada por subsistemas aislados que surgieron y se extendieron en la zona de influencia de las plantas de tratamiento, en diámetros que van de 10 cm hasta 122 cm. En 2018, SACMEX contaba con 854.96 kilómetros de red de agua residual tratada, de la cual el 20% corresponde a la red primaria, y el 80% a la red secundaria. El 70% de la red se concentra en las alcaldías Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Iztacalco y Xochimilco.

Del caudal tratado de aguas residuales, el 14.1% fue tratado en las cuatro plantas concesionadas y el 85.9% en las 22 plantas operadas directamente por el SACMEX. En relación con la antigüedad de las plantas de tratamiento, el 88.21% del caudal tratado durante 2018 se realizó en plantas cuyo periodo de operación sobrepasa los 30 años.

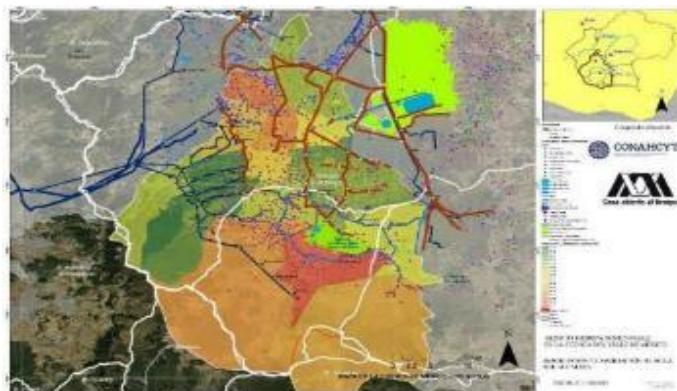


Figura 23. Mapa de elaboración propia con información PGOT sobre dotación de agua doméstica por alcaldía

2.8 Plan estatal de desarrollo urbano del Estado de México

2.8.1 Introducción:

A continuación, se presenta un recuento de los programas de ordenamiento para las cuencas que componen este estudio, se enfatiza el caso particular de los cuerpos de agua superficiales y subterráneas. A continuación, se presenta una valoración de análisis realizado al Plan de desarrollo urbano del Estado de México (PDDU 2019), con esto se trata de conformar una base de información sobre la aportación de los acuíferos y aguas superficiales en una dinámica de abastecimiento para la región metropolitana.

2.8.2 Hidrología Estatal

El Estado de México es uno de los más importantes en la República Mexicana por su alta concentración poblacional, industrial y por las actividades agrícolas que en él se desarrollan; todo lo anterior se sustenta en el uso del agua, porque cada vez más, se tiene la necesidad de gastar mayores volúmenes, aumentando costos en el suministro del recurso (INEGI, 2001d) en (Méjico, 2019). Las principales corrientes superficiales que conforman al Estado de México son perennes, distribuyéndose principalmente al suroeste, centro y noreste; algunas son de corto recorrido, y otras, que provienen de la porción central, sur y norte del Estado. En general, los drenajes son de tipos dendríticos y en algunos casos de tipo radical, para las estructuras montañosas más elevadas (Méjico, 2019).

2.8.3 Regiones Hidrológicas estatales



Figura 24. RH12 Lerma-Santiago

Desde el punto de vista hidrológico, en el territorio estatal se encuentran las cuencas Río Moctezuma (RH256-D), Río Balsas-Zirándaro (RH18-C), Río Cutzamala (RH18G), Río Grande de Amacuzac (RH18-F) y Río Lerma - Toluca (RH12-A)

La RH12 Lerma-Santiago se ubica en el centro y occidente de la república mexicana, colinda al norte con la RH11 y la RH36, al oeste con la RH37 y la RH26, al sur con la RH18 y la RH16, y al oeste con la RH14 y la RH13. El río Lerma constituye el principal sistema hidrológico de la región y es uno de los más importantes del país recorre un total de 1 180 km desde su origen en una laguna ubicada en el municipio de Almoloya del Río, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Dentro del Estado de México se ubica parte de la cuenca (A), Río Lerma-Toluca; la región hidrológica 12 Lerma-Santiago, es representada por la cuenca (A), denominada Lerma-Toluca. Esta cuenca se localiza al centro noroeste de la Entidad, abarcando 23.9% de la superficie estatal. Colinda al norte y al este con la cuenca (D) de la RH-26, al sur con la cuenca (F) de la RH-18, y al oeste con la cuenca (G) de la RH-18. En el estado la integran las subcuentas: Río Almoloya-Otzolotepec, Río Otzolotepec-Atlacomulco, Río Atlacomulco-Paso de Ovejas, Arroyo Ceviche, Río Tlalpujahua, Río Jaltepec, Río Gavia, Río Tejalpa, Río Verdiguel, Río Otzolotepec y Río Sila.

2.8.4 Cuenca Río Moctezuma

La cuenca Río Moctezuma se localiza al noreste de la Entidad, comprende el 35.4% de la superficie estatal. Al norte se extiende hacia los estados de Querétaro e Hidalgo; al este colinda con la cuenca (A) de la RH-18 y se continúa a los estados de Puebla, Hidalgo y Tlaxcala; al sur limita con la cuenca (F) de la RH-18 y penetra a la Ciudad de México; mientras que, al oeste, tiene colindancia con la cuenca (A) de la RH-12 (Méjico, 2019)

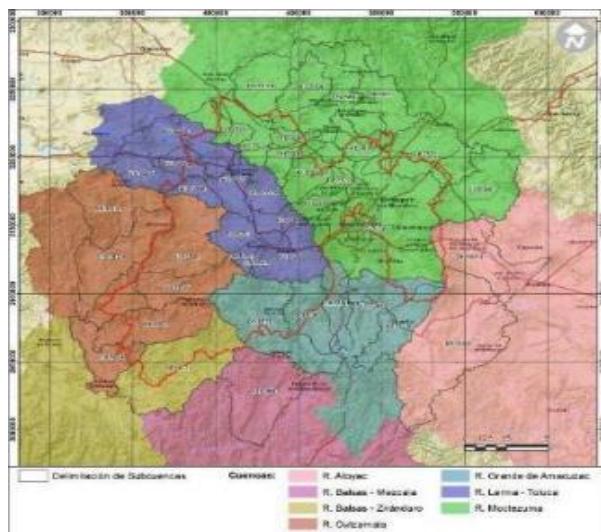


Figura 25. Mapa sustraído de PEDU 2019. Cuencas que corresponden con el Estado de México

El Río San Juan en el Estado de México, origina la corriente más importante de esta cuenca: el Río Moctezuma, que recibe este nombre después de un recorrido de 174 km, el principal afluente del Río Pánuco. El Río Moctezuma sigue un recorrido norte-noroeste a partir de este punto; posteriormente cruza la Sierra Madre Oriental cambiando de dirección, e inicia su recorrido por la planicie costera, aquí desvía su rumbo hacia el norte-noreste, y después de 31 km de recorrido cambia de sentido hacia el noroeste por un largo de 70 km, donde confluye por la margen derecha con el Río Temporal. A partir de aquí, el río Moctezuma sigue una dirección norte-noroeste, y la confluencia con el río

Tampón, recibe el nombre de Río Pánuco. Finalmente, sigue el rumbo este-noreste por 144 km hasta su desembocadura en el Golfo de México. (Méjico, 2019)

La cuenca (D) Río Moctezuma cuenta con otras corrientes principales como son los ríos Cuautitlán, El Salado, El Órgano, Ñadó, San Juan, San Bernardino y Zarco. Dentro del Estado de México se encuentran las subcuenca, Río Prieto, Río Alfajayucan, Río Zarco, Río Tecozutla, Río Tula, Río Rosas, Río Tlautla, Río El Salto, Río Cuautitlán, Río Tepotzotlán, Lago de Texcoco y Zumpango, Río El Salado, Río Tezontepec, Lago Tuchac y Tecocomulco y Río Actopan. (Méjico, 2019)

2.8.5 RH18 Balsas -Cuenca Río Cutzamala

“La porción de la cuenca del Río Cutzamala, se localiza en territorio mexiquense, se ubica al suroeste de la Entidad, cubriendo 23% de la superficie estatal. Colinda al norte y este con la cuenca (A) de la RH12 y la (F) de la RH18, al sur con la cuenca (C) de la RH18 y al oeste se continúa hacia los estados de Michoacán de Ocampo y de Guerrero. La dirección de escurrimiento de esta cuenca es de noreste a suroeste. La corriente más importante es el Río Cutzamala, el cual, a lo largo de sus 262 km de recorrido, recibe los nombres de; Taximaroa, Turundeo, Río Grande, Tuxpan y Zitácuaro; es uno de los principales afluentes del Río Balsas. En su recorrido llegan a esta corriente varios afluentes; Temascaltepec, Los Ciruelos y Bejucos” (PEDU)



Figura 26. Mapa sustraído de PEDU 2019. Cuenca que corresponden con el Estado de Méjico

Algunas corrientes sirven como límite político-administrativo; tal es el caso del río Tingambato, que aguas abajo, junto con el río Temascaltepec y en la confluencia con río Pungaranco, delimitan los estados de México y Michoacán de Ocampo. Dentro del territorio mexiquense, la cuenca se integra por el Río Cutzamala, Río Zitácuaro, Río Tuxpan, Río Ixtapan, Río Temascaltepec y Río Tilostoc. Los principales embalses en la cuenca son la presa Valle de Bravo y la presa Villa Victoria

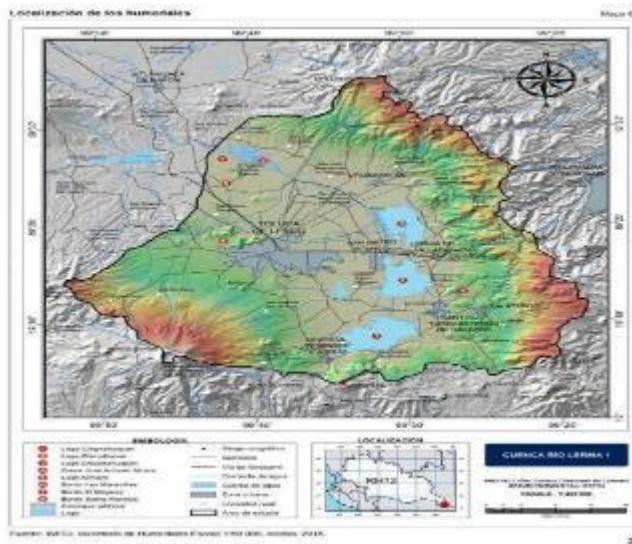


Figura 27. Mapa sustraído de CONAGUA. Sistema de humedales o Ciéngas que corresponden con la Cuenca del Río Lerma

2.8.6 Sistema de lagos

El sistema de lagos del Estado de México se conforma principalmente por dos cuerpos de agua: Zumpango y Dr. Nabor Carrillo. La cuenca del Valle de México fue endorreica, es decir, no tenía salida hacia el mar. Los lagos de Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco conformaban un gran sistema y esto generaba periódicas inundaciones en la antigua Tenochtitlán (IMTA, 2012) A la caída de Tenochtitlan en 1521, con la incursión de los españoles en el Valle de México, comenzó la desecación del Lago de Texcoco; se realizaron obras para construir persas, canales y conductos que tuvieron como resultado el drenado de

agua hacia el norte del Valle. La consecuente desecación de una parte del lago favoreció los asentamientos humanos y el crecimiento de la población. Los habitantes del Valle de México han tenido que lidiar con el fenómeno de las inundaciones, así como del tratamiento y desalojo de sus aguas residuales (IMTA, 2012) en (Méjico, 2019)

El Valle de México tiene una extensión territorial de 9739 km², que comprende cinco entidades: Ciudad de México (1320 km²), Estado de México (4 800 Km²), Tlaxcala (840 Km²) y Puebla 100 Km²) (Gutiérrez de MacGregor, 2005) en (Méjico, 2019). El Valle de México presenta una zona plana, que corresponde a los depósitos lacustres, una zona de lomerío y otra montañosa (Breña Puyol & Breña-Naranjo, 2009) en (Méjico, 2019). En la zona plana se ubica la mayor parte de la mancha urbana de la zona metropolitana de la Ciudad de México, recientemente se ha urbanizado la zona de lomerío y montaña, lo que reduce las áreas de recarga del acuífero del Valle de México e incrementa los riesgos por inundación. La región del Valle de México aporta la cuarta parte del Producto interno Bruto Nacional, pero tiene menos del 1% del agua renovable nacional (CONAGUA, 2014). Actualmente, la zona que pertenecía al antiguo sistema lacustre está completamente urbanizada, a excepción de algunos cuerpos de agua como: el Lago de Zumpango, Lago Dr. Nabor Carrillo y el Lago de Xochimilco. (Méjico, 2019)

Los ríos de los Remedios, Tlalnepantla, Consulado, Río de la Piedad, Becerra, Tacubaya, Río Churubusco, San Ángel, Mixcoac, Magdalena y Río San Buenaventura han desaparecido como corrientes de agua y han sido afectados por los hundimientos regionales y locales del subsuelo, reduciendo su capacidad de conducción y evacuación de las redes primarias. Las lagunas y vasos de regulación existentes en la parte plana de la ZMVM, así como las redes primarias de drenaje superficial, también se han visto afectadas por los hundimientos locales y regionales, La afectación de las redes secundarias de desalojo incrementando la cantidad de zonas bajas susceptibles de inundación dentro del Valle de México (CONAGUA, 2007)

2.8.7 Lago de Zumpango:

El Lago de Zumpango es uno de los centros receptores de las aguas que inundan a la Ciudad de México. Durante la temporada de lluvias el Lago controla las avenidas pluviales del río Cuautitlán y del Emisor Poniente, a través del canal de Santo Tomás; almacena en promedio entre 40 a 60 hm³ anuales, aunque su capacidad de almacenamiento es de 100 hm³. En el Lago de Zumpango el agua de entrada es pluvial, aunque también se introduce agua residual. Parte del agua que se almacena en la Laguna de Zumpango es usada para riego agrícola (IMTA, 2012)



Figura 28. Mapa de elaboración propia. Cuerpo de agua de Zumpango al centro norte del Estado

2.8.8 Lago Dr. Nabor Carrillo:

El Lago Dr. Nabor Carrillo se ubica dentro de los municipios de Ecatepec, Atenco, Chimalhuacán, Texcoco y Nezahualcóyotl. El Lago nació con la finalidad de regular las aguas de los ríos del Oriente y almacenar las aguas tratadas (DUMAC, 2005). Dentro de esta área se localizan otros cuerpos de agua artificiales, creados para el control de las avenidas y el tratamiento de aguas residuales. El Lago Nabor Carrillo tienen una capacidad de 36 millones de m³ y una superficie de 917 ha, inició su operación en 1982 como regulador y almacenador de aguas residuales tratadas y de lluvia.

El Lago de Churubusco con capacidad de 5 millones de m³ y una superficie de 267 ha, también regula y almacena aguas pluviales y residuales. El Lago de Regulación Horaria tiene una capacidad de 4.5 mm³ en una superficie de 150 ha;

mientras el Lago Recreativo tiene una capacidad de 0.3mm³ y una superficie de 29 ha, funciona como un refugio de aves nativas y migratorias; la Laguna Xalapango regula y almacena las avenidas de la Cuenca oriental con capacidad de 4.8 mm³ en una superficie de 214 ha (DUMAC, 2005)



Figura 29. Mapa de elaboración propia. Lago Dr Nabor Carrillo, oeste de Texcoco, con los ríos que desembocan y las áreas disponibles de inundación, de alta factibilidad para la gestión hídrica de la metrópolis

2.8.9 Infraestructura de drenaje del Valle de México

Las grandes obras hidráulicas del Valle de México se explican como una respuesta al problema de las inundaciones, que han asolado a la Ciudad de México desde su fundación. El instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) menciona que el Valle de México cuenta con tres salidas artificiales: el Gran Canal del Desagüe (Túneles de Tequixquiac), Emisor del Poniente (Tajo de Nochistongo) y el Emisor Central; cada uno de estos elementos de drenaje han sido diseñados para resolver en el problema de desalojo y control de niveles de agua, principalmente en la Ciudad de México y su zona Metropolitana. Debido al crecimiento de la metrópoli y a los hundimientos regionales provocados por la explotación de los mantos acuíferos, ha sucedido lo siguiente (IMTA en PEDU 2019)

- El Gran Canal del Desagüe ha perdido su capacidad de desalojo, limitándose a un máximo de 40 m³/s

- El Emisor del Poniente depende de que el Vaso Regulador El Cristo presente niveles de agua altos para que vierta el canal del desalojo

- El Emisor Central ha disminuido su capacidad de desalojo, por la falta de mantenimiento.

La CONAGUA (2007) señala que, cuando la población de la Zona Metropolitana del Valle de México era de 10 millones de habitantes, la capacidad de desalojo fue de 280 m³/seg; para el año 2007 se redujo a sólo 165 m³/s. El aumento significativo de la población hizo necesaria la implementación de acciones de emergencia para la inspección y reparación del Sistema de Drenaje Profundo. Además, fue necesario decidir la construcción de un nuevo túnel emisor para disponer de una capacidad total de desalojo de 315 m³ 7s y permitir el mantenimiento alternado con el Túnel Emisor Central (PEDU 2019)

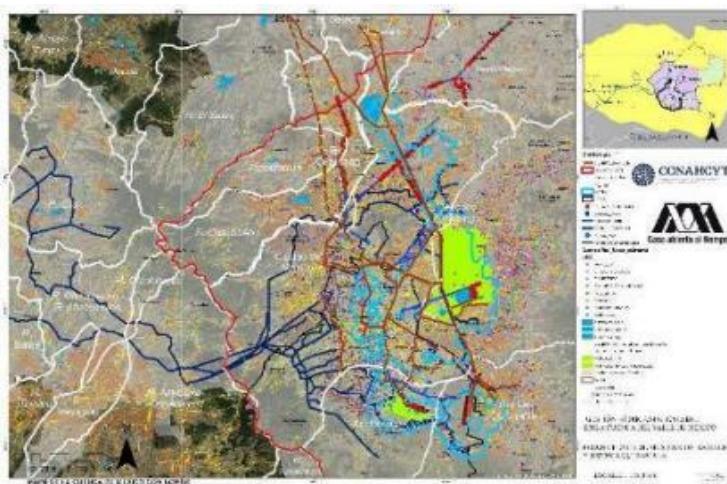


Figura 30. de elaboración propia. Sistema Lerma-Cutzamala con cuerpos de agua y subcuenca que lo conforman. Las zomas de área natural (ANP) tienen un vínculo directo con el sistema del Gran Canal de Desagüe, el Drenaje Profundo y el TEO,

3 ZONA DE ESTUDIO

3.1 Zona Metropolitana del Valle de México

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) o Valle de México, es actualmente la mayor concentración urbana de México y una de las cuatro

metrópolis más pobladas de América Latina (Pradilla, 2016), es un área urbana formada por tres entidades federativas, la Ciudad de México con sus 16 alcaldías, 59 municipios conurbados del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo (Pastrana-Miranda & González-Caamal, 2022) (Figura 1)

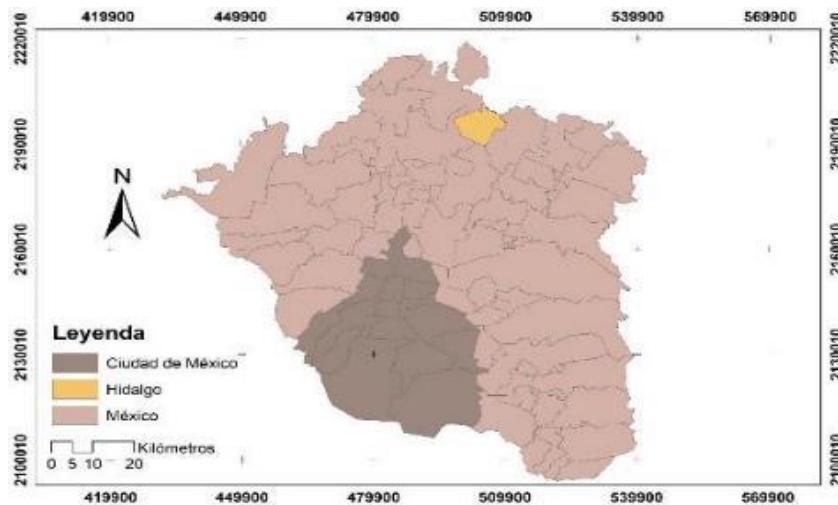


Figura 31. Zona Metropolitana del Valle de México

La ZMVM está integrada por más de 20 millones de habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2023) (Río Arronte, 2020). Se encuentra dentro de las principales ciudades del mundo con mayor población (Tokio es la ciudad con mayor población con 37 millones de habitantes, seguido por Delhi con 29 millones, Shanghai con 26 millones, São Paulo y la Ciudad de México con más de 22 millones de habitantes cada una. Y, el Cairo con 22 millones (Nations-United, 2019)). Esto convierte a la ZMVM en una de las 2 mayores aglomeraciones humanas del hemisferio occidental.

Del total de la población de la ZMVM, el 56.74% se concentran en el Estado de México y el 42.69% en la CDMX (Pastrana-Miranda & González-Caamal, 2022). El crecimiento demográfico ha sido constante, aunque desigual en el tiempo, desde que se inició el desborde de la CDMX sobre los municipios contiguos del Estado de México con un crecimiento anual del 5% debido a la intensa inmigración de la

población de otras áreas del país, principalmente desplazadas del campo (Pradilla, 2016)

A pesar de que la ZMVM o Valle de México es un centro económico, financiero, político y cultural importante en México, posee una estructura de gobernanza muy fragmentada, que afecta en forma negativa sus niveles de productividad. En comparación con otras zonas metropolitanas de México, la productividad económica del Valle de México se ubica apenas ligeramente arriba del promedio (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2015). Las zonas metropolitanas más grandes tienden a alcanzar una mayor productividad, sin embargo, en la ZMVM tiene niveles de productividad similares a otras zonas metropolitanas de México con menor población, debido a que la zona socioeconómica real en la que sus empresas y habitantes residen y trabajan, así como los límites administrativos de las jurisdicciones en la zona metropolitana son diferentes (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2015).

Por ejemplo, en la periferia del Estado de México la población al no garantizar el acceso a oportunidades laborales en sus lugares de origen se transporta todos los días a la CDMX, lo que ocasiona que la población no cuente con tiempo, energía ni dinero suficiente para la recreación en sus comunidades, así como de una participación social activa (generando ciudades dormitorios). Otro aspecto importante es el fenómeno del clientelismo, en el cual la ciudadana está expuesta a condicionamientos de programas sociales a cambio de su voto o participación (Pastrana-Miranda & González-Caamal, 2022).

En las últimas décadas, la ZMVM ha experimentado grandes cambios demográficos, económicos, sociales y territoriales (Pradilla, 2016), pero no cuenta con mecanismos institucionales claros y eficaces que permitan planear el desarrollo urbano y coordinar los servicios urbanos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2015) (Río Arronte, 2020). Además de los graves problemas de infraestructura, deterioro en la calidad de los servicios

y aumento de los costos económicos y ambientales que presenta el funcionamiento del sistema de agua y drenaje, se han incrementado los conflictos de orden institucional, político y social entre los distintos actores que conforman la ZMVM (Perló-Cohen & González-Reynoso, 2005).

Actualmente, en el Valle de México se emplean herramientas técnicas e iniciativas de reforma con el fin de rediseñar la zona metropolitana. Sin embargo, para que estas herramientas y reformas generen las soluciones deseadas a los desafíos urbanos, se requiere de un enfoque y acciones a nivel metropolitanos, de planeación regional estratégica y de coordinación y colaboración intergubernamental, para generar un impacto significativo nacional y sustentable (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2015).

3.2 Cuenca del Valle de México y su entorno

La Cuenca del Valle de México (CVM) se ubica en la región central de México (Rodríguez-Tapia, Rodríguez-Novelo, Sosa-Rodríguez, Altamirano-Cabrera, & Torres-Ayala, 2016), tiene una extensión territorial de 9738 km², dentro de seis entidades federativas: CDMX con sus 16 alcaldías, el Estado de México con 59 municipios, Hidalgo 18, Tlaxcala con siete municipios, Puebla cinco y Morelos con un municipio (CONAGUA, 2009). (Figura 1).

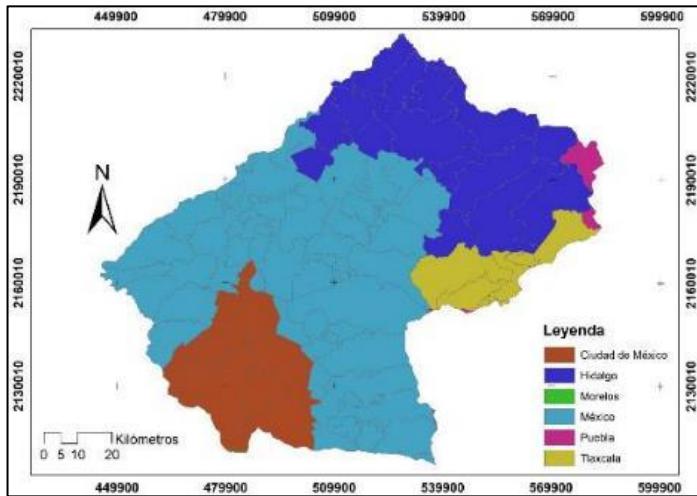


Figura 32. Entidades federativas de la Cuenca de Valle de México.

La CVM es una cuenca endorreica, es decir, una cuenca cerrada topográficamente, pero debido al crecimiento de la población, en el siglo XVII se construyó el primer acueducto para dar salida las aguas del Valle, denominado Túnel de Nochistongo, convirtiéndose en el Tajo por los derrumbes que se suscitaron. Posteriormente, en 1900 se construyó el Gran Canal de Desagüe, con la salida de la cuenca a través de Túnel de Tequisquiac. Y, en 1957 fue necesario la construcción del drenaje profundo, dicho sistema continua su ampliación hasta nuestros días con el Túnel Emisor Oriente (Peña-Díaz, 2019).

La Cuenca del Valle de México es el nombre dado a la unión de cuatro valles en la parte central del territorio mexicano, ubicada dentro de la región hidrológica # 26 llamada Pánuco y la región XIII llamada “Valle de México y Sistema Cutzamala”, con elevaciones mínimas entre 2,150 metros sobre el nivel del mar (msnm) a 2,390 msnm en sus valles y de 5,800 msnm en los volcanes que la rodean. Dentro de la cual se hallan las ciudades de Pachuca, Tizayuca, Amecameca, Texcoco, Apan, entre otras y casi toda la Zona Metropolitana del Valle de México, con excepción de la zona perteneciente al municipio de Huixquilucan (CONAGUA, 2023).

La cuenca está formada por una zona plana correspondiente a los depósitos lacustres, una zona de lomerío y otra montañosa (Breña-Puyol & Breña-Narnajo,

2007). Presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco, así como relieves topográficos aisladas como el Cerro de la Estrella, el Peñón y el Cerro de Chapultepec (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, 2023). En la zona plana se ubica la mayor parte del área urbana de la zona metropolitana, la Ciudad de México, la cual se ha multiplicado por 5.4 en los últimos 50 años, por lo que, actualmente se ha venido urbanizando la zona de lomerío y montaña, lo que reduce las áreas de recarga del acuífero del Valle de México e incrementa los riesgos por inundación, además de los costos de abastecimiento (Rodríguez-Tapia, Rodríguez-Novelo, Sosa-Rodríguez, Altamirano-Cabrera, & Torres-Ayala, 2016) (CONAGUA, 2023)

A nivel nacional, la Cuenca del Valle de México genera la cuarta parte de la producción total nacional y registra la mayor sobreexplotación de sus acuíferos en el país (Rodríguez-Tapia, Rodríguez-Novelo, Sosa-Rodríguez, Altamirano-Cabrera, & Torres-Ayala, 2016). Desde 1950 para satisfacer el abastecimiento del agua debido al crecimiento de la población se han realizado una serie de perforaciones de pozos, lo que ha determinado la sobreexplotación de dichos acuíferos (Peña-Díaz, 2019). Aspecto relevante que determina las características socioeconómicas e hídricas de la zona y evidencia las complejas relaciones entre la oferta limitada contra la elevada demanda del agua (Rodríguez-Tapia, Rodríguez-Novelo, Sosa-Rodríguez, Altamirano-Cabrera, & Torres-Ayala, 2016).

3.3 Núcleos para el desarrollo de contralorías del agua

ZONA DE ESTUDIO: Núcleos para el desarrollo de contralorías del agua

En orden cronológico se realizaron visitas a los nodos de, Texcoco, Tula, Tláhuac, Xochimilco entre los meses de agosto y septiembre del año 2023, estas visitas fueron organizadas por los agentes de cada núcleo a modo de junta o en algunos casos talleres donde se presentó parte de la información recolectada en gabinete a colectivos y organizaciones convocantes, los mapas elaborados por el grupo técnico fueron basados en instancias oficiales como INEGI, GOB CDMX, PGOT, etc.

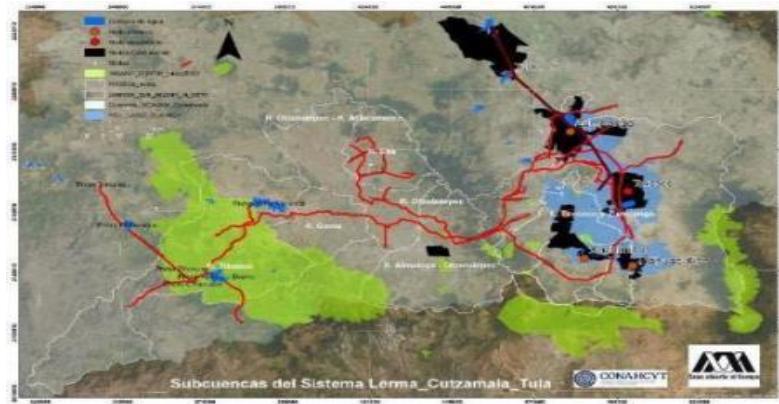


Figura 33. Mapa de nodos con regiones hidrológicas, obras de trasvase, ubicación de nodos, antiguos cuerpos de agua histórico en la Cuenca de México

A continuación se presenta un resumen de las actividades y de la información recolectada en cada nodo, estas experiencias fueron convocadas por comunidades y representantes de cada uno, agentes, pobladores, autoridades y afectados de cada sitio, el análisis de estos datos e información de campo tiene la intención de obtener una visión integral desde la experiencia de los pobladores, tomando en cuenta los antecedentes de cada nodo para facilitar la construcción de una metodología que organice la situación particular del abastecimiento total, así como la comprensión de la relación que tiene la población con el agua en un proceso de integración de conocimiento en un mismo estudio de la Cuenca.

3.3.1 Nodo Xochimilco

Introducción:

Para esta investigación se emplearon las cartas topográficas de INEGI en una escala de 1:20000, de las cuales se hizo un análisis para filtrar e integrar una base de datos con otras fuentes como el SIG de la CDMX o la información del Plan de Desarrollo de la alcaldía empleando un tipo de proyección cartográfica UTM WGS 84.



Figura 34 y Figura 35 elaboración propia. Modelo de la Cuenca con la cota de elevación 2240 como nivel general de los lagos.

La alcaldía Xochimilco se localiza en la porción sur poniente de la CDMX, cuenta con una ubicación que incluye características naturales y culturales únicas, colinda con las alcaldías de Tlalpan al poniente, Tláhuac al oriente, Milpalta al sur y la alcaldía Iztapalapa al norte, a continuación, se describe su posición y referencias geográfica

Xochimilco se encuentra entre las latitudes: 19.25° 70° N y 19.3172° O, su longitud varía entre aproximadamente 99.01650° O y 99.1749° O.

Cartas IINEGI empleadas:

E14A49, E14A39, E14B31, E14B41

Fuente INEGI: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=E14B21>

La información de gabinete obtenida ha sido clasificada de la siguiente manera:

INEGI, cartas información geográfica e hidrológicas, incluye:

- Municipios de la ZMVM
- Municipios de Xochimilco INEGI
- Manzanas urbanas INEGI
- Topografía @10m

Información de Programa de Desarrollo Urbano (PDDU 2005) Xochimilco:

-Área Suelo de conservación

- Área y subáreas de Caltongo según dictamen del 2011, AHI (SEDUVI)
- ANP
- Zona patrimonial UNESCO 1987

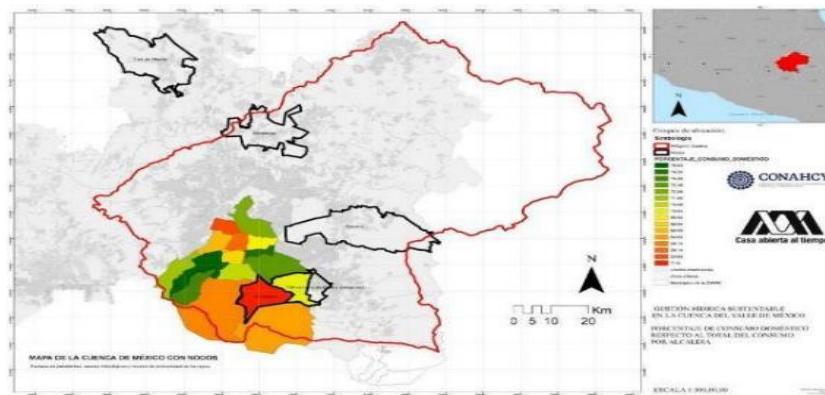


Figura 36. Mapa de elaboración propia con información de dotación de agua y uso doméstico en Xochimilco.

Información del grupo técnico, incluye información geológica y vulnerabilidad territorial:

- Nodo (área de estudio particular delimitada con los representantes)
- Demografía general (incluye, Densidad poblacional, consumo doméstico de agua y población total)
- Acueducto Xochimilco (sistema de baterías de pozos)
- Pozos_Profundos
- Pozos Censo 2020
- Cuenca_PUNTOS_DISTRIBUCIÓN
- Manantiales
- Líneas fallas geológicas inferidas
- Proyección de hundimientos locales * capa de estudio de HUND. GEOL', SIATL
- Tipos de suelos *Combinación de capas de información sobre tipos de suelo:
Franja de suelo Aluvial, espesor de arcillas
- Zona de fracturamientos: Grietas (ubicación) *Compilado de capas con ubicación de fallas geológicas
- Drenaje, (red colector Xochimilco) y Drenaje SIATL
- Proyecto de área de agua de reuso

-Isoplacas de arcillas

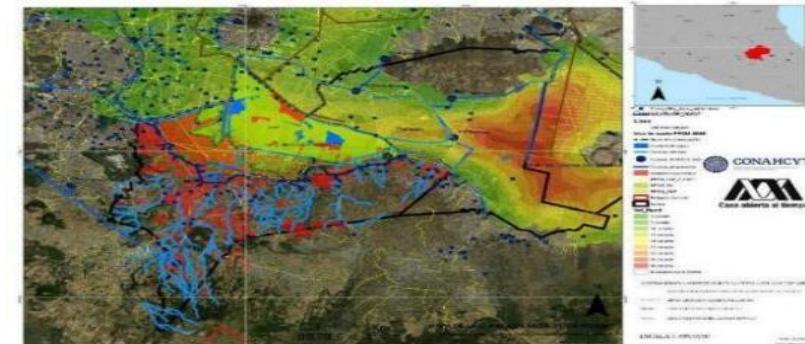


Figura 37. Mapa de elaboración propia con información INEGI, capa de hundimientos en el suelo de los antiguos lagos de la cuenca, escurrimientos y zonas urbanas en Xochimilco actuales

Delimitación de zona de estudio.

Xochimilco es conocido por su sistema de canales y chinampas, originalmente para la producción agrícola con formas de control del agua de los lagos propias de estas comunidades, actualmente estos espacios lacustres han sido explotados y utilizados para la gestión de grandes volúmenes de agua tratada, para transportar las aguas residuales de la Ciudad de México hacia las áreas de chinampas, y al mismo tiempo viviendo la falta de agua en las nuevas comunidades que han surgido sobre suelos ecológicos que comprometen a la ciudad.

La presa Nativitas es un elemento central en el sistema de drenaje, ya que regula el flujo de agua y permite controlar los niveles de los canales. Algunos puntos de interés son el Canal de la Viga o Canal Nacional, ejemplos del sistema de drenaje para transportar las aguas residuales de la ciudad. A su vez, las chinampas de Xochimilco han sido utilizadas para filtrar y tratar las aguas residuales antes de que se descarguen en los canales.

Entre las plantas de tratamiento de agua residual se encuentran la de Xalpa, Santa Cruz Acalpixcan, San Luis Tlaxialtemalco que contribuyen al manejo de las aguas residuales antes de su descarga en los canales y barrios chinampberos del centro.

Es de mencionarse que también se hizo una revisión histórica de la documentación disponible sobre el tema del abastecimiento de agua, principalmente de las funciones hidrogeológicas de esta parte de la Cuenca, también cabe mencionar que durante el proceso ha sido muy valiosa la recopilación de información de los orígenes poblacionales de esta región, pueblos lacustres que coexistieron en una amplia visión hídrica y que representan el interés de estas poblaciones en el abastecimiento de agua para la gestión de la ciudad desde una cultura lacustre local.

Xochimilco cuenta con una superficie de 62 494.2 hectáreas que representan el 2.78% del territorio total de la CDMX (CONABIO 2017**), distribuidos en 192 localidades, siendo su cabecera Xochimilco centro, concentración urbana que ha expandido su superficie desde las últimas 4 décadas, unificando los diferentes cinturones conurbados de sus pueblos originarios satelitales como San Mateo Xalpa, San Lucas, Santa Cruz Acalpixca con las zonas bajas urbanizadas de la Santísima, Caltongo y sus parajes, , con el tiempo y la poca regulación del crecimiento urbano la continuidad de la ciudad ha ido homologando un patrón de asentamiento que se replica desde las partes altas de la sierra, lugares donde inician los ciclos hídricos pero también en las partes bajas del lago donde se captan los escurrimientos, que distribuyen las aguas pluviales.

Algunos sitios cuentan con denominación de protección o conservación natural de la CDMX, pero las estrategias para regular la vida lacustre no han tenido un impacto en la realidad de las chinampas. Esta alcaldía cuenta con una población dispersa sobre suelos con características diversas a lo largo de su ciclo hídrico local, desde suelos aluviales, de transición y arcillosos en las partes bajas del lago, los ríos como Santiago, o San Bernardino entre otros escurrimientos que bajan de las sierras volcánicas y se acumulan en suelos de distintos grados de porosidad e infiltración hídrica a lo largo de su recorrido, en una estrecha relación entre los cuerpos de agua superficiales y su acuífero, es importante recordar la reciente formación geológica de la sierra del Chichinautzin con suelos altamente permeables.

Los cuerpos de agua son también un material o testimonio histórico de las antiguas formas de gestión en la cuenca, un ejemplo de esto es la presa San Lucas en la parte central de Xochimilco, que actualmente recibe las aguas del río Santiago con evidentes grados de contaminación, esta agua encuentra en la presa de San Lucas un punto de captación y distribución que reúne las avenidas de los escurrimientos y arroyos temporales de las partes medias como el bosque de Nativitas y bajadas de las colonias aledañas y que alimenta en gran parte las zonas bajas chinamperas de protección ambiental del lago de Xochimilco.

Últimamente esta dinámica hídrica limita y complica el manejo de las aguas en zonas urbanas, tal es el caso de las zonas de inundación y encharcamiento de la avenida Acueducto en Santiago Tepalcatlalpan o los desfogues domiciliarios por variaciones de presión en la red de tuberías debido a las descargas pluviales que atraviesan la zona de barrios centrales de Xochimilco.

Es importante hacer mención de los decretos con los que cuenta esta zona:

1987.- Declaratoria internacional de la UNESCO como Patrimonio Mundial, Cultural y Natural; el cual es un sitio de valor histórico-cultural y ambiental por presentar actividades y técnicas de agricultura ancestral (chinampera) que son únicas en el mundo y que le han dado este estatus. Este polígono cuenta con una extensión total de 7,534 hectáreas y se extiende desde Xochimilco hasta las delegaciones Tláhuac y Milpa Alta, ésta última con la menor proporción). A Xochimilco le corresponden 3,866.06 hectáreas con esta declaratoria, a Tláhuac 3,558.49 hectáreas, y a Milpa Alta 109.65 hectáreas.

2004.- Fue registrado como sitio RAMSAR 1363 con una superficie de 2,657 hectáreas, reconociendo internacionalmente su importancia como zona de humedales.

2006.- Se decretó como Área Natural Protegida de orden local, con carácter de zona de conservación ecológica por poseer un ecosistema asociado a humedales naturales con flora y fauna nativas (algunas especies endémicas y/o en peligro de extinción); este polígono cuenta con una superficie de 2,522.43 hectáreas

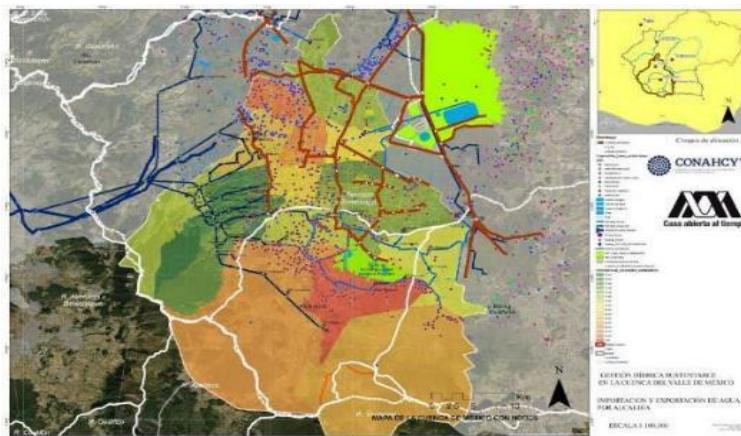


Figura 38 Mapa de elaboración propia con información de dotación de agua y uso doméstico en Xochimilco, esta es la alcaldía que el menor volumen de agua de uso doméstico con un 7 % del total de agua recibida, también en la escala de la ciudad la zona sur de la ciudad es de las que recibe menor cantidad de agua

3.3.2 Proceso de análisis de la información disponible para el nodo Xochimilco

Los temas e ideas planteadas por el nodo Xochimilco en últimas reuniones convergen en la obtención de información que se resume en el siguiente listado con la intención de crear campos de información sobre la situación actual de la gestión del agua:

- 1.- Identificación de la continuidad urbana vs pérdida de suelo ecológico (proceso de mapeo del uso de suelo originario chinampero) *Capa de levantamiento de transformación de suelo e interrupción de sistema de canales: Análisis del cambio de uso de suelo en las ANP, el suelo chinampero productivo de conservación patrimonial, potencial de ruralidad y urbanización irregular en los parajes originarios

2.- Funcionamiento de Cuerpos hidrológicos: Sistema de escurrimientos de los vasos hídricos hasta Caltongo, lagos, sub lagos, etc. Dinámica del agua a través de las zonas chinamperas productivas contemporáneas. INEGI ESCURRIMIENTOS, ESTUDIO MODELO DE FLUJOS, CUERPOS DE AGUA

3.- Infraestructura hidráulica: Dirección de flujos en redes de agua potable, colectores, residual (capa de modelo hidráulico + escurrimientos/canales) etc. ¿Por qué se producen las inundaciones del centro de Xochimilco?

Mapa plantas de tratamiento *ubicación de PTAR, capa PTAR: Obtenidas en campo o gabinete, se complementa con la capa SIATL, LINEA_PTAR

Calidad del agua *ubicación de puntos de interés, denuncias y levantamientos de tomas: Información combinada sobre denuncias de mala calidad del agua según PAOT 2017,

Censo poblacional local a través de la revisión de los AGEBS (a partir de un censo económico, principalmente de la chinampa). En proceso



Figura 39. Mapa de elaboración propia de Xochimilco.

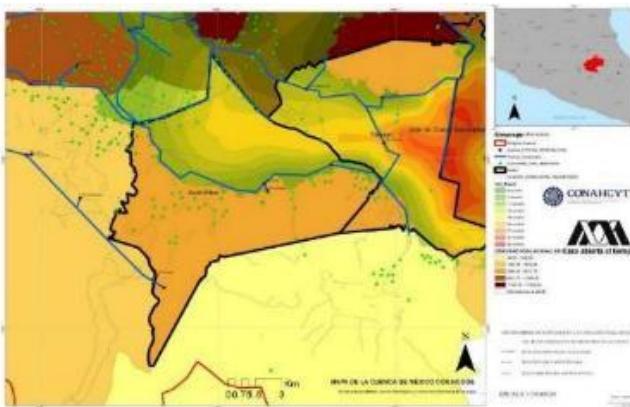


Figura 40. Mapa de elaboración propia con información de densidad poblacional del nodo Xochimilco

Actividades realizadas con el nodo Xochimilco:

Se programó un recorrido a principios de septiembre con la representante de la comisión de participación comunitaria (COPACO), C. Citlali Hernández Jiménez, iniciando con la visita a la presa San Lucas, una espacio abierto que recibe las aguas contaminadas del río Santiago, a su vez pudimos observar la importancia geológica de la zona por ubicarse en suelo aluvial de alta permeabilidad, también tuvimos la posibilidad de sobrevolar la zona con un dron ligero y percarnos del impacto de la transformación del suelo natural con amplias extensiones de pisos de concreto cerca de ésta zona, en espacios de gran extensión que limitan y deterioran la función permeable del suelo, también se observó que estos predios tienen ninguna utilidad pública, social o urbana, espacios abandonados que permanecen siendo zonas impermeables reduciendo la capacidad de recarga acuífera.

Continuando con nuestro recorrido, Citlali nos guío por zonas de los grandes embarcaderos de Santa Cruz, muy cerca de las zonas donde antiguamente funcionaban las casas de bombas del sistema de acueducto Xochimilco, construcciones que sufrieron colapso estructural desde los sismos del año 2017 y que aún hoy siguen en estado inactivo; es importante recordar que estos espacios de bombas antiguamente funcionaban como grandes contenedores para distribuir el agua, aunque es muy probable que estas represas y cuerpos de agua fueran habilitados desde antes para regular las entradas de agua que por escurrimiento de la Sierra llegaban a las partes más bajas y que ahora se han secado.

El siguiente tramo del recorrido fue por la calle Galeana, una avenida que desemboca en el embarcadero Zacapa, recorre en una fila de casas de modo paralelo a uno de los canales más amplios del área turística chinampera, nos explica Citlali que esta calle de Galeana contiene un colector de 3m de ancho que se encarga de evacuar las aguas que bajan desde las partes más altas y que actualmente no permite el ingreso de más agua a los lagos chinampinos.

Las avenidas, bajadas y escurrimientos de agua a través de las zonas urbanas por medio de estos colectores llegan hasta las zonas de ingreso del lago de Xaltocan y embarcadero Caltongo, en tiempos de gran tormenta no encuentran una rápida salida, provocando inundaciones y grandes encharcamiento a lo largo de estas zonas ribereñas, esta agua atraviesa el lago de Xochimilco hasta llegar a Canal Nacional con un cauce de agua residual combinada y de ahí por medio del Gran Canal de Desagüe hasta el Golfo de México.



Figura 41 . Superior mapa de elaboración propia con información filtrada de INEGI, SIG-CDMX, PAOT, entre otras. En la imagen de abajo se realizó una impresión para su difusión entre la comunidad interesada de Xochimilco

Por último, terminamos el recorrido a través de la calle Violeta hasta llegar a la Av. Nuevo León, dos grandes colectores de aguas residuales que se encuentran en este cruce, y que nos ayuda a explicar parte de la situación debido a la complejidad de la gestión hídrica local, tanto de los que ocupan el agua, pero también de las formas de distribuir un abastecimiento justo e igualitario para todos los usuarios de agua que interactúan en este territorio. En Caltongo pudimos ver la diferencia de hundimientos entre la zona sur y la zona norte, las infraestructuras implementadas para transportar canoas y trajineras desde la Laguna Caltongo hasta llegar al

Área Natural Protegida, es notorio el deterioro de la movilidad por la alta densidad de automóviles sobre Av. Nuevo León, y así también la subutilización de pequeños embarcaderos, espacios donde es evidente la falta de agua para temas elementales como la navegación inter lagunas.

Actividades realizadas con dron para el nodo Xochimilco:

Los objetivos de la actividad fueron el de obtener imágenes fotogramétricas de los principales componentes de interés del nodo, así como capturar imágenes y videos actuales en alta resolución.

La fotogrametría consiste en tomar fotografías aéreas con una inclinación de la cámara en 90° y con un traslape de las fotos de un 70% como mínimo; el resultado

de la unión de las imágenes es un mosaico de un área determinada. se realizaron alrededor de una docena de ortomosaicos. para llevar a cabo esta actividad de necesita tener las aplicaciones adecuadas para definir una ruta de vuelo y programar la automatización de la cámara y su recorrido, las aplicaciones usadas fueron: PIX 4D capture y dronedeploy.

El procedimiento empieza con la vinculación del dron y del control, después se accede a la aplicación para traza la ruta de vuelo, así como definir parámetros de altura, porcentaje de traslape de las fotografías y punto inicial y final del recorrido del dron; una vez eligiendo los parámetros adecuados proseguimos a volar la aeronave, realizando automáticamente la ruta establecida por nosotros anteriormente. cada ruta de vuelo generaba entre 600 y 900 fotografías.

Los drones que se ocuparon fueron el mini mavic 2 y mavic 2 pro, ambos de la marca DJI. la altura a la que se voló fue de 60 y 100 metros, el tiempo de cada pila fue alrededor de 15 minutos.

3.3.3 Nodo Texcoco

El municipio de Texcoco se localiza en el Estado de México, al este de la Ciudad de México, en la parte central del país. Forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México. Limita con municipios como Chimalhuacán, Chiconcuac, Atenco y Tepetlaotlán, entre otros.

Latitud: El municipio de Texcoco se encuentra en una latitud que oscila entre aproximadamente 19.38° N y 19.52° N.

Longitud: En términos de longitud, Texcoco se ubica entre alrededor de 98.80° O y 99.05° O.

Fuente INEGI: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=E14B21>

Se hizo una recopilación de capas de información INEGI del nodo Tula, estado de México-Hidalgo. Se emplearon las cartas de INEGI con el nombre de: E14A18, F14C88, F14C89, E14A19

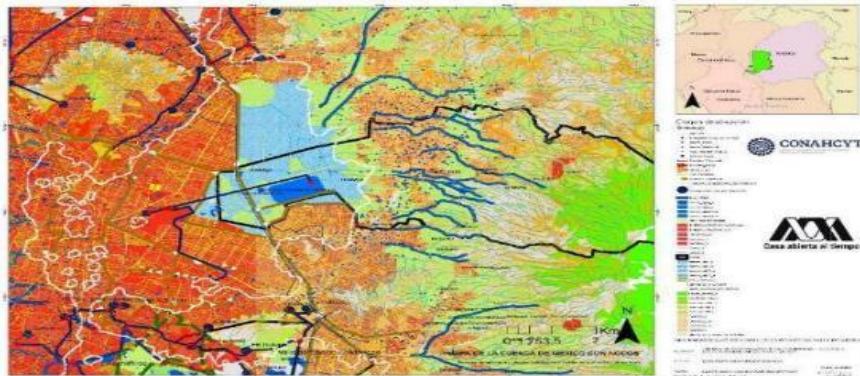


Figura 42. Mapa de elaboración propia con información de INEGI, Lago de Texcoco con los cauces de sus 9 ríos. Papalotla, Xalapango, San Juan, Cozacacuaco, Texcoco sur, Santa Mónica, Chapingo, Coatepec, varios de estos modificados hidrológicamente con el proyecto de NAIM

3.3.3.1 Delimitación de zona de estudio

Texcoco limita al norte con el municipio de Tepetlaoxtoc y al noreste con el municipio de Atenco, al este comparte límites con Chiautla y Papalotla. Al sureste limita con Chimalhuacán y Chiconcuapan, al oeste, Texcoco limita con los municipios de Nezahualcóyotl e Ixtapaluca.

3.3.3.2 Descripción del sitio:

El territorio de Texcoco fue parte de la antigua zona lacustre de los grandes lagos, aunque la mayoría de sus cuerpos naturales se han secado a lo largo de la historia. Cuenta con áreas urbanas y rurales. La topografía de Texcoco es variada, incluye zonas planas y elevaciones medias. Algunos puntos importantes que dan carácter al sitio son: La Universidad Autónoma de Chapingo, los sitios arqueológicos de Gualupita o Texcotzingo y los barrios originarios que coexisten con la continuidad

urbana. Actualmente parte de su actividad económica la conforma la agricultura de maíz, lácteos y minerías que en la mayoría de los casos tienen altas descargas a los ríos de esta región.

Los ríos y arroyos que alimentan el lago de Texcoco nacen en los cerros Tláloc y Telapón, recibiendo los nombres de; Coatepec, Santa Mónica, Chapingo, Texcoco, San Juan, Xalapango, Cozacacuac y Papalotla.

La Sierra de Pachuca, en donde tiene su origen el río Papalotla, de cuyo torrente se forma la laguna de Apan. El Papalotla corre por un lomerío hasta llegar al cerro Gordo que divide la vertiente por donde va éste, de la que sigue el río de Teotihuacan, que desemboca en el lago de Texcoco, posteriormente el Papalotla recibe el nombre de las avenidas de Pachuca y desagua en la laguna de Zumpango. Ubicado sobre el lado oriente de la ciudad, y que comprende las cuencas del Río Texcoco.

Actividades realizadas en el nodo

Las actividades para tener un primer contacto con la comunidad tuvieron lugar a través de un taller impartido por la maestra Miriam en el río Chapingo, quién, a través de una explicación sobre la importancia de medir la calidad del agua en el río Chapingo, nos guio en un recorrido por el cauce del río, aguas arriba, hasta donde la ribera del río ha sido interrumpida por casas, que evidentemente, se encuentran dentro de la zona federal del cauce del río, y qué para la CONAGUA se determina en al menos 50 metros en ambos lados de su cauce o eje natural, lo que dificulta su aproximación.

Las actividades en el taller incluyeron la participación de grupo para recolectar los desechos que se acumulan en el Río Chapingo a la altura de San Luis Huexotla, la mayoría ocasionados por la población cercana o los escurrimientos urbanos que arrastran la basura que desemboca en este río, en este ejercicio se pudo encontrar una variedad de materiales que van desde envolturas plásticas, utensilios de

unicel, cartón, alambre, la mayoría, materiales procesados industrialmente, sobre el lecho del río también se encontraron residuos orgánicos.

Esta acción de acercarnos para ver la condición de las aguas del río nos permitió conocer otras características como su olor o la consistencia del suelo cercano al cauce, más tarde, la maestra y vecinos del sitio nos explicaron la situación ambiental del río en comparación con su proceso histórico de cambio hidrológico, haciendo hincapié en la presencia de industrias contaminantes en los brotes o nacimientos del Río Chapingo aguas arriba; otras observaciones que fueron mencionadas durante el recorrido son la necesidad del tratamiento de aguas de descargas públicas y privadas, tanto de zonas urbanas como de industrias mineras locales en el nacimiento de los ríos, o el requerimiento de obras de desazolve para conformar un sistema hídrico eficiente en el manejo sustentable y las separación de las aguas.

La discontinuidad en la ribera del río a causa de las construcciones sobre su zona federal, es un tema que dificulta la integración de sistemas subsecuentes al funcionamiento del río, en el sentido de la gestión del agua del Río Chapingo para la ecología del sitio u otros usos como la agricultura de las zonas productivas de Texcoco, esta desintegración de los espacios ambientales cercanos al río también impacta en la movilidad local y los espacios públicos del barrio, espacios que, en un futuro podrían integrar los programas parciales para la gestión del agua local en estos pueblos, según se planteen los cambios realizados en los programas de ordenamiento correspondientes.

Actividades realizadas con dron para el nodo Texcoco:

Los objetivos principales de la actividad fue obtener imágenes aéreas que ayuden a obtener un registro actual del estado del río Chapingo, tanto a nivel de su cauce, como desde la altura para ver su contexto inmediato, así como el recopilar información visual para poder generar productos de divulgación social.

Los vuelos de dron se realizaron durante la actividad realizada por el nodo, esto para que quedara registrado este hecho. se realizaron dos vuelos con diferentes equipos de dron, para poder abarcar dos componentes del río, el primero para el cauce y ver su estado actual, y el otro a un nivel por encima del follaje de los árboles, para poder tener registro del contexto inmediato y de como afecta esta urbanización sin control al deterioro del río. Los equipos de dron que se utilizaron fueron: mini mavic 2, y mavic 2 pro, ambos de la marca DJI. las aplicaciones utilizadas para la toma de video y fotografías fueron DJI GO 4 y dronelink.

Como resultado de esta actividad se obtuvieron fotografías y video de alta resolución que posteriormente fueron procesados para su presentación.

3.3.4 Nodo Tula

Delimitación de zona de estudio. Nodo Tula

El municipio de Tula se encuentra en el estado de Hidalgo, México. A continuación, una descripción técnica geográfica de Tula con referencias espaciales.

Ubicación Geográfica:

Latitud: Tula se ubica en una latitud que varía entre aproximadamente 20.0516° N y 20.11117°N. la longitud de Tula se encuentra entre aproximadamente 99.3406°O y 99.4122° O

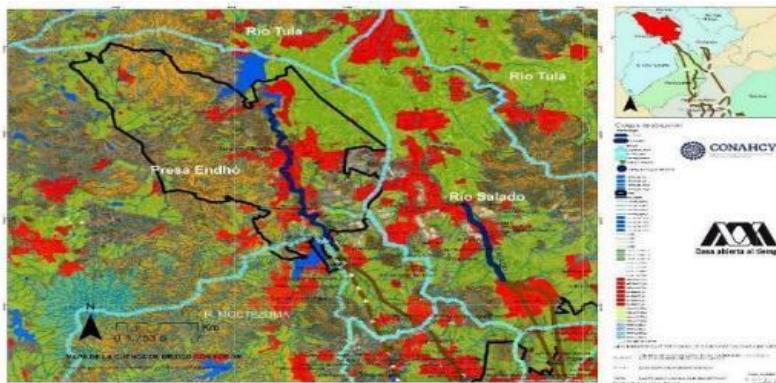


Figura 43. Mapa de la descarga en el Río Tula, por Atotonilco y Río Salado con polígonos de subcuenca

Límites Geográficos:

Tula limita al norte con el municipio de Tezontepec de Aldama, al este, comparte límites con los municipios de Tepeji del Río y Tlahuelilpan. Al sur, limita con el municipio de Atotonilco de Tula. Al oeste, sus límites son compartidos con el municipio de Mixquiahuala de Juárez.

La región es atravesada por el río Tula, que tiene un papel importante en la geografía local. La topografía y la geología de la región han influido en su historia y desarrollo, en relación con el uso del agua y los recursos naturales.

Esta región es parte de la Cuenca del Río Tula, cuenca colindante a la de la Ciudad de México y que, a lo largo de un proceso histórico de obras para el desagüe de los antiguos lagos y actuales drenajes de la región metropolitana actual, de aquí su gran importancia en el tema de saneamiento para la ciudad. Tula alberga una de las principales plantas de tratamiento de aguas residuales Los Berros, el sistema de drenaje incluye una serie de canales, tuberías y estructuras diseñadas para transportar y tratar las aguas residuales antes de su descarga al río Tula, que fluye hacia el embalse de la presa Endhó. Esta presa también se utiliza para regular el flujo de agua y controlar inundaciones en la región. La ciudad de Tula en sí misma es un centro de operaciones y logística para las actividades relacionadas con el drenaje y el tratamiento de aguas residuales.

Se emplearon la siguiente cartografía INEGI:

E14A18, F14C88, F14C89, E14A19

Fuente INEGI:

<https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=E14B21>

Entre estas cartas INEGI fueron seleccionadas las capas descritas a continuación, con la intención de crear una cartografía base con información oficial.

- Cuerpos de agua (incluyendo canales antiguos)
- Continuidad del Río Salado
- Ubicar el cauce original del Río Tula
- Municipio, regiones hidro, zonas del agua, municipios colindantes
- Límites de la subcuenca región Tula, Río San Juan
- Ubicar la conexión del viejo Túnel de Tequixquiac, río Salto y Río Salado
- Mapeo de inundaciones, Ixmiquilpan
- Infraestructura de drenaje a detalle
- Ubicar el mono relleno y mapear la dispersión de aire

Actividades realizadas con el nodo: Visita/Taller en el barrio San Marcos, Tula, 27 de agosto 2023



Figura 44. Fotografía de la reunión con los participantes del nodo Tula

El grupo contó con la participación de personas originarias de las comunidades de San Marco, Tlamaco, vecinos de Tula y damnificados de los desbordes del río Tula, situación acontecida hace aproximadamente 2 años, en 2021. El taller fue conducido por René y Olin, actuales representantes del nodo Tula, la dinámica del taller consistió en la presentación de los asistentes, y el intercambio de ideas a través de un diálogo continuo.

La conversación según el orden de los participantes abordó temas y problemáticas diversas siendo el Río Tula, eje, de una reflexión sobre las recientes inundaciones del año 2021, sus consecuencias y otras problemáticas, en general, comenzamos por la repercusión que ha tenido la gestión de las aguas negras, del drenaje, de la PTAR etc. en la salud de los pobladores de estos territorios.

Los grupos de personas afectadas por el desborde del río Tula manifestaron en su momento una profunda preocupación por su salud debido a la presencia de plagas nocivas, del tipo larvas transmitidas por moscas a la piel, irritación de ojos, dolor de estómago entre otras enfermedades, fue de opinión de uno de los pobladores que el hospital de oncología construido en Tula tenga que ver directamente con la atención de población enferma debido a la presencia de aguas altamente contaminadas, principalmente en comunidades cercanas al cauce del río, esto, deja ver una situación compleja, tanto por la gestión hídrica interna de la cuenca del Río Tula como también por la función de conducir los inmensos drenajes de la Ciudad de México a través de una amplia red de presas y ríos, lo que representa una visión de grandes trasvases de agua que inicia desde el sistema Lerma-Cutzamala.

La presencia de industrias pesadas hace reflexionar sobre la necesidad de obtener muestras de laboratorio en sus cauces residuales, aunque en este sentido se menciona que las pruebas solo se han realizado en temporadas y condiciones sospechosamente favorables para las industrias. Es de mencionar la anécdota del señor Raúl sobre las tomas de muestras que se han realizado en el río por universidades e instituciones como CONAGUA para conocer la calidad de las

aguas, haciendo hincapié de que son muestras tomadas en épocas de lluvias, lo que haría poco confiable los resultados de laboratorio porque las descargas pesadas más contaminante se diluyen con la gran cantidad de agua de lluvia, favoreciendo a las grandes industrias. Las descargas pesadas de mayor contaminación según menciona don Raúl, se realizan sospechosamente en horarios nocturnos que las hacen pasar desapercibidas, aunque las reacciones químicas como veíamos antes son resentidas por las comunidades en su vida cotidiana.

En el sentido de la gestión interna de la cuenca de Tula, los pobladores recordaron historias asociadas al río a través de la descripción de algunos procesos constructivos asociados con obras, principalmente del proyecto de revestimiento del río, detenido por lluvias, pero que se ha tenido la intención de retomar, exponiendo a su vez la poca capacidad de la PTAR Atotonilco ($38\text{m}^3/\text{s}$) para gestionar el agua residual que ingresa al río, sumando las descargas locales del drenaje tanto de casas como de industrias cementeras, eléctrica, petrolera. que también afectan en gran medida otros cuerpos de agua de la zona como el Río Salado.

La idea de aumentar la velocidad del cauce de drenaje del río Tula se puso en duda por los pobladores, el éxito para desalojar las aguas a través de un “gran canal” que aumente la capacidad de desalojo de las aguas que llegan al río Tula implicaría un impacto desfavorable para el ecosistema local del río, según los pobladores, considerado el “pulmón” del valle del mezquital, otro ejemplo, dado por los asistentes fue la excavación de pozos profundos en instalaciones de orden gubernamental donde no se aprovechan las aguas por medio de captación pluvial en una red de gestión sustentable, o aquellos lugares donde se requiere contener el río para que no se desborde como por la existencia de poblaciones recientes con gran crecimiento urbano cerca de los deltas del río Tula.

Otro de los puntos abordados en la reunión fue el de las afectaciones para agricultores campesinos y barrios de la región, estos han dejado de producir sus

siembras desde hace dos años también debido al desborde del río Tula, la devastación de tierras de cultivo debido a la saturación de arenas del río que quedaron esparcidas y el cambio de su cauce natural en algunos trayectos. Estas tierras son de gran importancia por la presencia actual de canales para riego que también desembocan en el Río Tula.

Con relación al tema de las aguas tratadas para el riego, se presentó una postura flexible por parte de los campesinos para recibir agua de mejor calidad, lo que implicaría la posibilidad de una integración de los sistemas de agua para riego local y otros usos en el sistema de bosques de encino debido a su alta permeabilidad hídrica. En este sentido los pobladores y organizadores plantearon la posibilidad de implementar una Declaratoria de restauración y Área Natural Protegida para el río Tula como medida para frenar el proyecto de revestimiento del río y conservar su permeabilidad, en este orden de acciones, un proyecto de remediación según los pobladores permitiría mejorar la calidad de vida de las personas y los ecosistemas locales.

Esta visión multidimensional en los modos de promover, diseñar, y construir la actual infraestructura en “el lugar más contaminado del mundo” expresó uno de los asistentes, hace reflexionar sobre la saturación de los drenajes, la combinación de aguas y en general de una gestión que solo beneficia a la industria y a la gran ciudad.



Figura 45. Mapa digitalizado de los canales de riego que desbordan en Río Tula

Al fin de la conversación se han ofrecido algunos medios de comunicación en radio por parte de la compañera Martha para hacer convocatorias del proyecto y comunicar con las personas las intenciones de unir objetivos, así también de la idea de realizar talleres con niños para difundir estos temas de conservación, remediación, aprovechamiento y cultura del agua para que se vuelva una acción pública

Conflictos asociados a la dinámica hídrica:

- El control de las presas,
- La pérdida de manantiales, por extracción profunda.
- El cambio hidrológico de la cuenca del Río Tula que afecta por medio de desbordes a los pobladores cercanos al río
- Dinámica hidrológica de canales y descargas con la respectiva idea de calidad del agua, descarga industrial y de los drenajes en general (se requiere hacer pruebas del agua independientes)
- La no aplicación de un ordenamiento territorial

Objetivos particulares del diagnóstico

- Realización de un plan para el acompañamiento de las comunidades en un proceso de diagnóstico de su territorio, aplicando metodologías adaptadas a cada nodo:
- Planeación de un proceso participativo de diseño urbano y gestión hídrica a partir de la información recolectada en campo y gabinete, para Tula (Plan de Ordenamiento Hídrico)
- Ampliar la información del sitio a través de la integración de otros trabajos de investigación especializados
- Dar a conocer las problemáticas del sitio, relacionadas con el Río Tula

Metas colectivas con los agentes Tula:

- Divulgación del proyecto

- Reunir las conclusiones de un proceso colaborativo entre pobladores, agentes involucrados y especialistas independientes
- Comunicar el proyecto como un resultado participativo, de colaboración e intercambio de ideas para la cuenca, con la idea de conformar un Plan de Ordenamiento Hídrico local en un futuro cercano

Alcances entregables con la comunidad interesada:

- Mapas con la información obtenida en campo y gabinete
- Planos varios, que conforman de modo local, los detalles del proyecto
- Diagramas, conceptos que ilustran ideas sobre los temas a abordar

Actividades realizadas con dron para el nodo Tula:

Los objetivos principales de la actividad fueron el obtener imágenes aéreas que nos ayuden al reconocimiento territorial de las partes que conforman al nodo tula, obteniendo así un producto visual actualizado de la zona de interés. También el generar material visual para su divulgación social.

El vuelo de dron se realizó finalizando la actividad organizada por el nodo, y se realizó en un lugar al aire libre, lejos de zonas peatonales con el fin de minimizar los riesgos por esta actividad, el vuelo se llevó a cabo con un dron mavic 2 pro en un tiempo aproximado de 45 minutos para cubrir extensiones generales del río tula en su recorrido desde las plantas de tratamiento Atotonilco, así como de la cementera cruz azul, pasando por su zona urbana hasta el pueblo de San Marcos.

Se obtuvieron fotografías y videos de alta resolución. la aplicación utilizada para la toma de video y fotografías fue DJI GO 4, esta aplicación permite tomar fotografías 360°, así como videos 4k.

Nodo Tláhuac

Delimitación de zona de estudio

La alcaldía de Tláhuac, ubicada en la Ciudad de México, tiene la importancia en el sistema de drenaje y tratamiento de aguas residuales de la ciudad. Desde el punto de vista del drenaje y el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad:



Figura 46. Mapa de elaboración propia con información de INEGI de la alcaldía Tláhuac con cuerpos de agua, escurrimientos, zona urbana y las obras de drenaje que desalojan las aguas residuales

Referencias geográficas

Tláhuac se encuentra en el sureste de la Ciudad de México, con coordenadas geográficas aproximadas de 19.2853° N de latitud y 99.0091° O de longitud. Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México, su aportación es en gran parte drenaje pluvial y el manejo de aguas residuales. La zona urbana de Tláhuac cuenta con una red de alcantarillado que recoge las aguas residuales generadas en la zona, llevándolas a las plantas de tratamiento correspondientes. Incluye plantas de bombeo y conductos subterráneos para transportar las aguas residuales hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella que juega un papel muy importante.

El sistema de drenaje tiene una red de canales que ayudan a prevenir inundaciones., sistema que se ubica en una región que históricamente fue parte de una gran zona lacustre. Aunque la mayor parte de los cuerpos de agua

naturales han desaparecidos debido al desarrollo urbano, algunos canales y lagunas todavía existen en la zona

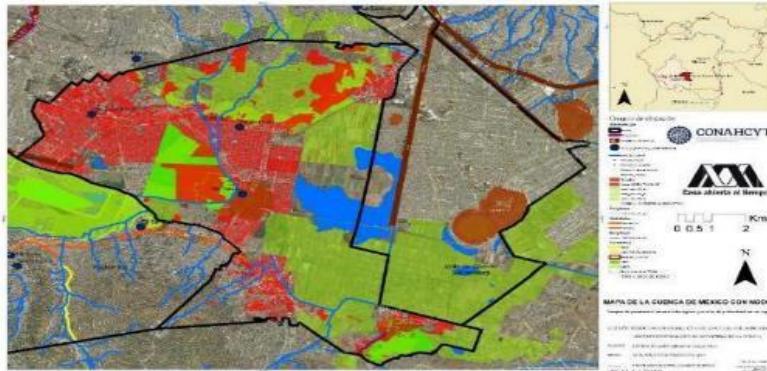


Figura 47. Mapa de elaboración propia con información de INEGI de la alcaldía Tláhuac con cuerpos de agua, escurrimientos, zona urbana y las obras de drenaje que desalojan las aguas residuales

3.4 Fisiografía de la zona de estudio

La zona de estudio se centra principalmente en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Sin embargo, su entorno también brinda información relevante sobre su interacción con las fuentes de abastecimiento. Las características fisiográficas que se consideran relevantes en la zona de estudio y su entorno son:

- Elevación del terreno
- Hidrografía
- Cobertura vegetal
- Tipos de suelo
- Unidades geohidrológicas
- Fallas geológicas

Las subsidencias o hundimientos en la ZMVM también se consideran importantes para el estudio. Aunque no son propiamente una característica fisiográfica, son consecuencia de la interacción del hombre con su entorno y la explotación del recurso hídrico.

Las elevaciones del terreno de la zona de estudio se obtienen de los modelos digitales de terreno (MDT) proporcionados por el satélite de *Observación Avanzada de la Superficie* (ALOS) (ASF, 2011), de acceso libre en la plataforma

EARTHDATA (NASA, Land surface, 2023) de la Administración Aeroespacial Nacional (NASA) de los Estados Unidos. En la se muestra un *MDT* reconstruido para la zona de estudio.

De las cartas topográficas a escala 1:50.000 de la república mexicana, proporcionadas por el *Instituto Nacional de Estadística y Geología* (INEGI) (INEGI(a), 2020), se extraen las principales corrientes y cuerpos de agua de la zona de estudio y se contrastan con la principal infraestructura hidráulica y las cuencas de aguas superficiales publicadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el Diario Oficial de la Federación (DOF) (SEGOB(b), 2020) (CONAGUA, Situacion de los recursos hidricos, 2020)

La *Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad* (CONABIO) pone a disposición, en su *Portal de Geoinformación*, los mapas de Cobertura del suelo de México para los años 2010, 2015 y 2020 (CONABIO(a), 2023). Estos mapas fueron elaborados por la *Comisión Para la Cooperación Ambiental* (CCA) en el marco del *Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte* (CCA, 2020).

Los mapas de cobertura y uso del suelo de América del Norte son desarrollados a partir de imágenes del satélite *LANDSAT* del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y clasifican la cobertura del suelo en 19 clases.

Para relacionar las coberturas del suelo de América del Norte de la CCA con las coberturas del suelo definidas en el método del *Número de Curva*, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (USDA(b), 2004); estas se simplifican en 7 tipos de coberturas como se describe en la Tabla 1. En la figura se muestra el mapa de cobertura del suelo estimado para la zona de estudio.

Tabla 1. Relación propuesta entre las coberturas del suelo de América del Norte (CCA) y del método del Número de Curva (USDA).

Cobertura del Suelo de América del Norte (CCA)	Cobertura del suelo (USDA)
1 Temperate or sub-polar needleleaf forest	
2 Sub-polar taiga needleleaf forest	1 Woods (bosque)
3 Tropical or sub-tropical broadleaf evergreen forest	

4 Tropical or sub-tropical broadleaf deciduous forest	
5 Temperate or sub-polar broadleaf deciduous forest	
6 Mixed forest	
7 Tropical or sub-tropical shrubland	
8 Temperate or sub-polar shrubland	2 Desert shrub (matorral)
11 Sub-polar or polar shrubland-lichen-moss	
9 Tropical or sub-tropical grassland	
10 Temperate or sub-polar grassland	3 Pasture, grassland or range (pastizal)
12 Sub-polar or polar grassland-lichen-moss	
13 Sub-polar or polar barren-lichen-moss	
15 Cropland	4 Row crops and small grain (suelo agrícola)
16 Barren lands	5 Fallow and bare soil (suelo desnudo)
17 Urban	6 Urban districts (zona urbana)
14 Wetland	
18 Water	7 Impervious (humedal, cuerpo de agua, hielo o nieve)
19 Snow and Ice	

En el *Portal de Geoinformación* del CONABIO también están disponibles un conjunto de 96 mapas sobre las propiedades del suelo de la república mexicana (CONABIO(b), 2020). Entre estas se encuentran los contenidos de arcilla, limo y arena para profundidades de 5, 30, 60, 90 y 200 cm. A partir de esta información se estiman los contenidos de arcilla, limo y arena promedios para la zona de estudio.

Para relacionar estos contenidos promedios de arcilla, limo y arena en la zona de estudio con los grupos de suelos hidrológicos (SHG) definidos en el método del *Número de Curva del USDA* (USDA(a), 2009), se aplica la clasificación textural del USDA. En que se muestran los tipos de suelos registrados en la zona de estudio.

En las cartas de agua subterránea a escala 1:250.000, proporcionadas por el INEGI (INEGI(b), 2014), se encuentran diferentes unidades geohidrológicas. Estas unidades se clasifican en materiales consolidados y no consolidados con cierta probabilidad de almacenar agua. En la figura se muestran las unidades presentes en la zona de estudio.

Se estima que el agua subterránea se encuentra almacenada en las unidades geohidrológicas de materiales no consolidados con probabilidades medias a altas. Se estima una posible distribución del agua subterránea en la zona de estudio y se contrasta con los acuíferos administrativos publicados por la CONAGUA en el DOF (SEGOB(a), 2020) (CONAGUA, Situación de los recursos hidricos, 2020).

Una falla geológica es por definición una fractura o rompimiento y desplazamiento apreciable de las rocas de la corteza terrestre y tienen gran importancia y trascendencia. Son susceptibles de ocasionar graves y lamentables problemas a la población, en la infraestructura, además de otros. Las fallas pueden generar terremotos a lo largo de ellas y causar daño y destrucción de diversas estructuras sobre ellas o en la vecindad, por la energía liberada.

Estos fenómenos también pueden cambiar las propiedades del terreno al disminuir su resistencia, modificar sus condiciones originales, entre otras. Por otra parte, las fallas pueden ser activas e inactivas. Se considera que una falla es activa, cuando esta se ha movido en el pasado geológico reciente y que puede moverse en el futuro próximo (Vazquez et al, 2019).

Una falla geológica de tipo normal está definida como una ruptura en la corteza terrestre en la que un lado de la falla se mueve hacia abajo con respecto al otro lado, es decir, un “bloque” de rocas o suelos se desliza hacia abajo con respecto a otro a través de un plano de falla inciso a. Por otro parte, en una falla inversa se tiene un desplazamiento vertical en la que el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro, es decir, que un “bloque” de rocas se deslice hacia arriba con respecto a otro a través de un plano de falla.

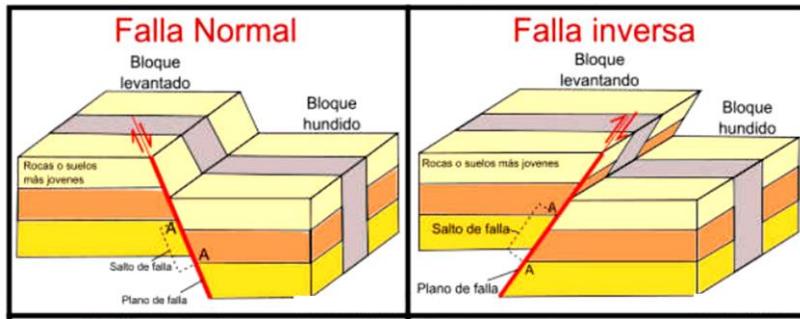


Figura 48. Tipos de falla; a) normal y b) inversa (GeologiaWeb, 2023)

Las grietas de contracción son fisuras relativamente anchas respecto a su longitud, que se abren al contraerse el suelo o una roca. Su formación constituye un fenómeno característico de los suelos arcillosos que, al desecarse, forman una red poligonal de esas grietas de retracción. Ciertas capas del subsuelo conservan la huella de grietas que una vez abiertas se llenaron de arena, lo cual impidió que la humedad interior volviera a cerrarlas.

3.4.1 Hundimiento del terreno

Actualmente el fenómeno del hundimiento es cada día más evidente y se puede apreciar en diversas partes de la ciudad y regiones aledañas, sus causas y efectos, así como daños (materiales y económicos).



Figura 49. Emersión de ademe de pozo (2011) en San Juan de Aragón, Ciudad de México.

Resulta importante para el desarrollo de las ciudades y poblaciones, tomar en cuenta dicho fenómeno, pues este ocasiona diversos efectos y daños colaterales a la infraestructura hidráulica, urbana, carretera, entre otros, lo que trae consigo deficiencias en su funcionamiento, problemas de estabilidad y afectaciones a terceros, que ponen en riesgo su integridad estructural, aunado además al crecimiento poblacional y a la demanda de agua potable cada día mayor para diversos sectores.

De acuerdo con el documento “Historia y actualidad del hundimiento regional de la Ciudad de México”, realizado por Enrique Santoyo Villa, establece lo siguiente:

- a) Que la sobreexplotación del acuífero del valle de México se ha transformado en una preocupación debido al descenso continuo del nivel de los acuíferos, lo que ha generado la disminución de las presiones del agua intersticial e incrementado el esfuerzo que actúa en la parte sólida del subsuelo. Esto desencadena en hundimientos de la superficie que casi siempre terminan por afectar a las construcciones e instalaciones municipales, además indica que otra consecuencia de la extracción excesiva de agua es la reducción de la producción agrícola en muchas regiones del mundo.
- b) El agrietamiento superficial en las orillas del ex-lagos de México, San Cristóbal y Xaltocan, así como en los remanentes de los lagos de Xochimilco, Chalco y Zumpango, están sufriendo con mayor frecuencia la formación de grietas que causan daños a estructuras pobemente cimentadas y que inclinan hasta las mejor construidas. Este fenómeno se está convirtiendo en un grave problema social que tendrá también un enorme costo.



Figura 50. Grieta típica en zona plana (E, Santoyo 2011).

- c) El hundimiento regional de la Ciudad de México (véase siguiente figura), se debe a la extracción de agua, que a su vez indujo consolidación de las dos formaciones de arcillas blandas características del subsuelo.

Existía la hipótesis de que al paso de los años la consolidación se terminaría y los hundimientos se reducirían; sin embargo, la información aquí presentada demuestra, aunque limitada a dos puntos de la ciudad, que la consolidación aún no termina y que, además, las arcillas duras y hasta los materiales granulares por debajo de los 80 m de profundidad aportan un porcentaje grande de hundimiento.

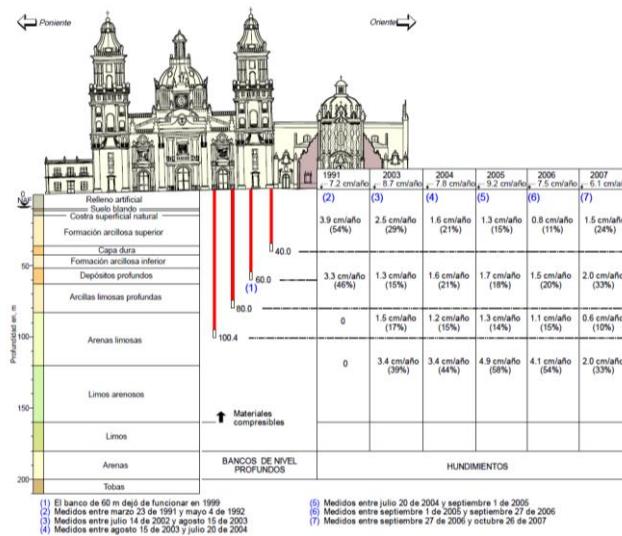


Figura 51. Distribución de hundimientos anuales entre 1991 y 2007 en la catedral de la Ciudad de México (E, Santoyo 2011).

En la siguiente figura se muestra mediante código de colores el hundimiento acumulado en la CDMX, realizado por la UNAM destacando que valores altos corresponden a la zona del aeropuerto AICM y sus alrededores, de Valle de Aragón (3^a sección), una porción del ex - lago de Texcoco y algunas partes de Ecatepec de Morelos.

3.4.1 RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un diagnóstico integral de toda la infraestructura existente relacionada con el hundimiento para poder monitorearlo, esto incluye: monumentación, mojoneras, bancos de nivel profundos y flotantes, entre otros. El cual considere su georreferenciación, inventarios del estado actual de las referencias (en su caso valorar reposición, restauración o mantenimiento), evaluación de nuevas referencias, entre otros.
- Realizar recorridos de campo, para realizar un levantamiento y mapeo de las zonas con presencia de hundimientos, grietas, fallas geológicas y verificar in situ la situación de los daños existentes y posibles efectos colaterales a la infraestructura.
- En el mapeo es conveniente georreferenciar todas las grietas, fallas geológicas y donde sea posible el hundimiento, para generar un plano con el sembrado y detalles técnicos, de las condiciones reales de cada sitio. Evaluar la posibilidad de instrumentar mediante bancos de nivel u otras referencias, algunas zonas que lo requieran.
- Con base a los diagnósticos, recorridos de campo y mapeos relacionados con el hundimiento, establecer la identificación de nuevos sitios de monitoreo.
- Integrar una sola base de datos relacionados con el hundimiento diferencial y regional, que considere toda la infraestructura del monitoreo realizado a la fecha (CAEM, SACMEX, CONAGUA, entre otros). En esta fase también deberá de implementarse un monitoreo continuo a evaluar (podría ser semestral, anual, entre otros).
- Realizar un modelo matemático actualizado para evaluar los hundimientos a corto plazo y mediano plazo, así como evaluación de diferentes escenarios e identificación de zonas vulnerables.
- Plantear nuevas estrategias de instrumentación (topográfica -geotécnica y geohidrológica), que incorpore la medición de hundimientos a nivel superficial y a profundidad con el monitoreo de los movimientos de la masa de suelo,

presiones y niveles del agua subterránea en sitios adecuados. Evaluar lugares estratégicos para instalar estaciones piloto de monitoreo.

- Difusión del tema de hundimiento en la red, el cual podría ser mediante una página web o alguna otra plataforma para su sensibilidad sobre su importancia, consecuencias, aspectos técnicos y sociales, entre otros.
- Se sugiere la realización de un estudio de análisis de riesgo asociado al tema de hundimientos con base al diagnóstico y los resultados de los reconocimientos técnicos de campo.

3.4.2 Zonificación geotécnica

La zonificación geotécnica permite identificar las tres zonas que presenta el subsuelo de la Ciudad de México y algunas partes del estado de México que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Es importante para identificar las zonas sísmicas y otros riesgos naturales, lo cual es de suma importancia para reducir los riesgos en la construcción de diversa infraestructura (casas, edificios, acueductos, sistema de transporte colectivo metro, calles, entre otros)

De acuerdo con la Gaceta oficial de la Ciudad de México con fecha 15 de diciembre de 2017, ha establecido en el artículo 170 del Capítulo VIII del Título Sexto del Reglamento de Construcciones de la Ciudad, para fines de las presentes Normas, la Ciudad de México se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos artificiales no controlados.

Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son en general medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y llenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

En la siguiente figura se muestra la zonificación geotécnica referida anteriormente.

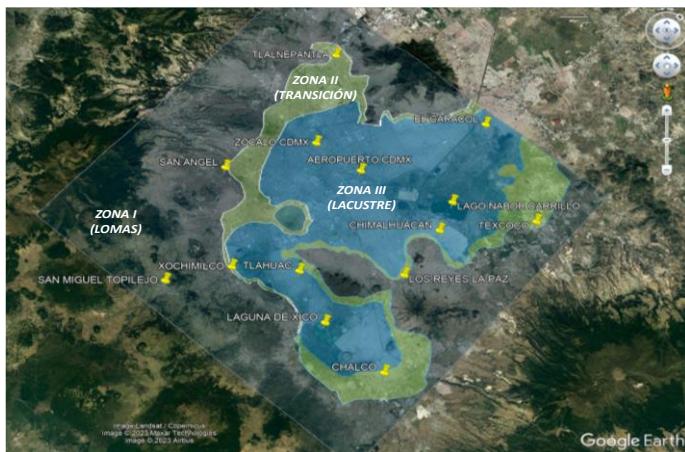


Figura 52. Mapa de zonificación geotécnica (Gaceta oficial de la Ciudad de México, 2017)

- Es conveniente considerar la zonificación geotécnica, cuando se planea desplantar alguna obra (hidráulica, carretera, edificaciones, entre otros), ya que permite identificar las zonas más propensas ante riesgos geológicos como son sismos, hundimientos, grietas, socavones, entre otros.
- La zonificación geotécnica es importante para sensibilizarse sobre el tipo de suelo o roca y entorno geológico-geotécnico, donde se desplanta algún tipo de obra. A manera de ejemplo si se construye una casa en zona lacustre es de esperarse que se tendrán hundimientos por el tipo y características del suelo existente, lo que implica considerar las acciones que correspondan para el tipo de trabajo a realizar.

3.4.3 Fallas geológicas y grietas

Una falla geológica es por definición una fractura o rompimiento y desplazamiento apreciable de las rocas de la corteza terrestre y tienen gran importancia y trascendencia y son susceptibles de ocasionar graves y lamentables problemas a la población, en la infraestructura, además de otros. Las fallas pueden generar terremotos a lo largo de ellas y causar daño y destrucción de diversas estructuras sobre ellas o en la vecindad, por la energía liberada. Estos fenómenos

también pueden cambiar las propiedades del terreno al disminuir su resistencia, modificar sus condiciones originales, entre otras. Por otra parte, las fallas pueden ser activas e inactivas. Se considera que una falla es activa, cuando esta se ha movido en el pasado geológico reciente y que puede moverse en el futuro próximo (Ruiz V, 2019).

Una falla geológica de tipo normal está definida como una ruptura en la corteza terrestre en la que un lado de la falla se mueve hacia abajo con respecto al otro lado, es decir, un “bloque” de rocas o suelos se desliza hacia abajo con respecto a otro a través de un plano de falla, como se puede apreciar en la figura 3.4.1 inciso a. Por otro parte, en una falla inversa se tiene un desplazamiento vertical en la que el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro, es decir, que un “bloque” de rocas se deslice hacia arriba con respecto a otro a través de un plano de falla, como se aprecia en la figura 3.4.1 inciso b.

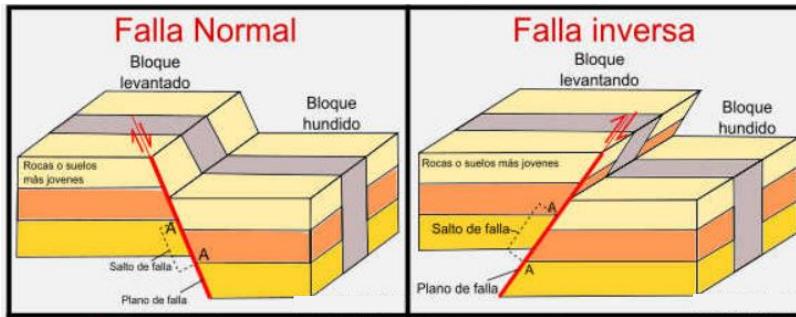


Figura 53. Tipos de falla; a) normal y b) inversa (Geologiaweb, 2023).

Las grietas de contracción son fisuras relativamente anchas respecto a su longitud, que se abren al contraerse el suelo o una roca. Su formación constituye un fenómeno característico de los suelos arcillosos que, al desecarse, forman una red poligonal de esas grietas de retracción. Ciertas capas del subsuelo conservan la huella de grietas que una vez abiertas se llenaron de arena, lo cual impidió que la humedad ulterior volviera a cerrarlas (Wikipedia, 2023). En la siguiente figura se muestra la ubicación de las fallas geológicas en las zonas de interés.

En la siguiente figura se muestra una grieta que se formó en Chalco, que de acuerdo con la fuente (García Z, 2023) se debe a la calidad del suelo y por la sobreexplotación del acuífero en la zona.



Figura 54. Mega grieta en Chalco, Estado de México (García, Z, 2023).

3.4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las fallas geológicas o grietas pueden generar daños a la infraestructura (hidráulica, carretera, casas, edificios, entre otros), afectando su funcionalidad, generando costos adicionales por reposición de obras, entre otros.
- Realizar recorridos de campo en las zonas con presencia de fallas geológicas y grietas para su mapeo local, para verificar las condiciones actuales de la zona y valorar posibles efectos secundarios. Es conveniente realizar un acercamiento con las diferentes alcaldías y municipios a fin de tener acceso al mapeo local de grietas.
- En el mapeo es conveniente georreferenciar todas las grietas para generar un plano con el sembrado y detalles técnicos, de las condiciones reales de cada sitio. Si las condiciones locales de cada sitio lo permiten, inspeccionar mediante un especialista en geología, la situación actual que guardan las fallas geológicas.

- Evaluar la posibilidad de instrumentar las zonas con presencia de fallas y grietas para su monitoreo. Esta actividad se puede plantear mediante la instalación de referencias superficiales (tales como mojoneras), y valoración de inclinómetros y extensómetros.
- De ser necesario realizar estudios técnicos especializados, para conocer con mejor detalle las características geológicas de sistema de fallas que lo requieran y que sean de interés y con base en ello emitir las recomendaciones que del estudio se deriven.
- Se sugiere la realización de un estudio de análisis de riesgo asociado al tema de las fallas geológicas y grietas con base a los diagnósticos realizados y a los resultados de los reconocimientos técnicos de campo.

3.5 Hidrología de la zona de estudio

La zona de estudio, desde el punto de vista hidrológico, contempla las principales cuencas hidrográficas del sistema de abastecimiento y drenaje de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Estas cuencas son las del sistema Cutzamala, la del sistema Lerma y la cuenca del Valle de México; que a su vez se puede dividir en la cuenca de la ZMVM y la cuenca de las Avenidas de Pachuca. Se analizaron los datos de lluvias diarias (registradas a las 8.00 am de cada día), disponibles en la zona de estudio, almacenados en la página web del Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (CONAGUA S. , 2023).

La mayoría de las estaciones climatológicas en el país dejaron de operar desde el año 2017 y solo algunas que quedan (o reemplazan a las anteriores), a la fecha, tienen registros hasta abril del año 2023. Sin embargo, muchas de estas estaciones presentan interrupciones en la medición, registran datos extraños y períodos de datos faltantes significativos.

Debido a la calidad de los registros de lluvias diarias disponibles en la zona de estudio, esta información se depura descartando aquellas estaciones que presentan al menos un 30% de datos faltantes o series inconsistentes. En la Tabla 2 se muestra un listado de las estaciones climatológicas seleccionadas y en la figura su ubicación en la zona de estudio.

Aun así, en las estaciones climatológicas seleccionadas con la mayor cantidad de información posible y consistente, persisten datos faltantes. Estos se estiman finalmente aplicando el método de los *Vecinos más Cercanos*. En las figuras se presentan las series de lluvias medias estimadas para cada cuenca hidrográfica de la zona de estudio.

Los registros de temperatura, almacenados en el *SIH*, presentan aún más inconsistencias y datos faltantes que los registros de precipitación. Por ello, se decide recolectar la información climatológica satelital proporcionada por la *Administración Aeroespacial Nacional de los Estados Unidos* (NASA), y de acceso libre a través de la plataforma *POWER Data Acces Viewer* (NASA, Meteorological Data, 2023).

Los puntos donde se puede acceder a la información climatológica satelital de la NASA están, efectivamente, mucho más dispersos que las estaciones climatológicas en tierra. Sin embargo, los registros disponibles son consistentes, sin datos faltantes y actualizados diariamente. En la Tabla 3 se muestra el listado de estos puntos y su ubicación en la zona de estudio.

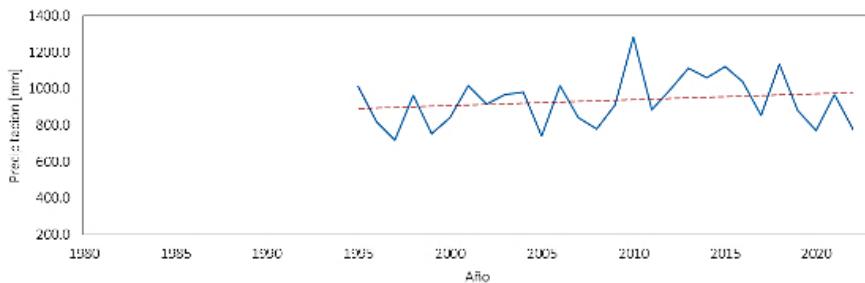
Tabla 2. Listado de las estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio.

Estación	Latitud	Longitud	Estación	Latitud	Longitud	Estación	Latitud	Longitud
2RSMX	19.38	-99.38	PSNDF	19.47	-99.16	C15037	19.56	-99.60
AGOMC	19.58	-100.61	PTRDF	19.51	-99.19	C15039	19.09	-98.88
ARBMX	19.57	-99.22	PUCMC	19.62	-100.68	C15041	19.56	-99.02
CDMDF	19.36	-99.00	RECMX	19.30	-99.65	C15045	19.30	-99.37
CGCMX	19.20	-99.51	SABMC	19.62	-100.67	C15055	19.78	-98.83
CHIMC	19.70	-100.55	SCMDF	19.34	-99.03	C15057	19.44	-99.46
CHIMX	19.35	-100.15	SJADF	19.47	-99.07	C15058	19.45	-99.24
CHPMX	19.48	-98.88	SJHMX	19.24	-99.76	C15063	19.41	-99.70
CMYDF	19.49	-99.18	SLBMX	19.59	-99.74	C15071	19.78	-99.69
COLMX	19.10	-100.18	TCMDF	19.56	-99.14	C15073	19.62	-99.28
CPPTL	19.59	-98.56	TECDF	19.37	-99.27	C15081	19.70	-99.22

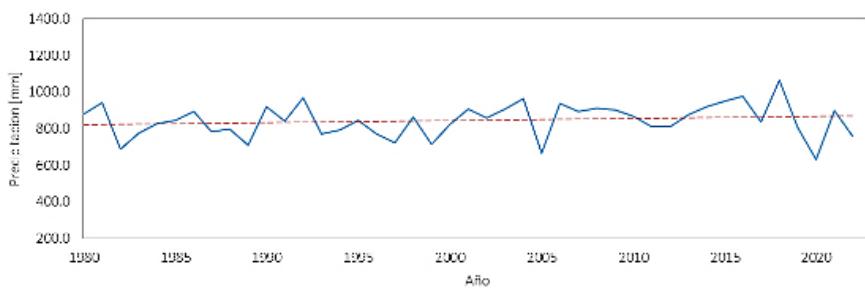
DBOMC	19.39	-100.42	TNGDF	19.40	-99.21	C15083	19.53	-98.91
DDDFDF	19.43	-99.13	TPJDF	19.20	-99.14	C15085	19.52	-99.74
ETAMC	19.53	-100.28	TSFDF	19.32	-99.25	C15090	19.75	-98.95
GCNDF	19.48	-99.09	TSJDF	19.44	-99.23	C15094	19.19	-98.87
LBEMX	19.38	-100.08	TTLMX	19.45	-99.28	C15098	19.62	-99.19
MBLMX	19.48	-99.22	VBRMX	19.21	-100.18	C15103	19.08	-98.74
PBCDF	19.43	-99.06	VVCMX	19.46	-100.06	C15112	19.70	-99.70
PBLDF	19.49	-99.12	C09014	19.30	-99.15	C15115	19.77	-99.17
PBODF	19.38	-99.04	C09036	19.40	-99.10	C15127	19.47	-99.25
PBTDF	19.44	-99.17	C09043	19.47	-99.08	C15129	19.68	-99.13
PCCMX	19.65	-99.03	C13008	19.85	-98.94	C15158	19.67	-99.83
PCGMX	19.74	-99.18	C13027	19.82	-98.48	C15160	19.40	-99.94
PCHDF	19.41	-99.20	C13033	19.96	-98.51	C15201	19.43	-99.61
PCOHD	20.12	-98.75	C13079	20.07	-98.65	C15203	19.34	-99.68
PFBMX	19.83	-99.79	C13085	19.85	-98.31	C15231	19.53	-99.46
PGNDF	19.46	-99.10	C15008	19.54	-98.91	C15245	19.80	-100.00
PIRMX	19.46	-99.78	C15017	19.38	-98.85	C15267	19.72	-100.04
PLEDF	19.34	-99.08	C15020	19.26	-98.90	C29025	19.60	-98.63
PNTDF	19.25	-99.09	C15025	19.57	-99.67	C29034	19.58	-98.48
PRRDF	19.51	-99.15	C15029	19.86	-99.92			

Tabla 3. Puntos con información satelital en la zona de estudio.

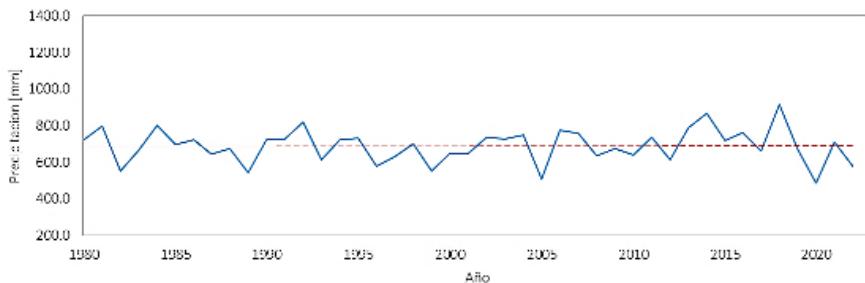
Punto	Latitud	Longitud	Punto	Latitud	Longitud	Punto	Latitud	Longitud
1	18.75	-98.25	9	19.25	-99.25	17	19.75	-100.25
2	18.75	-98.75	10	19.25	-99.75	18	19.75	-100.75
3	18.75	-99.25	11	19.25	-100.25	19	20.25	-98.25
4	18.75	-99.75	12	19.25	-100.75	20	20.25	-98.75
5	18.75	-100.25	13	19.75	-98.25	21	20.25	-99.25
6	18.75	-100.75	14	19.75	-98.75	22	20.25	-99.75
7	19.25	-98.25	15	19.75	-99.25	23	20.25	-100.25
8	19.25	-98.75	16	19.75	-99.75	24	20.25	-100.75



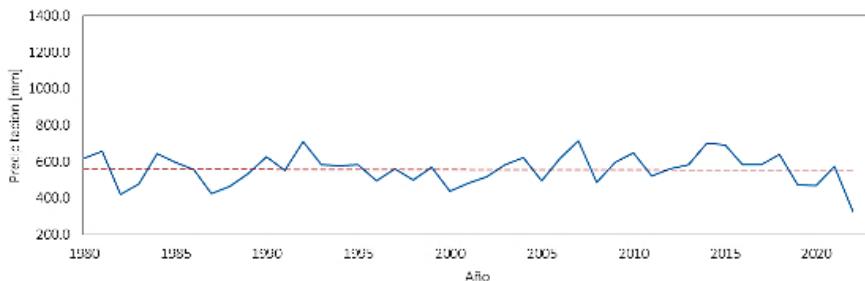
(a) Sistema Cutzamala



(b) Sistema Lerma



(c) Zona Metropolitana del Valle de México



(d) Avenidas de Pachuca

Figura 55. Lluvias anuales en las cuencas hidrográficas de la zona de estudio (mm)

En la Figura 55 se muestran las lluvias anuales medias estimadas en cada una de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio. En la Figura 56 se muestran los hietogramas de lluvias mensuales medias con sus límites al 10 y 90 % de probabilidad de ocurrencia.

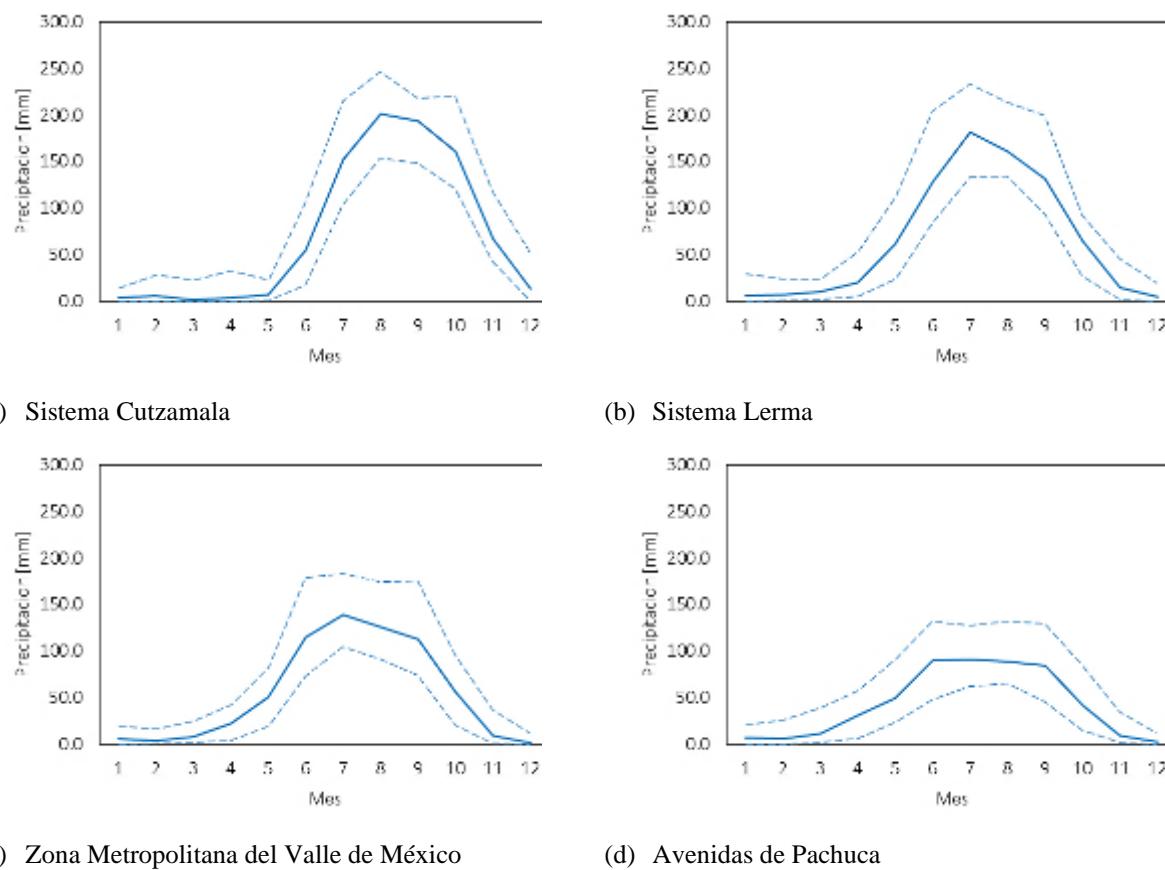
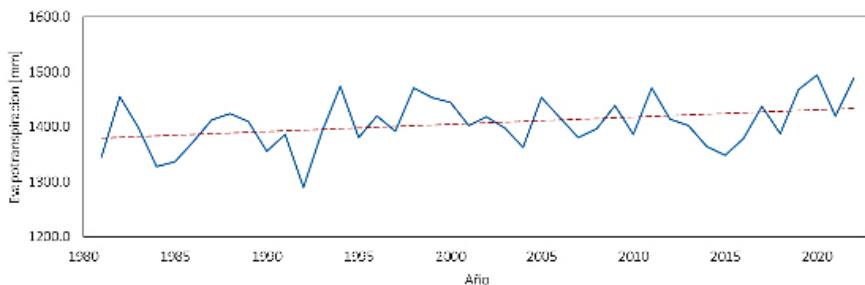


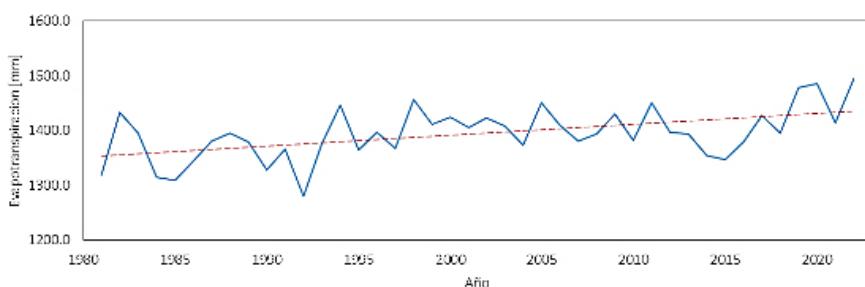
Figura 56. Lluvias mensuales en las cuencas hidrográficas de la zona de estudio (mm)

A partir de los datos satelitales de temperaturas diarias (mínimas, medias y máximas) se estima la evapotranspiración potencial diaria. Para esto se aplica la ecuación de *Hargreaves* y *Samani* (1985) (Sanchez, 2022). En las figuras se presentan las series de evapotranspiración potencial medias estimadas para cada cuenca hidrográfica de la zona de estudio.

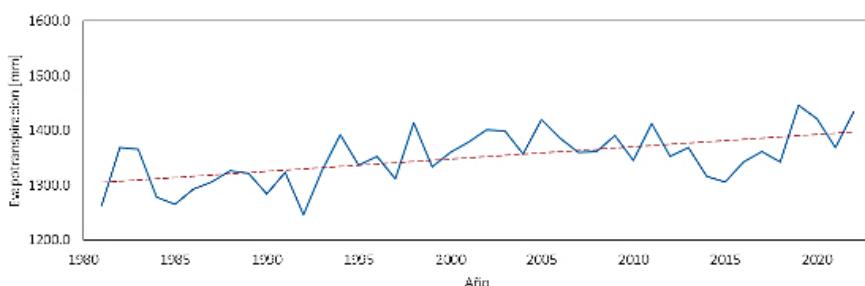
En la Figura se muestra la evapotranspiración potencial anual media estimada en cada una de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio. En la Figura se muestran los histogramas de evapotranspiración potencial mensual media con sus límites al 10 y 90 % de probabilidad de ocurrencia.



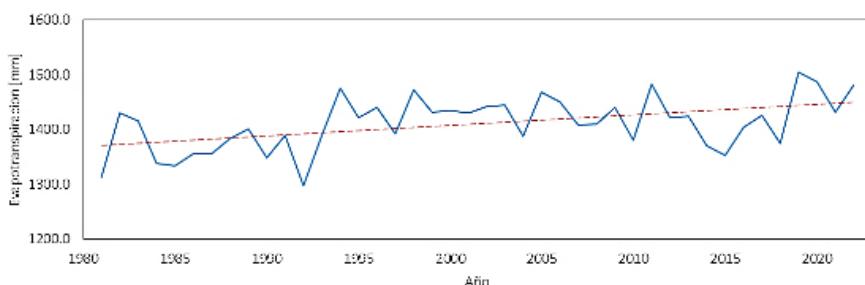
(a) Sistema Cutzamala



(b) Sistema Lerma



(c) Zona Metropolitana del Valle de México



(d) Avenidas de Pachuca

Figura 81. Evapotranspiración potencial anual en las cuencas hidrográficas de la zona de estudio (mm)

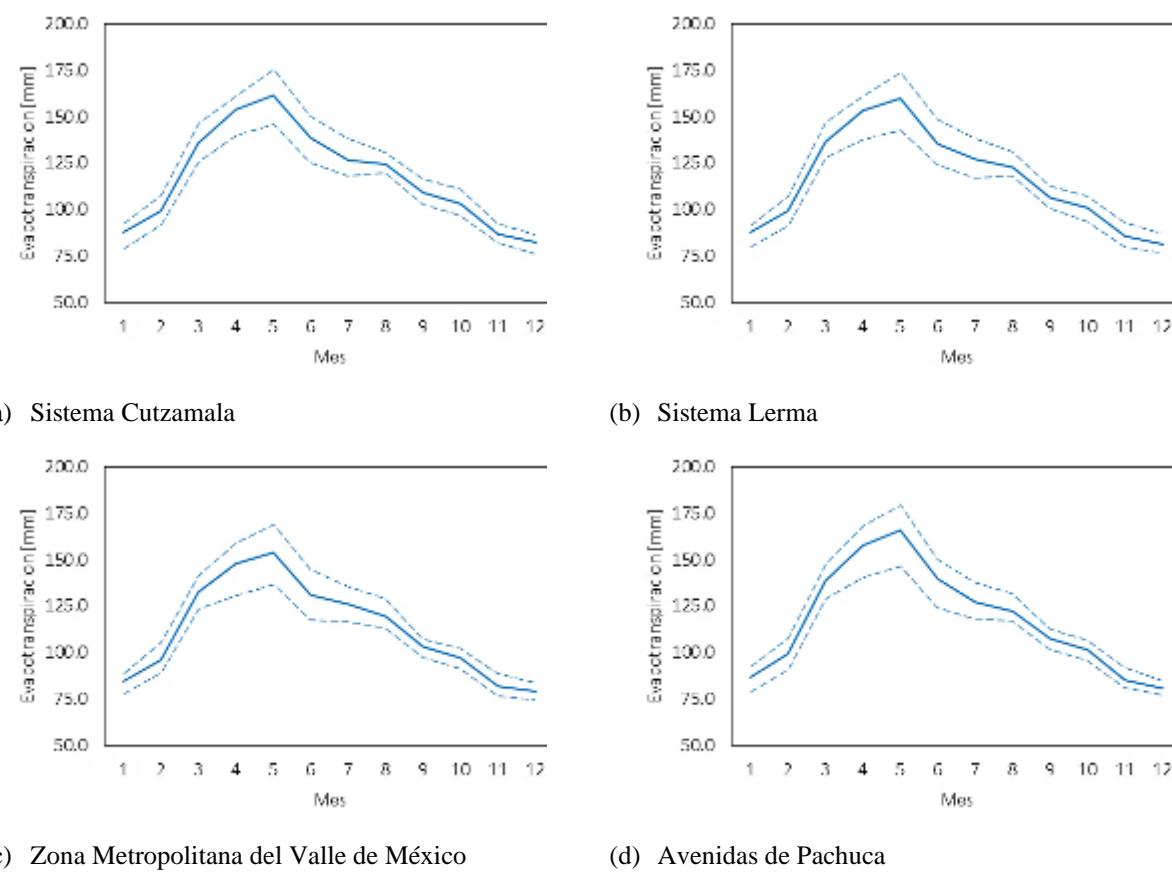


Figura 82. Evapotranspiración potencial mensual en las cuencas hidrográficas de la zona de estudio (mm)

3.6 Geohidrología de la zona de estudio

De acuerdo con la clasificación de las Provincias Fisiográficas del INEGI (1997), la superficie cubierta por la Cuenca de México se ubica en el sector Oriental de la provincia Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), muy próxima, al sur, de la frontera con la provincia de la Sierra Madre Oriental (Figura 83).

La Cuenca de México está integrada por siete acuíferos de acuerdo con la delimitación de acuíferos administrativos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En este estudio se incluyeron los cuatro más próximos a la zona metropolitana de la Ciudad de México, debido a que son los más importantes desde el punto de vista abastecimiento de agua a la mega urbe y a que además

están conectados hidráulicamente. Estos fueron: Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Texcoco, Chalco-Amecameca y Cuautitlán-Pachuca (Figura 2).

3.6.1 Unidades hidrogeológicas

Una evaluación hidrogeológica considera las diferentes rocas y su interacción con el agua subterránea, permitiendo diferenciarlas y clasificarlas de acuerdo con su capacidad de admitir, almacenar y transmitir el agua subterránea. Para el caso de la zona de estudio, se pueden definir las unidades hidrogeológicas siguientes, de acuerdo con litología, distribución en el subsuelo y la estratigrafía.

Tabla 4 Unidad hidrogeológica

Unidad hidrogeológica	Clasificación
A-1	Acuífero. Depósitos aluviales y piroclásticos
A-2	Acuífero. Depósitos fluviales y piroclásticos
B-1	Acuífero. Rocas volcánicas y piroclastos
C	Acuitardo. Depósitos lacustres

3.6.2 Zonas hidrogeológicas

Las zonas hidrogeológicas en la Cuenca de México están integradas por uno o varios tipos de roca o material granular, que presenta comportamiento hidráulico semejante.

El criterio de clasificación tiene como base dos parámetros hidráulicos como a continuación se describe:

Tabla 5 Zona hidrogeológica

Parámetro	Tipo	Descripción
Recarga potencial	Baja	Coeficiente de escurrimiento mayor al 30%
	Media	Coeficiente de escurrimiento de 15.1 – 30%
	Alta	Coeficiente de escurrimiento de 0 – 15%

Transmisividad	Despreciable	Menor a 0.5 m ² /día
	Baja	De 5 a 50 m ² /día
	Moderada	De 50 a 500 m ² /día
	Alta	Mayor a 500 m ² /día

3.6.3 Elevación del nivel estático

A partir de los registros recabados sobre la profundidad del nivel estático en la Cuenca de México, se efectuó un análisis para evaluar la configuración del nivel piezométrico. El análisis se realizó para el año 2019, con la finalidad de tener una representatividad de la elevación del nivel estático reciente.

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático en la Cuenca de México, para el año 2019, muestra que los flujos de agua subterránea que alimentan la Cuenca provienen principalmente de las partes altas, como es el caso de la Sierra de las Cruces, por el poniente; de la Sierra Chichinautzin, por el sur y por el norte, la Sierra de Guadalupe, estos flujos son producto de los volúmenes de agua infiltrados durante la temporada de lluvias.

En las zonas altas, como son las inmediaciones de los municipios de Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla y Naucalpan, se tienen equipotenciales que varían en términos generales de 2,200 a 2,400 metros sobre el nivel del mar, con dirección preferencial de oeste a este.

Se localiza un descenso de la elevación del nivel estático desde la parte central de la Ciudad de México hasta el sur de esta, contiene a muchos de los pozos que se localizan sobre el periférico sur, así como a los del ramal Tláhuac-Xochimilco, y recibe agua proveniente de la Sierra Santa Catarina.

Se deduce que como resultado de la sobreexpplotación en el acuífero de la Ciudad de México se ha formado un gran cono de abatimiento de los niveles del agua subterránea, principalmente hacia la zona centro-sur.

La zona donde se localiza la menor elevación del nivel estático es dentro de las alcaldías Iztacalco, Iztapalapa, Benito Juárez y Coyoacán corresponde a las alcaldías. Una de las zonas con menor nivel de aguas subterráneas es consistente con la batería de pozos Xotepingo y ello puede ser explicado por ser la batería de pozos más antigua en la Ciudad de México y por consiguiente de la que se ha extraído más agua a lo largo del tiempo.

La configuración en el acuífero Texcoco registra valores que varían de 2580 a 2160 msnm. Las menores elevaciones, de 2160 a 2180 msnm, se registran en toda la porción occidental del acuífero, en la zona que circunda el Lago Nabor Carrillo, la planta de tratamiento “El Caracol” y Texcoco. Las mayores elevaciones, de 2400 a 2580, se registran en el extremo nororiental del acuífero, en las inmediaciones del poblado Santo Tomás y a lo largo de las estribaciones de la Sierra Quetzaltepec, desde donde descienden gradualmente, al igual que la profundidad por efecto topográfico, hacia el valle. Las principales zonas de recarga se ubican en las sierras Guadalupe y Quetzaltepec, ubicadas en los extremos norte y oriental, respectivamente.

Las elevaciones del nivel estático en el acuífero Chalco-Amecameca registra valores que varían de 2440 a 2220 msnm, se presentan valores de 2,340 msnm en las estribaciones de la Sierra Nevada y 2,220 msnm en la porción sur del Municipio de Chalco, las menores elevaciones del nivel se presentan en las Sierras de Chichinautzin.

3.6.4 Profundidad del nivel estático

La configuración de curvas de igual profundidad del nivel estático en la zona de estudio, para el año 2019, muestra que los niveles varían de 2.2 a 155.8 m.

La profundidad de los niveles en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, presenta los valores más bajos, de 6 a 40 m en la porción sur de la Sierra

de Guadalupe, mientras que los valores más altos de profundidad se localizan en la zona de recarga de la Sierra de Las Cruces en donde el nivel estático se localiza a una profundidad que varía de 70 a 135 metros, en la porción central de la Ciudad de México se encuentran valores que fluctúan de 50 a 70 metros.

La configuración de profundidad al nivel estático en el acuífero Texcoco presenta valores que varían de 7 a 130 m. Los valores más someros se registran en la porción oriental del acuífero, desde donde se incrementan gradualmente, donde se localizan las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero.

Para el acuífero Chalco-Amecameca la profundidad del nivel estático en las inmediaciones de la Sierra Nevada, presenta valores que fluctúan de 100 m a 80 metros, dichas profundidades se deben a que es la zona de recarga del acuífero, por lo que la profundidad del nivel es mayor; en la parte central del acuífero se localiza el nivel a una profundidad entre 8 y 50 metros, mientras que en la porción norte del acuífero Chalco-Amecameca que coincide con la Sierra de Santa Catarina, se presentan valores de profundidad que fluctúan entre 50 y 80 metros.

4 DEMANDA DE AGUA

4.1 Continuidad urbana de la ZMVM

En este apartado, se aborda el crecimiento de la ZMVM a través de dos ejes: el primero está relacionado con el crecimiento de la población, mientras que el segundo se vincula con la expansión de la infraestructura hidráulica. En ambos casos se presta mayor énfasis al periodo correspondiente a la segunda mitad del siglo XX.

4.1.1 Crecimiento poblacional de la ZMVM.

En este primer subapartado se exponen los antecedentes sobre los primeros asentamientos poblacionales del centro de país hace 7 siglos y su posterior

expansión. Posteriormente, el énfasis se centra en el crecimiento poblacional de la ZMVM. Para ello se describen las causas de su expansión, enfatizando aquellas relacionadas con el proceso de industrialización de la urbe.

En el año de 1325 se fundó Tenochtitlán (De Buen, 1994). Este asentamiento humano tuvo lugar en la parte occidental del lago de Texcoco. La ciudad tenía carácter insular y tenía desventajas como las inundaciones y la dificultad para el abastecimiento de agua (Torres, 2014). Esto último se debe particularmente a que ya que la del lago era salada. A la llegada de los españoles, la población se redujo de forma drástica entre 1519 y 1575, después pasó un período de crecimiento estable hasta que se alteró hacia 1736, pero no hacia el año de la independencia de México (Escalante, y otros, 2008).

En el período poscolonial y posrevolucionario, en el contexto nacional, la política económica de sustitución de importaciones y la inversión pública federal favorecieron la concentración de la población en áreas urbanas, algunas de las cuales rebasaron sus límites político-administrativos y así se inició la conformación de áreas metropolitanas. Este proceso de urbanización fue consecuencia del crecimiento natural (nacimientos menos defunciones) y la masiva migración interna desde áreas rurales hacia zonas urbanas (Sobrino, 2011). Este proceso se derivó del crecimiento industrial en la gran ciudad.

De forma general, la población de la ZMVM ascendió de 1.5 millones de habitantes en 1940 a 14.5 millones en 1980, con lo que su representación proporcional con respecto a la población total del país pasó de 7.8 a 21.6 por ciento. En 2020, ahí habitaban, 21.8 millones de personas de acuerdo datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021). Es decir: 1 de cada 5 mexicanos conformaba la ZMVM. Esta concentración de habitantes en el centro del país permite destacar la relevancia que tiene la revisión de su abasto de recursos hídricos. Para ello se expone su acceso más reciente a infraestructura.

4.1.2 Crecimiento de la infraestructura hidráulica.

Respecto a la expansión de la infraestructura hidráulica, específicamente en cuanto a las formas de abastecimiento del agua: la demanda del vital líquido en la Ciudad de México detonó desde inicios del siglo XX. Se realizaron diferentes esfuerzos para cubrir la demanda mencionada. Los proyectos para lograr esto contemplaban que los recursos hídricos procedieran desde distintos puntos como: Xochimilco, Texcoco y la del Lerma (Torres, 2014)

Al enfocarnos en la segunda mitad del siglo XXI -como en el subapartado anterior-, es pertinente señalar que durante la administración del presidente Manuel Ávila Camacho, en su primer informe de gobierno se indicó que estaba por comenzar la obra de captación en los manantiales del Lerma La construcción de la primera etapa de las obras se inició en 1942 y se terminó en 1951, a finales de ese año empezaron a operar los primeros pozos, aunque fue dos años más tarde que se formalizaron sus operaciones. (Torres, 2014) Las necesidades hídricas de la ZMVM se pudieron cubrir por un período limitado.

En los años 70, a nivel nacional, se desarrollaron planes regionales que contemplaban grandes transferencias de agua entre cuencas vecinas. Entre estos planes se emprendió un proyecto con la intención de asegurar las futuras fuentes de abastecimiento de agua al área metropolitana de la Ciudad de México. Igualmente (CONAGUA, 2009). Esto fortaleció las medidas emprendidas desde dos décadas atrás en el centro del país.

Al reducirse los volúmenes de extracción del sistema Cutzamala -así como su gasto asignado-, en 1982 inició la primera etapa del proyecto Cutzamala, mientras que la segunda etapa de su construcción empezó en 1985 (Torres, 2014). En el caso del desagüe, una obra relevante y más reciente es la creación del Túnel Emisor Oriente (TEO), el cual, de acuerdo con el Gobierno de la Ciudad de M ha sido clave para evitar inundaciones en el oriente de la ZMVM (GOCDMX, 2019).

4.2 Población de la ZMVM

La ZMVM, que ya fue delimitada en el apartado 3.1, está conformada por 76 municipios. En ellos habitan un total de 20.3 millones de habitantes, este es un resultado de estimación propia con base en los datos del Censo de Población y Vivienda de 2020. Y respecto a la población total de la República Mexicana (126 014 024 habitantes) (INEGI, Principales resultados del censo de población y vivienda 2020. Estados Unidos Mexicanos , 2022), es posible deducir que 1 de cada 5 mexicanos forma vive en la ZMVM.

Si bien es cierto, la aglomeración humana que se concentra entre la Ciudad de México (16 alcaldías), Estado de México (59 municipios) e Hidalgo (1 municipio) es la más importante del país, es central reconocer que entre los municipios que la

Volumen de población		Habitantes
Municipio		
Iztapalapa		1,835,486
Municipios con el mayor volumen de población	Ecatepec de Morelos	1,645,352
	Gustavo A. Madero	1,173,351
	Nezahualcóyotl	1,077,208
	Naucalpan de Juárez	834,434
Tenango del Aire		11,359
Municipios con el menor volumen de población	Ecatzingo	10,827
	Nopaltepec	10,351
	Ayapango	10,053
	Papalotla	4,862

Fuente: elaboración propia con información del Censo de Población y Vivienda, 2020.

integran hay una distribución heterogénea de la población. Por ejemplo, a continuación, se muestra una selección de los municipios más y menos poblados de la ZMVM:

Estos resultados muestran que 2 de los 5 municipios más poblados pertenecen a la CDMX, pero en el caso opuesto, todos los municipios con menor volumen de

población se localizan en el Estado de México. Si bien es cierto resulta útil conocer el total de habitantes por demarcación, es central prestar a la densidad de población.

Conocer la cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado en el caso de cada demarcación, permite reconocer la distribución de la población en el espacio y esto es muy importante, porque una mayor densidad representa mayores retos en términos de infraestructura, tanto urbana como hidráulica.

Para facilitar la interpretación de este dato, a continuación, se muestra una figura:

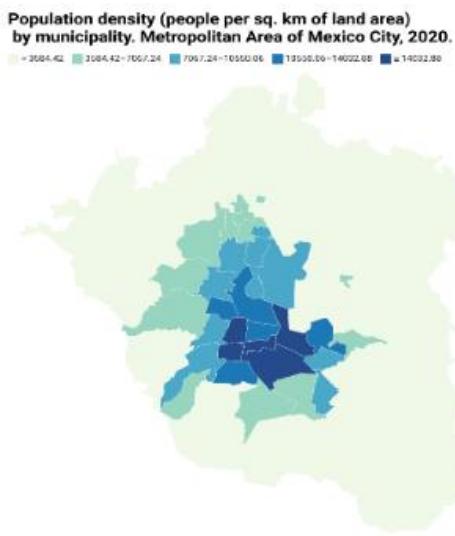


Figura 57. Fuente: elaboración propia con información del Censo de Población y Vivienda, 2020.

Esta figura revela que existe una mayor densidad de población hacia la frontera este que divide al Estado de México de la Ciudad de México. Entre las demarcaciones con más densidad poblacional -marcadas con el tono más oscuro de azul-destacan Iztacalco (alcaldía que no se había mencionado hasta ahora), Iztapalapa (que es la primera demarcación más poblada), Cuauhtémoc y Benito Juárez. Por parte del Estado de México se puede identificar a Nezahualcóyotl. Además de la distribución espacial, es menester reconocer cómo se distribuyen los habitantes según sexo y edad. Para explicar esto se incorpora la siguiente pirámide de población:

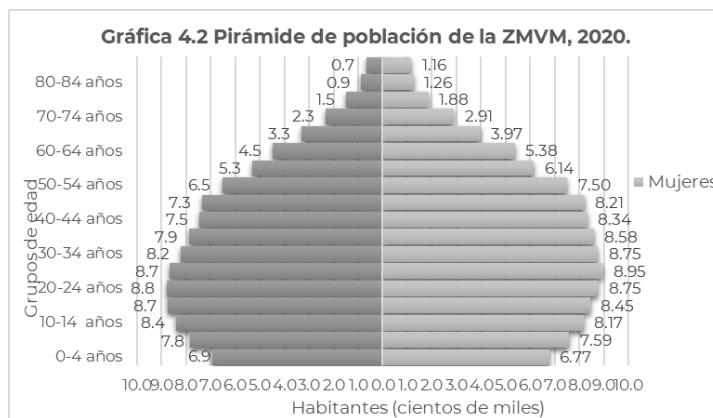


Figura 58. Piramide de población de ZMVM

Entre los grupos quinqueniales de 15-19 años, 20-24 años y 25-29 años la pirámide es más ancha, lo que denota que los grupos juveniles son predominantes respecto a las personas en edades adultas se infantiles.

También destaca que la base de la pirámide es angosta, es relevante pues habla de que, entre los grupos de edad infantiles, quienes tienen menos presencia son los menores de 6 años. Respecto a las edades avanzadas (>65 años), la pirámide se muestra muy angosta, lo que denota un poco presencia de quienes están en 'edad de retiro'.

En cuanto a las diferencias por sexo es importante notar que, para todas las edades, la presencia de hombres y mujeres es similar para ambos grupos. En general, la pirámide muestra que la población de la ZMVM es relativamente joven, incluso al contener una de las alcaldías más envejecidas del país (INEGI, 2021). Este equilibrio puede deberse al alto volumen de población infantil que tiene el estado de México.

4.3 Usos de agua

Para llevar a cabo la administración de los recursos hídricos la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), secciona la Cuenca de México en siete zonas, denominadas cuencas, para las aguas superficiales, y otras siete, denominadas acuíferos, para

las aguas subterráneas (Tabla 1 y figura 1). La población de la zona metropolitana de la cuenca se concentra en los acuíferos Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Texcoco, Chalco-Amecameca y Cuautitlán-Pachuca.

Tabla 6 Zonas administrativas de los recursos hídricos

Clave acuífero	Nombre del acuífero	Área (km ²)	Clave cuenca	Nombre de la cuenca	Área (km ²)
901	Zona Metropolitana de la Ciudad de México	2103.7	2665	Xochimilco	506.8
1319	Tecocomulco	476.4	2666	Río la Compañía	1154.2
1320	Apan	733.3	2667	Tochac-Tecocomulco	1309.7
1506	Chalco-Amecameca	946.5	2668	Río de las Avenidas de Pachuca	2628.5
1507	Texcoco	933.6	2669	Texcoco	1386.5
1508	Cuautitlán-Pachuca	3870.5	2670	Ciudad de México	1804.2
2902	Soltepec	819.6	2671	Río Cuautitlán	821.7
				9883.6	9611.6

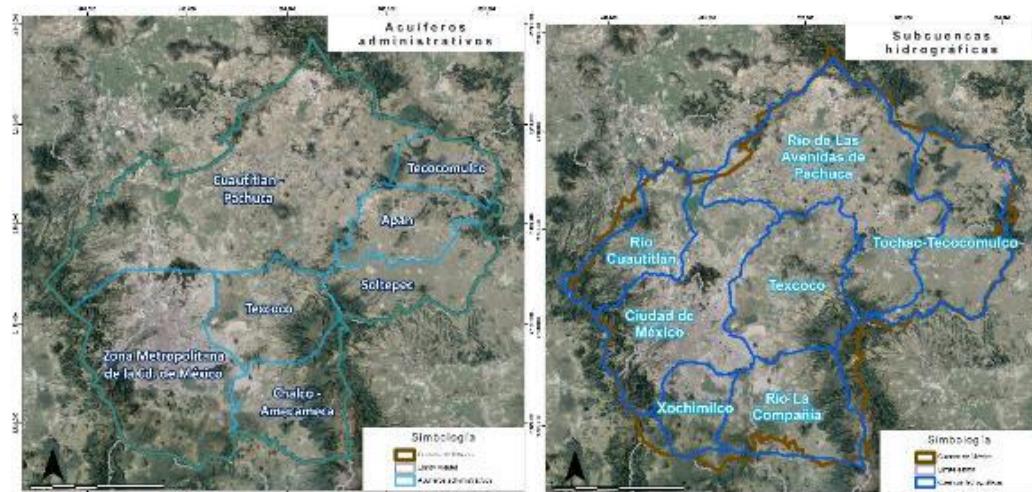


Figura 59. Zonas administrativas en materia de aguas superficiales y subterráneas

Para estimar la cantidad de agua utilizada en la Cuenca de México se cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), en el cual se realiza el registro de los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. Se entiende que los usuarios utilizan aproximadamente el mismo volumen de

agua que tienen concesionado o asignado y también se considera que la mayoría de los usuarios se encuentran inscritos en el REPDA (CONAGUA, 2017).

La concesión del agua se asigna de acuerdo con el uso, es decir, está relacionada a la aplicación del agua a una actividad que implique el consumo, parcial o total de ese recurso. Los usos del agua se dividen en tres grandes grupos:

- **Público.** Incluye el uso doméstico y público urbano
- **Agropecuario.** Lo constituye el uso agrícola, la acuacultura, el pecuario y el múltiple
- **Industria autoabastecida.** Comprende los de tipo agroindustrial, servicios, industrial y energía eléctrica.

Al mes de diciembre del año 2022, se tenían inscritos en el REPDA del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, 6789 títulos de aprovechamiento de aguas nacionales y descargas, mismos que de acuerdo con el uso se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 7 Títulos y volúmenes de Aguas Nacionales del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México

Uso	AGUAS NACIONALES						
	AGUAS SUPERFICIALES			AGUAS SUBTERRÁNEAS			Volumen total
	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m ³ /año	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m ³ /año	
Agrícola	547	593	1,226,734,825	901	983	205,136,582	1,431,871,407
Agroindustrial	0	0	0	0	0	0	0
Doméstico	15	19	479,968	77	81	1,736,418	2,216,386
Acuacultura	44	47	20,432,398	1	1	1,664	20,434,062
Servicios	32	44	7,689,407	218	270	73,544,196	81,233,603
Industrial	15	15	63,064,946	555	738	194,903,768	257,968,714
Pecuario	148	159	469,502	87	90	3,729,505	4,199,007
Público urbano	259	592	366,604,962	455	1972	1,792,226,809	2,158,831,771
Múltiples	128	163	6,696,576	412	561	142,434,128	149,130,704
Generación de energía eléctrica	2	2	220,752,000	2	2	73,600	220,825,600
Comercio	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0	0

Uso	AGUAS NACIONALES						
	AGUAS SUPERFICIALES			AGUAS SUBTERRÁNEAS			Volumen total
	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m ³ /año	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m ³ /año	
Conservación ecológica	0	0	0	0	0	0	0
	1,190	1,634	1,912,924,584	2,708	4,698	2,413,786,670	4,326,711,254

Fuente: Información estadística. Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua.

Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/informacion-estadistica-62159>

Nota: La suma de los títulos por cada tipo de concesión es diferente al número total de títulos de concesión debido a que un título puede contener más de un tipo de concesión.

En el caso de la región, se tiene un volumen total de agua concesionada de 4,326.71 millones de metros cúbicos al año (137.2 metros cúbicos por segundo), del cual, el uso público urbano, que es la aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos a través de la red municipal, es el mayor consumidor con un 49.95 por ciento. El siguiente usuario es el agropecuario con un 37.11 por ciento y por último la industria autoabastecida con un 12.94 por ciento.

4.3.1 Agua superficial

La disponibilidad de aguas superficiales se determina en el cauce principal, a la salida de la cuenca hidrológica, mediante la disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica que es igual al volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo menos el volumen anual actual comprometido aguas abajo.

En la Cuenca de México hay 7 cuencas hidrológicas que en total tienen un volumen anual de escurrimiento de 75.58 millones de m³/año y una extracción de 767.32 millones de m³/año, tabla 3.

Tabla 8 Disponibilidad media anual superficial de la Cuenca de México

Clave cuenca	Nombre de la cuenca	Volumen medido anual de escurrimiento natural (millones de m ³)	Volumen anual de extracción de agua superficia (millones de m ³)	Disponibilidad media anual (millones de m ³)
2665	Xochimilco	47	7.51	0.08
2666	Río la Compañía	69.5	5.93	0.09
2667	Tochac-Tecocomulco	82.16	8.84	0.02
2668	Río de las Avenidas de Pachuca	119.52	14.89	0.12
2669	Texcoco	85.77	12.67	0.06
2670	Ciudad de México	221.64	622.76	1.26
2671	Río Cuautitlán	89.99	94.72	0.17
		715.58	767.32	1.8

Fuente: Declaratoria de disponibilidad media anual superficial; septiembre de 2020. Disponible en DOF

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020

4.3.2 Agua subterránea

Referente a la disponibilidad de aguas subterráneas, está se calcula mediante el volumen determinado del acuífero y un intervalo definido de tiempo en donde se presentan entradas (recarga) y salidas (descarga) que producen un cambio en el almacenamiento del propio acuífero.

En la Cuenca de México existen 7 acuíferos con una recarga total de 1203.7 millones de m³/año y una extracción del orden de poco más de 1960.88 millones de m³/año, tabla 4.

Tabla 9 Disponibilidad media anual subterránea de la Cuenca de México

Clave acuífero	Nombre del acuífero	Recarga (millones de m ³)	Extracción (millones de m ³)	Disponibilidad (millones de m ³)
901	Zona Metropolitana de la Ciudad de México	512.8	1020.03	0
1319	Tecocomulco	27.8	2.97	24.33

1320	Apan	30.3	30.01	0.29
1506	Chalco-Amecameca	74	99.42	0
1507	Texcoco	145.1	245.72	0
1508	Cuautitlán-Pachuca	356.7	545.4	0
2902	Soltepec	57	17.33	23.47
		1203.7	1960.88	48.09

Fuente: Declaratoria de disponibilidad media anual subterránea; septiembre de 2020. Disponible en DOF
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020

5 FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Con el fin de determinar el esquema de distribución de la calidad del agua superficial, se recopiló información de la base de datos de CONAGUA, a través del portal de la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA).

La base de datos corresponde al año 2021, en ella se agrupa información de la concentración de algunos parámetros biológicos (coliformes fecales) y parámetros químicos (demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales).

Tabla 10 Sitios de medición, RENAMECA (CONAGUA)

SITIO	ESTADO	MUNICIPIO	CUENCA	CUERPO DE AGUA	TIPO	SUBTIPO	LONG	LAT
La Isleta Laguna De Tecocomulco	Hidalgo	Cuautepetec de Hinojosa	Tochac-Tecocomulco	Lago de Tecocomulco	Léntico (Humedal)	Lago	-98.37	19.87
Thalimedes Laguna Tecocomulco	Hidalgo	Tepeapulco	Tochac-Tecocomulco	Lago de Tecocomulco	Léntico (Humedal)	Lago	-98.39	19.87
Jaramillo 1	Hidalgo	Pachuca De Soto	Río de Las Avenidas de Pachuca	Presa Jaramillo	Léntico	Presa	-98.73	20.17
Toma Cero La Mina	México	Huixquilucan	Ciudad de México	Toma Cero La Mina	Lótico	Río	-99.33	19.39
Emisor Del Poniente portal de salida	Distrito Federal	Miguel Hidalgo	Ciudad de México	Emisor Poniente	Lótico	Emisor	-99.19	19.44
Canal Sto. Tomás	México	Teoloyucan	Río Cuautitlán	Canal Santo Tomás	Lótico	Canal	-99.18	19.77

SITIO	ESTADO	MUNICIPIO	CUENCA	CUERPO DE AGUA	TIPO	SUBTIPO	LONG	LAT
Laguna de Texcoco	México	Ecatepec	Texcoco	Laguna de Texcoco	Léntico	Laguna	-98.98	19.58
Entrada Rio San Juan Teotihuacan	México	Atenco	Texcoco	Río San Juan Teotihuacan	Lótico	Río	-98.92	19.58
Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco Y San Gregorio Atlapulco 2	Ciudad de México	Xochimilco	Xochimilco	Cuerpo de agua del humedal	Léntico (Humedal)	Lago	-99.08	19.28
Sistema Lacustre Ejidos De Xochimilco Y San Gregorio Atlapulco 1	Ciudad de México	Xochimilco	Xochimilco	Cuerpo de agua del humedal	Léntico (Humedal)	Lago	-99.06	19.27
Lago Los Reyes	Ciudad de México	Tláhuac	Río La Compañía	Laguna Tláhuac	Léntico	Lago	-99.01	19.27
Puente Xochiaca	México	Nezahualcóyotl	Texcoco	Río de la Compañía	Lótico (Humedal)	Río	-98.99	19.41
Puente Carr. Los Reyes - Lechería	México	Tezoyuca	Texcoco	Río San Juan Teotihuacan	Lótico	Río	-98.93	19.59
Presas de la Concepción aguas abajo	México	Tepotzotlán	Río Cuautitlán	Río Tepotzotlán	Lótico	Arroyo	-99.30	19.69
San Lorenzo (hidrométrica)	México	Cuautitlán Izcalli	Río Cuautitlán	Río Cuautitlán	Lótico	Arroyo	-99.20	19.71
Ee. P. Gpe. Aguas abajo de la cortina	México	Cuautitlán Izcalli	Río Cuautitlán	Río Chiquito	Lótico (Estudio Especial)	Río	-99.25	19.64
Kilómetro 27 + 500	México	Tecámac	Ciudad de México	Gran Canal	Lótico	Canal	-99.05	19.64
Entrada al Lago de Texcoco	México	Nezahualcóyotl	Ciudad de México	Río Churubusco	Lótico (Humedal)	Río	-99.05	19.44
Río Buenaventura	Ciudad de México	Xochimilco	Xochimilco	Río San Buenaventura	Lótico (Humedal)	Río	-99.11	19.29
Cuarto Dinamo	Ciudad de México	Álvaro Obregón	Ciudad de México	Río Magdalena	Lótico	Arroyo	-99.29	19.27
A.A. Presa Madín	México	Atizapán de Zaragoza	Ciudad de México	Río Tlanepantla	Lótico	Arroyo	-99.26	19.53
Puente de Vigas	México	Tlalnepantla de Baz	Ciudad de México	Río de Los Remedios	Lótico	Canal	-99.21	19.51

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El oxígeno disuelto es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. Su presencia es necesaria para la existencia de la vida acuática y la calidad estética de los ríos y lagos, mientras que su ausencia crea condiciones sépticas y de mal sabor y olor propios de la putrefacción que afectan los ecosistemas e impiden el uso de los recursos hídricos sin tratamiento previo. Las descargas de materia orgánica domésticas e industriales en los cuerpos de agua reducen, por la acción microbiana, la concentración del oxígeno disuelto. El indicador evalúa la proporción de los sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales que tienen baja calidad evaluada por medio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5).

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es un procedimiento que mide el oxígeno consumido por las bacterias debido a la descomposición de la materia orgánica. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg/l. El proceso de descomposición de materia orgánica depende de la temperatura, por lo que la prueba se realiza a 20°C con una duración de 5 días de manera estándar, denominándose DBO_5 .

Con carácter general, cuanta más contaminación, más concentración de DBO. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA DBO_5	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	DBO menor o igual a 3	Agua no contaminada.
Buena calidad	DBO mayor de 3 y menor o igual a 6	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.

Aceptable	DBO mayor de 6 y menor o igual a 30	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DBO mayor de 30 y menor o igual a 120	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DBO mayor de 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

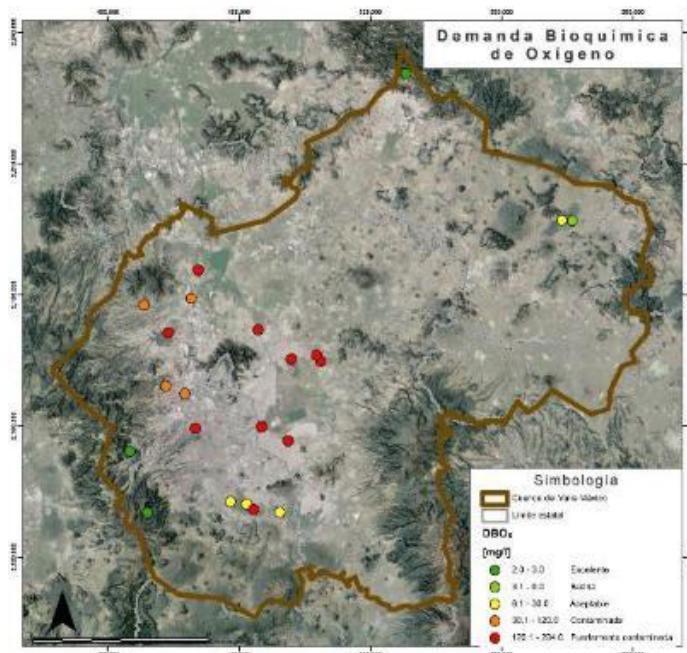


Figura 60. Demanda bioquímica de oxígeno (2021)

Demandada química de oxígeno (DQO)

La demandada química de oxígeno (DQO) se utiliza como indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO_2 y H_2O .

Con carácter general, Cuanto mayor es la concentración de DQO, más contaminada está el agua. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA DQO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	DQO menor o igual a 10	Agua no contaminada.
Buena calidad	DQO mayor de 10 y menor o igual a 20	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
Aceptable	DQO mayor de 20 y menor o igual a 40	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DQO mayor de 40 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DQO mayor de 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

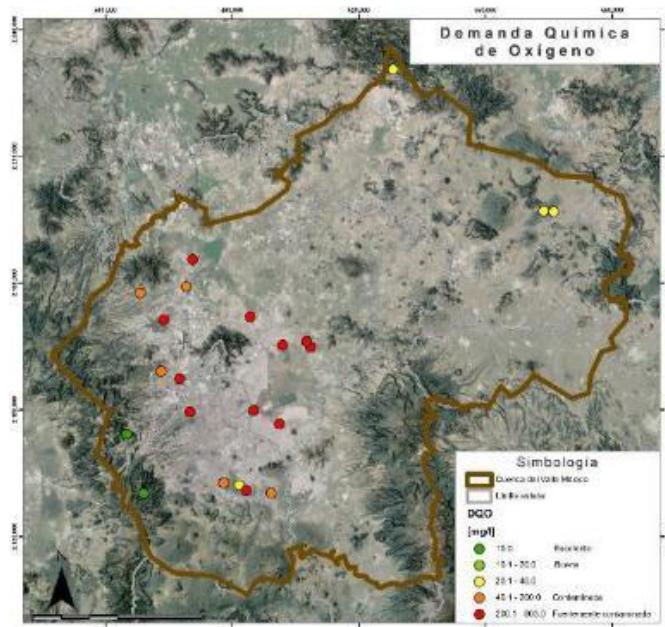


Figura 61. Demanda química de oxígeno (2021)

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los SST son una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido. En general, provienen de la disolución de minerales que forman los suelos y las rocas, pero en algunas zonas puede existir una carga de SST por infiltración de aguas residuales.

Con carácter general, Cuanto mayor es la concentración de SST, más contaminada está el agua. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA SST	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	SST menor o igual a 25	Clase de excepción, muy buena calidad.
Buena calidad	SST mayor de 25 y menor o igual a 75	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestringido.
Aceptable	SST mayor de 75 y menor o igual a 150	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.
Contaminada	SST mayor de 150 y menor o igual a 400	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.
Fuertemente contaminada	SST mayor de 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.

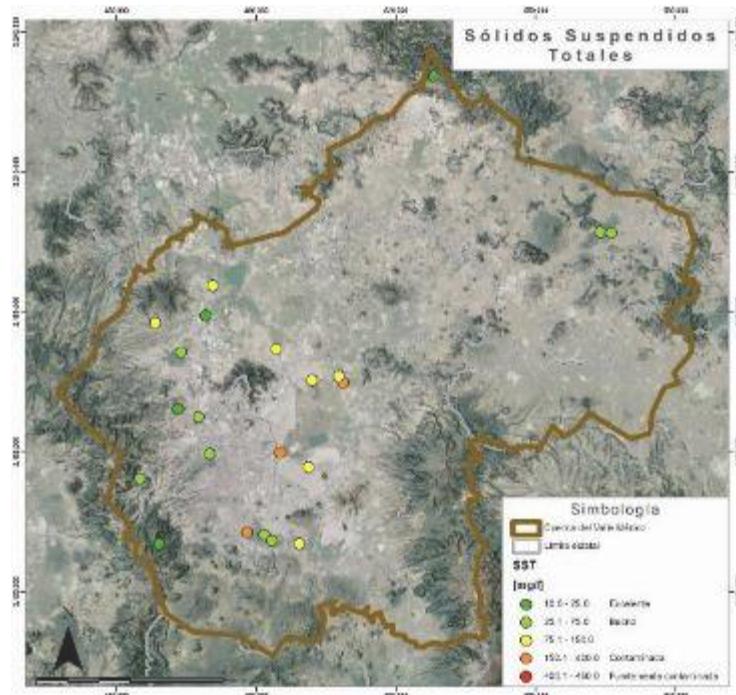


Figura 62. SST (2021)

Coliformes fecales

Los coliformes fecales son microorganismos que provienen principalmente de los tractos digestivos de animales de sangre caliente, por lo que su presencia está relacionada con descargas muy recientes de aguas residuales no tratadas, de tipo doméstico y pecuario (Shekwolo y Brisbe, 1999; CNA 2001b). Las bacterias coliformes fecales no suelen causar enfermedades, sin embargo, se emplean como indicador de la calidad del agua porque su presencia se relaciona con la de varios patógenos, más difíciles de detectar, como son *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*, causantes de gastroenteritis, disentería, tifoidea y cólera, así como de virus, excretados por los portadores de la enfermedad (OMS, 1970; Shekwolo y Brisbe, 1999; CNA, 2001b; Myers, 2003)

Con carácter general, Cuanto mayor es la concentración de coliformes fecales, más contaminada está el agua. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA COLIFORMES FÉCALES	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	Menor o igual a 100	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	Mayor de 100 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
Aceptable	Mayor de 200 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	Mayor de 1000 y menor o igual a 10000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	Mayor de 10000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.

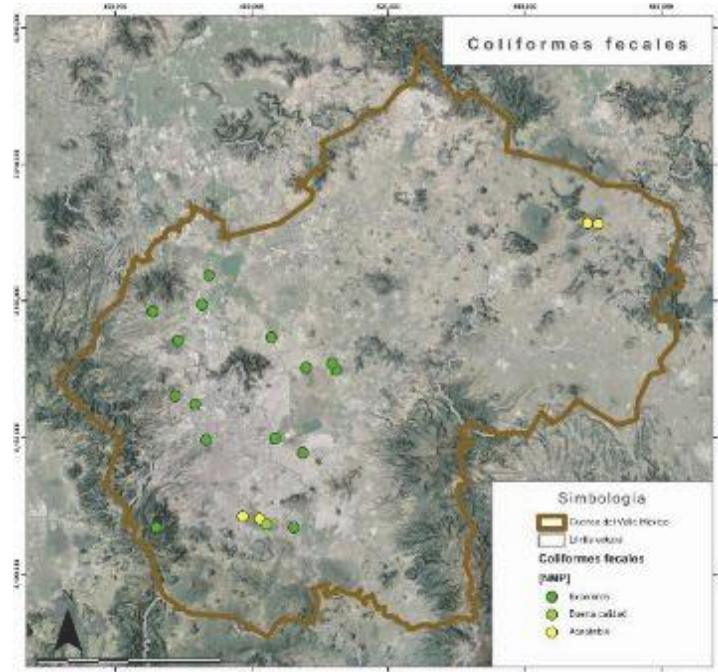


Figura 63. Coliformes fecales (2021)

6 SUMINISTRO DE AGUA

6.1 Suministro de Agua en la zona Metropolitana del Valle de México

El suministro de agua correspondiente a los años 2020, 2021, 2022 y 2023 para diferentes alcaldías de la Ciudad de México, se muestra en la siguiente figura. Destacando que Iztapalapa se le suministra la mayor cantidad de agua y Tláhuac, es la que recibe menor suministro de agua.

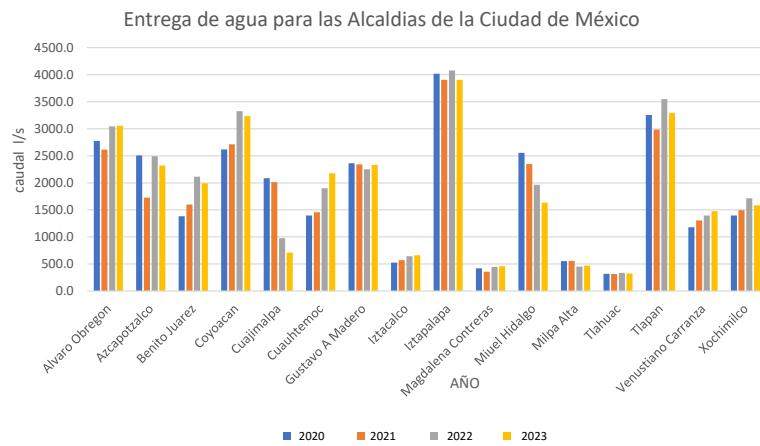


Figura 64. Entrega de agua por alcaldía para la Ciudad de México

Por otra parte, los suministros de agua acumulados para la Ciudad de México, desde el 2020 se indican en la siguiente figura, en la cual se observa que el año de 2022, se le aporto a la Ciudad de México la mayor cantidad de agua, la cual corresponde a 30684.3 l/s.

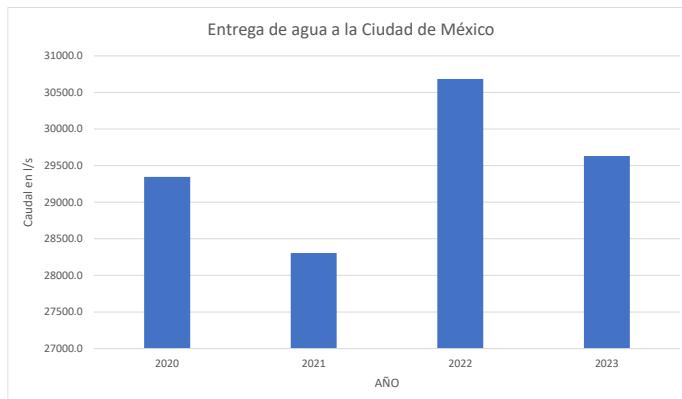


Figura 65. Aportación de agua acumulada por año para la Ciudad de México

En lo que respecta al estado de México, las cantidades de agua por municipio de interés son las siguientes: (véase la tabla en la siguiente página)

Municipio	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023
Acolman	409.3	406.9	402.3	402.8
Amecameca	134.5	138.5	132.8	110.0
Apaxco	0.0	0.0	0.0	0.0
Atenco	0.0	0.0	0.0	0.0
Atizapán de Zaragoza	1873.0	1783.4	1682.0	1599.6
Atlautla	103.7	102.6	99.9	88.2
Axapusco	133.2	132.4	123.7	132.3
Ayapango	47.2	40.9	35.5	30.3
Coacalco de Berriozábal	1060.1	1052.0	1042.4	1036.3
Cocotitlán	0.0	0.0	0.0	0.0
Coyotepec	132.1	134.4	135.5	139.0
Cuautitlán	1705.4	1715.5	1719.9	1693.1
Chalco	931.0	931.0	931.0	931.0
Chiáutla	0.0	0.0	0.0	0.0
Chicoloapan	586.0	586.0	586.0	586.0
Chiconcuac	0.0	0.0	0.0	0.0
Chimalhuacán	1009.8	1011.7	1011.2	1010.9
Ecatepec de Morelos	5013.0	4943.3	4699.5	4791.9
Ecatzingo	14.8	14.1	13.5	14.7
Huehuetoca	356.2	354.7	353.6	357.3
Huempoxtlá	70.5	78.5	76.0	77.3
Huixquilucan	810.9	834.5	784.4	856.7
Isidro Fabela	0.0	0.0	0.0	0.0
Ixtapaluca	1254.0	1235.5	1249.7	1241.6
Jaltenco	100.7	105.6	107.2	104.3
Jilotzingo	0.0	0.0	0.0	0.0
Juchitepec	42.5	42.4	42.0	41.8
Melchor Ocampo	0.0	0.0	0.0	0.0
Naucalpan de Juárez	2844.6	2965.3	2747.6	2939.6
Nezahualcóyotl	2513.0	2453.4	2732.2	2634.6
Nextlalpan	121.1	118.0	119.2	120.7
Nicolás Romero	715.9	700.4	661.2	664.4
Nopaltepec	0.0	0.0	0.0	0.0
Otumba	163.6	164.5	159.7	163.5
Ozumba	64.5	83.3	65.4	52.9
Papalotla	0.0	0.0	0.0	0.0
La Paz	712.9	712.8	698.7	704.3
San Martín de las Pirámides	0.0	0.0	0.0	0.0
Tecámac	2168.2	2186.3	2165.4	2176.4
Temamatla	32.0	32.2	32.1	32.1
Temascalapa	0.0	0.0	0.0	0.0
Tenango del Aire	49.7	52.7	44.2	46.5
Teoloyucan	275.3	280.9	267.2	275.7
Teotihuacán	0.0	0.0	0.0	0.0
Tepetlaoxtoc	0.0	0.0	0.0	0.0
Tepetlixpa	47.5	43.8	40.2	40.1
Tepotzotlán	193.3	189.6	187.1	191.0
Tequixquiac	60.2	61.4	65.6	61.9
Texcoco	0.0	0.0	0.0	0.0
Tezoyuca	0.0	0.0	0.0	0.0
Tlalmanalco	128.3	130.1	135.0	130.4
Tlalnepantla de Baz	2096.5	2063.7	1958.7	1998.4
Tultepec	413.5	405.5	405.8	451.3
Tultitlán	1730.2	1701.5	1832.9	1644.5
Villa del Carbón	0.0	0.0	0.0	0.0
Zumpango	653.2	647.4	634.5	636.1
Cuautitlán Izcalli	606.0	619.1	617.9	639.0
Valle de Chalco Solidaridad	777.2	777.4	777.9	775.9
Tonanitla	41.8	36.8	37.8	35.9

Tabla 7.1 Entrega de agua (en l/s) a diversos municipios del Estado de México.

En cuanto a la aportación de agua, la cantidad acumulada se indica en la siguiente figura, observándose que en 2020 y 2021 se entregaba mayor cantidad de agua que en 2022 y 2023.

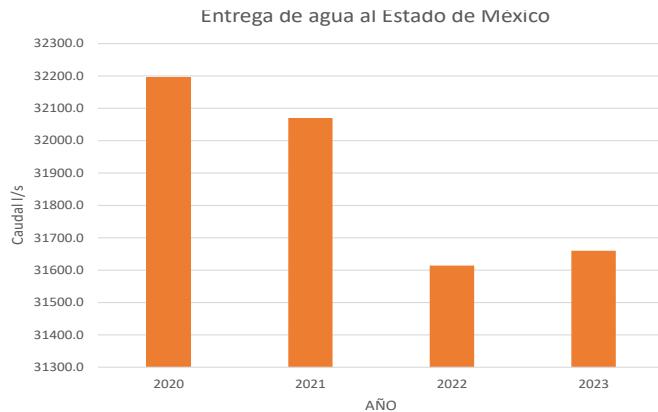


Figura 66. Aportación de agua acumulada por año para el Estado de México.

En lo que respecta al agua entregada tanto a la Ciudad de México como al Estado de México, se muestra en la siguiente figura las cantidades de ambas entidades por año, así como el acumulado para la ZMVM, que corresponde a la suma de ambas entidades.

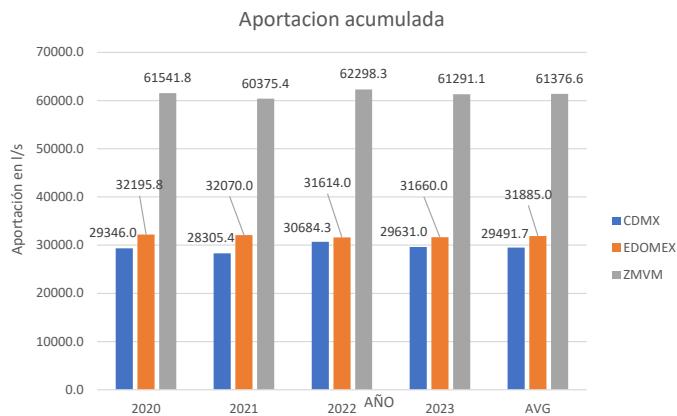


Figura 67. Aportación acumulada de agua ZMVM (suma CDMX y EDOMEX).

La distribución en cuanto a porcentajes del agua que se le ha entregado tanto a la Ciudad de México, como al Estado se Muestra en la siguiente figura. Destaca que la ciudad de México ha recibido entre el 47% y 49 % de agua del total entre ambas entidades.



Figura 68. Distribución de agua por entidad.

Pozos de abastecimiento de agua

En lo que respecta al estado de México y a la red de pozos que provén de agua al sistema mediante correspondiente, estos se indican en la tabla correspondiente.

En este sentido las zonas con mayor extracción de caudal corresponden a Cuautitlán, Chimalhuacán, Ecatepec de Morelos, Ixtapaluca, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, Tlalnepantla y Tultitlán, aportan caudales mayores a 1000 l/s.

Los caudales de producción totales por Alcaldía que proveen de agua al sistema que abastece a la Ciudad de México, los cuales se indican en la siguiente tabla. En este sentido las alcaldías que mayor extracción de agua realizan a los acuíferos mediante pozos son: a) Iztapalapa (con caudales de entre 3018 l/s y 3197.4 l/s), b) Gustavo A. Madero (con caudales de extracción de 2217.5 l/s a 2357.2 l/s) y c) Tlalpan (caudales de extracción entre 200.4.7 l/s y 2452.3 l/s). Los datos referidos corresponden de 2020 a la fecha.

Municipio	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023
Acolman	396.0	396.0	396.0	396.0
Amecameca	134.5	138.5	132.8	110.0
Apaxco	0.0	0.0	0.0	0.0
Atenco	0.0	0.0	0.0	0.0
Atizapán de Zaragoza	763.0	756.1	755.8	751.8
Atlautla	103.7	102.6	99.9	88.2
Axapusco	133.2	132.4	123.7	132.3
Ayapango	47.2	40.9	35.5	30.3
Coacalco de Berriozábal	946.0	946.0	946.0	946.0
Cocotitlán	0.0	0.0	0.0	0.0
Coyotepec	132.1	134.4	135.5	139.0
Cuautitlán	1244.7	1256.2	1240.6	1230.6
Chalco	931.0	931.0	931.0	931.0
Chiautla	0.0	0.0	0.0	0.0
Chicoloapan	586.0	586.0	586.0	586.0
Chiconcuac	0.0	0.0	0.0	0.0
Chimalhuacán	1009.8	1011.7	1011.2	1010.9
Ecatepec de Morelos	3737.6	3756.4	3694.1	3719.4
Ecatzingo	14.8	14.1	13.5	14.7
Huehuetoca	356.2	354.7	353.6	357.3
Hueypoxtla	70.5	78.5	76.0	77.3
Huixquilucan	223.0	228.9	238.0	265.4
Isidro Fabela	0.0	0.0	0.0	0.0
Ixtapaluca	1254.0	1235.5	1249.7	1241.6
Jaltenco	100.7	105.6	107.2	104.3
Jilotzingo	0.0	0.0	0.0	0.0
Juchitepec	42.5	42.4	42.0	41.8
Melchor Ocampo	0.0	0.0	0.0	0.0
Naucalpan de Juárez	1404.0	1404.0	1404.0	1404.0
Nezahualcóyotl	2275.0	2188.4	2530.1	2331.3
Nextlalpan	121.1	118.0	119.2	120.7
Nicolás Romero	563.5	565.3	561.8	561.8
Nopaltepec	0.0	0.0	0.0	0.0
Otumba	163.6	164.5	159.7	163.5
Ozumba	64.5	83.3	65.4	52.9
Papalotla	0.0	0.0	0.0	0.0
La Paz	712.9	712.8	698.7	704.3
San Martín de las Pirámides	0.0	0.0	0.0	0.0
Tecámac	2112.7	2111.5	2113.9	2113.8
Temamatla	32.0	32.2	32.1	32.1
Temascalapa	0.0	0.0	0.0	0.0
Tenango del Aire	49.7	52.7	44.2	46.5
Teoloyucan	275.3	280.9	267.2	275.7
Teotihuacán	0.0	0.0	0.0	0.0
Tepetlaoxtoc	0.0	0.0	0.0	0.0
Tepetlixpa	47.5	43.8	40.2	40.1
Tepotzotlán	193.3	189.6	187.1	191.0
Tequixquiac	60.2	61.4	65.6	61.9
Texcoco	0.0	0.0	0.0	0.0
Tezoyuca	0.0	0.0	0.0	0.0
Tlalmanalco	128.3	130.1	135.0	130.4
Tlalnepantla de Baz	1467.3	1406.2	1414.1	1447.5
Tultepec	413.5	405.5	405.8	451.3
Tultitlán	1526.0	1539.6	1615.4	1454.1
Villa del Carbón	0.0	0.0	0.0	0.0
Zumpango	653.2	647.4	634.5	636.1
Cuautitlán Izcalli	606.0	619.1	617.9	639.0
Valle de Chalco Solidaridad	777.2	777.4	777.9	775.9
Tonanitla	41.8	36.8	37.8	35.9

Tabla 7.2 Caudales de aportación (l/s) de los pozos de abastecimiento del estado de México.

Alcaldía	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023
Alvaro Obregon	362.5	403.2	541.3	561.0
Azcapotzalco	511.1	536.5	733.0	689.2
Benito Juarez	745.2	841.9	1206.0	1007.0
Coyoacan	1481.1	1606.6	2176.5	2356.1
Cuajimalpa	19.6	21.1	19.2	14.4
Cuauhtemoc	43.9	47.2	46.6	44.8
Gustavo A Madero	2357.2	2325.7	2217.5	2291.2
Iztacalco	214.8	236.7	275.6	328.4
Iztapalapa	3193.0	3162.0	3197.4	3018.0
Magdalena Contreras	88.8	91.8	87.6	86.6
Miguel Hidalgo	408.6	436.1	659.4	549.1
Milpa Alta	553.8	556.8	450.5	468.8
Tlahuac	268.3	271.7	284.9	272.0
Tlapan	2004.7	2127.2	2452.3	2204.3
Venustiano Carranza	628.1	651.7	605.7	614.4
Xochimilco	1317.4	1413.6	1626.6	1508.2

Tabla 7.3 Caudales de aportación (l/s) de los pozos de abastecimiento de la Ciudad de México.

Referente a los caudales de aportación acumulados por parte de la Ciudad de México y el Estado de México de 2020 a 2023 y considerando la suma de ambas entidades se muestra el caudal total anual, para la zona metropolitana del valle de México (ZMVM). Las máximas extracciones de agua corresponden hasta el momento al año 2022 con 42675.6 l/s de aportación.

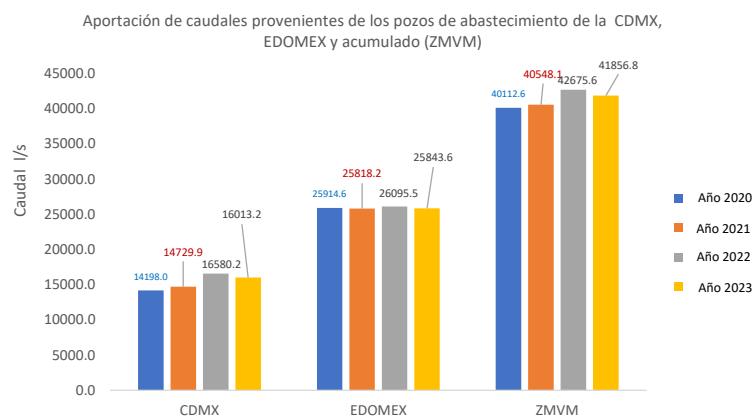


Figura 69. Aportación acumulada (CDMX+EDOMEX) mediante pozos para la ZMVM

Conclusiones y recomendaciones

- Cada vez sea necesario cuidar y optimizar el agua para la Zona Metropolitana del Valle de México, pues las fuentes de abastecimiento han reducido su capacidad de producción.

- Con base a los resultados es conveniente replantear y mejorar las políticas de operación del sistema integral, así como las políticas de administración y distribución de agua.

- Es conveniente instrumentar de manera gradual y de ser posible en su mayoría el sistema de abastecimiento, para poder medir en tiempo real las variables técnicas (caudal, presión, niveles, entre otros), que permitan conocer su comportamiento lo mejor posible, para poder realizar los ajustes y correcciones en su caso sean convenientes.
- Es necesaria la actualización de un censo de pozos de abastecimiento integral (CAEM, SACMEX, ODAPAS, CONAGUA, entre otros), para conocer el estatus que guarda dicha infraestructura y definir acciones para conservarla, adecuarla, reponer, rehabilitarla, entre otras, según sea el caso.
- Con base a un diagnóstico previo, establecer programas de rehabilitación de pozos, que sean factibles para recuperar caudales y/o conservar la infraestructura que corresponde, con las acciones que correspondan (mantenimientos preventivos, correctivos, monitoreos, entre otros).

6.2 Déficit en el abastecimiento

El déficit en el abastecimiento de agua trae consigo diversas acciones a saber: a) reducción en el suministro de agua potable, b) consumo moderado de agua por parte de la población, c) atención a reportes de fugas, d) reutilización del agua, e) captar aguade lluvia, entre otras. El déficit ha originado una reducción considerable en el suministro de agua dado que actualmente se recibe menos, por lo que se hace necesario replantear y mejorar los procesos para su control y entrega, así como las políticas de operación del sistema.

Derivado de lo anterior el déficit, puede generar un impacto importante para la población, ya que al haber una disminución en la disponibilidad de agua y/o falta de esta, puede provocar conflictos sociales, afectaciones a la agricultura, producción de alimentos y a diversos servicios. Por lo expuesto se hace necesario contar con fuentes de agua, sin embargo, estas se están acabando de manera gradual, por lo que se deben plantear nuevas fuentes y también racionar el agua que se tiene y desde el reúso de agua ya es necesario, para enfrentar y amortiguar en medida de lo posible los déficits.

El estudio “Perspectivas del agua en México: propuestas hacia la seguridad hídrica”, realizado por la UNAM y Agua Capital, señala que la sobreexplotación,

mala optimización en el sector agrícola y la pérdida de agua a través de fugas, a consecuencia de la falta de un proyecto continuo de mantenimiento a las redes de distribución y de protección de las fuentes de agua, son las principales causas para el desabasto de recursos hídricos en México.

Por otra parte, diversas autoridades del sector hídrico (CONAGUA), han manifestado la falta de lluvias, las cuales han provocado que el almacenamiento en las presas del Sistema Cutzamala sea menor y destacando que se han presentado sequías y un aumento de estas. Esta situación ha provocado que el caudal que se entrega a la Ciudad de México y al Estado de México, sea menor. Esta situación ha provocado que se tomen medidas preventivas y correctivas, para asegurar el abastecimiento a la población, que también provee o suministra de agua subterránea mediante pozos y el sistema Lerma.

Cabe mencionar que las sequías son fenómenos recurrentes, durante los últimos años estás han sido más frecuentes, intensas y han ido en aumento. Esto ha originado escasez de agua en embalses, ríos y arroyos.

Conclusiones y recomendaciones

- La situación relacionada con el déficit está originando replantear la forma y el modo, en cómo se están realizando los trabajos en el sector hidráulico. Entre estas acciones está el ajuste del caudal, rescate de pozos, replantear y mejorar las políticas de operación del sistema integral, así como las políticas de administración y distribución de agua (por ejemplo: se establecen horarios para tandeo de agua mediante pipas).
- Es necesaria la participación conjunta de todas las autoridades (CAEM, SACMEX, ODAPAS, CONAGUA, SAPASE, SAPASAC, entre otros), para lograr acuerdos y mejoras en el sistema, planteamiento de metas y definición de acciones.
- Es conveniente instrumentar de manera gradual y de ser posible en su mayoría el sistema de abastecimiento, para poder medir en tiempo real las variables técnicas (caudal, presión, niveles, entre otros), que permitan conocer su comportamiento lo mejor posible, para poder realizar los ajustes y correcciones en su caso sean convenientes.

- Con base a un diagnóstico previo, establecer programas de rehabilitación de pozos, que sean factibles para recuperar caudales y/o conservar la infraestructura, con las acciones que correspondan (mantenimientos preventivos, correctivos, monitoreos, entre otros).
- Fomentar la cultura del agua a todos los niveles de la población, para crear conciencia y cuidar el vital líquido. Impulsar con mayor difusión.

7 SISTEMA DE DRENAJE

7.1 SISTEMA DE DRENAJE DE LA CUENCA DE MÉXICO

La Cuenca de México se localiza en la parte central de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico y está rodeada por sierras, montañas y elevados volcanes, lo cual le da una condición de cuenca endorreica, es decir, es una cuenca de drenaje cerrada que retiene el agua y no permite la salida a otros cuerpos externos de agua. Debido a la naturaleza de la cuenca, desde 1607, se han construido salidas artificiales para el desalojo de las aguas hacia el norte de la Cuenca.

El conjunto de obras tiene como funciones principales:

- La captación de agua de lluvia y residual
- El manejo y desalojo con orden y equilibrio, para disminuir riesgos de inundaciones y daños a la infraestructura
- Operación y mantenimiento de los sistemas de bombeo, para protección a los centros de población asentada en la región de la Cuenca de México.

7.2 Gran Canal de Desagüe

Esta obra de desagüe se inauguró en 1900 y tuvo como propósito principal reducir el agua que se vertía al lago de Texcoco, proveniente de los lagos de San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango, receptores del río Cuautitlán. La obra desembocaría al río Tula y sus afluentes, el Moctezuma y el Pánuco, conduciendo el agua a lo largo de

300 kilómetros, desde la cuenca hasta el Golfo de México (CONAGUA, 2018b). Constituye el elemento clave para el drenaje de la zona oriente del Valle de México, que recibe al río de La Compañía y más adelante recibe a los ríos Churubusco y de los Remedios, para posteriormente conducir sus aguas hasta los túneles de Tequixquiac (CONAGUA, 2018a).

La infraestructura del Gran Canal de Desagüe se conforma por:

- La construcción de un canal de 47.5 kilómetros de largo que iniciaba al oriente de la ciudad, en la Garita de San Lázaro, para atravesar el lago de Texcoco y pasar por los lagos San Cristóbal y Xaltocan, hasta concluir cerca del pueblo de Zumpango.
- La construcción del primer Túnel de Tequixquiac que iniciaba en este último punto y culminaba en Tequixquiac, con una longitud de 10.10 kilómetros cuya sección transversal era de forma oval, contando a lo largo de su trayecto con 24 lumbreras que fungían como respiraderos.
- El desarrollo de un tajo de salida de 2.5 kilómetros ubicado al final del túnel cuya extensión era de 2.5 kilómetros y que se unía al final de su trayecto con el río Tequixquiac (también llamado río Salado).

En su inicio, la obra conducía el caudal por gravedad; posteriormente, como consecuencia de la subsidencia en la Ciudad de México, el Gran Canal de Desagüe drena la parte baja de la ciudad con el apoyo de 12 plantas de bombeo.

A lo largo de su trazo, el Gran Canal del Desagüe recibe las aportaciones del Canal General, río de la Compañía (también llamado Dren General del Valle), río Churubusco, río de La Piedad, río Consulado y río de Los Remedios. El bombeo se realiza hacia los Túneles de Tequixquiac para seguir su curso en sentido norte hasta la cuenca del río Tula y abastecer los canales de riego agrícola (CONAGUA, 2018b).



Figura 70 Gran Canal de Desagüe

7.3 Subsistema Poniente

Para hacer frente a la problemática de las inundaciones en la Ciudad de México originadas por los escurrimientos de los ríos al poniente de la Cuenca de México se construyó el Subsistema Poniente, compuesto por una serie de obras que incluyen el entubamiento de ciertas corrientes y presas interconectadas por medio de túneles para controlar los picos de las avenidas de todos los ríos del poniente; la infraestructura comienza con la construcción de la presa Tecamachalco, seguida de las presas: San Joaquín, la derivadora del Tornillo, que desviaba las aguas del arroyo del Tornillo hacia el río Hondo, Becerra, Tacubaya, Mixcoac, el Capulín y se entubó el río Consulado y el río La Piedad (CONAGUA, 2018b).

Actualmente, el subsistema Poniente está integrado por los siguientes componentes:

PRESAS PARA CONTROL DE AVENIDAS	TÚNELES DE INTERCONEXIÓN	INTERCEPTOR DEL PONIENTE
<ul style="list-style-type: none"> • Anzaldo • Texcalatlaco • Tequillasco • La Mina • Las Flores • Pilares • Tarango • Mixcoac • A de Becerra • B de Becerra • C de Becerra • Tacubaya • Ruiz Cortines • Dolores • Barrilaco • Tecamachalco • San Joaquín 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzaldo-Texcalatlaco • Tequillasco-Tarango • Mixcoac-C de Becerra • C de Becerra-Tacubaya • Tacubaya-Tecamachalco • Tecamachalco-San Joaquín 	<ul style="list-style-type: none"> • Construido como obra de auxilio al Gran Canal del Desagüe y a la red de colectores. Esta obra intercepta las descargas de las presas del poniente y consta de un túnel y un canal revestido que sigue el cauce del río Hondo en sentido norte hasta el Vaso de Cristo, donde desemboca

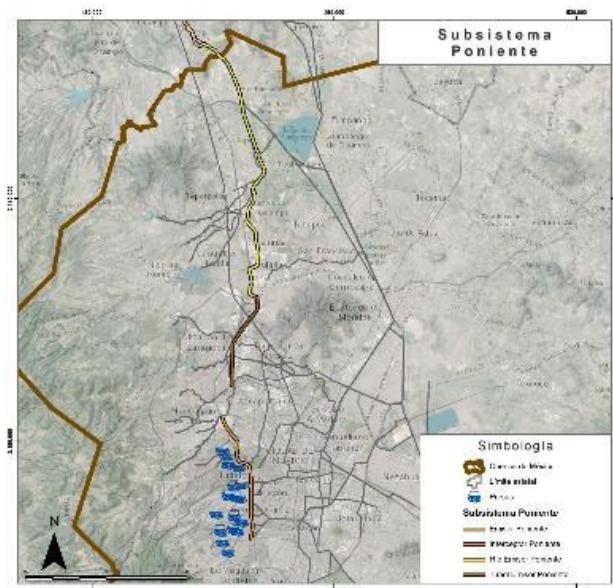


Figura 71 Subsistema Poniente

7.4 Sistema Drenaje profundo

El Sistema de Drenaje profundo surge por la necesidad de contar con una infraestructura cuyas características de construcción no fueran afectadas por los hundimientos del terreno ni demandara el uso de bombeo al operar por gravedad. Además, el sistema debía expulsar las aguas por una nueva salida artificial, dando origen a lo que hoy se conoce como el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México (CONAGUA, 2018b).

En la actualidad, el drenaje profundo está integrado por las estructuras que a continuación se describen:

- Emisor Central: esta estructura se construyó entre los años 1967 y 1975. Actualmente tiene una longitud de operación de 50 kilómetros a una profundidad que va desde los 40 a los 220 metros; tiene un diámetro de 6.5 metros y una capacidad de conducción de 220 m³/s. El Emisor Central recibe los caudales de los siguientes interceptores: Interceptor Central, Interceptor Oriente, Interceptor Oriente-Sur, Interceptor Centro-Poniente, Interceptor Centro-Centro, Interceptor Oriente-Oriente e Interceptor Obrero Mundial.

Tabla 11 Características de los componentes del Emisor Central

NOMBRE DEL TÚNEL	DIÁMETRO (M)	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (M ³ /S)	PROFUNDIDAD (M)	LONGITUD PROYECTO (KM)	LONGITUD OPERACIÓN (KM)	PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN	NO. DE LUMBRERAS
EMISOR CENTRAL	6.5	220	40-220	50	50	1967-1975	23
INTERCEPTORES							
CENTRAL	5	90	22-41	22.28	16.1	1967-1975	15
ORIENTE	5	85	20-50	28	28	1967-1975	22
ORIENTE-SUR	5	40	20-25	13.8	13.8	1990-1997	9
CENTRO-PONIENTE	4	40	20-51	16	16	1975-1982	9
CENTRO-CENTRO	5	90	25-26	3.7	3.7	1986-1988	4
ORIENTE-ORIENTE	5	40	20	7.3	3.4	1997	6
OBRERO MUNDIAL	3.2	20	16	0.8	0.8	1987	3

- Túnel Emisor Poniente: esta estructura tiene una longitud de 32.3 km de longitud y capacidad de conducción de 80 m³/s. El Túnel recibe el influente de los siguientes interceptores: Interceptor Poniente, Interceptor Iztapalapa, Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco e Interceptor Gran Canal.

Tabla 12 Características de los componentes del Túnel Emisor Poniente

NOMBRE DEL TÚNEL	DIÁMETRO (M)	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (M ³ /S)	PROFUNDIDAD (M)	LONGITUD PROYECTO (KM)	LONGITUD OPERACIÓN (KM)	PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN	NO. DE LUMBRERAS
------------------	--------------	---	-----------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------

TÚNEL							
EMISOR	80	-	32.3	32.3	-	-	
PONIENTE							
INTERCEPTORES							
PONIENTE	4	25	12-35	16.2	16.2	1960	27
IZTAPALAPA	3.1	20	10-16	5.5	5.5	1994	6
CANAL							
NACIONAL-CANAL DE CHALCO	3.1	20	10-18	16.3	11.6	1987	10
GRAN CANAL	3.1	90	-	1	1	-	-

- Túnel Emisor de Oriente (TEO): esta estructura tiene una longitud de operación de 62 kilómetros con un diámetro de 7 metros y una capacidad de conducción de 150 m³/s.
- Planta de bombeo El Caracol. Cuenta con una capacidad de 40 metros cúbicos por segundo. Recibe el agua del primer tramo del TEO y lo bombea al Gran Canal de Desagüe, en donde la pendiente de este no se encuentra afectada por los hundimientos del suelo y el agua fluye por gravedad hacia Hidalgo.
- Sistema Oriente-Sur. El sistema está integrado por las siguientes estructuras:
 - Túnel Río de la Compañía
 - Colector Sanitario Ducto de Estiaje
 - Planta de bombeo la Caldera

Tabla 13 Características de los componentes del Sistema Oriente-Sur

NOMBRE	CAPACIDAD		
	DIÁMETRO (M)	DE CONDUCCIÓN	LONGITUD (M ³ /S)
TÚNEL RÍO DE LA COMPAÑÍA	5	40	7
COLECTOR SANITARIO DUCTO DE ESTIAJE	3.5 X 3	16	6

PLANTA DE BOMBEO LA CALDERA	-	40	-
--	---	----	---

- Sistema Oriente-Centro. El sistema está integrado por las siguientes estructuras:
 1. Túnel Interceptor Río de los Remedios (TIRR). Tiene 10 kilómetros de longitud y cinco metros de diámetro, con $80 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad. Inicia en la delegación Gustavo A. Madero de la Ciudad de México y termina en el municipio de San Salvador Atenco, Estado de México.
 2. Planta de bombeo Casa Colorada Profunda. Tiene capacidad para bombear hasta $40 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales y de lluvias. Operaba únicamente cuando se requiere enviar los excedentes de lluvia a la laguna de regulación Casa Colorada. La laguna de Regulación Casa Colorada, que anteriormente permitía regular gastos pico durante inundaciones.
- Túnel Emisor Poniente II. Tiene como finalidad, la captación de los escurrimientos de los ríos San Javier y Xochimanga, para disminuir la cantidad de agua que llega al Túnel Emisor Poniente (TEP). Sus dos etapas suman un total de 9.8 kilómetros.
- Túnel Canal General. Cuenta con ocho kilómetros de longitud y cinco metros de diámetro.
- Túneles Churubusco – Xochiaca, Chimalhuacán II Dren General del Valle y Emisor Oriente. Longitud conjunta de 78 kilómetros.

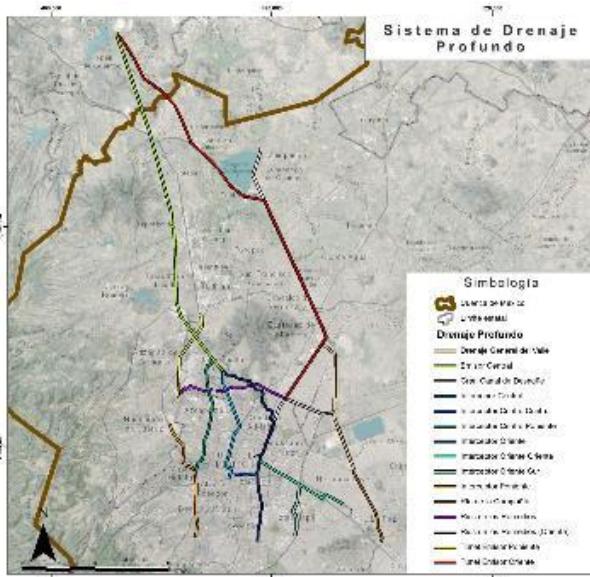


Figura 72 Principales estructuras del Sistema de Drenaje Profundo

7.5 Cuerpos de regulación

Los cuerpos de regulación que forman parte del Sistema de Drenaje de la Cuenca de México tienen el propósito de disminuir los caudales que ingresan al sistema y evitar la saturación de las conducciones durante los eventos de lluvia. Su función es almacenar y regular los picos de las avenidas para posteriormente descargar de forma paulatina al sistema de drenaje. A continuación, se presentan los cuerpos de regulación que integran el sistema de drenaje:

7.6 Plantas de tratamiento

Para el tratamiento de aguas residuales municipales en la Cuenca de México, se tienen 107 plantas construidas que en conjunto tienen una capacidad instalada de 11,031.9 litros por segundo, las cuales, en el año 2021, trajeron aproximadamente un caudal de 5,467.23 litros por segundo. Del total de plantas de tratamiento 30 están en servicio en Ciudad de México, 58 plantas en el Estado de México, 11 plantas en Tlaxcala y las restantes 8 plantas en Tlaxcala, con la finalidad de tratar los afluentes residuales para su reuso.

Tabla 14 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en la Cuenca de México

ESTADO	NO. DE	CAPACIDAD	CAUDAL TRATADO
	PLANTAS	INSTALADA (L/S)	(L/S)
CIUDAD DE MÉXICO	30	5583.4	2483.3
HIDALGO	11	378.86	191.2
ESTADO DE MÉXICO	58	4995.5	2742.33
TLAXCALA	8	74.13	50.4
TOTAL	107	11031.89	5467.23

Las plantas de tratamiento de aguas residuales incluyen tratamientos secundarios (lodos activados), desinfección y en algunos casos, procesos de tipo terciario. Las aguas residuales generadas en la ZMVM presentan problemas operativos durante su tratamiento, vinculados con altos contenidos de sólidos totales y disueltos, grasas y aceites, fósforo, nitratos, nitritos y valores de conductividad eléctrica aunados a bajas remociones de alcalinidad y dureza (CONAGUA, 2018b).

De las plantas de tratamiento en operación en la Cuenca, destacan 23 por tener una capacidad instalada igual o mayor a 100 litros por segundo; en el año 2021, con una capacidad instalada total de 9,400 litros por segundo, trajeron un caudal total de 4,533.5 litros por segundo, el cual equivale al 83 % del total tratado en la región ese año.

Destacan las plantas siguientes con capacidad instalada de 500 litros por segundo o mayor:

En la Ciudad de México:

- Cerro de la Estrella (3,000 l/s)
- San Juan de Aragón (500 l/s)

En el estado de Hidalgo:

- Atotonilco de Tula (23 000 l/s)

En el Estado de México:

- Lago de Texcoco I (1 000 l/s)
- Termoeléctrica Valle de México (750 l/s)
- Lago de Texcoco II “Ing. Ramón Grijalva Ruiz” (500 l/s)
- Presa Lago de Guadalupe (500 l/s).

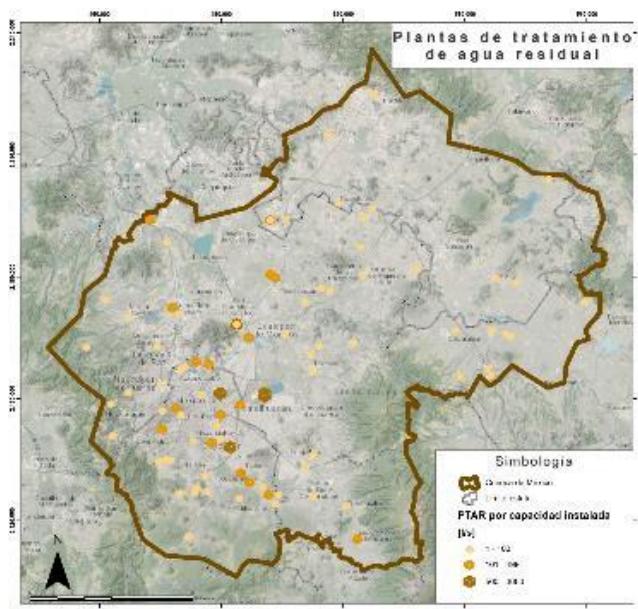


Figura 73 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales según capacidad instalada (l/s)

7.7 Salidas artificiales

Actualmente, el sistema de drenaje de la Cuenca de México está constituido por las siguientes salidas artificiales: Tajo de Nochistongo, Túnel Viejo de Tequixquiac, Túnel Nuevo de Tequixquiac, Túnel Emisor Central y el Túnel Emisor Oriente.

1.1. Tajo de Nochistongo

La construcción del Tajo de Nochistongo inició en 1607 y concluido el 8 de junio de 1789; siendo la primera salida artificial de la Cuenca de México. Se ubica al noroeste de la cuenca, tiene una longitud de 13 km y una capacidad para conducir un caudal de hasta 40 m³/s. Actualmente, desaloja las aguas pluviales y residuales colectadas por el Túnel Emisor del Poniente y descarga en el río El Salto en la frontera entre los estados de México e Hidalgo (CONAGUA, 2018b).

1.2. Túnel Viejo de Tequixquiac

El túnel es conocido como “Primer Túnel de Tequixquiac”, fue inaugurado en 1900 para el desalojo de las aguas del Gran Canal de Desagüe en el río Tequixquiac, Estado de México. Se localiza al noreste de la cuenca y fue diseñado para conducir un caudal de 16 m³/s. Su trazo es recto, cuenta con 10.10 km de longitud y 24 lumbreras.

1.3. Túnel Nuevo de Tequixquiac

El túnel es conocido como “Segundo Túnel de Tequixquiac”, inició su operación en 1946 y fue diseñado, al igual que el primer túnel, con el objetivo de aumentar la capacidad de desalojo de las aguas residuales y pluviales del Gran Canal de Desagüe para descargar en el río Tequixquiac en el Estado de México. Fue diseñado para conducir un caudal de 60 m³/s, tiene una longitud de 11.30 km y cuenta con 10 lumbreras a lo largo de su trazo (CONAGUA, 2018b).

1.4. Túnel Emisor Central

El túnel inició operaciones en 1975 como parte de las obras del Drenaje Profundo. La infraestructura tiene una longitud de 50 km y un gasto de diseño de 220 m³/s. El túnel es receptor de las aguas de 9 interceptores y descarga en el río El Salto en el Estado de Hidalgo (CONAGUA, 2018b).

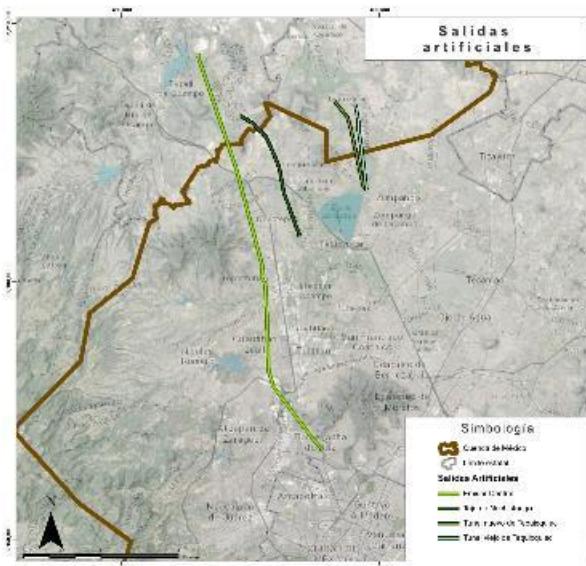


Figura 74 Salidas artificiales del Sistema de Drenaje de la Cuenca de México

8 VULNERABILIDAD EN ABASTECIMIENTO

8.1 Calidad del agua superficial

Con el fin de determinar el esquema de distribución de la calidad del agua superficial, se recopiló información de la base de datos de CONAGUA, a través del portal de la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA).

La base de datos corresponde al año 2021, en ella se agrupa información de la concentración de algunos parámetros biológicos (coliformes fecales) y parámetros químicos (demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales).

Tabla 15 Sitios de medición, RENAMECA (CONAGUA)

SITIO	ESTADO	MUNICIPIO	CUENCA	CUERPO AGUA	DE	TIPO	SUBTIPO	LONG	LAT
-------	--------	-----------	--------	-------------	----	------	---------	------	-----

La Isleta Laguna De Tecocomulco	Hidalgo	Cuautepetec de Hinojosa	Tochac-Tecocomulco	Lago de Tecocomulco	Léntico (Humedal)	Lago	-98.37	19.87
Thalimedes Laguna Tecocomulco	Hidalgo	Tepeapulco	Tochac-Tecocomulco	Lago de Tecocomulco	Léntico (Humedal)	Lago	-98.39	19.87
Jaramillo 1	Hidalgo	Pachuca De Soto	Río de Las Avenidas de Pachuca	Presa Jaramillo	Léntico	Presa	-98.73	20.17
Toma Cero La Mina	México	Huixquilucan	Ciudad de México	Toma Cero La Mina	Lótico	Río	-99.33	19.39
Emisor Del Poniente portal de salida	Distrito Federal	Miguel Hidalgo	Ciudad de México	Emisor Poniente	Lótico	Emisor	-99.19	19.44
Canal Sto. Tomás	México	Teoloyucan	Río Cuautitlán	Canal Santo Tomás	Lótico	Canal	-99.18	19.77
Laguna de Texcoco	México	Ecatepec	Texcoco	Laguna de Texcoco	Léntico	Laguna	-98.98	19.58
Entrada Río San Juan Teotihuacan	México	Atenco	Texcoco	Río San Juan Teotihuacan	Lótico	Río	-98.92	19.58
Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco Y San Gregorio Atlapulco 2	Ciudad de México	Xochimilco	Xochimilco	Cuerpo de agua del humedal	Léntico (Humedal)	Lago	-99.08	19.28
Sistema Lacustre Ejidos De Xochimilco Y San Gregorio Atlapulco 1	Ciudad de México	Xochimilco	Xochimilco	Cuerpo de agua del humedal	Léntico (Humedal)	Lago	-99.06	19.27
Lago Los Reyes	Ciudad de México	Tláhuac	Río La Compañía	Laguna Tláhuac	Léntico	Lago	-99.01	19.27
Puente Xochiaca	México	Nezahualcóyotl	Texcoco	Río de la Compañía	Lótico (Humedal)	Río	-98.99	19.41
Puente Carr. Los Reyes - Lechería	México	Tezoyuca	Texcoco	Río San Juan Teotihuacan	Lótico	Río	-98.93	19.59
Presa de la Concepción aguas abajo	México	Tepotzotlán	Río Cuautitlán	Río Tepotzotlán	Lótico	Arroyo	-99.30	19.69
San Lorenzo (hidrométrica)	México	Cuautitlán Izcalli	Río Cuautitlán	Río Cuautitlán	Lótico	Arroyo	-99.20	19.71
Ee. P. Gpe. Aguas abajo de la cortina	México	Cuautitlán Izcalli	Río Cuautitlán	Río Chiquito	Lótico (Estudio Especial)	Río	-99.25	19.64
Kilómetro 27 + 500	México	Tecámac	Ciudad de México	Gran Canal	Lótico	Canal	-99.05	19.64
Entrada al Lago de Texcoco	México	Nezahualcóyotl	Ciudad de México	Río Churubusco	Lótico (Humedal)	Río	-99.05	19.44
Río Buenaventura	Ciudad de México	Xochimilco	Xochimilco	Río San Buenaventura	Lótico (Humedal)	Río	-99.11	19.29

Cuarto Dinamo	Ciudad de México	Álvaro Obregón	Ciudad México	Río Magdalena	Lótico	Arroyo	-99.29	19.27
A.A. Presa Madín	México	Atizapán de Zaragoza	Ciudad México	Río Tlanepantla	Lótico	Arroyo	-99.26	19.53
Puente de Vigas	México	Tlalnepantla de Baz	Ciudad México	Río de Los Remedios	Lótico	Canal	-99.21	19.51

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El oxígeno disuelto es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. Su presencia es necesaria para la existencia de la vida acuática y la calidad estética de los ríos y lagos, mientras que su ausencia crea condiciones sépticas y de mal sabor y olor propios de la putrefacción que afectan los ecosistemas e impiden el uso de los recursos hídricos sin tratamiento previo. Las descargas de materia orgánica domésticas e industriales en los cuerpos de agua reducen, por la acción microbiana, la concentración del oxígeno disuelto. El indicador evalúa la proporción de los sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales que tienen baja calidad evaluada por medio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5).

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es un procedimiento que mide el oxígeno consumido por las bacterias debido a la descomposición de la materia orgánica. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg/l. El proceso de descomposición de materia orgánica depende de la temperatura, por lo que la prueba se realiza a 20°C con una duración de 5 días de manera estándar, denominándose DBO_5 .

Con carácter general, cuanta más contaminación, más concentración de DBO. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA DBO5	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	DBO menor o igual a 3	Agua no contaminada.
Buena calidad	DBO mayor de 3 y menor o igual a 6	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Aceptable	DBO mayor de 6 y menor o igual a 30	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DBO mayor de 30 y menor o igual a 120	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DBO mayor de 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

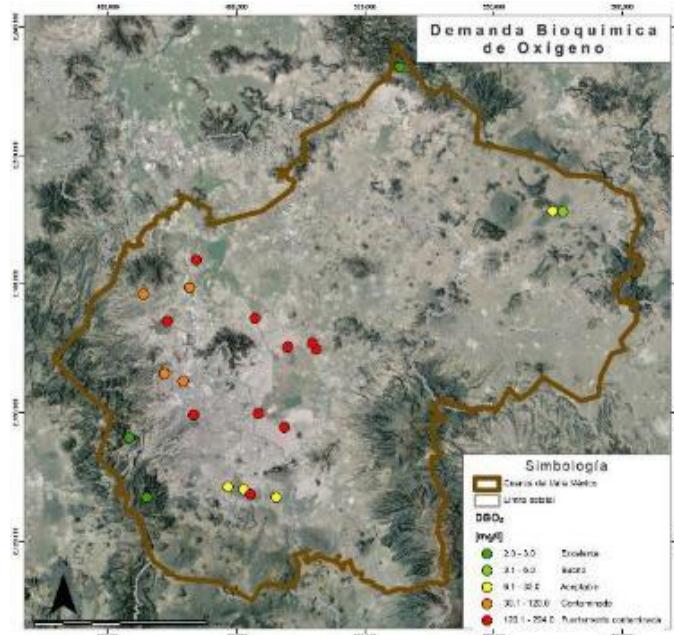


Figura 75. Demanda bioquímica de oxígeno (2021)

Demand química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza como indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Es la cantidad de

oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O.

Con carácter general, Cuanto mayor es la concentración de DQO, más contaminada está el agua. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA DQO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	DQO menor o igual a 10	Agua no contaminada.
Buena calidad	DQO mayor de 10 y menor o igual a 20	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
Aceptable	DQO mayor de 20 y menor o igual a 40	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DQO mayor de 40 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DQO mayor de 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

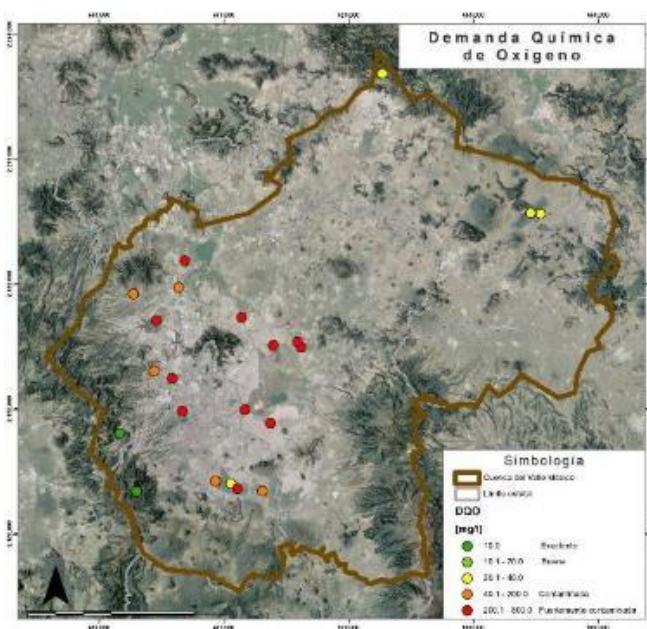


Figura 76. Demanda química de oxígeno (2021)

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los SST son una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido. En general, provienen de la disolución de minerales que forman los suelos y las rocas, pero en algunas zonas puede existir una carga de SST por infiltración de aguas residuales.

Con carácter general, Cuanto mayor es la concentración de SST, más contaminada está el agua. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA SST	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	SST menor o igual a 25	Clase de excepción, muy buena calidad.
Buena calidad	SST mayor de 25 y menor o igual a 75	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.

Aceptable	SST mayor de 75 y menor o igual a 150	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.
Contaminada	SST mayor de 150 y menor o igual a 400	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.
Fuertemente contaminada	SST mayor de 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.

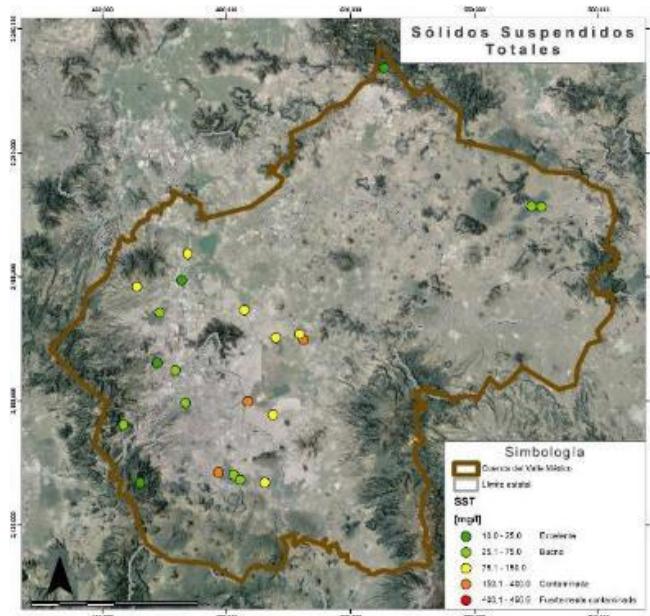


Figura 77. SST (2021)

Coliformes fecales

Los coliformes fecales son microorganismos que provienen principalmente de los tractos digestivos de animales de sangre caliente, por lo que su presencia está relacionada con descargas muy recientes de aguas residuales no tratadas, de tipo doméstico y pecuario (Shekwolo y Brisbe, 1999; CNA 2001b). Las bacterias coliformes fecales no suelen causar enfermedades, sin embargo, se emplean como indicador de la calidad del agua porque su presencia se relaciona con la de varios patógenos, más difíciles de detectar, como son *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*, causantes de gastroenteritis, disentería, tifoidea y cólera, así como de virus, excretados por los portadores de la enfermedad (OMS, 1970; Shekwolo y Brisbe, 1999; CNA, 2001b; Myers, 2003)

Con carácter general, Cuanto mayor es la concentración de coliformes fecales, más contaminada está el agua. Los valores de referencia en función del tipo del agua de acuerdo con la clasificación de CONAGUA son:

CALIDAD DEL AGUA PARA COLIFORMES FEALES	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	Menor o igual a 100	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	Mayor de 100 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
Aceptable	Mayor de 200 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	Mayor de 1000 y menor o igual a 10000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	Mayor de 10000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.

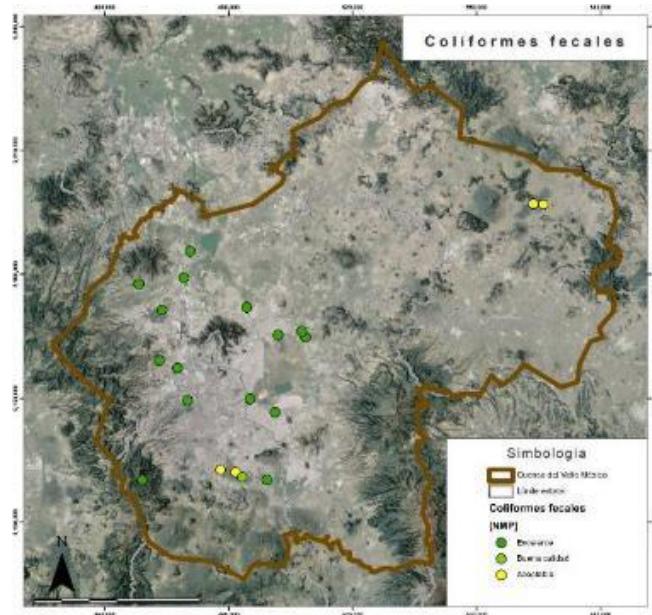


Figura 78. Coliformes fecales (2021)

8.2 Calidad del agua subterránea

Con el fin de determinar el esquema de distribución de la calidad del agua subterránea, se recopiló información de la base de datos de CONAGUA, a través del portal de la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA).

La base de datos corresponde al año 2021, en ella se agrupa información de la concentración de algunos parámetros biológicos (coliformes fecales), parámetros físicos (conductividad eléctrica), parámetros químicos (alcalinidad total, dureza total, sólidos disueltos totales), metales (arsénico total, cadmio total, cromo total, hierro total, mercurio total, manganeso total, plomo total) y parámetros inorgánicos (fluoruros, nitratos).

El criterio para la evaluación de la calidad del agua toma como referencia los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2017 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua".

Tabla 16 Sitios de medición, RENAMECA (CONAGUA)

SITIO	ESTAD O	MUNICIPI O	ACUÍFERO	LON G	LAT
Pozo Mina San Juan	Hidalgo	Pachuca de Soto	Cuautitlán-Pachuca	-98.73	20.14
Tanque DDF	México	Tlanelpantl a	Zona Metropolitana de la Cd de México	-99.18	19.58
Tanque DDF Doble	México	Tlanelpantl a	Zona Metropolitana de la Cd de México	-99.18	19.58
Tanque NZT	México	Naucalpan	Cuautitlán-Pachuca	-99.18	19.79
Pozo 4298 Benito Juárez	México	Sanctuari o de Lázaro Cárdenas	Soltepec	-98.43	19.59
Pozo 4 Cd. Sahagún	México	Tepeapulco	Apan	-98.58	19.77
Pozo 3 Cd. Sahagún	México	Tepeapulco	Apan	-98.58	19.77

Pozo 4200 Rancho San Mateo (San Martín De Las Pirámides)	México	San Martín de las Pirámides	Cuautitlán-Pachuca	- 98.82	19.6 6
Pozo 4198 Rancho Huixcoloco	México	San Martín de las Pirámides	Cuautitlán-Pachuca	- 98.82	19.6 7
Pozo CJ 70 Rancho San Isidro	México	Cuautitlán	Cuautitlán-Pachuca	-99.15	19.73
Pozo CK 13 Ex Hacienda San Mateo	México	Melchor Ocampo	Cuautitlán-Pachuca	-99.15	19.7 2
Pozo BS-1 Rancho El Rosario	México	Coacalco	Cuautitlán-Pachuca	-99.11	19.6 4
Pozo 1944 San Andrés Metla	México	Cocotitlán	Chalco-Amecameca	- 98.84	19.22
Pozo RFC-3 Camino OP Norte los Reyes-Ecatepec	México	Tultitlan	Cuautitlán-Pachuca	-99.16	19.6 3
Pozo San Mateo Tezoquiapa (Miraflores)	México	Chalco	Chalco-Amecameca	- 98.82	19.23
Pozo RN-5 Ramal Mixquic-Sta. Catarina	México	Valle de Chalco Solidaridad	Chalco-Amecameca	- 98.97	19.2 9
Pozo RM-13 Carretera Sta. Catarina-Tláhuac	México	Valle de Chalco Solidaridad	Chalco-Amecameca	- 98.97	19.2 6

Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica es la capacidad de un material para permitir el paso de la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. Es proporcional a la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT).

Este parámetro en las aguas subterráneas es altamente dependiente de su concentración de sales disueltas y otras especies químicas que se ionizan en la solución y se utiliza como un indicador de la salinidad de las aguas subterráneas,

así como del grado de pureza: cuanto más pura es el agua, menor será su conductividad eléctrica.

Con relación a este parámetro, se encontró que la concentración máxima reportada en el agua subterránea es de 2911 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que corresponde a la clasificación de concentración condicionada, en el Ramal Mixquic-Santa Catarina. Los demás puntos de medición se consideran con concentraciones aceptables.

Este parámetro no se encuentra sancionado por la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-2017.

La alcalinidad es la capacidad de una solución para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidroxilos presentes en solución y, en menor grado, por los boratos, fosfatos y silicatos que puedan estar presentes. En resumen, la alcalinidad es igual a la suma estequiométrica de las bases en solución. Esta alcalinidad se expresa en equivalentes de base por litro en su equivalente de carbonato cálcico. Debido a que la alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales está compuesta casi íntegramente de iones de bicarbonato y de carbonato, la suma de estos iones puede dar estimaciones muy exactas del valor de alcalinidad.

Siendo la alcalinidad la capacidad amortiguadora del agua o su resistencia al cambio de pH, es fundamental para el correcto metabolismo y mantenimiento de la mayoría de las formas de vida acuática. También sirve en la correcta interpretación de la naturaleza geoquímica de las aguas y en el diseño de sistemas de potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales.

La alcalinidad de las aguas subterráneas está directamente relacionada con las rocas y materiales que forman los acuíferos. En zonas donde existen rocas con alto contenido de calcio como la caliza, el agua tiende a ser más resistente a los cambios de pH, y zonas con granito o poco material calcáreo las aguas tienden a tener una menor resistencia a los cambios de pH.

En las muestras analizadas, se encontraron valores mínimos de 107.35 mg/l, máximos de 255.94 mg/l.

Este parámetro no se encuentra sancionado por la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-2017.

Dureza total.

La dureza total expresada como cantidad equivalente de carbonato de calcio, es comúnmente utilizada para determinar la calidad del agua, ya que altos valores de este parámetro provocan incrustaciones en las redes de distribución, así como en los mecanismos que llegan a tener contacto con el agua, principalmente calderas y otros dispositivos industriales.

La NOM-127-SSA1-2017 establece el límite máximo permisible para este parámetro en 500 mg/l, para el total de los registros se presenta un valor menor al establecido por la norma. De acuerdo con la clasificación estipulada por CONAGUA, los registros pertenecen a agua moderadamente suave (60-120 mg/l), a agua dura (120-500 mg/l).

Solidos disueltos totales (SDT).

Los SDT son una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido. En general, provienen de la disolución de minerales que forman los suelos y las rocas, pero en algunas zonas puede existir una carga de SDT por infiltración de aguas residuales.

La norma oficial mexicana establece el límite máximo permisible para el parámetro sólidos disueltos totales en 1000 mg/l, de los registros analizados se presentan dos valores que exceden dicho límite, un ubicado en el centro de la

zona de estudio, en los límites del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México y Chalco-Amecameca y el otro ubicado al norte de la Sierra de Guadalupe.

Arsénico total.

El Arsénico puede ser encontrado en la corteza terrestre en sus tres estados de oxidación: As^{-3} , As^0 , As^{+3} , usualmente como sulfuro, arseniuros metálicos o arseniato. En el agua se encuentra principalmente como arseniato (+5) pero en condiciones anaeróbicas es más común encontrarlo como arsenito (+3). Aguas naturales, usualmente se encuentra en concentraciones menores a 1–2 $\mu\text{g/l}$. Sin embargo, en aguas subterráneas, donde existen depósitos metálicos con sulfatos y depósitos sedimentarios provenientes de rocas volcánicas, estas concentraciones pueden ser un tanto más elevadas. La principal ruta de exposición al Arsénico es a través de la comida y del agua, donde las concentraciones en el agua potable son de 10 $\mu\text{g/l}$ o mayores, convirtiéndose en la mayor fuente de este elemento.

De acuerdo con la NOM-127-SSA1-2017, el límite máximo permisible para este parámetro es 0.025 mg/l, para el total de los registros se presenta un valor menor a 0.01 mg/l por lo que se considera apta para uso y consumo

Cromo total

El Cromo es un elemento químico metálico con una alta resistencia a la corrosión y es utilizado por un gran número de industrias, se encuentra en yacimientos naturales es la cromita (FeCr_2O_4). Se puede encontrar también como cromo metálico (Cr^{2+}), cromo trivalente (Cr^{3+}) y como cromo hexavalente (Cr^{6+}). Esta última forma tiene tendencia a ser reducida por especies orgánicas. En el agua se puede encontrar en forma soluble, proveniente de la disolución de sales de cromato de sodio, potasio o amonio. Su exceso en el agua potable causa problemas en el hígado y pulmones con síntomas de hemorragia, así como problemas en la piel. Se clasifica como carcinogénico. Las principales fuentes de Cr^{6+} en el agua son antropogénicas, por ejemplo: malas prácticas de desecho en la

industria de cromado, el empleo de conexiones cromadas en circuitos de enfriamiento de agua y de acondicionamiento de aire, los catalizadores de síntesis orgánica y la industria fotográfica.

La NOM-127-SSA1-2017 establece el límite máximo permisible para este parámetro en 0.05 mg/l, de acuerdo con ese valor los registros se consideran agua apta para uso y consumo humano, puesto que los datos medidos son menores a 0.005 mg/l.

Hierro total

En algunas aguas subterráneas pueden existir altos niveles de Fe³⁺. El Hierro disuelto se encuentra en la forma reducida de Fe²⁺. Esta forma es soluble y normalmente no causa ningún problema por sí misma. El Fe²⁺ se oxida a Fe³⁺ en contacto con el oxígeno del aire o por la acción de bacterias, formando hidróxidos insolubles en agua. Estos hidróxidos causan la coloración rojiza y taponamiento de bombas, tuberías y ranuras de rejillas, además de la aparición de bacterias que lo consumen y forman una biopelícula gelatinosa en tuberías y tanques que es rechazada por el consumidor. La presencia de bacterias de Hierro es indicada por sustancias limosas corrosivas, dentro de lugares de distribución, olor desagradable del agua bombeada, depósitos limosos y pegajosos que bloquean líneas de distribución principales y laterales, manchas en el pavimento y caída de paredes.

La NOM-127-SSA1-2017 señala el límite máximo permisible para el parámetro hierro en 0.3 mg/l, a partir de esto, todos los sitios muestreados cumplen con la norma.

Manganeso total

El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre, usualmente se encuentra junto con Hierro. Se utiliza principalmente en la manufactura de aleaciones de hierro y acero, como oxidante para limpieza, blanqueamiento y desinfección (permanganato de potasio). El Manganeso ocurre

naturalmente en aguas subterráneas y superficiales, particularmente en condiciones anaeróbicas y esta es su fuente más importante en el agua potable. Usualmente la mayor fuente de este elemento en la alimentación.

Para este parámetro, la NOM-127-SSA1-2017 establece el límite máximo permisible en 0.15 mg/l, así, todos de los registros son considerados aptos para consumo humano.

Nitratos

La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-2017, indica que el límite máximo permisible de nitratos en el agua para uso y consumo humano es de 11 mg/l, de los sitios medidos sólo uno de ellos excede el valor permitido con 18.38 mg/l

Además, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ha realizado diversos muestreos y análisis de calidad del agua en distintos pozos, para ello la información correspondiente y los resultados obtenidos están disponibles vía web (www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua). En este sentido para su evaluación, ha considerado 14 indicadores fisicoquímicos y microbiológicos de calidad a saber:

1. Fluoruros (Fluor)
2. Coliformes fecales (CF),
3. Nitrógeno de Nitratos(N_NO₃),
4. Arsénico Total (As_Tot),
5. Cadmio Total (Cd_Tot),
6. Cromo Total (Cr_Tot),
7. Mercurio Total (Hg_Tot),
8. Plomo Total (Pb_Tot),
9. Alcalinidad (Alc_Tot),
10. Conductividad eléctrica (Cond_elec),
11. Dureza Total (Dur_Tot),
12. Sólidos Disueltos Totales (SDT),
13. Hierro Total (Fe_Tot) y
14. Manganese Total (Mn_Tot)).

Con base a los parámetros referidos, se califica el cumplimiento o el incumplimiento de la calidad del agua destinada para uso potable, de consumo o en riego agrícola.

Por otra parte, la CONAGUA, ha establecido un semáforo de calidad del agua subterránea, siendo estos:

Semáforo en color verde: cuando hay cumplimiento de los 14 parámetros correspondientes.

Semáforo en color amarillo: cuando se incumple en uno o más de los siguientes parámetros: Alcalinidad total, Conductividad eléctrica, Dureza total, Sólidos Disueltos Totales, Hierro Total y Manganeso Total.

Semáforo en color rojo: cuando se incumple en uno o más de los siguientes parámetros: Fluoruros, Coliformes fecales, Nitrógeno de Nitratos, Arsénico Total, Cadmio Total, Cromo Total, Mercurio Total y Plomo Total.

En la siguiente figura se muestran los diferentes sitios con análisis de calidad del agua realizado 2012-2022.

8.3 Hundimiento del suelo

El término subsidencia hace referencia al fenómeno que implica el descenso, hundimiento o asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa, debido a varios factores que pueden ser naturales o antrópicos. Algunas de las causas que pueden dar lugar a los hundimientos son las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de agua subterránea, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno, los procesos de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos. Los efectos de la subsidencia sobre cierto territorio suponen sobre todo pérdidas económicas, al producirse de manera directa daños a edificaciones e infraestructura urbana y afectando el adecuado funcionamiento de los servicios públicos. El hundimiento regional puede agravar el riesgo de inundación o incluso ocasionar la inundación permanente de amplias zonas.

La Zona Metropolitana de la Cuenca de México, al ser una urbe donde se hace presente el desarrollo demográfico, requiere la prestación de diversos servicios e infraestructura para satisfacer la demanda de la población. El diseño y la construcción de obras en la Cuenca de México enfrenta severos problemas debidos a las características mecánicas del suelo, ya que, el subsuelo de la zona lacustre presenta características particulares: alta compresibilidad y baja resistencia.

La Comisión Nacional del Agua (CNA, 2009), clasifica al acuífero de la Cuenca de México como semiconfinado; debido a que presenta de manera irregular material arcilloso que le sirve como confinante o semiconfinante y, agrega que el contenido impermeable del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México lo constituyen rocas volcánicas y calizas, en tanto que el paquete sedimentario da origen a un sistema acuífero complejo formado por tres grandes cuerpos:

- En la parte superior, un paquete arcilloso de alta porosidad, baja permeabilidad y gran heterogeneidad en su constitución, que forma un acuitardo de espesor variable y que actúa como semiconfinante en el centro de la cuenca.
- Bajo el acuitardo se encuentra el acuífero actualmente en explotación, formado por material granular más grueso que el del acuitardo, esto es, piroclástos y conglomerados de origen volcánico. Su espesor es variable (generalmente mayor de 200 m) así como sus propiedades hidráulicas.
- Le subyacen rocas volcánicas fracturadas, cuya base llega a estar a los 2000 m en el centro, disminuyendo hacia las márgenes de la Cuenca.

La importancia de realizar un análisis de hundimientos en la Cuenca de México radica en que, dichos hundimientos, poseen una conexión con el abastecimiento de agua potable, con las inundaciones ocurridas en áreas urbanizadas y con el comportamiento de edificaciones.

Para caracterizar este fenómeno de hundimiento en la Cuenca de México el INEGI realizó un análisis con imágenes de radar de apertura sintética (SAR). El producto muestra los resultados de la detección de los hundimientos ocurridos en el año 2019 en la Ciudad de México y los municipios del Estado de México conurbados o contiguos al área metropolitana; calculados a partir de imágenes SAR adquiridas durante ese periodo por el sensor Sentinel-1A/B del programa de observación de la Tierra Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). Antecedentes de la aplicación de técnicas de Interferometría Diferencial SAR en esta y otras zonas, así como las observaciones GNSS en estaciones geodésicas, muestran que los hundimientos por subsidencia suelen presentar variabilidad en el tiempo, por lo que el producto sólo describe los hundimientos ocurridos en el periodo especificado. El recurso forma parte de una serie de estudios de zonas de hundimientos en diferentes partes del país en las que se presenta el fenómeno de subsidencia, fenómeno que produce un hundimiento paulatino de la superficie de la corteza terrestre debido a factores que pueden ser naturales o antrópicos.

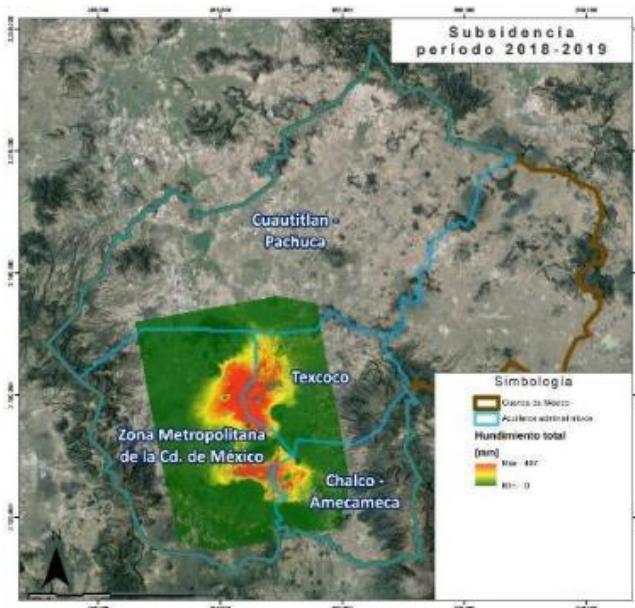


Figura 79. Hundimientos totales (2018-2019)

Velocidad de hundimiento.

El hundimiento regional de la Cuenca de México se debe principalmente a la extracción intensiva de agua, dicho hundimiento se genera en parte por la consolidación de las arcillas blandas y por la deformidad de los suelos granulares. Las consecuencias de este fenómeno se ven reflejadas en las estructuras, monumentos, sistemas de drenaje, sistemas de transporte, entre otros.

El hundimiento en la Cuenca de México es muy variable, se pueden encontrar sitios en los que se presenta un gradiente muy pequeño y otras zonas que se caracterizan por grandes gradientes, lo cual puede explicarse por variaciones apreciables de las propiedades físicas del suelo y del mecanismo que provoca el fenómeno.

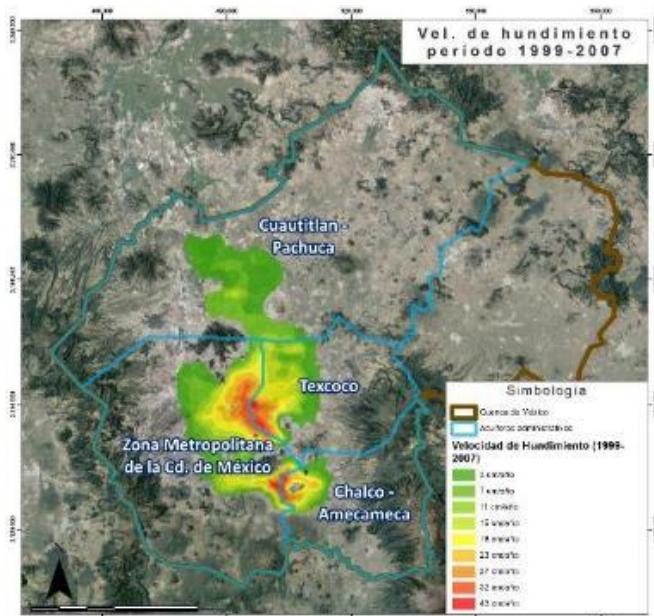
La velocidad de hundimiento regional en la Cuenca de México ha aumentado considerablemente, sobre todo en la zona lacustre, donde se han observado asentamientos anuales importantes. La Figura 2 muestra la configuración de la velocidad de hundimiento regional correspondiente a la ventana temporal 1999-

2007 en la que ilustra la variabilidad del descenso del terreno en la Cuenca de México.

En las zonas donde hasta ahora se ha registrado la mayor velocidad de hundimiento, como la zona del Aeropuerto de la Ciudad de México y Chalco, se observa una velocidad de hundimiento de 0.28 m/año. Estos sitios corresponden a las zonas donde el subsuelo presenta mayores espesores de arcilla.

Es preciso señalar que esta zona de velocidades de hundimientos máximos se extiende hacia la ciudad de Texcoco.

En el centro de la ciudad de México, las velocidades de hundimiento tienden a disminuir, pero el problema de consolidación sigue siendo importante desde el punto de vista técnico y económico por los efectos del hundimiento diferencial.



Ante la necesidad cada vez mayor de conservar, conducir, distribuir, entregar y administrar de mejor manera los recursos hídricos, es conveniente crear conciencia y fomentar una cultura del agua en todos los sectores y ámbitos de la población y plantear acciones que permitan un conocimiento integral sobre las fuentes de abastecimiento subterráneas y superficiales, condiciones del estado actual de la infraestructura, entre otras a fin de obtener una radiografía del sistema.

Se indica de manera enunciativa más no limitativa, algunas de las vulnerabilidades del sistema:

Expediente de cada pozo existente

Resulta adecuado que se tenga el conocimiento sobre las características del sitio donde se construyó el pozo, esto permite saber el tipo de suelo y/o roca, la ubicación de los estratos con presencia de agua, unidades acuíferas, diseño del pozo, entre otros. De hecho, la norma NOM-003-CNA-1996, referente a “Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de pozos”, en su apartado 6.8: Documentos requeridos para la aprobación del pozo, establece lo siguiente:

Para aprobar la operación del pozo por parte de la Comisión, es necesario que el concesionario o asignatario entregue los siguientes documentos.

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibilidades-fuentes de contaminación
- b) Registro eléctrico del pozo, integrado por: curvas de resistividad normal corta, normal larga y lateral, curva de potencial espontáneo (SP).
- c) Registro estratigráfico (corte litológico)
- d) Diseño final del pozo
- e) Requisitos y memoria de cálculo y resultado del aforo
- f) Análisis fisicoquímico del agua, que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales

Sin embargo, es común que no tenga esta información y en algunos casos se tiene que extraer de expedientes “antiguos” para digitalizar, pero esto no es garantía de que este completa o que tenga la calidad adecuada. Esta condición merma el conocimiento sobre lo que tiene de manera puntual en cada pozo y por ejemplo, en caso de que se requiera la rehabilitación de algún pozo, se tiene que buscar el

modo o las formas para poder llevar acabo esta actividad, lo que dificultad plantear acciones y soluciones con mayor certeza para su rehabilitación. En ocasiones se tiene que invertir nuevamente en estudios técnicos para conocer, lo que se supone ya se había realizado. Esto con el propósito de poder emitir las acciones adecuadas que correspondan, para una rehabilitación assertiva.

Diagnóstico integral de la infraestructura hidráulica

Entre los aspectos que son necesarios es contar con un diagnóstico de la infraestructura relacionada con el sector hidráulico, esto implica conocer de manera enunciativa más no limitativa, lo siguiente

La ubicación precisa y debidamente georeferenciada con la topografía suficiente y adecuada de cada una de las obras que conforman el sistema integral y esto incluye los planos de obra terminada (As Built). Esto para saber que se tiene y en donde, dado que, a manera de ejemplo en diversas ocasiones, no se sabe por dónde va el trazo detallado de la línea de conducción de agua potable y es difícil de localizar en campo su trayectoria, esto con el propósito para una posible reparación o mantenimiento.

Funcionamiento y Políticas de operación. Es importante saber cómo está integrado el sistema y cómo funciona de manera local y regional y como se opera. Esto permitirá conocer las diversas variables técnicas, económicas y sociales, para una mejor atención en el tema hídrico con identificación de necesidades prioritarias y secundarias.

Es conveniente conocer el estado que guarda toda la infraestructura existente y la que se requiera para un funcionamiento adecuado del sistema, por ello la conveniencia de contar con un inventario existente y de los componentes nuevos considerando especificaciones y costos.

Con la información obtenida de los puntos anteriores, generar una radiografía del sistema para identificar debilidades, necesidades y mejoras.

Medición de niveles (estáticos y dinámicos)

Esta es una actividad primordial, para conocer cómo se están comportando los niveles en los pozos de abastecimiento y los acuíferos. Se sugiere se realicen las mediciones de niveles por lo menos dos veces al año, tanto en época de estiaje como en lluvia con su debida interpretación, esto incluye la generación de mapas: a) con la configuración de la profundidad del nivel estático, b) configuración de la elevación del nivel estático y dirección de flujo subterráneo y c) la evolución del nivel estático. Estas acciones de mediciones y monitoreo ayudaran a entender de mejor manera lo que se tiene como fuente de abastecimiento, para su evaluación y definición de acciones subsecuentes relacionadas con el acuífero que provee de agua a la población.

Con base a lo indicado anteriormente, la actividad referida (piezometría) ha sido mermada considerablemente, pues de manera gradual se ha dejado de realizar, por falta de equipo de medición, de personal técnico, de software, presupuesto, por falta de visión del personal responsable, entre otros.

Medición de caudales de extracción por pozo

Otro punto que considerar es la medición del caudal en cada pozo de manera continua y evaluar su producción histórica, la cual permitirá saber si ha tenido mermas en su caudal y su comportamiento. En este sentido se debería de contar con registros de todos los pozos para conocer las zonas con mayor extracción, menos abatidas, sobreexplotadas, entre otras. Con ello se busca generar mapas de zonificación por producción, lo cual ayudaría a entender lo que se tiene y lo que se está generando en materia de extracción de agua al acuífero. A manera de ejemplo, es común que se descomponga la bomba de un pozo de abastecimiento de agua, sin embargo, para subsanar el problema de manera inmediata, es común que se le ponga la bomba de que se tenga en almacén (“si es que se tiene”), para

subsanar el problema y esta pueda ser de menor o mayor caballaje, lo que trae consigo ya sea menor o mayor producción. Sin embargo, es común que la solución inmediata se vuelva definitiva y con la incertidumbre de que, si la bomba es o no, la adecuada dado que ya no realizó el aforo del pozo ni la definición final del equipo de bombeo, derivado de la situación mencionada.

Calidad del agua

Para fortalecer el área de calidad del agua, se recomienda integrar una sola base de datos actualizada en la materia, con el apoyo de todas las autoridades y organismos operadores involucrados en el sector hídrico (CONAGUA, CAEM, SACMEX, ODAPAS, SAPASA, SAPASE, SAPASAC, entre otros), para obtener un primer diagnóstico integral, además de conocer mejor las condiciones de cada zona y de la infraestructura, evaluar que se tiene y que hace falta.

Para mejorar es conveniente que todos los organismos operadores y Dependencias encargadas del suministro y abastecimiento del agua, destinen recursos (humanos, financieros, materiales, entre otros), para realizar programas de monitoreo integrales de manera conjunta y estratégicos en los pozos que lo requieran con su debida interpretación, así como considerar estudios técnicos de calidad del agua, para evaluar las condiciones locales y regionales que imperan en las zonas de interés y en medida de lo posible generar mapas de las condiciones locales y regionales referente al tema de calidad del agua, para conocer su comportamiento y evolución.

Es necesario conocer que pozos cuentan con datos o registros de calidad (históricos) del agua para cada municipio y si estos cuentan con un expediente sobre su diseño y construcción (diseño de pozo, prueba de aforos, registro de niveles estáticos y dinámicos, entre otros).

Establecer estudios previos a la perforación de pozos para identificar posibles estratos con presencia de agua contaminada y definir procedimientos de

construcción de pozos, para el sellado de los estratos o acuíferos con presencia de agua de mala calidad, para evitar en medida de lo posible su infiltración hacia acuíferos con agua de mejor calidad.

Mantenimiento preventivo

Es conveniente realizar mantenimientos preventivos debidamente programados a la infraestructura, indicando los que tienen prioridad. Esta acción ayudara de manera significativa al mejor funcionamiento de los componentes del sistema y no en caso contrario de que se descompone un equipo o componente y genera efectos secundarios (ejemplo K invertida del sistema Cutzamala, que no embono correctamente, por lo que en su momento obligó al corte de agua a la Ciudad de México y Estado de México).

Mantenimiento correctivo

Existe infraestructura que requiere sustitución de componentes nuevos (que en ocasiones no se tienen), para que pueda funcionar y en este sentido se debe contar con un inventario de que elementos hace falta y en donde con orden de prioridad, para poder poner en funcionamiento la infraestructura que corresponda y ayudar al sistema de abastecimiento. Lo anterior implica conocer las especificaciones de los componentes que se requieran, costos, tiempos de entrega, contar con personal especializado para este tipo de trabajos, instalación, pruebas de operación, entre otros, para asegurar el funcionamiento del sistema que corresponda. De otro modo se tienen instalaciones en deterioro, en abandono y no funcionales, que impactan al sistema.

Refacciones

Contar con un inventario de todas las refacciones de la infraestructura del sistema, debidamente relacionadas e indicando el sitio donde se almacenan, quien las resguarda y estado actual de las mismas (funcionan, están deterioradas, descompuestas, entre otros).

Identificar cuáles son las refacciones más utilizadas en la infraestructura, para contar con un stock útil para atender emergencias o contratiempos, en la operación y abastecimiento de agua. A manera de ejemplo, muchos pozos dejar de operar, porque no cuentan con el suministro de una bomba.

Es conveniente evaluar la opción del rescate de refacciones útiles, para poder emplearse en otros sitios que lo requieran, lo que implica ahorro de costos y tiempos.

Hundimiento

Es necesario realizar un diagnóstico integral de toda la infraestructura existente relacionada con el hundimiento para poder monitorearlo, esto incluye: monumentación, mojoneras, bancos de nivel profundos y flotantes, entre otros. El cual considere su georreferenciación, inventarios del estado actual de las referencias (en su caso valorar reposición, restauración o mantenimiento), evaluación de nuevas referencias, entre otros.

Integrar una sola base de datos relacionados con el hundimiento diferencial y regional, que considere toda la infraestructura del monitoreo realizado a la fecha (CAEM, SACMEX, CONAGUA, entre otros). En esta fase también deberá de implementarse un monitoreo continuo a evaluar (podría ser semestral, anual, entre otros).

Difusión del tema de hundimiento en la red, el cual podría ser mediante una página web o alguna otra plataforma para su sensibilidad sobre su importancia, consecuencias, aspectos técnicos y sociales, entre otros.

Se sugiere la realización de un estudio de análisis de riesgo asociado al tema de hundimientos, dada la importancia de éste dado que genera daños a la infraestructura (hidráulica, carretera, eléctrica, edificios, casas, entre otros), que inciden en el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua.

Conducción y Distribución

Estos componentes son importantes para que el agua pueda llegar a donde se requiera, sin embargo, existen aspectos importantes que merman su funcionalidad y a continuación se indican de manera enunciativa más no limitativa:

- a) Fugas
- b) Huachicoleo de agua
- c) Hundimientos y grietas
- d) Socavación
- e) Vandalismo
- f) Caudales y/o presiones insuficientes
- g) Falta del pago (histórica) de agua por parte del consumidor
- h) Falta de mantenimiento, deterioro y abandono de instalaciones
- i) Tandeo insuficiente mediante pipas
- j) Problemática social y “líderes fantasma”
- k) Operación de válvulas del sistema por personal ajeno
- l) Robo de medidores
- m) Edad de la red de abastecimiento y estado que guarda actualmente
- n) Contaminación del agua

Los aspectos referidos inciden en la conducción, distribución y entrega del agua a la población y deben de estudiarse con mayor profundidad y valorarse dado que merman el sistema de agua potable.

Conocimiento integral de las fuentes de abastecimiento

Es importante conocer las características de las fuentes de abastecimiento que se tienen en la zona, esto implica conocer los acuíferos que la proveen, el caudal que se puede extraer, los niveles del agua subterránea, la capacidad de las presas, entre otros. Para entender mejor y evaluar los recursos que se tienen para buscar un mejor aprovechamiento del agua. De lo anterior se deriva la necesidad de realizar estudios confiables que brinden certeza.

Base de datos unificada de información

Es conveniente que todas las autoridades y organismos operadores unifiquen una sola base de datos (pozos, caudales, calidad del agua, entre otros), para comprender mejor el comportamiento de las fuentes y poder obtener un primer diagnóstico integral. A manera de ejemplo un acuífero puede proveer de agua a diferentes poblaciones, independiente del número de municipios o alcaldías.

9 Cambio de paradigma

Dentro de los objetivos de las propuestas para un cambio de paradigma ante un modelo fallido se encuentran las siguientes.

- Agua potable de inmediato para zonas con mayor estrés hídrico
- Fortalecer sistemas municipales y comunitarios
- Prevenir inundaciones
- Prevenir conflictos
- Desarrollar fuentes sustentables



Figura 81. Hundimientos totales (2018-2019)

Tablas 3. Déficit en municipios del Estado de México

Municipio	Población	Déficit (lps)
Chimalhuacán	720,828	658
Nicolás Romero	441,051	356
San Felipe del Progreso	148,133	157

Valle de Chalco Solidaridad	400,805	150
Ixtlahuaca	163,686	150
San José del Rincón	102,298	147
Villa Victoria	110,592	109
Tenancingo	106,995	96
Tezoyuca	48,086	88
Villa Guerrero	70,616	73
Jiquipilco	78,527	69
Villa de Allende	54,455	62
Tepotzotlán	106,356	59
Ixtapan de la Sal	37,729	41
Chalco	417,693	36
Hueypoxtla	47,793	35
Donato Guerra	38,265	35
Ixtapaluca	554,218	33
Huehuetoca	166,859	33
Sultepec	24,680	30
Zumpango	286,666	30
Coatepec Harinas	39,499	29
Tequixquiac	40,364	28
Ocuilan	37,025	28
Tlatlaya	32,465	26
Chapa de Mota	32,440	26
Xalatlaco	31,367	26
Aculco	50,357	25
La Paz	310,823	23
Juchitepec	27,717	22
Zumpahuacán	19,250	21
Jocotitlán	70,798	18
Ocoyoacac	73,708	18
Almoloya del Río	13,637	18
Morelos	33,900	17
Otzolotepec	90,749	17
Nezahualcóyotl	58,346	16
Amatepec	25,803	16
Malinalco	28,779	16
Zinacantepec	208,387	15
Xonacatlán	55,843	12
Ecatzingo	11,067	12
Texcaltitlán	18,891	10
	5,437,545	2,882

En este contexto se propone en este estudio alternativas de rescate de fuentes de abastecimiento mediante un cambio de paradigma en el funcionamiento hídrico

en la cuenca. Es decir, recuperación de los grandes cuerpos de agua mediante el aprovechamiento de picos de lluvia y de aguas regeneradas mediante su tratamiento, pulimento mediante humedales y naturalización en grandes cuerpos de agua logrando su saneamiento, aprovechamiento y desarrollo económico regional de 8 grandes cuerpos de agua.

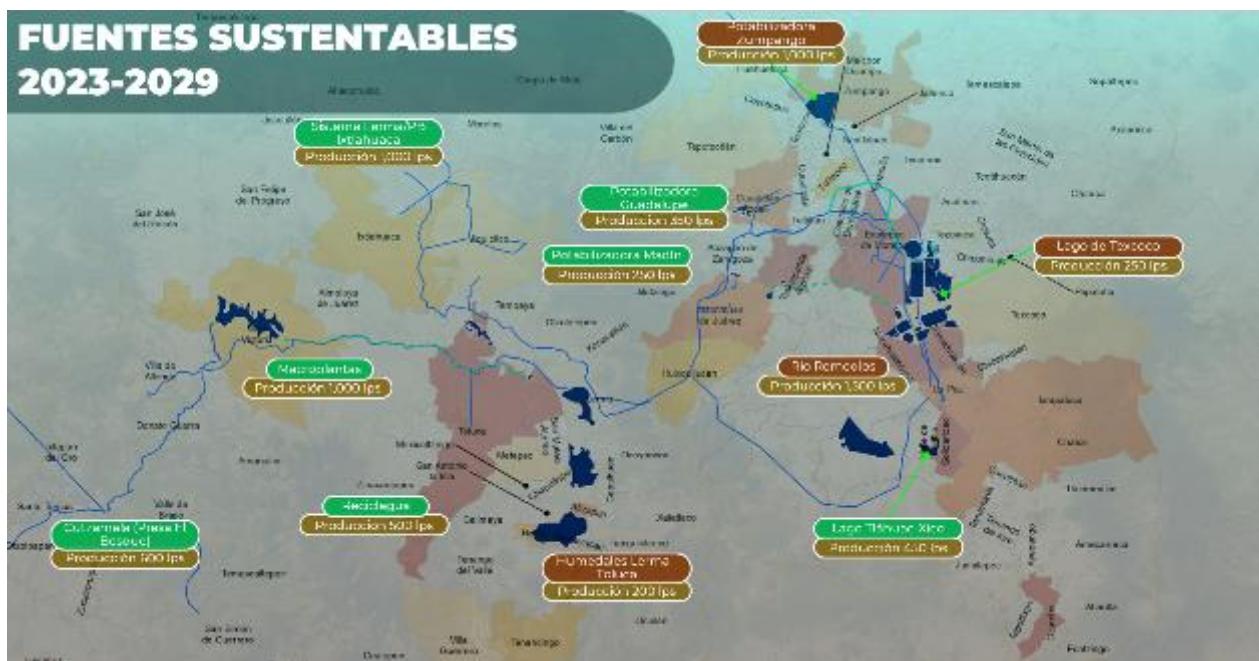


Figura 82. Proyectos en el cambio de paradigma

Dentro de este cambio de paradigma se encuentra también los siguientes puntos:

- Rehabilitación progresiva de las más de 100 PTARs municipales abandonadas,
- A ser operadas por CAEM
- Priorizando zonas de potencial reúso
- Habilitación Reciclagua
- Monitoreo-inspección-sanción-restauración frente a contaminadores industriales incluyendo cadenas de suministro

En este sentido se analizaron los costos de cada uno de los proyectos y las fuentes de abastecimiento.

Tablas 3. Fuentes de abastecimiento en el cambio de paradigma

	Fuente	Producción Adicional lps	Costo MDP	Año	Fuente Recurso
2023					
	Recuperación de Volúmenes vía ordenamiento	300		2023	FID1928
1	Cutzamala (Presa El Bosque)	500	--	2023	FID1928
2	Sistema Lerma/PB Ixtlahuaca	500	300*	2023	FID1928
3	Potabilizadora Madín	250	--	2023	FID1928
4	Lago Tláhuac Xico etapa 1	-	445*	2023	FID1928
Total		1,750 lps	800		
2024-2026					
5	Macroplantas etapa 1	400	800	2024	PEF/PRODER
6	Potabilizadora Guadalupe	350	-	2026	FID1928
7	Reciclagua etapa 1	350	650	2024	PEF/PRODER
8	Lago Tláhuac Xico etapa 2	250	1,000*	2024	FID1928
9	Macroplantas etapa 2	600	1,000	2025	FID1928
10	Reciclagua etapa 2	150	250	2025	PEF/PRODER
11	Lago Tláhuac Xico etapa 3	100	700*	2025	FID1928
12	Río Remedios etapa 1	1000	1,000	2026	FID1928
Total		1,450	5,400		
2027-2029					
13	Río Remedios etapa 2	500	500		FID1928
14	Potabilizadora Zumpango	1000	2,000		FID1928
15	Humedales Lerma - Toluca (CONAGUA)	2,000	*		PEF/PRODER
16	Lago de Texcoco (CONAGUA)	3,000	*		FID1928
Total		6,500 lps	5,000		
	Total	9,700 lps	11,200		

10 Pronostico con inteligencia artificial

10.1 Cambio climático

El cambio climático es una alteración en el clima que se ve reflejado en variaciones en la temperatura a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de

combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas, lo que produce gases que atrapan el calor.

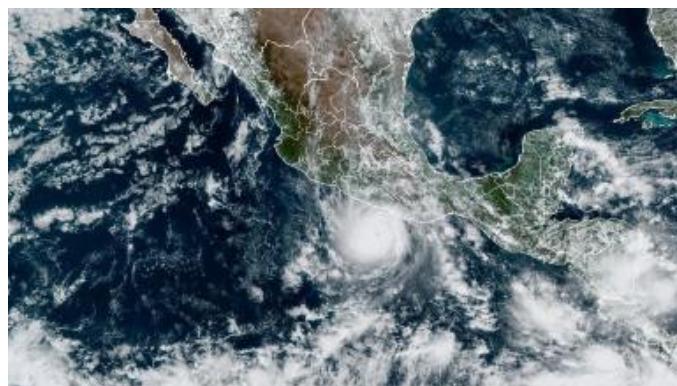


Figura 83. Ejemplo de cambio climático con el huracán Otis

- Los **humanos están calentando** inequívocamente el planeta.
- La única forma de **detener el calentamiento es acabar con las emisiones de gases de efecto invernadero**: cuanto más se tarda, más caliente se pone.
- Los **impactos del cambio climático son severos** en todas las regiones del planeta y **empeorarán** con cada fracción de grado de calentamiento.
-

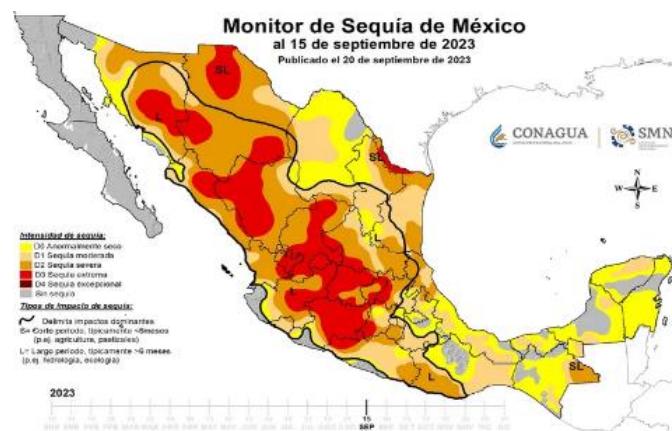


Figura 84. Sequía en el año 2023 en todo el país

Uno de los aspectos más importantes del cambio climático son los siguientes

- Aumento de la temperatura global de la atmósfera y los océanos.
- Temperaturas extremas.
- Derretimiento de los glaciares.
- Cambios en los patrones de la lluvia.

- Sequías e Inundaciones.
 - Desacoplamiento de los procesos biológicos.
 - Acidificación de los océanos.
 - Incremento en la intensidad y frecuencia de tormentas y huracanes.
 - Aumento del nivel del mar.
- Cambios en la distribución de especies.

10.2 Análisis de sequias

En el tema de sequía se realizó un análisis de la fuente de entrega de agua en bloque proveniente del Sistema Cutzamala detectando la periodicidad de la sequía (6 años) desde el año 2020 por lo que ha servido como instrumento de toma de decisión para CAEM y prepararse ante la sequía que afectará el suministro de agua a 16 municipios. Se ha demostrado que el cambio climático afectará el actual sistema hídrico de abastecimiento de agua en la cuenca del Valle de México debido al incremento en magnitud y frecuencia de los eventos hidrometeorológicos extremos como son lluvias intensas, olas de calor y sequías. En ese sentido se realizó un análisis de pronóstico mediante inteligencia artificial lo que ha brindado una poderosa herramienta para la toma de decisiones.

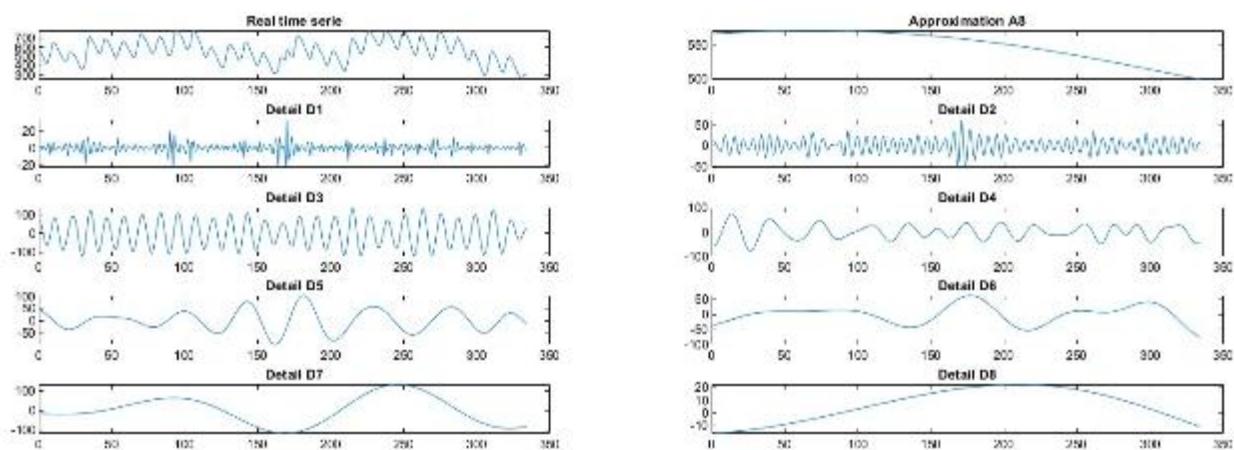


Figura 85. Análisis de series de tiempo del Sistema Cutzamala mediante Wavelets.

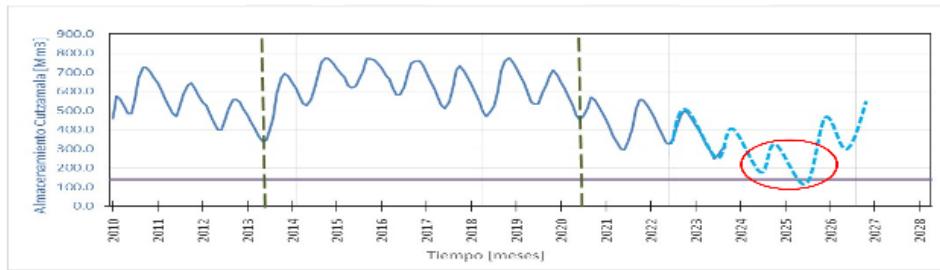


Figura 86. Pronóstico de sequía en el Sistema Cutzamala.

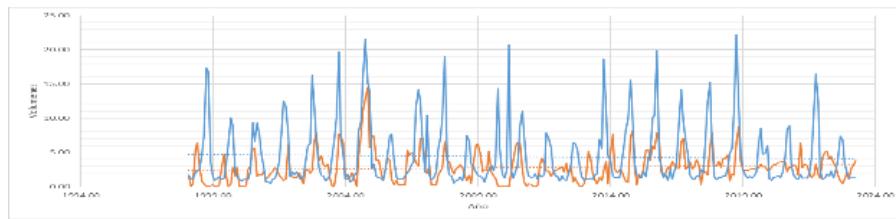


Figura 87. Entradas y salidas en las presas del Sistema Cutzamala.

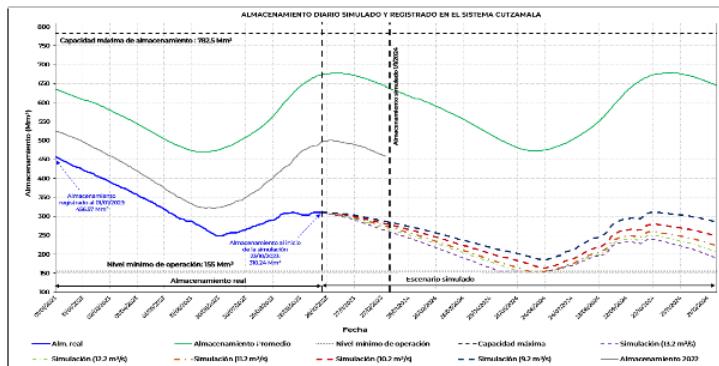


Figura 88. Pronóstico bajo varios escenarios de recorte en el Sistema Cutzamala. Fuente CONAGUA.

11 Conclusiones y recomendaciones

Es importante destacar que en este trabajo se conocieron las principales problemáticas en cuanto a la situación hídrica de la Cuenca del Valle de México además de explorar la posibilidad de un cambio de paradigma en la forma de administrar el agua.

El área metropolitana de la Ciudad de México, como es el caso de las grandes ciudades del centro y norte del país, ha dependido por su agua principalmente de la sobreexplotación de acuíferos y la importación de agua de otras cuencas, en

ausencia de políticas para hacer respetar la capacidad de carga de las fuentes locales ni de aprovechar las aguas pluviales y residuales localmente disponibles. El costo energético, económico, social y ambiental de estas estrategias está llegando a sus límites.



Figura 89. Lo que alguna vez fue una cuenca que captaba e infiltraba agua.



Figura 90. Visión estratégica de recuperación de cuerpos de agua.

Los beneficios obtenidos en este tipo de proyectos son los siguientes:

- Saneamiento
- Potabilización
- Restauración ambiental
- Beneficio social

- Protección Civil

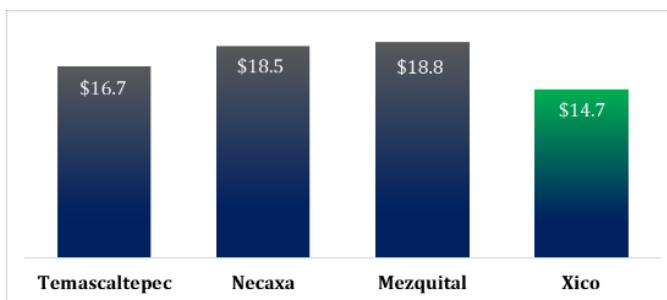


Figura 91. Comparación de costo por m³ nivelado del abastecimiento de agua

La actual administración inició la transición hacia la gestión sustentable del agua en la Cuenca de México con su apoyo a la lucha histórica de las comunidades de Texcoco-Atenco, al cancelar el aeropuerto bajo construcción en la principal zona de almacenamiento de aguas pluviales de la Cuenca; en su lugar esta zona fue decretada como Área Natural Protegida con el fin de recuperar y fortalecer el papel regulador vital de sus lagos.

Además, la Mesa Metropolitana del Agua, en donde participan el Sistema del Aguas de la Ciudad de México, la Comisión del Agua del Estado de México y la Conagua, ha acordado el Plan Metropolitano de Abastecimiento de Agua Potable se basa en el aprovechamiento de fuentes locales, al proponer la potabilización del agua de las Presas Madín y Guadalupe y la habilitación del Lago Tláhuac-Xico y la optimización de los volúmenes obtenidos de los Sistemas Lerma y Cutzamala.

Sin embargo, actualmente la moneda está en el aire. Siguen avanzando nuevos proyectos inmobiliarios e industriales sin factibilidad hídrica junto con invasiones y fraccionamientos ilícitos. Las presas que alimentan el Sistema Cutzamala están en sus niveles más bajos históricamente, y la sobreexplotación de acuíferos genera hundimientos diferenciales que dañan muebles e infraestructura, para extraer agua fósil cuya potabilización es casi incosteable.

La crisis del agua que se acerca bien podrá ser utilizada por ciertos intereses para buscar justificar nuevos trasvases intensivos en capital y energéticos, social y ambientalmente conflictivos, y de cuestionable valor.

Estos proyectos generarán una evaluación objetiva de las vulnerabilidades del actual modelo basado en la importación, sobreexplotación, expulsión e hiperurbanización acompañada por la desinversión en obras locales, siendo un modelo que se repite en las principales ciudades y zonas metropolitanas del centro y norte del país.

El área metropolitana de la Ciudad de México, como es el caso de las grandes ciudades del centro y norte del país, ha dependido por su agua principalmente de la sobreexplotación de acuíferos y la importación de agua de otras cuencas, en ausencia de políticas para hacer respetar la capacidad de carga de las fuentes locales ni de aprovechar las aguas pluviales y residuales localmente disponibles. El costo energético, económico, social y ambiental de estas estrategias está llegando a sus límites.

Siguen avanzando nuevos proyectos inmobiliarios e industriales sin factibilidad hídrica junto con invasiones y fraccionamientos ilícitos. Las presas que alimentan el Sistema Cutzamala están en sus niveles más bajos históricamente, y la sobreexplotación de acuíferos genera hundimientos diferenciales que dañan muebles e infraestructura, para extraer agua fósil cuya potabilización es casi incosteable.

En este sentido en este trabajo se propone recuperar cuerpos de agua mediante un cambio de paradigma que puede garantizar el suministro de agua a la población.

12 Bibliografía

- Arce et al. (2019). *Geology and stratigraphy of the Mexico basin, central Trans-Mexican Volcanic Belt.* UNAM Instituto de Geología.
- ASF. (2011). ALOS-PALSAR. Obtenido de Alaska Satellite Facility: <https://ASF.alaska.edu/datasets/daac/ALOS-PALSAR/>
- Banco Mundial. (2013). Obtenido de Agua urbana en el Valle de México: ¿Un Camino verde para mañana?: http://www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/AquaUrbana_ValleMexico.pdf
- Bañuelos, J. (2022). La actualización de la norma sobre agua potable. *Perspectivas IMTA*, 1-3.
- Breña-Naranjo, A. (2023). Hacia una clasificación del impacto hídrico de las actividades humanas en el territorio. *Perspectivas IMTA*(1), 1-2. doi:doi.org/10.24850/b-imta-persp
- Breña-Puyol , A., & Breña-Narnajo, J. (2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. *Ciencia*, 64-71.
- CAEM. (2023). Antecedentes de la Comisión del Agua del Estado de México. Obtenido de <https://agua.edomex.gob.mx/sites/agua.edomex.gob.mx/files/files/AcercaCAEM/Antecedentes-CAEM.pdf>
- CCA. (2020). Cobertura del suelo de América del Norte. Obtenido de Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte: <http://www.cec.org/es/sistema-de-monitoreo-del-cambio-en-la-cobertura-del-suelo-de-america-del-norte/>
- CEPAL. (2010). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/objetivos-de-desarrollo-del-milenio-odm/objetivos-desarrollo-milenio>
- CEPAL. (2023). Acerca del desarrollo sostenible. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>
- CNDH. (2014). *El derecho humano al agua y el saneamiento.* Ciudad de México : Comisión Nacional de Derechos Humanos3.
- CONABIO(a). (2023). Cobertura del suelo de Mexico. Obtenido de Portal de Geoinformacion: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO(b). (2020). Propiedades del suelo. Obtenido de Portal de Geoinformacion: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA. (2009). Comisión Nacional del Agua. Obtenido de Estadísticas de la Región Hidrológica Administrativa XIII, Aguas del Valle de México .
- CONAGUA. (2020). Situación de los recursos hidráulicos. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- CONAGUA. (2023). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la CD de México (0901), Ciudad de México. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (09 de noviembre de 2023). Organismo de Cuenca del Valle de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/organismo-de-cuenca-aguas-del-valle-de-mexico>

CONAGUA, Gobierno de la Ciudad de México, & Gobierno del Estado de México. (2022). *Programa Integral para Acceder al Derecho al Agua en el Valle de México, 2019-2030*. Obtenido de <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/atencion-usuarios/proyectos/2022/programa-integral-para-acceder-al-derecho-humano-al-agua-en-el-valle-de-mexico.pdf>

CONAGUA, S. (2023). *Base de datos histórica*. Obtenido de Sistema de Información Hidrológica: <https://sih.conagua.gob.mx/>

de Coss, A. (2017). ¿El fin del agua y la Ciudad de México? Naturaleza, espacio y tiempo en el Sistema Lerma.

DOF. (25 de agosto de 2014). *Ley del Reglamento de Aguas Nacionales*. Obtenido de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAN_250814.pdf

DOF. (2 de mayo de 2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02%2F05%2F2022&fbclid=IwAR2#gsc.tab=0

DOF. (8 de mayo de 2023). *Ley de Aguas Nacionales*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>

Escobar, A. (2009). Manejo del agua. Bosquejo de la evolución institucional federal 1926-2008. En CONAGUA, *Semblanza histórica del agua en México* (págs. 61-74). Ciudad de México: SEMARNAT.

Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 409-427.

Fernández, P., & Bandala, E. (2018). Problemática y retos del abastecimiento de agua, el drenaje de aguas pluviales y el tratamiento de aguas residuales en el área metropolitana de la Ciudad de México. En I. Aguilar, J. Mahlknecht, J. Kaledin, M. Kjellén, & A. Mejía, *Agua y Ciudades en América Latina* (págs. 103-119). Nueva York: BID-CEPAL-Tec de Monterrey.

GO. (1 de Diciembre de 2002). *Decreto por el que se crea el Organismo Público Descentralizado de Aguas de la Ciudad de México*. Obtenido de <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/58b/efb/f45/58befbf451e31746162434.pdf>

Gobierno de la Ciudad de México. (09 de Noviembre de 2023). *Acciones para cuidar y conservar el abastecimiento de agua en el Valle de México*. CDMX, México. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=KUagy_cLVjw&t=44s

Gobierno de la Ciudad de México. (28 de Septiembre de 2023). *Portal Ambiental*. Obtenido de Presentan iniciativa para impulsar la cosecha de agua de lluvia en la Ciudad de México: <https://www.portalambiental.com.mx/politica-ambiental/20230928/presentan-iniciativa-para-impulsar-la-cosecha-de-agua-de-lluvia-en-la>

Gobierno de México. (29 de agosto de 2022). *Presentan Ciudad de México, Edomex y Conagua Plan Integral para acceder al Derecho Humano al Agua*. Obtenido de

<https://www.gob.mx/conagua/prensa/presentan-ciudad-de-mexico-edomex-y-conagua-plan-integral-para-acceder-al-derecho-humano-al-agua>

GOCDMX. (5 de mayo de 2019). *Ley del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua en la Ciudad de México*. Obtenido de

https://paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2019/LEY_DER_ACCE_DISP_AGUA_09_05_2019.pdf

González , V. F., Vázquez, H. E., Aguilar, A. E., & Arriaga , M. J. (26 de junio de 2022). *Fondo para la comunicación y la Educación Ambiental* A. C. Obtenido de Perspectivas del agua en México.

Propuestas hacia la seguridad hídrica:
http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/Perspectivas_AguaeenMexico2022.pdf

González-Reynoso, A. E. (2018). La escala regional de los problemas de abastecimiento de agua y drenaje de la Ciudad de México. Conformación y desafíos de la región hidropolitana. En M. Perló Cohen, & L. Castro-Reguera M., *La crisis del agua y la metropoli* (págs. 79-109). CDMX: Siglo veintiuno.

Guerrero, T., Rives, C., Rodríguez, A., Saldivar, Y., & Cervantes, V. (2009). El agua en la ciudad de México. *Ciencias*(24), 16-23.

Guerrero, T., Rives, C., Rodríguez, A., Saldivar, Y., & Cervantes, V. (2009). El agua en la Ciudad de México. *Ciencias*, 7(24), 16-23.

Ibarra, V. (2017). Tensiones y conflictos por agua en el boom inmobiliario de Tecámac, México. *Territorios*, 81-99.

IMCO. (2023). *Aguas en México ¿Escasez o mala gestión?* Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C.

IMTA. (2 de julio de 2018). *Programa Estratégico Institucional para la Seguridad Hídrica*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/articulos/programa-estrategico-institucional-para-la-seguridad-hidrica>

INEGI. (2021). *Panorama sociodemográfico de la Ciudad de México. Censo de Población y Vivienda 2020*. Ciudad de México: INEGI.

INEGI. (2022). *Principales resultados del censo de población y vivienda 2020. Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México: INEGI.

INEGI(a). (2020). *Topografía*. Obtenido de Geografía y Medio Ambiente:
<https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>

INEGI(b). (2014). *Hidrologia*. Obtenido de Geografía y Medio Ambiente:
<https://www.inegi.org.mx/temas/hidrologia/>

Iracheta, P., & Dávalos, M. (2004). La historia del agua en los valles de México y Toluca. *Andamio*, 109-130.

Knoepfel, P., Larrue, C., Verone, F., & Hinojosa, M. (2007). Hacia un modelo de análisis de políticas públicas operativo. Un enfoque de actores, sus recursos y las instituciones. *Ciencia política*, 6-29.

Mahlknecht, J., Hirata, R., & Ledesma, R. (2018). 8. El abastecimiento urbano de agua subterránea en las ciudades de América Latina. En I. Aguilar, J. Mahlknecht, J. Kaledin, M. Kjellén, & A. Mejía, *Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible* (págs. 120-140). Nueva York: BID-CEPAL-Tec de Monterrey.

Martínez, S., Perevochtchikova, M., Escolero, O., & Kralisch, S. (28 de mayo de 2010). *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio*

climático. Obtenido de VII Encuentro Participación de la mujer en la ciencia: https://congresos.cio.mx/7_enc_mujer/index.html

MF. (11 de julio de 2023). *Proponen a nuevo gobierno crear Secretaría del Agua en Edomex.* Obtenido de <https://monitorfinanciero.com.mx/conurbadas/proponen-a-nuevo-gobierno-crear-secretaria-del-agua-en-edomex/>

NASA. (2023). *Land surface.* Obtenido de EARTHDATA: <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/land-surface>

NASA. (2023). *Meteorological Data.* Obtenido de Prediction Of Worldwide Energy Resources Data Acces: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

ONU. (4 de agosto de 1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.* Obtenido de https://ecomining.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

ONU. (2015 a). *Conferencias / Medio ambiente y desarrollo sostenible.* Obtenido de <https://www.un.org/es/conferences/environment/newyork2015>

ONU. (2015 b). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015.* Nueva York: ONU.

ONU. (2015 c). Obtenido de Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Pastrana-Miranda, T., & González-Caamal, M. (2022). Injusticia ambiental y marginación: la falta de accesos al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Territorios*(46), 1-25.

Pastrana-Miranda, T., & González-Caamal, M. M. (2022). Injusticia ambiental y marginación: la falta de acceso al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Territorios*(46), 1-25. doi:<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.9931>

Pedrozo Acuña, A. (2022). El conocimiento del agua como herramienta de justicia ambiental. *Perspectivas IMTA*(30), 1-5. doi:<https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-30>

Peña-Díaz, S. (2019). Condiciones hídricas en la cuenca del Valle de México. *Tecnología y Ciencias de Agua*, 10(2), 98-127.

POGG. (2 de febrero de 2013). Obtenido de <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig002.pdf>

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. (2023). *Descripción de la Zona Metropolitana del Valle de México.* Obtenido de <https://paot.org.mx/centro/libros/inventario98/02.pdf>

Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J., Sosa-Rodríguez, F., Altamirano-Cabrera, J., & Torres-Ayala, F. (2016). Agua virtual en un marco insumo-producto para la cuenca del valle de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI(2), 51-66.

Rodríguez-Tapia, L., Rodríguez-Novelo, J., Sosa-Rodríguez, F., Altamirano-Cabrera, J., & Torres-Ayala, F. (2016). Agua virtual en un marco insumo-producto para la cuenca del valle de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 51-66.

SACMEX. (11 de Octubre de 2023). Acerca de SACMEX. Obtenido de <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/organo-descentralizado/acerca-sacmex>

- Salcedo, H., & Chávez, A. (2008). Gobernanza y territorios. Notas para la implementación de políticas para el desarrollo. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 75-95.
- Sanchez, F. J. (2022). Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la formula de Hargreaves. Obtenido de Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca: <https://hidrologia.usal.es>
- SEGOB(a). (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual del agua subterránea*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020
- SEGOB(b). (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual del agua superficial*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020#gsc.tab=0
- Torres, L. (2014). Capítulo 2. Construcción histórica del sistema Lerma y análisis de acuerdos . En L. Torres, *Sistema Lerma: una visión política de la gestión pública del agua, ¿solución estatal o federal?* (págs. 67-118). Toluca: IAPEM.
- Tzatchkov, V., & Rodríguez, J. (2022). Seguridad hídrica y sus metas. En A. Rojas, & V. Tzatchov, *Introducción a la seguridad hídrica* (págs. 3-16). Jiutepec: IMTA.
- UNWATER. (8 de mayo de 2013). *What is Water Security? Infographic*. Obtenido de <https://www.unwater.org/publications/what-water-security-infographic>
- USDA(a). (2009). *Chapter 7 Hydrologic Soil Groups*. Obtenido de National Engineering Handbook Part 630 Hydrology: <https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerfs.aspx?hid=21422>
- USDA(b). (2004). *Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes*. Obtenido de National Engineering Handbook Part 630 Hydrology: <https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerfs.aspx?hid=21422>
- Vazquez et al. (2019). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Limusa.