



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEXCOCO

**‘LA SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO EN TEXCOCO Y SU IMPACTO EN
LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN MÉXICO, 2005-2019’**

T E S I S

Para obtener el título de
LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA

NORMA LIZETH LORENZO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

DRA. EN C. EN E. A. ESTHER FIGUEROA HERNÁNDEZ

REVISORES

M. EN E.S. SELENE ÁLVAREZ NIETO

DR. EN C. EN E. A. MARIO ALBERTO VARELA RAMÍREZ

TEXCOCO, MEX. NOVIEMBRE DE 2024.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivo general.....	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	3
II. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Distribución global del agua en el mundo	4
2.2 Sobreexplotación de acuíferos en el mundo.....	4
2.3 El estrés hídrico en el mundo.....	4
2.4 Usos del agua e infraestructura en el mundo	5
2.5 Sobreexplotación hídrica en Latinoamérica	7
2.6 Las aguas subterráneas son fundamentales para la actividad económica.....	8
2.7 Estrés hídrico en México	8
2.8 Sobreexplotación de acuíferos.....	10
2.9 Clasificación de los usos del agua	10
2.10 Uso agrupado agrícola	11
2.11 Uso agrupado abastecimiento público	11
2.12 Uso agrupado industria autoabastecida	11
2.13 Crecimiento poblacional.....	12
2.14 Matriz de Insumo-Producto	12
2.15 Variables a nivel nacional impactan a la sobreexplotación del agua	14
2.16 Crecimiento económico.....	15
2.17 Desarrollo económico	16
2.18 Hundimiento de la Ciudad de México.....	17

2.19 Sistema Cutzamala	18
2.20 Sobreexplotación en los acuíferos del Estado de México	19
2.21 Comportamiento hidráulico, profundidad al nivel estático del acuífero	19
2.22 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	20
2.23 Recarga Inducida	21
2.24 Empresas	21
2.25 Fugas de agua en la Ciudad de México.....	23
2.26 Volúmenes concesionados para acuíferos del Estado de México	23
2.27 Ubicación y extensión territorial del Acuífero en Texcoco	24
2.28 Población y desarrollo socioeconómico de la región vinculados con el recurso hídrico	25
2.29 Plan de Desarrollo del Municipio de Texcoco	33
III. MARCO TEÓRICO	34
3.2 Hidrografía	34
3.3 Hidrología	35
3.4 Hidrogeología	35
3.5 Tipo de acuífero	36
3.6 Balance de aguas subterráneas	36
3.7 Entradas	36
3.8 Salidas	37
3.9 Recarga vertical (Rv)	37
3.10 Recarga total media anual (R).....	37
3.11 Disponibilidad	37
3.12 Descarga natural comprometida (DNC)	38
3.13 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	38

3.15 Acuíferos.....	39
3.16 Regiones hidrológico-administrativas (RHA) para la gestión del agua.....	39
3.17 Aguas subterráneas	40
3.18 Econometría.....	40
3.19 Modelo econométrico.....	40
3.20 Regresión lineal simple	40
3.21 Regresión lineal múltiple.....	41
3.22 Método de mínimos cuadrados Ordinarios (MCO)	42
3.23 Análisis de varianza	43
3.24 Estadístico F	44
3.25 R cuadrada (R^2)	44
3.26 Pruebas de hipótesis.....	44
3.27 Multicolinealidad	45
3.28 Heterocedasticidad	45
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	46
4.1 Estudios recientes del Acuífero de Texcoco.....	46
V. METODOLOGÍA.....	49
VI. RESULTADOS.....	50
6.1 Análisis Estadístico.....	50
6.3 Análisis Económico	55
6.4 Sistema Cutzamala.....	63
6.5 Sequía en México	65
6.6 Comportamiento de las lluvias	73
6.7 Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	74

VII. CONCLUSIONES	75
VIII.RECOMENDACIONES	76
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público, 2018	6
Tabla 2. Agua renovable total y per cápita, 2020	9
Tabla 3. Presas que integran el Sistema Cutzamala	18
Tabla 4. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero de Texcoco	25
Tabla 5. Distribución de la población dentro de los límites del acuífero Texcoco por Municipio	26
Tabla 6. Disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos que forman parte de la región XIII hidrológico-administrativa	28
Tabla 7. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento 2005-2019	29
Tabla 8. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento, 2005-2019	30
Tabla 9. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento 2005-2019	31
Tabla 10. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento 2005-2019	32
Tabla 11. Análisis de Varianza.....	43
Tabla 12. Análisis de las variables para el acuífero de Texcoco.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13. Análisis de varianza de la extracción total de agua del acuífero de Texcoco	52

Tabla 14. Disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos que forman parte de la región XIII hidrológico-administrativa	58
Tabla 15. Almacenamiento en presas del Sistema Cutzamala 2024	64
Tabla 16. Porcentaje de área afectada con sequía en México 2014	68
Tabla 17. Porcentaje de área afectada con sequía en México 2024	70

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Volumen de agua extraída por empresa, 2021 (Litros)	22
Gráfica 2. Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento de Acuíferos del Estado de México.....	24
Gráfica 3. Evolución de la población en el municipio de Texcoco	28
Gráfica 4. Representación de la regresión lineal múltiple	41
Gráfica 5. Recta de mínimos cuadrados	42
Gráfica 6. Número de pozos por tipo en el acuífero de Texcoco, 2010.....	47
Gráfica 7. Sobreexplotación del acuífero de Texcoco, 2014-2020	50
Gráfica 8. Sobreexplotación y extracción de agua en el acuífero de Texcoco, 2014-2020	57
Gráfica 9. Comparación de extracción y recarga de algunos acuíferos de la Región XIII Valle de México, 2003.....	59
Gráfica 10. Comparación de extracción y recarga de algunos acuíferos de la Región XIII Valle de México 2020.....	60

Gráfica 11. Total, de volúmenes concesionados agropecuario.....	61
Gráfica 12. Total, de volúmenes concesionados abastecimiento público (hectómetros cúbicos)	62
Gráfica 13. Total, de volúmenes concesionados Industrial.....	63
Gráfica 14. Aguas del Valle de México, porcentaje de área con sequía 2014....	72
Gráfica 15. Aguas del Valle de México, porcentaje de área con sequía 2024	73

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Acuíferos sobreexplotados, 2012-2020	10
Mapa 2. Profundidad al nivel estático en metros, 2011	20
Mapa 3. Localización del Acuífero	24
Mapa 4. Sequía en México para el periodo 2014.....	65
Mapa 5. Sequía en México para el periodo 2024.....	66
Mapa 6. Porcentaje de área con sequía en las Regiones Hidrológico Administrativas (CONAGUA) Mayo 2014.....	67
Mapa 7. Porcentaje de área con sequía en las Regiones Hidrológico Administrativa, mayo 2024	69

LA SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO EN TEXCOCO Y SU IMPACTO EN LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN MÉXICO, 2005-2019

Resumen

El objetivo general del trabajo fue analizar cuál de los sectores económicos afectaron la sobreexplotación del acuífero de Texcoco, a través de un modelo econométrico. Para la realización de la investigación se elaboró un modelo econométrico estimado por mínimos cuadrados ordinarios de la sobreexplotación del acuífero de Texcoco. Los principales resultados fueron que el sector agropecuario fue el que más afecta la sobreexplotación. Pero también el uso de agua público urbano, doméstico e industrial.

El principal problema de la investigación que se presentó fue en la recopilación de datos, ya que se encontraron datos anuales en CONAGUA para el tema de los volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento desde el año 2005-2019. Pero esto no impidió tener un resultado significativo para poder demostrar el objetivo de la investigación.

En este trabajo se calculó la disponibilidad del acuífero a través del cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas (CONAGUA, 2024).

A lo largo del tiempo, se ha podido observar desde el punto de vista económico, el aumento de la población en México y en el mundo, esto a su vez como principal causa de diferentes fenómenos en la naturaleza que resulta importante mencionar dentro de la economía del medio ambiente (Vega, 2023).

El resultado obtenido para el cálculo de la disponibilidad media anual de agua del acuífero en Texcoco indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 149.805124 m³ anuales que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

Por lo tanto, se concluye que mediante esos resultados obtenidos es que el acuífero de Texcoco se encuentra en déficit, el factor que más lo afecta es el sector agrícola. Si bien es cierto, que la situación en la que se encuentra el acuífero es preocupante ya que año con año se muestra que el grado de sobreexplotación es mayor y el cuidado y preservación de este preciado recurso es menor.

Palabras clave: sobreexplotación de acuíferos, Texcoco, agua.

Overexploitation of the Texcoco aquifer in the agricultural sector, 2005-2019

Abstract

The general objective of the work was to analyze which of the economic sectors affected the overexploitation of the Texcoco aquifer, through an econometric model. To carry out the research, an econometric model estimated by ordinary least squares of the overexploitation of the Texcoco aquifer was developed. The main results were that the agricultural sector was the one that most affects overexploitation. But also the use of urban, domestic and industrial public water.

The main problem of the research that was presented was in the collection of data, since annual data was found in CONAGUA for the issue of volumes granted by type of use, according to source of supply from 2005-2019. But this did not prevent having a significant result to be able to demonstrate the objective of the research. In this work, the availability of the aquifer was calculated by calculating the availability of groundwater, applying the procedure of the Mexican Official Standard NOM-011-CONAGUA-2015, conservation of the water resource that establishes the specifications and the method to determine the average annual availability of national waters; in its fraction relative to groundwater (CONAGUA, 2024).

Over time, it has been possible to observe from an economic point of view, the increase in the population in Mexico and in the world, this in turn as the main cause of different phenomena in nature that are important to mention within the economics of the environment (Vega, 2023).

The result obtained for the calculation of the average annual availability of water from the aquifer in Texcoco indicates that there is no volume available to grant new concessions; on the contrary, the deficit is 149.805124 m³ per year that is being extracted at the cost of non-renewable storage of the aquifer. Therefore, it is concluded that based on the results obtained, the Texcoco aquifer is in deficit, and the factor that most affects it is the agricultural sector. Although it is true that the

situation in which the aquifer is found is worrying since year after year it is shown that the degree of overexploitation is greater and the care and preservation of this precious resource is less.

Keywords: overexploitation of aquifers, Texcoco, water.

I. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo se ha podido ver el crecimiento de la población mundial y eso a su vez una mayor capacidad económica, lo que ha conducido de manera inevitable a una mayor presión sobre los mantos acuíferos, esto como resultado de que al haber más población surge la necesidad de producir más alimento para cubrir sus necesidades, así como también abastecer con más proporción a las zonas urbanas y a los sectores económicos productivos (Sahuquillo, 2009).

En México, el panorama del vital líquido vislumbra un panorama similar: 12 millones de personas carecen de acceso al agua potable, 102 de los 653 acuíferos de la nación se encuentran sobreexplotados, 46% del vital líquido se pierde por fugas en las redes de abastecimiento, 80% de los cuerpos de agua del país presenta algún tipo de contaminación por descargas industriales. Sólo 1 de cada 100 litros de agua que caen por concepto de lluvia es captado para su utilización en distintas actividades. Debido a la pobre calidad del agua en la mayoría de las cuencas, México es el país número uno en consumo de agua embotellada del mundo. Y, por ejemplo, a pesar de que en Oaxaca 33% de la población no tiene acceso al agua en sus hogares, el gobierno federal decidió reducir en un 80% el presupuesto de la Comisión Nacional del Agua para esa cuenca en 2016 (Friedrich, 2017).

I.I Planteamiento del problema

México, al igual que muchos otros países del mundo, enfrenta problemas relativos a la disponibilidad de agua y contaminación de corrientes y acuíferos, que se agravan por los patrones de consumo actuales en los diversos usos, los cuales generan grandes pérdidas. De seguir así, se incrementarán las zonas de escasez y las fuentes de abastecimiento tendrán serias restricciones para poder atender a las nuevas generaciones de usuarios. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2000).

El acelerado incremento de la demanda de agua subterránea ha sido el motivo por el que hoy en día se hace una explotación intensiva de este recurso. Las causas de este incremento son variadas, ya que están sujetas a las necesidades locales de acuerdo con sus condiciones climáticas, hidrogeológicas, ambientales, sociales, económicas y políticas (Llamas & Custodio, 2002).

La disponibilidad de agua por habitante disminuye conforme aumenta la población del país. En lo que se refiere a los usos del agua, el volumen concesionado a diciembre de 2006, sin incluir la generación de energía hidroeléctrica, era de 77 millones de metros cúbicos. De este volumen, el 77% corresponde al uso agrícola, 14% al público y 9% a las industrias que obtienen agua de ríos y acuíferos; es oportuno comentar que en el uso agrícola se están incluyendo los usos agrícolas, pecuario, acuícola y múltiples, que se establecen en la clasificación de la Ley de Aguas Nacionales. Hay que aclarar que la disponibilidad de agua por habitante disminuye conforme aumenta la población del país. En lo que se refiere a los usos del agua, el volumen concesionado a diciembre de 2006, sin incluir la generación de energía hidroeléctrica, era de 77.321 millones de metros cúbicos. La superficie dedicada a la agricultura en México es de aproximadamente 21 millones de hectáreas (10.5% del territorio nacional); de ella, 6.5 millones son de riego y 14.5 de temporal. Aproximadamente el 57.0% del agua subterránea extraída se destina al riego agrícola de una tercera parte de los 6.5 millones de hectáreas bajo riego en el país (Escobar, 2012).

Con base a lo anterior, el problema consistió en identificar ¿Cuáles fueron los sectores económicos que afectaron la sobreexplotación del acuífero en Texcoco?

1.2 Objetivo general

Analizar cuál de los sectores económicos afectaron la sobreexplotación del acuífero de Texcoco a través de un modelo econométrico.

1.3 Objetivos específicos

Elaborar un modelo econométrico que explique cuál fue el sector económico que más sobreexplota al acuífero de Texcoco.

Calcular la disponibilidad media de agua subterránea del acuífero de Texcoco.

1.4 Hipótesis

Hipótesis general

La sobreexplotación del acuífero de Texcoco se relaciona directamente con los sectores económicos.

Hipótesis particular

Se espera un resultado que indique que el uso del agua del sector agropecuario es el que más afecta a la sobreexplotación de las aguas subterráneas.

II. ANTECEDENTES

2.1 Distribución global del agua en el mundo

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de kilómetros cúbicos km³, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5%, es decir 35 millones de km³, es agua dulce y de ésta casi el 70.0% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo (Comisión Nacional del agua [CONAGUA], 2020).

2.2 Sobreexplotación de acuíferos en el mundo

La sobreexplotación de los acuíferos aumenta la vulnerabilidad de los suministros de agua potable debido a la escasez de agua durante los ciclos de sequía, obligando muchas veces a abastecerse de agua desde más lejos, con el consiguiente aumento de precio. En definitiva, tal sobreexplotación de los acuíferos pone en riesgo la accesibilidad y asequibilidad del agua potable en ciclos de sequía, especialmente para quienes viven en situación de pobreza y marginación. En muchos países, las aguas subterráneas se gestionan de facto, como si fueran propiedad del dueño o dueña del terreno en el que se perforó el pozo, lo que a menudo conduce a un consumo de agua individualista y abusivo y pone en peligro la realización de los derechos humanos al agua potable y saneamiento, especialmente en el contexto de un clima cambiante. No debemos olvidar que el agua debe ser considerada y gestionada como un bien común (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022).

2.3 El estrés hídrico en el mundo

El agua es cada vez un bien más escaso e impredecible. La sobreexplotación de los recursos hídricos, el crecimiento demográfico y el cambio climático por cada grado de aumento de las temperaturas, decaen un 20.0% las fuentes de agua renovables están incrementando el estrés hídrico en todo el mundo. Como

consecuencia, el consumo de agua cada vez es más insostenible (Banco Mundial, [BM], 2020).

En la actualidad 844 millones de personas carecen de acceso de agua potable, pero su escasez afecta más. La gran mayoría del consumo se destina a la agricultura la media global se sitúa en torno al 70.0%, mientras que el resto se divide entre el uso industrial 19.0% y doméstico 11.0%. En el lado de la oferta, las fuentes incluyen aguas superficiales como ríos, lagos y embalses, así como aguas subterráneas extraídas a través de acuíferos. Pero los científicos difieren a la hora de medir el estrés hídrico y elegir las variables a tener en cuenta, como los cambios estacionales, la calidad del agua o la accesibilidad. En el caso del Banco Mundial, el indicador calcula la extracción de agua dulce en relación con los recursos de agua dulce renovables, es decir, los que la Tierra es capaz de regenerar por sí sola. De esta forma, el organismo financiero estima que la media global de estrés hídrico era del 69% en 2020, una cifra que da buena cuenta del escaso margen de maniobra con el que cuenta el mundo para hacer frente a los desafíos del cambio climático y la explosión demográfica de algunos lugares del planeta (Merino, 2023).

2.4 Usos del agua e infraestructura en el mundo

La población mundial se triplicó en el siglo XX, mientras que, las extracciones de agua se sextuplicaron, por lo que aumentó el grado de presión sobre los recursos hídricos. Para el futuro, en el contexto de crecimiento poblacional y cambio climático, se prevé que se incremente dicha presión (SEMARNAT, 2011).

Tabla 1. Países con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público, 2018

No.	País	Extracción total de agua (miles de millones de m ³ /año)	Uso agrícola (%)	Uso Industrial (%)	Uso abastecimiento público (%)
1	China	598.10	64.4	22.3	13.3
2	Estados Unidos de América	444.30	39.7	47.2	13.1
3	Indonesia	222.60	85.2	4.1	10.7
4	México	88.84	75.7	9.6	14.7
5	Filipinas	85.14	79.6	12.4	8.0
6	Egipto	77.50	79.2	7.0	13.9
7	Federación de Rusia	69.50	26.2	49.5	24.2
8	Brasil	63.50	55.8	18.1	26.2
9	Turquía	58.95	86.2	3.9	9.9
10	Uzbekistán	54.56	91.7	3.9	4.5

Fuente: Elaborada con datos de Organización de las ONU y CONAGUA, 2018.

En la tabla 1, se muestran los países del mundo con mayor extracción de agua, China ocupa el primer lugar con 598.1, en segundo Estados Unidos con 44.3, en tercero, Indonesia con 222.6, en el cuarto lugar México con 88.8 miles de millones de m³ de extracción de agua total al año. La clasificación de este cuadro considera el uso agrícola, el uso industrial, y el uso de abastecimiento público. Lo que muestra un panorama preocupante, ya que México se encuentra en el cuarto lugar de países de todo el mundo.

El acceso al agua es un tema de seguridad nacional, un pilar de la política ambiental, y un factor clave en la política social y económica. Su disponibilidad condiciona las posibilidades de crecimiento y desarrollo del país y su calidad es factor determinante para la salud y bienestar de la población. Además, la contaminación puede agravar el problema de la escasez, debido a que el agua de los cuerpos superficiales y subterráneos puede ser contaminada por las descargas de aguas residuales, sin tratamiento previo, tanto de aguas municipales, industriales, así como de zonas que practican actividades agrícolas y ganaderas. Por su orografía y clima, México también es susceptible a la escasez de agua. Aunado a ello, el país ha enfrentado problemas de sequías por efectos del aumento de la temperatura, así como sobreexplotación de los mantos acuíferos, problemas en la red de distribución, contaminación, y falta de control sobre las concesiones particularmente del sector agrícola (Instituto Mexicano para la Competitividad, [IMCO], 2023).

2.5 Sobreexplotación hídrica en Latinoamérica

De acuerdo con Solís (2023) menciona diferentes puntos que son importantes a considerar, que las aguas subterráneas son esenciales en América Latina y el Caribe. En diversas ciudades, incluso, son la única fuente de provisión de agua potable. Actualmente, resulta lamentable, que desaparezca de la discusión de la política pública. Se cree segura su permanencia y no son conscientes de la relevancia y de las amenazas que existen sobre ellas. En grandes ciudades de la región como Lima en Perú y Santiago de Chile, una de cada cinco litros de agua consumidos por la población proviene de los acuíferos. Este número sube de tres a cada cinco litros en ciudades como San José en Costa Rica o Ciudad de México. Existen ciudades o comunidades donde prácticamente la totalidad del agua consumida proviene de fuentes subterráneas: Santa Cruz en Bolivia, Ica en Perú, Maipú en Chile, Heredia en Costa Rica. Por esas razones, la sobreexplotación de los acuíferos es un problema que amenaza la integridad de las ciudades, las economías regionales y el abastecimiento de agua para la población, ya que está causando problemas en América Latina y el Caribe. Como un buen ejemplo es la

Ciudad de México, donde se reportan hundimientos de terreno de hasta 40 centímetros por año, donde el agotamiento de los recursos hídricos subterráneos puede poner en peligro la economía regional que depende en gran medida de la agricultura.

2.6 Las aguas subterráneas son fundamentales para la actividad económica

Las aguas subterráneas son un recurso natural que resulta fundamental para las actividades del ser humano: permiten abastecer de agua potable poblaciones en los ámbitos rural y urbano, son insumos importantes para determinadas actividades industriales y permiten el riego de superficies agrícolas, contribuyendo así a la seguridad alimentaria. Pueden llegar a representar un porcentaje importante del agua potable distribuida en megaciudades como en el caso de la Ciudad de México 58%, e incluso el 100% en otras ciudades de la región (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2022).

2.7 Estrés hídrico en México

De acuerdo con el índice de estrés hídrico de Falkenmark, un país o región experimenta “estrés hídrico” cuando los volúmenes anuales de agua renovable caen por debajo de los 1,700 m³ /persona/ año. Como se muestra en la Tabla #, las regiones hidrológico-administrativas I (Península de Baja California), VI (Río Bravo), VII (Cuencas Centrales del Norte), VIII (Lerma-Santiago-Pacífico) y XIII (Aguas del Valle de México), que cubren el 39% del territorio nacional y alojan al 54% de la población, se encuentran en condición de estrés hídrico, únicamente por efecto de la relación agua renovable/población. Es de esperarse que, bajo esta misma definición, en el corto plazo la región IV (Balsas), otro 15% del territorio y 13% de la población, caerán en esta condición (González *et. al.*, 2022).

Tabla 2. Agua renovable total y per cápita, 2020

	Región hidrológico-administrativa	Agua renovable total (hm ³ /año)	Población (millones de habitantes)	Agua renovable per cápita 2020 (m ³ /Hab/año)	Escurrimiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)
I	Península de Baja California	4,959.96	4.766	1,040.59	3,312	1,648
II	Noroeste	8,274.83	2.834	2,929.27	5,068	3,207
III	Pacífico Norte	26,630.02	4.556	5,845.55	23,570	3,061
IV	Balsas	23,445.62	12.241	1,915.36	18,575	4,871
V	Pacífico Sur	31,309.80	5.168	6,057.85	29,374	1,936
VI	Río Bravo	13,045.02	13.296	981.16	6,675	6,370
VII	Cuencas Centrales del Norte	4,667.43	4.756	981.47	2,206	2,462
VIII	Lerma Santiago Pacífico	35,247.02	25.649	1,374.20	25,416	9,831
IX	Golfo del Norte	28,695.05	5.2	5,518.08	24,596	4,099
X	Golfo Centro	95,022.22	10.653	8,919.73	90,424	4,599
XI	Frontera Sur	158,020.79	7.973	19,818.84	135,303	22,718
XII	Península de Yucatán	28,877.87	5.107	5,654.29	3,562	25,316
XIII	Aguas del Valle de México	3,444.33	23.815	144.63	1,155	2,289
	Total Nacional	461,640.00	126.014	3,663.40	369,236	92,404

Fuente: Elaborada con datos de CONAGUA, 2022.

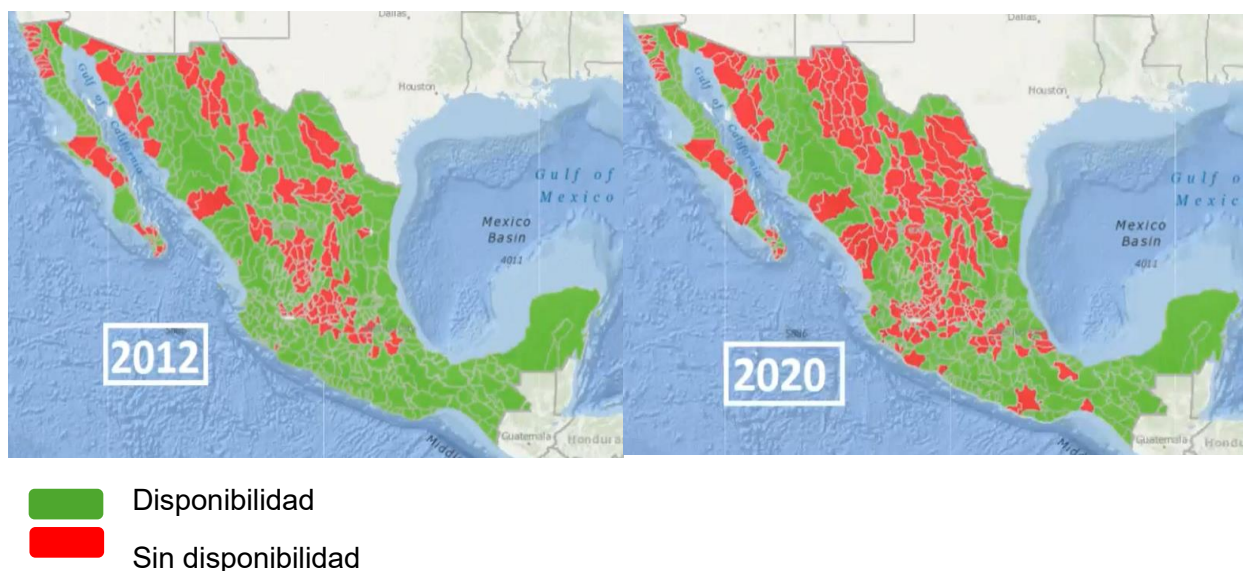
Como se muestra en la tabla 2, el agua renovable es la cantidad de agua renovada por la lluvia y las corrientes que fluyen desde otras regiones o países. Se calcula con el escurrimiento natural medio, la recarga total de acuíferos, más la importación y exportación que se hace del recurso. Algunos acuíferos tienen periodos de

renovación entendidos como la razón de su almacenamiento estimado entre su recarga anual, que son excepcionalmente largos a estos acuíferos se les considera como aguas renovables.

2.8 Sobreexplotación de acuíferos

A partir del proceso de identificación, delimitación, estudio y cálculo de la disponibilidad, comenzado en 2001, el número de acuíferos sobreexplotados ha oscilado anualmente entre 100 y 106. Al 31 de diciembre de 2017 se reportan 105 acuíferos sobreexplotados (Mapa 1). De acuerdo con los resultados de los estudios recientes, se define si los acuíferos se convierten en sobreexplotados o dejan de serlo, en función de la relación extracción/recarga.

Mapa 1. Acuíferos sobreexplotados, 2012-2020



Fuente: Elaborado del Sistema Nacional de Agua (CONAGUA), 2021.

2.9 Clasificación de los usos del agua

Los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), agrupándose para

fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas y conservación ecológica). Al 2018 el 60.8% del agua para uso consuntivo provenía de fuentes superficiales (ríos, arroyos, lagos y presas), el resto de las aguas subterráneas. Del total del volumen concesionado para usos agrupados consuntivos, al 2018 el 75.7% le correspondía al agrícola (CONAGUA, 2019).

2.10 Uso agrupado agrícola

El mayor uso es el agrícola, con el 75.7% del volumen concesionado para uso consuntivo. La fuente predominante es la superficial, con el 63.4% del volumen concesionado para este uso (CONAGUA, 2019).

2.11 Uso agrupado abastecimiento público

El uso agrupado abastecimiento público consiste en aprovechar el agua entregada por las redes de agua potable, en el abastecimiento a los usuarios domésticos (domicilios), así como a diversas industrias y servicios. Disponer de agua en cantidad y calidad suficiente para el consumo humano es una de las demandas básicas de la población, porque incide directamente en su salud y bienestar en general. Esta característica es reconocida por los instrumentos rectores de planeación nacionales: el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (CONAGUA, 2019).

2.12 Uso agrupado industria autoabastecida

En este rubro se incluye la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Conforme al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), las actividades secundarias, conocidas tradicionalmente como “la industria”, están conformadas por los sectores minería, electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final, así como la construcción e industrias manufactureras. Cabe destacar que la clasificación de usos del REPDA no sigue precisamente esta clasificación, sin embargo, se

considera que existe un razonable nivel de correlación (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, [INEGI], 2009).

2.13 Crecimiento poblacional

Aumento, disminución o estabilidad en el número de sus integrantes, que ocurre en un período de tiempo determinado. Un indicador comúnmente utilizado para medir el porcentaje de velocidad de este fenómeno es la tasa de crecimiento anual (Hernández Millán, 1996).

2.14 Matriz de Insumo-Producto

Se refiere a la información que refleja las relaciones económicas que se llevan a cabo entre los diferentes sectores y agentes en todas las fases del ciclo económico (producción, comercialización, consumo e inversión), así como la composición de la producción, utilización y Producto Interno Bruto por tipo de actividad (INEGI, 2024).

Resulta de gran importante explicarla matriz de la tabla 3, menciona que, si al no haber agua, alguno de los sectores se verá afectados, como por ejemplo al haber escasez de agua se podría ver afectado alguno de los sectores y su desarrollo como por ejemplo la minería: el acceso a ella esta actividad no podría desarrollarse, pues su uso está contempla para distintos propósitos, tales como para el procesamiento de minerales. La electricidad: La escasez de agua afecta la producción de electricidad, aumentando los costos de la construcción, etc.

2.15 Variables a nivel nacional impactan a la sobreexplotación del agua

El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo. Sin embargo, en países como México, su gestión y uso sostenible se enfrentan a un gran desafío: los acuíferos sobreexplotados. Más de un tercio de los acuíferos en México están en condición de sobreexplotación, lo que pone en riesgo la seguridad hídrica del país, (CONAGUA, 2024).

Además, la extracción excesiva de agua subterránea puede llevar a fenómenos de subsidencia, es decir, el hundimiento del terreno, que puede resultar en daños a infraestructuras y viviendas, incrementando el riesgo de inundaciones. En el contexto social, la disminución de las disponibilidades de agua puede afectar las actividades productivas y la seguridad alimentaria, especialmente en áreas rurales donde la agricultura depende del acceso al agua. Asimismo, es probable que se exacerben las tensiones y conflictos por el acceso al agua, y puede repercutir en la migración forzada de comunidades debido a la escasez de este recurso vital, (Instituto del Agua, s.f.).

En cuanto a las variables sociales, se dice que “Cuando el agua escasea, está contaminada o las personas tienen un acceso desigual o nulo, pueden aumentar las tensiones entre comunidades y países. Más de 3,000 millones de individuos en todo el mundo dependen de la que atraviesa las fronteras nacionales. Sin embargo, sólo 24 países tienen acuerdos de cooperación para todos los recursos hídricos que comparten” (ONU, 2024).

El número de habitantes, la producción de alimentos y el producto interno bruto que se genera en estas regiones del planeta nos anticipa el tamaño de los potenciales impactos económico y ambiental que se producirán como resultado de la acción combinada de estrés hídrico y reducción del almacenamiento (IMTA, 2022).

2.16 Crecimiento económico

Teorías de crecimiento económico

El modelo de Harrod-Domar, que tiene un claro enfoque keynesiano, busca la dinamización de la macroeconomía. Este modelo resalta la importancia del ahorro y la inversión como canalizadores de un crecimiento sostenible de la economía. Si el equilibrio entre ambos no se produjera, el Estado debe intervenir complementando la inversión privada para prevenir el desempleo (Núñez, 2020).

El modelo de Solow, en su trabajo original, Solow (1979) plantea una función de producción con rendimientos constantes a escala, o bien, homogénea de grado uno. El supuesto es fundamental, ya que la mayoría de los libros de texto lo utilizan para expresar la dinámica del capital en términos per cápita. Aunque existen variantes del modelo en los que se incluyen el cambio tecnológico, el capital humano y el capital natural; el análisis no se modifica de manera drástica, (Ibarra, 2013).

El modelo de Ramsey o modelo CKR es un modelo de crecimiento exógeno dónde la tasa de ahorro se determina a través de un proceso de elección racional. Por un lado, los hogares (consumidores) son propietarios de trabajo y ciertos activos financieros; por otro lado, las empresas (productores) compran trabajo a cambio de salario y compran capital a una tasa de interés. Finalmente, los consumidores y productores se encuentran en el mercado y los precios del capital, el trabajo y el producto hace que los mercados se equilibren, (Padilla, 2020).

La falta de agua puede afectar el crecimiento económico de un municipio de varias maneras. Por un lado, la sobreexplotación de los mantos acuíferos y la contaminación pueden dificultar el acceso y la calidad del agua. Por otro lado, la dependencia de la industria y el comercio de agua puede limitar el desarrollo

económico y social. La falta de agua es un factor crítico para el crecimiento sostenible de cualquier comunidad o país (IMTA, 2022).

El agua es un factor clave para el crecimiento económico. El deterioro de la calidad del agua frena ese crecimiento, empeora las condiciones de salud, reduce la producción de alimentos y exacerba la pobreza en muchos países, (Banco Mundial, 2019).

2.17 Desarrollo económico

El desarrollo económico es un concepto que se refiere a la capacidad de un país para generar riqueza. Esta riqueza no solo se mide en términos de dinero, sino también en cómo mejora la calidad de vida de las personas que viven en ese país, (Roldan, 2024).

El aumento cualitativo de los países o regiones en el mejoramiento de las condiciones sociales, sucede cuando se crean los medios necesarios a fin de promover y mantener la prosperidad de sus habitantes (ONU, 2015).

La teoría de la modernización sostiene que el desarrollo es un proceso sistemático, evolutivo, progresivo, transformador, homogeneizador y de “americanización” inminente. La teoría de la modernización sostiene que el desarrollo social y político de los pueblos ocurre en el cambio de racionalidad de una sociedad basada en los afectos a una sociedad basada en los logros individuales. Esta teoría identificó etapas evolutivas de desarrollo de los pueblos (Silva, 2008).

Teoría de la dependencia esta teoría se centraba en la creencia de que los países ricos coexistían con los pobres en un mismo sistema mundial de desarrollo y subdesarrollo. El desarrollo y el subdesarrollo se visualizaban como dos caras de la misma moneda y se consideraba que los países ricos se encontraban al centro de este sistema mundial que les beneficiaba económicamente mientras perpetuaba la condición de pobreza y miseria en los países pobres de la periferia, (CEPAL, s.f.).

La teoría de sistemas mundiales se centra en el estudio del sistema social y sus interrelaciones con el avance del capitalismo mundial como fuerzas determinantes entre los diferentes países, incluyendo a los pequeños, (Silvia, 2008).

La Teoría del Neoinstitucionalismo Económico (NE), presenta una discusión crítica a las tendencias neoclásicas de la economía, conocer dichas críticas y el desarrollo teórico propio permite identificar el grado de avance que ha tenido la ciencia económica y su acercamiento a otras disciplinas de las ciencias sociales, (Pérez, 2020).

El concepto de globalización es ambiguo y sólo trata de expresar las evidencias empíricas. El concepto de globalización comenzó a emplearse con fines académicos a mediados de los años ochenta. En todo caso este concepto de globalización debe revisarse desde sus fundamentos, los contenidos y como procesos que caracterizan al desarrollo del capitalismo mundial y sociedades contemporáneas (Rojas, 2000).

2.18 Hundimiento de la Ciudad de México

Los científicos concuerdan en que la extracción de agua subterránea es un factor que contribuye a esta subsidencia, aunque los cálculos de la tasa de extracción varían. Los autores de un nuevo estudio publicado en la revista *Geophysical Research Letters* utilizaron información satelital para ajustar estos cálculos. Concluyeron que de 1 a 13 kilómetros cúbicos (0.2 a 3 millas cúbicas) de agua subterránea se han extraído anualmente desde el 2014, para abastecer a 22 millones de residentes del Valle de la Ciudad de México. (Para referencia, eso es suficiente agua para llenar 5 millones de albercas olímpicas). La cuenca del Valle de la Ciudad de México es como una esponja mojada. Está compuesta por flujos y cenizas volcánicas, arcillas y arenas. El agua subterránea fluye a través de los poros existentes entre estos sedimentos. Aunque su extracción ha provocado que la superficie se hunda alrededor de 35 centímetros (14 pulgadas) al año, esta subsidencia no es uniforme, según otros autores (Basilio, 2023).

2.19 Sistema Cutzamala

El sistema Cutzamala es una de las fuentes de abastecimiento de agua potable más grande del país, ya que aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, que provienen de las presas Tuxpan y El Bosque, en el estado de Michoacán, y Colorines, Ixtapan del Oro, Villa Victoria, Valle de Bravo, y Chilesdo en el Estado de México. Debido a la sobreexplotación de las cuencas de los valles de México y Toluca-Ixtlahuaca, se hizo necesario captar el agua de cuencas externas diferentes a la del Alto Lerma, que, desde la década de 1950, ya presentaba signos de sobreexplotación, por lo que, en 1982, el Sistema Cutzamala inicia su operación (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, [IMTA], 2021).

Tabla 4. Presas que integran el Sistema Cutzamala

Almacenamiento	Derivadoras
Tuxpan	El Bosque
Ixtapan del Oro	Valle de Bravo
Colorines	Villa Victoria
	Chilesdo

Fuente: Elaboración propia con datos del IMTA, 2021.

El Sistema Cutzamala es un sistema hídrico con 39 años de funcionamiento, infraestructura para el almacenamiento, conducción, potabilización y distribución de agua potable para la población e industria de la Ciudad de México y el Estado de México, de este último las ubicadas en las zonas centrales de la cuenca de México y el valle de Toluca. Este sistema se extiende por las entidades de Michoacán, el Estado de México y la Ciudad de México. El Sistema Cutzamala aporta el 26.0% del agua potable que se consume en el valle de México. El crecimiento de la población en la zona metropolitana de la Ciudad de México y del valle de Toluca, la consecuente demanda de agua potable y la falta de fuentes alternas de suministro de agua a incorporar en el corto plazo son las causas que motivan mantener operando en condiciones adecuadas esta infraestructura, para evitar conflictos

sociales y garantizar un abastecimiento continuo en cantidad y calidad (Santos *et al.*, 2021).

2.20 Sobreexplotación en los acuíferos del Estado de México

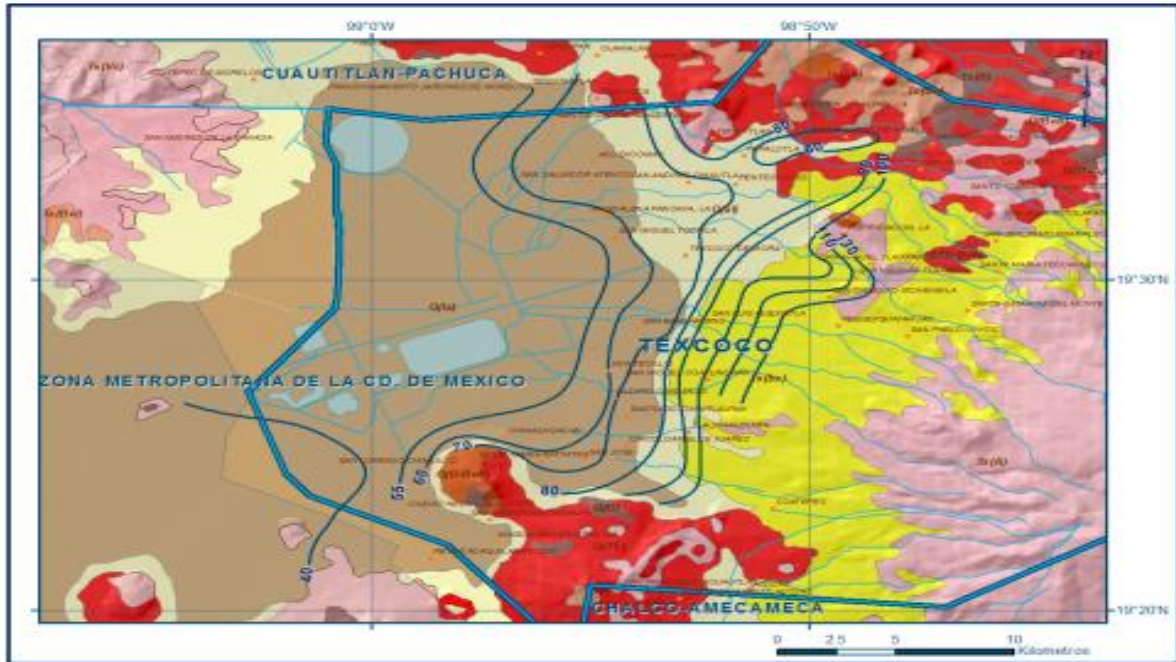
El incremento poblacional que se vio en el Valle de México a lo largo de seis décadas, donde dos millones de habitantes se convirtieron en 20 millones representa un reto descomunal en materia de infraestructura hidráulica, ya que además de las inundaciones se presenta el problema del abastecimiento de agua de buena calidad en la metrópoli. El agua que se extrae de los acuíferos locales en el Valle de México llegó al límite por la sobreexplotación. La demanda del agua ha creado un círculo vicioso en el que se extrae el recurso sin contemplar el tiempo necesario para recuperar o devolver el agua extraída. Es importante, para mejorar la seguridad hídrica, diseñar nuevos esquemas de regulación del agua subterránea que permitan la recuperación natural de los acuíferos para evitar o reducir la sobreexplotación. Por lo anterior es necesario considerar las concesiones que existen para la construcción de megaproyectos, así como la extracción de agua realizada por empresas embotelladoras y cerveceras (Pastrana y González, 2022).

En la actualidad, no se le ha dado la suficiente importancia, ya que, “el agua subterránea, a pesar de ser el centro de la dependencia hídrica de México, no es un tema central de la agenda legislativa ni gubernamental” (Pacheco, 2014).

2.21 Comportamiento hidráulico, profundidad al nivel estático del acuífero

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2009 presenta valores que varían de 40 a 130 m. Los valores más someros se registran en la porción suroccidental del acuífero, en las inmediaciones del lago Nabor Carrillo, desde donde se incrementan gradualmente, por efecto de la topografía, hacia el norte y este en donde se localizan las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero (CONAGUA, 2024).

Mapa 2. Profundidad al nivel estático en metros, 2011



Fuente: Tomado de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2024.

Como se ve en el mapa 2 los valores más profundos se presentan en la porción este del acuífero, hacia las estribaciones del volcán Tláloc, en la base de la Sierra Quetzaltepec, desde la comunidad San Miguel Tlaixpán hasta San Miguel Coatlinchán.

2.22 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales (CONAGUA, 2020).

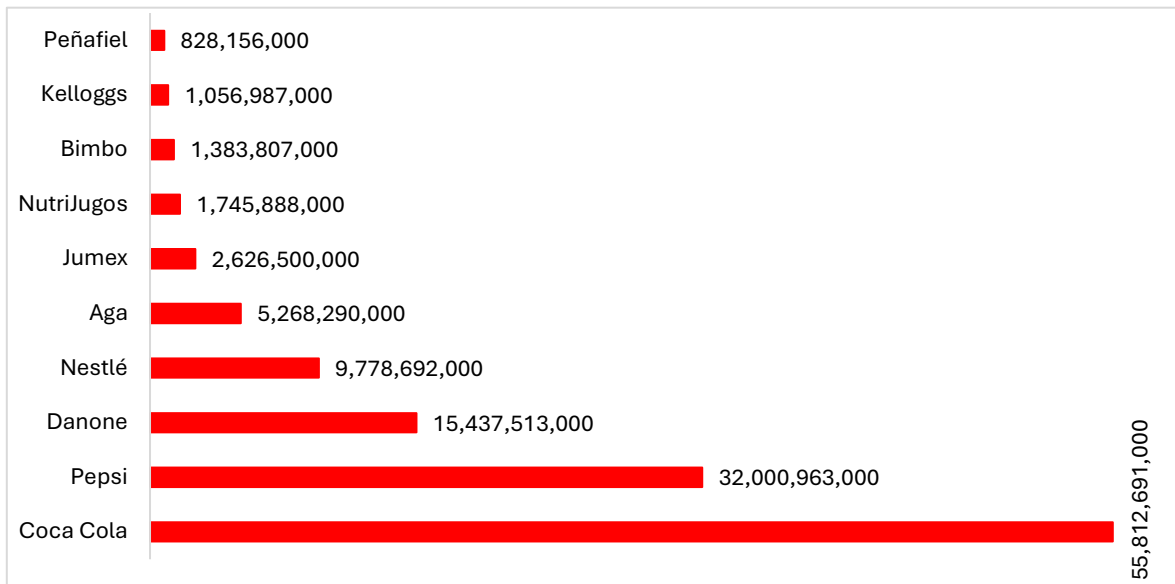
2.23 Recarga Inducida

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, sino que se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40% del volumen usado en la irrigación. Debido a la falta de información de láminas de riego por cultivo, el volumen del agua que retorna al acuífero ya sea en forma de retornos de riego y de infiltración de las fugas en las redes de agua potable y alcantarillado, se estimó al considerar un coeficiente de infiltración de 2% para el subsuelo constituido principalmente por las arcillas que conforman el acuitardo (CONAGUA, 2020).

2.24 Empresas

De acuerdo con Velázquez (2021) “México: un país con sed, donde sobra el agua para la industria de las bebidas chatarra”, elaborado por el Laboratorio de Periodismo y Opinión Pública. Se menciona una de tantas razones por la cual se sobreexplotan los acuíferos, una de ellas, empresas de productos chatarra, como son: “Coca-Cola, Pepsi, Danone, Nestlé, Bimbo, Aga, etc., extraen anualmente 133 mil millones de litros de agua para producir comida y bebida que no sólo afectan la salud de los consumidores, sino que además provocan serios daños ambientales en México. Pero esta cifra podría ser superior debido a que la Comisión Nacional del Agua no suele supervisar de manera rigurosa la extracción incumpliendo con su capacidad fiscalizadora, según han denunciado activistas y expertos del tema. La producción de refrescos tiene un impacto ambiental muy alto. Coca-Cola Holanda reveló en un informe que se necesitan 35.4 litros de agua para producir medio litro de refresco; 28.0 litros se utilizan para cultivar betabel para endulzar, siete litros para fabricar la botella de plástico y 0.4 litros de “agua operativa”, que es la que se utiliza en las plantas de embotellada.

Gráfica 1. Volumen de agua extraída por empresa, 2021 (Litros)



Fuente: Elaborada con datos de CONAGUA, 2021.

De la gráfica 1, muestra que Coca Cola ocupa el primer lugar, ya que extrae 55,812,691,000 de litros de agua, en segundo lugar, Pepsi, después Danone, Nestlé, Aga, Nutrijugos, Bimbo, Kelloggs y Peñafiel. Siendo éstas las empresas refresqueras y de chatarra más grandes en México, pero también al mismo tiempo las que más extraen agua en el país.

La industria de refrescos y agua embotellada es usuaria intensiva de agua subterránea; está integrada por 13 empresas gigantes que sobreexplotan tres acuíferos en estado de estrés absoluto, al mismo tiempo que obtienen beneficios extraordinarios con el agua subterránea extraída, pagando un costo mínimo de derechos al gobierno que no compensa en nada los impactos ambientales causados. Ese fenómeno es causa de estrés hídrico en contenedores naturales, en tanto que 16 firmas gigantes obtienen beneficios extraordinarios al usar un producto por el que pagan un costo mínimo al gobierno que no compensa los impactos medioambientales causados (Rodríguez, 2018).

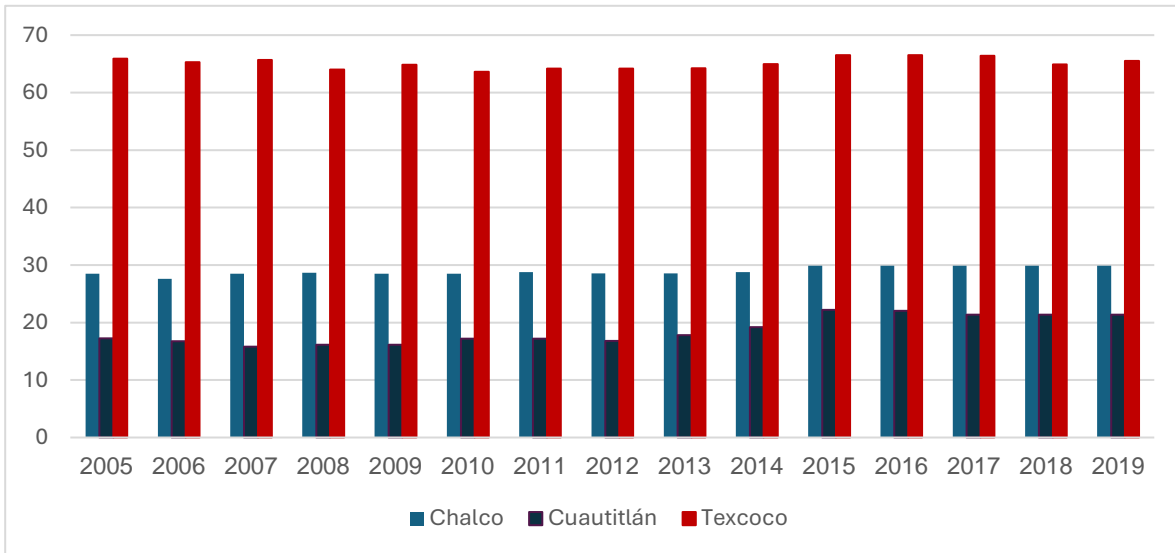
2.25 Fugas de agua en la Ciudad de México

La falta de lluvia y la sequía severa no son los únicos problemas para abastecer de agua a la Ciudad de México, pues datos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, indican que alrededor del 33% del agua que se desperdicia es en fugas. Apenas en mayo de 2023, ese organismo reportó que cada segundo se pierde 13.5 metros cúbicos de agua en la capital del país, es decir, 13,500 litros debido al envejecimiento de la infraestructura hidráulica. Sacmex en respuesta a una solicitud de información, indicó que en el 2019 se rehabilitaron 95,950 metros de líneas primarias y secundarias, pero para el 2022, la cifra cayó a 27,750 metros (La Prensa, s.f.).

2.26 Volúmenes concesionados para acuíferos del Estado de México

De acuerdo con nuestra Constitución, el agua que se encuentra en el territorio (incluyendo ríos, lagos y acuíferos) es propiedad de la Nación. Por lo anterior, el uso y aprovechamiento de agua está regulado y, en general, es necesario contar con un título de concesión expedido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para explotar aguas nacionales. Si bien el acceso al agua es un derecho humano, este recurso se ha vuelto cada vez más escaso. Además, en el año 2022, México padeció sequías que comprometieron el acceso al agua. Por ello, CONAGUA ha priorizado la verificación del cumplimiento de los títulos de concesión otorgados para usar agua en actividades industriales, agrícolas o con otro fin económico, a fin de suspender o revocar aquellos títulos con incumplimientos. Asimismo, durante 2022 fue más común que CONAGUA caducara volúmenes de agua concesionada que no se estuvieran utilizando. Estas acciones con el fin de asegurar el suministro de agua para consumo humano (Santamarina y Steta, 2023).

Gráfica 2. Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento de Acuíferos del Estado de México (Hectómetros cúbicos)

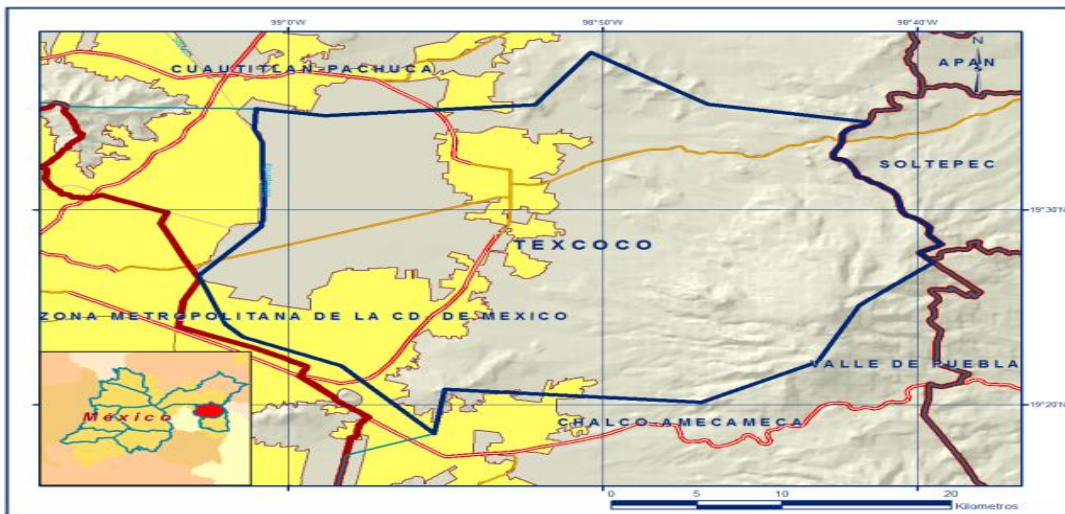


Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2020.

En la gráfica 2, se muestran los municipios de Chalco, Cuautitlán y Texcoco, donde Texcoco es el principal municipio del Estado de México que extrae más agua concesionada a comparación de los otros municipios.

2.27 Ubicación y extensión territorial del Acuífero en Texcoco

Mapa 3. Localización del Acuífero



Fuente: Tomado del Diario Oficial de la Federación, [DOF], 2020.

El acuífero Texcoco, definido con la clave 1507 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea de la CONAGUA, se ubica en la porción centro oriental del Estado de México; geográficamente se localiza entre los paralelos 19° 18' y 19° 38' de latitud norte y los meridianos 98° 39' y 99° 03' de longitud oeste abarcando una superficie de 934 km² (Mapa 3).

Los límites del acuífero Texcoco, están definidos por los vértices de la poligonal simplificada cuyas coordenadas geográficas se presentan a continuación y corresponden a las incluidas en el "ACUERDO por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009 (DOF, 2019).

2.28 Población y desarrollo socioeconómico de la región vinculados con el recurso hídrico

Tabla 5. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero de Texcoco

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	grad os	Minut os	segund os	grad os	minut os	segund os	
1	98	39	39.3	19	27	27.6	DEL 1 AL 2 POR EL LÍMITE ESTATAL
2	98	39	30.5	19	27	18	
3	98	41	51.6	19	25	6.9	
4	98	43	11	19	22	11.6	
5	98	46	52.6	19	20	6.7	
6	98	55	1	19	20	46.4	
7	98	55	21.5	19	18	29.8	
8	98	58	17.4	19	21	59	
9	99	1	25.4	19	23	28.2	

10	99	1	59	19	24	8.4	
11	99	2	50	19	26	37.3	
12	99	0	50.2	19	29	9.4	DEL 12 AL 13 POR EL LÍMITE MUNICIPAL
13	99	0	48.6	19	33	27.9	
14	99	1	4.5	19	34	8.8	
15	99	1	0.7	19	35	11.6	
16	98	58	48.8	19	34	50.6	
17	98	52	9.8	19	35	24.2	
18	98	50	23.5	19	38	4.7	
19	98	46	41.1	19	35	25.6	
20	98	41	35.1	19	34	30.4	DEL 20 AL 1 POR EL LÍMITE ESTATAL
1	98	39	39.3	19	27	27.6	

Fuente: Elaborada con DOF, 2019.

En la tabla 5, se puede mencionar que geopolíticamente, la superficie del acuífero comprende totalmente los municipios Chicoloapan, Chimalhuacán, Chiconcuac, Papalotla y Texcoco; casi la totalidad de Atenco, Chiautla, Ixtapaluca, Nezahualcóyotl, La Paz y Tepetlaoxtoc; así como pequeñas porciones de los municipios Acolman, Ecatepec de Morelos y Tezoyuca. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas.

Tabla 6. Distribución de la población dentro de los límites del acuífero Texcoco por Municipio (Número de habitantes)

Clave	Municipio	Conteo 2005	Censo 2010	Conteo 2015	Censo 2020
15058	Nezahualcóyotl	1,140,528	1,110,565	1,039,867	1,077,208
15031	Chimalhuacán	525,389	614,453	679,811	705,193
15099	Texcoco	209,308	235,151	240,749	277,562
15029	Chicoloapan	170,035	175,053	204,107	200,750

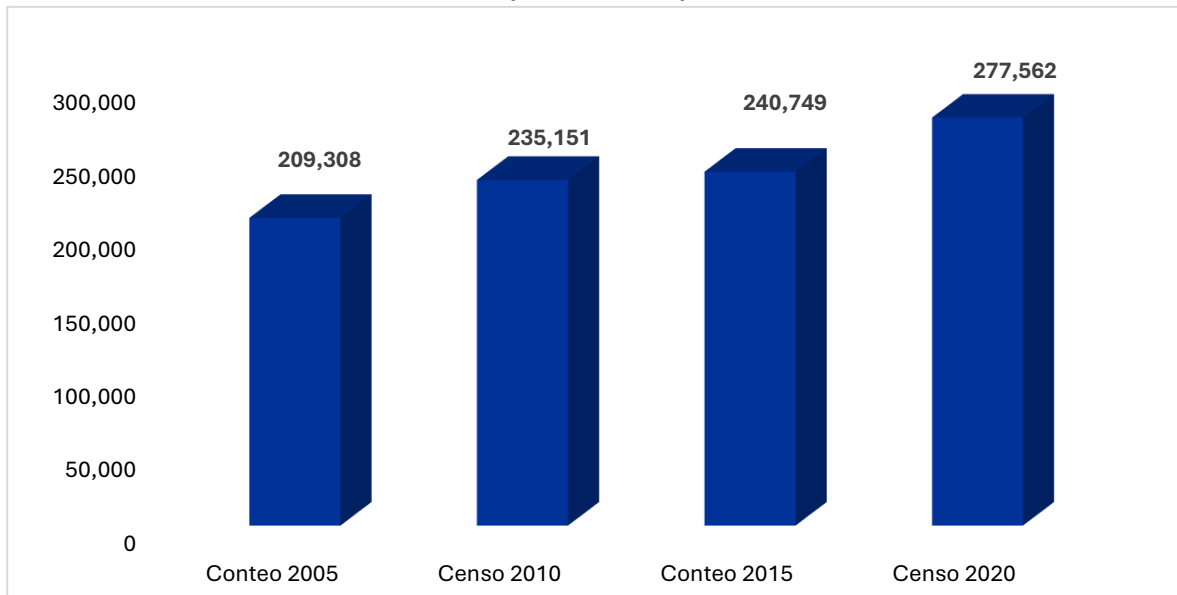
15070	La Paz	232,546	253,845	293,725	304,088
15039	Ixtapaluca	429,033	467,361	495,563	542,221
15011	Atenco	42,739	56,243	62,392	75,489
15093	Tepetlaoxtoc	25,523	27,944	30,680	32,564
15030	Chiconcuac	19,656	22,819	25,543	27,692
15028	Chiautla	22,664	26,191	29,159	30,045
15069	Papalotla	3,766	4,147	3,963	4,862
Total		2,821,187	2,993,772	3,105,559	3,277,674

Fuente: Tomada del INEGI, 2020.

En la tabla 6, se presenta la distribución de la población que habita en los municipios comprendidos dentro de los límites del acuífero Texcoco, para mostrar la evolución y distribución de la población a través del tiempo, caracterizada por un importante incremento, debido a que estos municipios del Estado de México se localizan a la zona conurbada de la Ciudad de México, con un acelerado crecimiento (INEGI, 2020). Los municipios más poblados son Nezahualcóyotl con 1,077,208, Chimalhuacán con 705,193 y Texcoco con 277,562 habitantes.

El desarrollo histórico y económico del Valle de México ha ejercido un papel trascendental en el país, debido a su alto desarrollo industrial y poblacional, creando al mismo tiempo una demanda de agua significativa en las diversas zonas de la Cuenca de México, lo que ha ocasionado, de forma continua en las últimas tres décadas, un incremento del número de captaciones de agua subterránea, con el consecuente aumento en los volúmenes de extracción y el desequilibrio del sistema hidrológico natural (DOF, 2019).

**Gráfica 3. Evolución de la población en el municipio de Texcoco
(Habitantes)**



Fuente: Elaborado con datos del INEGI, 2021.

En la gráfica 3, se puede distinguir el crecimiento poblacional del municipio de Texcoco, para 2005 con 209,308, para 2010 de 235,15, para 2015 había 240,749 y para 2020 la población llegó a 277,562 habitantes.

Tabla 7. Disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos que forman parte de la región XIII hidrológico-administrativa

Clave	Acuífero	R	DNC	VEAS				DMA	
				VCAS	VEALA	VAPTYR	VAPRH	POSITIVA	NEGATIVA (DÉFICIT)
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES									
1507	TEXCOCO	145.1	10.4	246.565949	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-111.865949

Fuente: Elaborada con datos del DOF, 2019.

De acuerdo con la definición de Descarga Natural Comprometida de la Comisión Nacional del Agua, descrita en la NOM-011-CONAGUA-2015, se define como R: recarga total media anual; DNC: descarga natural comprometida; VEAS: volumen

de extracción de aguas subterráneas; VCAS: volumen concesionado/asignado de aguas subterráneas; VEALA: volumen de extracción de agua en las zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento y los inscritos en el Registro Nacional Permanente; VAPTYR: volumen de extracción de agua pendiente de titulación y/o registro en el REPDA; VAPRH: volumen de agua correspondiente a reservas, reglamentos y programación hídrica; DMA: disponibilidad media anual de agua del subsuelo (Tabla 6).

Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" (fracciones 3.10, 3.12, 3.18 y 3.25), y "4" (fracción 4.3), de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015. Esta cifra indica que no existe volumen disponible para otorgar concesiones o asignaciones en el acuífero Texcoco, clave 1507. El volumen máximo que puede extraerse de este acuífero para mantenerlo en condiciones sustentables es de 134.7 millones de metros cúbicos anuales, que corresponde al volumen de recarga media anual que recibe el acuífero, menos la descarga natural comprometida, mismo que ha sido rebasado por la extracción desde hace varias décadas (DOF, 2019).

Tabla 8. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento 2005-2019
(hectómetros cúbicos)

Año	Consuntivo			Total agropecuario
	Agrícola	pecuario	Múltiples	
2005	32.28	0.26	22.89	55.43
2006	32.47	0.21	22.71	55.39
2007	32.64	0.21	22.71	55.57
2008	32.45	0.21	21.07	53.73
2009	32.89	0.26	21.12	54.27
2010	31.42	0.26	21.18	52.86
2011	32.00	0.26	21.18	53.45
2012	31.55	0.26	21.25	53.05

2013	31.55	0.26	21.30	53.11
2014	32.15	0.26	21.40	53.82
2015	32.04	0.26	23.02	55.33
2016	32.04	0.26	23.02	55.33
2017	31.98	0.26	23.02	55.26
2018	30.65	0.26	22.80	53.71
2019	30.46	0.26	23.62	54.35
PROMEDIOS:	31.90	0.25	22.15	54.31

Fuente: Tomado de CONAGUA, 2020.

El sector agropecuario del periodo, 2005-2019 como se puede observar en la tabla 8, que en promedio ha sido de 54.31 hectómetros cúbicos, de la extracción subterránea del acuífero de Texcoco (Fuente).

Tabla 9. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento, 2005-2019

(hectómetros cúbicos)

Año	Abastecimiento público		
	Público urbano	Doméstico	Total abastecimiento publico
2005	9.24	0.11	9.36
2006	9.24	0.02	9.26
2007	9.41	0.02	9.43
2008	9.41	0.02	9.43
2009	9.41	0.02	9.43
2010	9.42	0.02	9.44
2011	9.42	0.02	9.44
2012	9.42	0.17	9.59
2013	9.42	0.17	9.59
2014	9.42	0.17	9.59
2015	9.42	0.17	9.59

2016	9.42	0.17	9.59
2017	9.42	0.17	9.59
2018	9.42	0.17	9.59
2019	9.42	0.17	9.59
PROMEDIOS:	9.39	0.11	9.50

Fuente: Tomado de CONAGUA, 2020.

El abastecimiento público del periodo, 2005-2019 como se puede observar en la tabla 9, que en promedio ha sido de 9.5 hectómetros, de la extracción subterránea del acuífero de Texcoco (Fuente).

Tabla 10. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento 2005-2019

(hectómetros cúbicos)

	Industria autoabastecida y Servicios		
Año	Industria	Servicios	Total, industrias y servicios
2005	0.98	0.15	1.12
2006	0.64	0.03	0.66
2007	0.66	0.03	0.69
2008	0.79	0.05	0.84
2009	1.12	0.05	1.17
2010	1.24	0.06	1.31
2011	1.24	0.06	1.31
2012	1.24	0.32	1.56
2013	1.24	0.32	1.56
2014	1.24	0.32	1.56
2015	1.15	0.42	1.57
2016	1.15	0.42	1.57

2017	1.15	0.42	1.57
2018	1.17	0.42	1.59
2019	1.17	0.42	1.59
PROMEDIOS:	1.08	0.23	1.31

Fuente: Tomado de CONAGUA, 2020.

El sector industria del periodo, 2005-2019 como se puede observar en la tabla 10, que en promedio ha sido de 1.31 hectómetros, de la extracción subterránea del acuífero de Texcoco (Fuente).

Tabla 11. México: Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento 2005-2019
(*hectómetros cúbicos*)

Año	Extracción total de Texcoco (m3/año)
2005	65.91
2006	65.31
2007	65.69
2008	64.00
2009	64.87
2010	63.61
2011	64.20
2012	64.20
2013	64.26
2014	64.97
2015	66.49
2016	66.49
2017	66.42
2018	64.89
2019	65.53

PROMEDIOS:	65.12
------------	-------

Fuente: Tomado de CONAGUA, 2020.

Por lo tanto, durante el periodo, 2005-2019 como se puede observar en la tabla 11, que en promedio ha sido de 65.12 hectómetros cúbicos, de la extracción total de agua subterránea del acuífero de Texcoco (Fuente).

2.29 Plan de Desarrollo del Municipio de Texcoco

El municipio de Texcoco ha tomado el siguiente plan en cuanto a la preservación del acuífero, destaca las siguientes estrategias:

- La reglamentación para obligar a aquellos proyectos donde se tienen grandes áreas de captación (techos y patio de maniobras) incorporar proyectos de recarga de agua de lluvia a los mantos acuíferos, cumpliendo con la normativa correspondiente.
- Diseño e implementación del programa de captación de agua de lluvia para las localidades que no tienen acceso al agua potable.
- Continuar con construcción de pozos de infiltración para aumentar la recarga del acuífero con agua de lluvia, (Gobierno Municipal de Texcoco, 2022).

III. MARCO TEÓRICO

La importancia del marco teórico radica en que permite realizar el análisis teórico del problema en la investigación. Un compendio escrito de artículos, libros y otros documentos que describen el estado pasado y actual del conocimiento sobre el problema de estudio. Ayuda a documentar cómo la investigación agrega valor a la literatura existente (Sampieri, 2008).

3.1 Clima

De acuerdo con la clasificación climatológica de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, se observa que en la superficie cubierta por el acuífero predomina el clima BS1 kw(w) (i') seco templado o árido templado con verano cálido, con régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 % anual, con poca oscilación anual entre las temperaturas medias mensuales, entre 5°C y 7°C. En las estribaciones de las sierras de mayor altitud se presenta el clima semifrío subhúmedo, con lluvias en verano, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, porcentaje de lluvias invernales menor de 5.0 %. En la parte más alta del Monte Tláloc el clima es frío, con temperatura media anual entre -2°C y 5°C e invierno muy marcado (CONAGUA, 2020).

3.2 Hidrografía

La denominada Cuenca de México, en forma natural es de tipo endorreica; sin embargo, se encuentra abierta en forma artificial hacia el norte. Está circundada por montañas de diversas altitudes y la planicie se encuentra cubierta en diferentes partes por depósitos lacustres, producto de lagos que existieron al final de la época glacial. En el Cuaternario Superior, al cerrarse la cuenca, las aguas pluviales y fluviales descargaron en una serie de lagos que se comunicaban entre sí, el Lago de Chalco era el más meridional, en seguida el Lago de Xochimilco, el gran Lago de Texcoco, el Lago Xaltocan y el de Zumpango, en el extremo norte. Este conjunto

de lagos, actualmente desecados, en época de lluvias llegan a amenazar con recuperar su espacio a través de inundaciones, así como en otras áreas de la cuenca, a pesar de encontrarse drenados artificialmente, por medio del Gran Canal, el Drenaje Profundo y próximamente por el Túnel Emisor Oriente (en construcción). (DOF, 2019).

3.3 Hidrología

El rasgo hidrológico más importante es el sistema de lagos que conforman el Proyecto Lago de Texcoco, el cual recibe aguas residuales provenientes de Chimalhuacán, Ciudad Nezahualcóyotl y Ecatepec; las entradas procedentes de las sierras del oriente, además de los ríos La Compañía y Churubusco, cuyos escurrimientos son medidos en varias estaciones hidrométricas, entre las cuales destacan La Draga, Tepexpan, La Grande, Los Reyes y Puente La Llave. El primer río que confluye (de norte a sur) al lago de Texcoco, es el Río San Juan Teotihuacán, el cual atraviesa el municipio de Acolman, cuyos escurrimientos se miden en la estación hidrométrica Tepexpan. Otro río es el Papalotla, cuyos escurrimientos son medidos en la estación La Grande, en el municipio de Texcoco. Más adelante, confluye el Río Xalapango, cuyo caudal es medido en la estación Atenco (CONAGUA, 2020).

3.4 Hidrogeología

La hidrogeología o hidrología subterránea es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, así como su movimiento y características físicas, químicas y biológicas. Entre otros ámbitos, también estudia las formas de yacimiento, difusión, movimiento, régimen y reservas, interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. También, desde el ámbito de la hidrogeología, se estudia el funcionamiento de los acuíferos al paso de las aguas subterráneas (Valdivielso, 2021).

3.5 Tipo de acuífero

El tipo de acuífero Texcoco se considera semiconfinado debido a que se encuentra un acuitardo formado por material arcilloso con espesor superior a 60 metros en la parte central del lago de Texcoco y dicho espesor se adelgaza hacia las estribaciones de las sierras que limitan dicho acuífero (CONAGUA, 2015).

3.6 Balance de aguas subterráneas

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2006-2011, en una superficie de 700 km², que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo con la ley de la conservación de masa es la siguiente (CONAGUA, 2020):

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de masa} \quad (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento (CONAGUA, 2020):

$$\text{Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento} \quad (2)$$

3.7 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo horizontal (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de

distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri) (CONAGUA, 2020).

3.8 Salidas

La descarga total del acuífero ocurre principalmente mediante la extracción por bombeo (B) y de manera natural a través de la descarga de los manantiales (Dm). No existen salidas subterráneas (Sh), descarga por flujo base (Dfb) ni por evapotranspiración (ETR) (CONAGUA, 2020).

3.9 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se cuenta con información para calcular el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance definida por la expresión (CONAGUA, 2020):

$$Rv + Ri + Eh - B - Dm = \pm \Delta V(S) \quad (3)$$

Donde: Rv= Recarga vertical, Ri= Recarga inducida, Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal, B: Bombeo, Dm: Descarga a través de manantiales, $\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento: De esta manera, despejando la recarga vertical (CONAGUA, 2020):

$$Rv = B + Dm - Ri - Eh \pm \Delta V(S) \quad (4)$$

3.10 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

3.11 Disponibilidad

La disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero Texcoco, clave 1507, se determinó conforme al método establecido en la "NORMA Oficial Mexicana

NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de marzo de 2015, aplicando la expresión:

$$\begin{array}{r} \text{Disponibilidad med} \\ \text{ia} \\ \text{anual de agua del} \\ \text{subsuelo en un} \\ \text{acuífero} \end{array} = \begin{array}{r} \text{Recarga} \\ \text{total medi} \\ \text{a} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Descarga natur} \\ \text{al} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Volumen de extracci} \\ \text{ón de} \\ \text{aguas subterráneas} \end{array}$$

(5)

3.12 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero Texcoco, en el Estado de México, no existe una descarga natural comprometida. Para este caso, el valor de la descarga natural comprometida es de 10.4 hm³ anuales, que corresponden a la descarga a través de los manantiales (CONAGUA, 2020).

3.13 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la

suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero. Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de 245,723,122 m³ anuales, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del 20 de febrero del 2020 (CONAGUA, 2020).

3.14 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas (CONAGUA, 2020).

3.15 Acuíferos

Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo (DOF, 2004).

3.16 Regiones hidrológico-administrativas (RHA) para la gestión del agua

Como órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de 13 organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las RHA, las cuales están formadas

por agrupaciones de cuencas, consideradas unidades básicas para la gestión de los recursos hídricos (CONAGUA, 2018).

3.17 Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son un componente significativo del ciclo hidrológico, y los acuíferos son una unidad hidrológica importante. En el planeta, las aguas subterráneas representan 98% del agua dulce no congelada. En la naturaleza, las aguas subterráneas son responsables de muchos procesos geológicos y geoquímicos y sostén de varias funciones y servicios ecológicos. Las aguas subterráneas deben integrarse en la dimensión económica, social y ambiental de los recursos hídricos. Muchas personas dependen de las aguas subterráneas como suministro de agua potable y para garantizar la seguridad alimentaria y la vida sustentable. Las aguas subterráneas también pueden tomarse en cuenta como una fuente segura de agua para beber en regiones áridas y semiáridas, así como en islas pequeñas e incluso en situaciones de emergencia (UNESCO, 2021).

3.18 Econometría

En términos literales econometría significa “medición económica”. Sin embargo, si bien es cierto que la medición es una parte importante de la econometría, el alcance de esta disciplina es mucho más amplio (Gujarati y Porter, 2010).

3.19 Modelo econométrico

Es una representación simplificada y en símbolos matemáticos de cierto conjunto de relaciones económicas”, es decir un modelo matemático referido a relaciones económicas (San Pedro, 1959).

3.20 Regresión lineal simple

Se utiliza para predecir el valor de una variable según el valor de otra. La variable que desea predecir se denomina variable dependiente. La variable que está

utilizando para predecir el valor de la otra variable se denomina variable independiente (Granados, 2016).

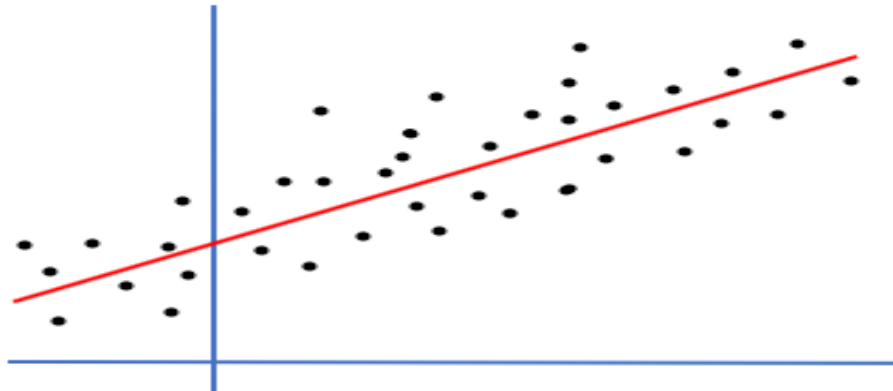
$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad (6)$$

3.21 Regresión lineal múltiple

Trata de ajustar modelos lineales o linealizables entre una variable dependiente y más de unas variables independientes. En este tipo de modelos es importante testar la heterocedasticidad, la multicolinealidad y la especificación (Granados, 2016).

Gráfica 4. Representación de la regresión lineal múltiple

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$



Fuente: Tomada de Dan Nelson, 2020.

En la regresión lineal simple, el valor promedio de una variable dependiente está determinado como una función lineal de una constante y una única variable explicativa. Es importante conocer primero los detalles de la regresión simple para tener una aproximación a la regresión múltiple. La regresión lineal múltiple simplemente incrementa el número de variables explicativas. Se trata entonces de un modelo que pretende relacionar una variable dependiente con un conjunto de variables exógenas. La variable dependiente, también llamada regresando o explicada, se designa generalmente como Y y las variables dependientes, regresores o explicativas, se designan generalmente por (X_1, X_2, \dots, X_k) . La variable Y es entonces función de K factores explicativos (González, s.f.):

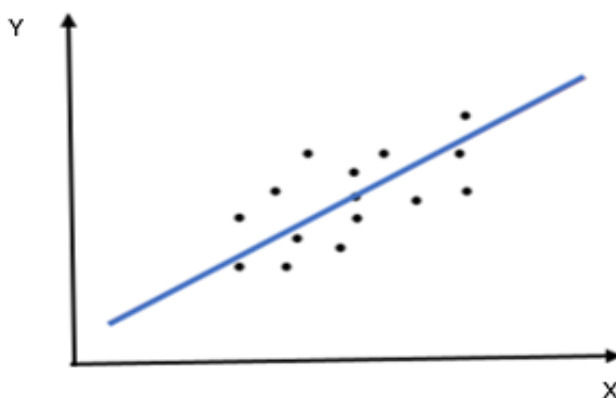
$$Y = f (X_1; X_2 \dots X_k) \quad (7)$$

El número de variables dependientes x varía de acuerdo con la teoría económica y la variable que se desee explicar.

3.22 Método de mínimos cuadrados Ordinarios (MCO)

El método de mínimos cuadrados ordinarios se atribuye a Carl Friedrich Gauss, matemático alemán. A partir de ciertos supuestos el método de mínimos cuadrados presenta propiedades estadísticas muy atractivas que lo han convertido en uno de los más eficaces y populares del análisis de regresión (Gujarati, 2010).

Gráfica 5. Recta de mínimos cuadrados



Fuente: Tomada de Wooldridge, 2008.

Primero se considera la estimación del modelo con dos variables independientes. La ecuación estimada de MCO se escribe de manera similar a la de regresión simple

$$\widehat{Y}_i = \widehat{\beta}_0 + \beta_1 X_1 \quad (8)$$

El método de mínimos cuadrados ordinarios elige las estimaciones que minimizan la suma de los residuales cuadrados. Es decir, dadas n observaciones sobre $y, x_1, y, x_2, \{(x_{i1}, x_{i2}, y_i): i = 1, 2, \dots, n\}$, las estimaciones $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1, y \widehat{\beta}_2$ se eligen de manera simultánea para que sea tan pequeña como sea posible (Gráfica 5).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1 x_{i1} - \widehat{\beta}_2 x_{i2})^2 \quad (9)$$

Para entender lo que hacen los MCO, es importante dominar el significado de los índices de las variables independientes en la ecuación. Aquí las variables independientes tienen dos subíndices, *i* seguido ya sea de un 1 o de un 2. El subíndice *i* se refiere al número de la observación. De manera que la suma en la ecuación corresponde a todas las observaciones, desde *i* = 1 hasta *n*. El segundo índice es un método que sirve para distinguir entre las diferentes variables independientes (Wooldridge, 2010).

3.23 Análisis de varianza

El análisis de la varianza (ANOVA) es uno de los aspectos más interesantes dentro del tema de las pruebas de hipótesis, por el ingenio desplegado en su desarrollo y, quizás, por las variadas formas que puede tomar. (Dagnino, 2014).

Tabla 12. Análisis de Varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F
Entre grupos	GLE= K-1	$SCE = \sum_{ni}(x_1 - x)^2$	CME= SCE/GLE	CME/CMI
Intra grupos	GLI=N-K ó GLT-GLE	$SCI = \sum \sum (x_{1j} - x_i)^2$ ó $SCT - SCE$	CMI= SCI/GLI	
TOTAL	GLT=N-1	$SCT = \sum \sum (x_{1j} - x)^2$		

Fuente: Elaborada con información de Gujarati, 2010.

Fuente de variación: incluyendo el factor examinando, el error y el total.

GL: Los grados de libertad de cada fuente de variación

SC: Suma de cuadrados: la suma de cuadrados de cada fuente de variación, junto con el total de todas las fuentes (ANOVA de un factor, s. f.)

3.24 Estadístico F

Se define como, donde SRC_r , es la suma de residuales cuadrados del modelo restringido y SRC_{nr} es la suma de residuales cuadrados del modelo no restringido.

$$F = \frac{\frac{SRC_r - SRC_{nr}}{Q}}{\frac{SRC_{nr}}{n - k - 1}} \quad (10)$$

SCR: Suma de cuadrados de la regresión, SCE: Suma de cuadrados de los residuos
N: Número total de observaciones en la muestra, K: Grados de libertad (Wooldridge, 2010).

3.25 R cuadrada (R^2)

El coeficiente de correlación elevado al cuadrado es el coeficiente de determinación, R^2 , que mide la cantidad de variación en una variable que es compartida por otra (Vinuesa, 2016).

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\widehat{Y}_t - \bar{Y})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (11)$$

3.26 Pruebas de hipótesis

Una hipótesis es una proposición que puede o no ser verdadera pero que se adopta provisionalmente hasta recabar información que sugiera lo contrario. Si hay inconsistencia, se rechaza la hipótesis. Las pruebas de hipótesis se usan precisamente para evaluar el grado de esa inconsistencia. Evalúan la probabilidad asociada a la hipótesis nula (H_0) de que no hay efecto o diferencia (Dagnino, 2014).

3.27 Multicolinealidad

Es un problema econométrico en el cual una o algunas de las variables regresoras son una expresión lineal de otra variable regresora, lo que quiere decir que una de las variables es irrelevante, dado que no está aportando información adicional al modelo, puesto que tiene información compartida (Iglesias & Fernández, 2022).

3.28 Heterocedasticidad

Representa diferente varianza en los errores o perturbaciones en todas las observaciones. Pese a que es un problema que afecta a los estimadores, es más común de lo que se cree, dado que las observaciones presentan un comportamiento diferente cada uno. La condición de homocedasticidad (igual varianza del error) se representa de la siguiente manera (Iglesias & Fernández, 2022):

$$E(u_i^2) = \sigma^2 \quad (12)$$

Lo que nos indica esta ecuación es que, dados los errores, sea $U_1, U_2 \dots U_i$ (ligados a sus respectivas observaciones), la varianza va a ser constante e igual a σ^2 . Por su parte, la determinación de heterocedasticidad implica que:

$$E(u_i^2) = \sigma_i^2 \quad (13)$$

El subíndice de σ^2 , indica que las varianzas condicionales de u_i (= varianza condicional de Y_i) no continúan siendo constantes. Ante esto, existen múltiples causas por las cuales se explica la variación en las varianzas. Sólo se mencionarán las causas que se consideran más básicas (Iglesias & Fernández, 2022).

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

En la zona que cubre el acuífero se han realizado algunos estudios de análisis de evaluación, balance hídrico, entre los más recientes e importantes, se mencionan los siguientes, de acuerdo con sus objetivos y resultados obtenidos:

4.1 Estudios recientes del Acuífero de Texcoco

Estimación espacio temporal de la recarga de agua subterránea mediante métodos de balance hídrico. Acuífero Texcoco, Estado de México. El objetivo de este trabajo consistió en estimar la recarga de agua subterránea mediante métodos de balance hídrico en el Acuífero de Texcoco, Estado de México considerando las variaciones espacio - temporal, para disminuir la incertidumbre en los resultados y consecuentemente facilitar el manejo sustentable del acuífero. Sin embargo, como resultado se presentó una limitante debido a la falta de información y ausencia de pozos de observación en la porción oeste del acuífero en los límites administrativos con el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Zaragoza, 2021).

La prioridad fue cuantificar la demanda de agua en el sector doméstico y comercial y las variables que la determinan, ante la problemática de sobreexplotación de los mantos acuíferos de Texcoco. Unos de sus más importantes resultados sugieren que el acceso al agua está delimitado por el ingreso, pues comercios con mayor ingreso tienen mayor oportunidad de acceso al recurso. Análogamente, la electricidad resultó un bien complementario en el consumo de agua, con elasticidades de -0.055 y -0.25 para uso doméstico y comercial respectivamente, variables con influencia menos significativas en la demanda (Gómez, et. al, 2012).

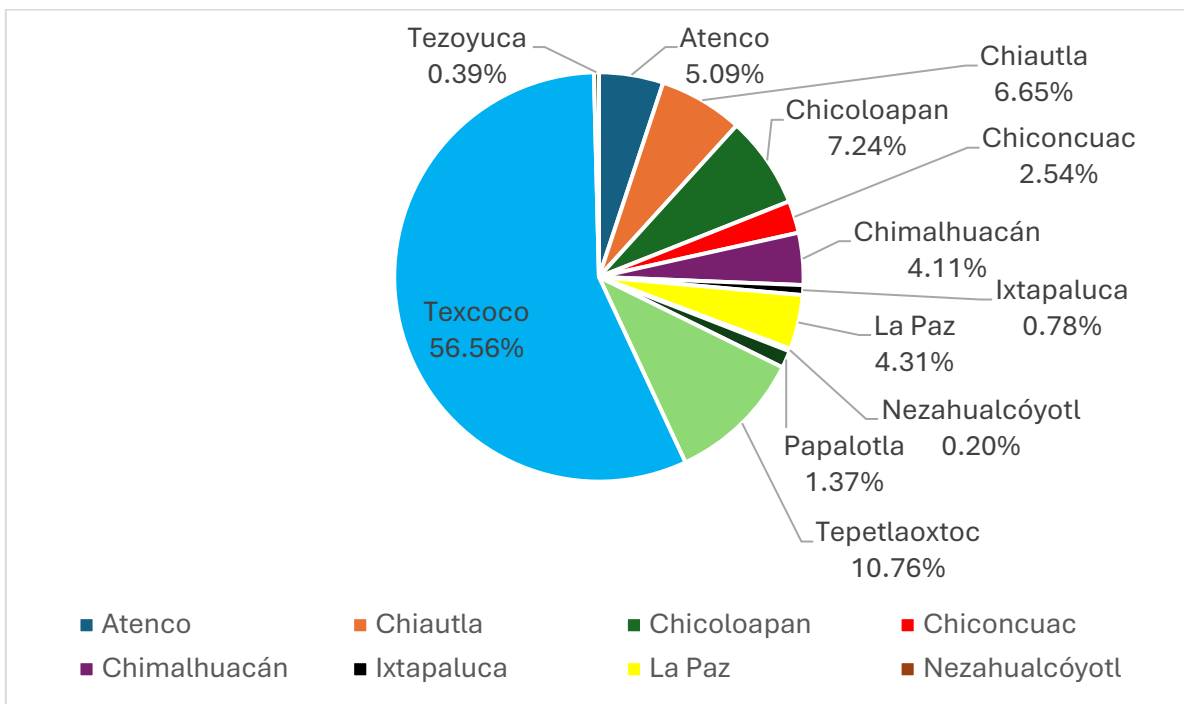
De acuerdo con Luévano (2020) fue estimar la recarga de agua subterránea mediante métodos de balance hídrico en el Acuífero de Texcoco, Estado de México considerando las variaciones espacio-temporales. Como resultado, se presentó un incremento del volumen de extracción de agua del acuífero de Texcoco del 83%,

pasando de 140.91 Mm³/Año en 2019, a pesar de restricciones impuestas mediante los decretos de veda total establecidos en el año 1954.

Para el caso de Escobar y Palacios (2012) analizaron la sobreexplotación del acuífero Texcoco, México. Con el propósito principal de estimarlo mediante dos métodos: uno, a través del balance hidrológico, dos por el conocimiento de los abatimientos de los niveles piezométricos y el coeficiente de almacenamiento. Como resultado menciona que se considera una coincidencia que la aplicación de ambos métodos en el acuífero Texcoco haya dado resultados muy similares, dadas las incertidumbres y deficiencias de información señaladas.

Escobar (2010) menciona que las estimaciones existentes sobre el grado de sobreexplotación del acuífero Texcoco fue indispensable elaborar un plan de manejo sustentable del acuífero. El cálculo de la sobreexplotación de un acuífero está sujeto a una gran incertidumbre, porque muchos de los parámetros de los que depende, se conoce con muy baja confiabilidad.

Gráfica 6. Número de pozos por tipo en el acuífero de Texcoco, 2010



Fuente: Elaborado con datos de la Tesorería del H. Ayuntamiento de Texcoco, Edo. Mex, 2011

De la gráfica 6, se puede observar que, en cuanto a pozos perforados se tienen un total de 511 dentro del acuífero de Texcoco, ubicándose la mayor proporción de ellos, 56.6%, en el municipio de Texcoco, en segundo lugar, en el municipio de Tepetlaoxtoc con 10.76%, y el tercero en el municipio de Chicoloapan con 7.24%, que corresponde a 289, 55 y 37 pozos perforados, respectivamente.

V. METODOLOGÍA

Para la elaboración de esta investigación, se revisaron las siguientes fuentes oficiales como la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), Estadísticas del Agua en México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Diario Oficial de la Federación (DOF), entre otras.

La regresión lineal es un modelo estadístico utilizado para describir la relación entre una variable dependiente (también llamada variable de respuesta o "Y") y una o más variables independientes (o predictores, denominadas "X"). La ecuación de la regresión lineal simple, que involucra solo una variable independiente, tiene la siguiente forma:

Ecuación de la regresión lineal simple:

$$ET_{Sub} = \alpha_0 + \alpha_1 EA + e_i \quad (14)$$

La variable dependiente es la Extracción total subterránea, y la variable independiente es la extracción agrícola.

Para conocer los datos de la sobreexplotación del acuífero de Texcoco durante el periodo de 2005-2019, se realizó una base de datos, donde se obtuvo:

1. Volúmenes concesionados por tipo de uso, según fuente de abastecimiento
2. Número de habitantes dentro del acuífero
3. Extracción y recarga dentro del acuífero
4. Precipitación y temperatura de Texcoco

Para esos datos obtenidos, se llevó el cálculo de Disponibilidad media anual de agua subterránea. Que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$DMA = R - DNC - VEAS \quad (15)$$

VI. RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos de la investigación, se tiene obtuvieron los siguientes resultados del análisis del modelo econométrico aplicado para el sector agropecuario de la sobreexplotación del acuífero de Texcoco, que permitió conocer su impacto.

6.1 Análisis Estadístico

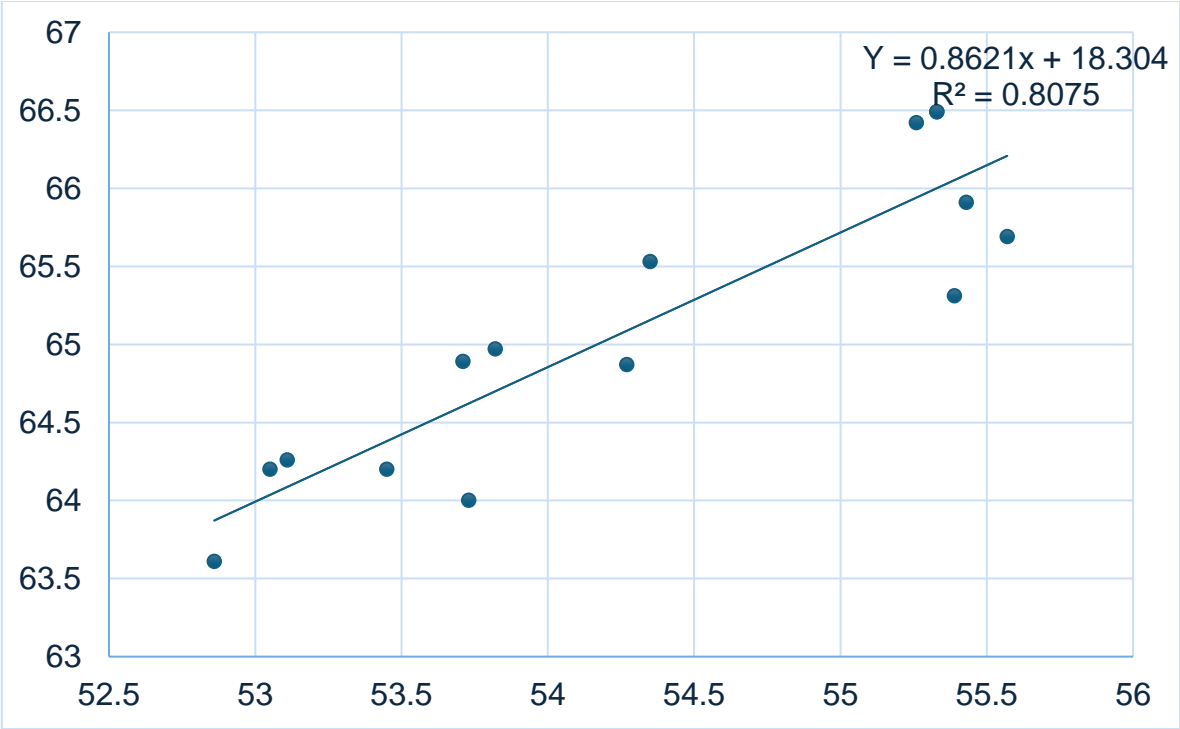
Tabla 13. Extracción total vs Extracción subterránea

<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple		0.898594036						
Coeficiente de determinación R ²		0.807471241						
R ² ajustado		0.792661337						
Error típico		0.433717495						
Observaciones		15						
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	1	10.25625208	10.25625208	54.52237995	5.3162054352089800E-06			
Residuos	13	2.445441251	0.188110865					
	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadística t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	18.3036	6.3416	2.8862	0.01273	4.6032	32.0039	4.6032	32.0039
Total agropecuario	0.8620	0.1167	7.3839	5.3162	0.6098	1.1142	0.6098	1.1142

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de determinación (R^2) indica que la extracción total de agua del acuífero de Texcoco es explicada en 79.26% por la extracción de agua del sector agrícola. Estadísticamente la variable más significativa fue la extracción de agua del sector agrícola con un valor de $t > 7.38$

Gráfica 7. Extracción total vs Extracción subterránea



Fuente: Elaboración propia.

Los modelos utilizados para estimar la variable que más afecta a la sobreexplotación del acuífero de Texcoco (cuando la variable dependiente fue la extracción subterránea de agua en función del sector agropecuario), resultaron ser significativos al cinco por ciento de confiabilidad lo que significa que F calculada es de 54.52 y la F tabla es de 5.31 por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que los parámetros estimados fueran iguales a cero.

Tabla 14. Extracción subterránea vs Extracción sector público

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.174431833
Coefficiente de determinación R ²	0.030426465
R ² ajustado	-4.4156%
Error típico	0.973306249
Observaciones	15

ANÁLISIS
DE
VARIANZA

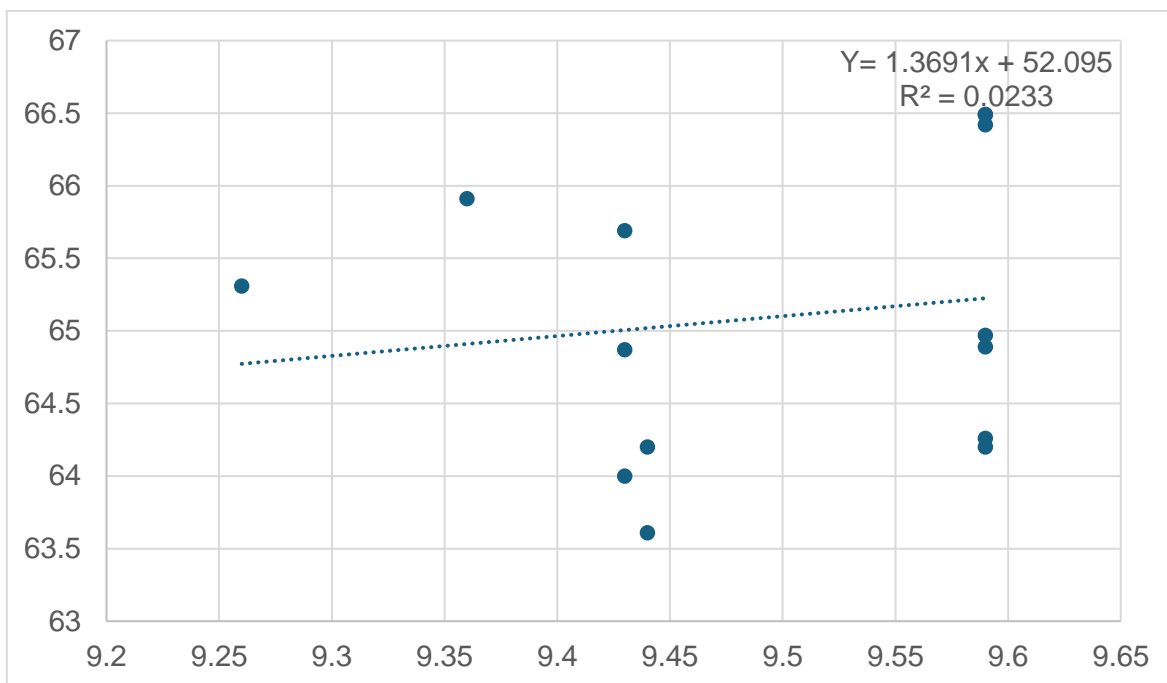
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.38646762	0.386467621	0.40795672	0.5341002
Residuos	13	12.3152257	0.947325055		
Total	14	12.7016933			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	50.533	22.842	2.2122	0.0454	1.1846	99.8823	1.1846	99.8823
Total abastecimiento público	1.5355	2.4041	0.6387	0.5341	-3.6583	6.7295	-3.6583	6.7295

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de determinación (R²) indica que la extracción total de agua del acuífero de Texcoco no es explicada, ya que presentó un resultado negativo de 4.41 por la extracción de agua del sector público. Lo que significa que esto ocurre cuando el modelo no está ajustando adecuadamente los datos y las variables explicativas no aportan valor predictivo al modelo.

Gráfica 8. Extracción total vs Extracción sector público



Fuente: Elaboración propia.

Los modelos utilizados para estimar la variable que más afecta a la sobreexplotación del acuífero de Texcoco (cuando la variable dependiente fue la extracción subterránea de agua en función del sector público), resultaron ser significativos al cinco por ciento de confiabilidad lo que significa que F calculada es de 0.40 y la F tabla es de 0.53 por lo tanto, esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Es decir, las diferencias entre los grupos no resultaron estadísticamente significativas al nivel de significancia.

Tabla 15. Extracción subterránea vs Extracción industrias y servicios

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.121435755
Coeficiente de determinación R ²	0.014746642
R ² ajustado	-6.1042%
Error típico	0.981144779
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

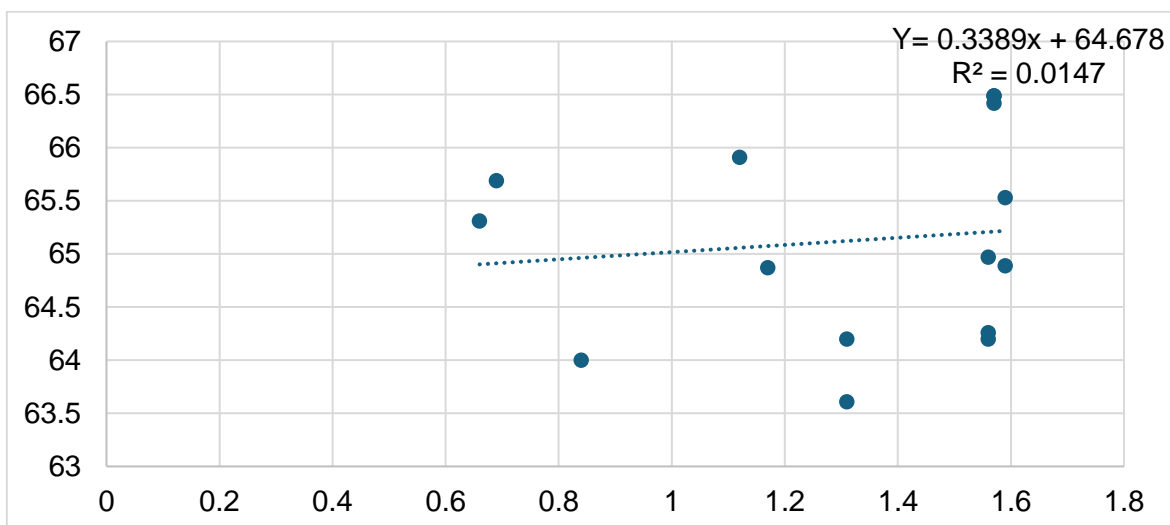
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.18730733	0.18730733	0.1945756	0.66638243
Residuos	13	12.514386	0.96264508		
Total	14	12.7016933			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	64.678	1.0389	62.254	0.0000	62.433	66.9227	62.4337	66.9227
Total, industrias y servicios	0.3389	0.7684	0.4411	0.6664	-1.3210	1.9989	-1.3210	1.9989

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de determinación (R^2) indica que la extracción total de agua del acuífero de Texcoco no es explicada. Ya que se presentó un resultado negativo de 6.10 por la extracción de agua del sector público. Lo que significa que esto ocurre cuando el modelo no está ajustado adecuadamente a los datos y las variables explicativas no aportan valor predictivo al modelo.

Gráfica 9. Extracción total vs Extracción sector público



Fuente: Elaboración propia.

Los modelos utilizados para estimar la variable que más afecta a la sobreexplotación del acuífero de Texcoco (cuando la variable dependiente fue la extracción subterránea de agua en función del sector público), con un valor de F calculada es de 0.19 y la F tabla es de 0.66 por lo tanto, esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, Es decir, las diferencias entre los grupos no son estadísticamente significativas al nivel de significancia,

6.3 Análisis Económico

Dentro del análisis económico para el coeficiente estimado, se obtuvo lo siguiente:

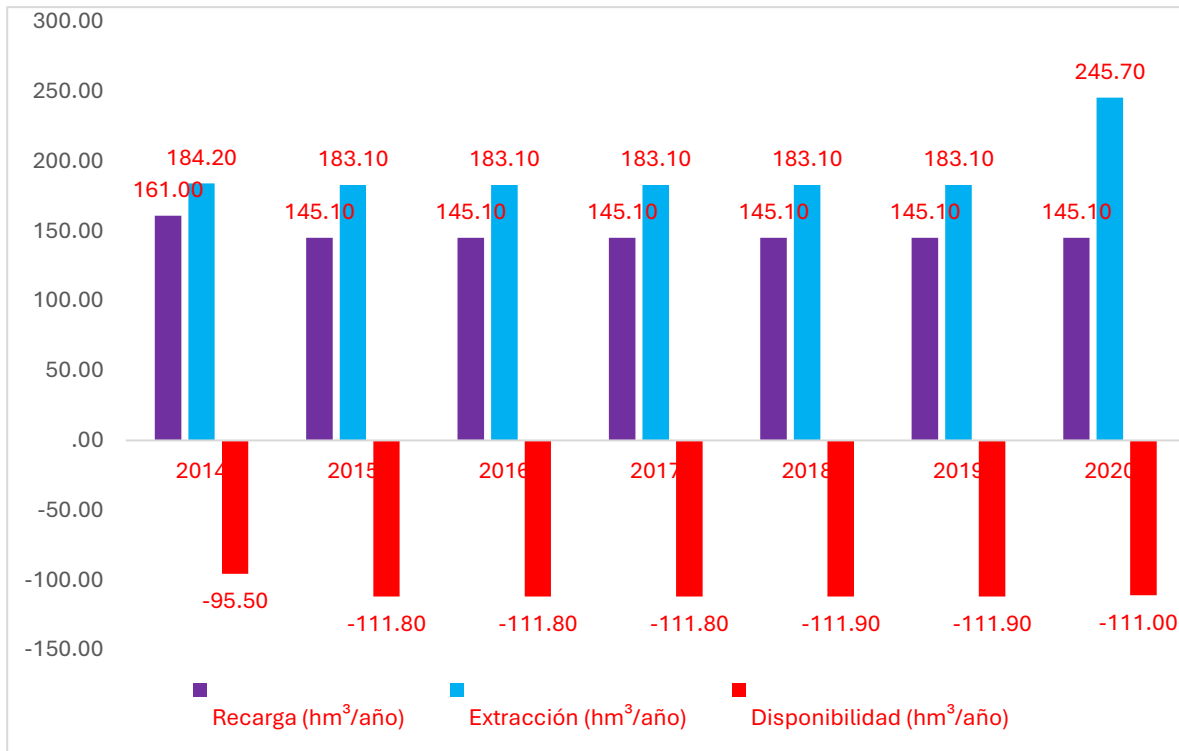
$$ET_{sub} = 18.3036 + 0.8620 EA \quad (16)$$

Para la ecuación 16, de acuerdo con la teoría económica si aumenta un hm^3 la extracción de agua para el sector agrícola traerá como consecuencia que aumente 0.86 hm^3 la extracción subterránea del acuífero de Texcoco, *ceteris paribus*.

De acuerdo con el modelo estimado, resulta importante concluir que a pesar de que se analizaron los tres sectores económicos, donde se interpreta que el sector agrícola es el principal sector que actualmente sobreexplota al acuífero de Texcoco.

Por lo tanto, complementando lo anterior, se presenta el siguiente análisis económico para complementar el objetivo de la investigación.

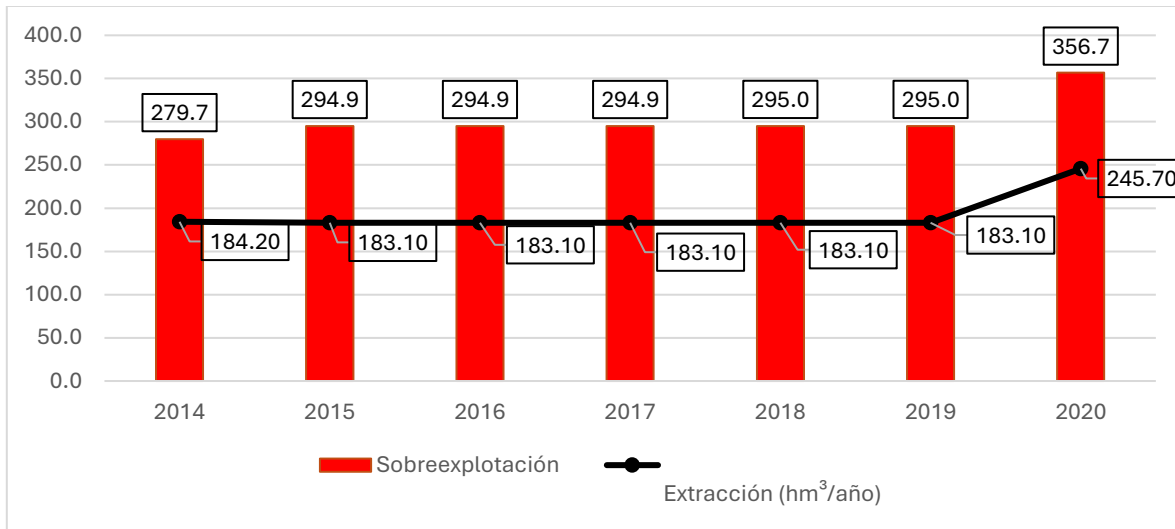
Gráfica 10. Sobreexplotación del acuífero de Texcoco, 2014-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2020.

De la gráfica 10, se observa el panorama crítico en la cual está el acuífero estudiado, representa que con un periodo de tiempo durante 2014-2020, que la recarga de agua va disminuyendo con el tiempo, esto a su vez implica que la extracción va en aumento año con año. Y la disponibilidad es la que va disminuyendo. Por lo tanto, el cálculo cumplió con los objetivos de la investigación, demostrando que la disponibilidad va disminuyendo esto porque el sector agrícola es el principal consumidor del agua subterránea.

Gráfica 11. Sobreexplotación y extracción de agua en el acuífero de Texcoco, 2014-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2020.

El panorama que presenta el acuífero (Gráfica 11) es alarmante, ya que la sobreexplotación y la extracción va en aumento año con año en el periodo 2014-2020, mostrando la realidad que no solo se trata del análisis para este acuífero en particular, sino también para la situación hídrica en la cual se encuentra el país.

Cálculo de la disponibilidad media anual de agua de los acuíferos

La disponibilidad media anual de agua de los acuíferos, agrupados por entidad federativa y Región Hidrológico Administrativa a las que corresponden, a la fecha de corte 30 de diciembre de 2022, así como los valores de los términos que intervienen en su determinación, se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla 16. Disponibilidad media anual de agua subterránea de los acuíferos que forman parte de la región XIII hidrológico-administrativa

ENTIDAD FEDERATIVA	CLAVE	ACUÍFERO	R	DNC	VEAS				DMA	
					VCAS	VEALA	VAPTYR	VAPRH	POSITIVA	NEGATIVA (DEFICIT)
					CIFRAS EN MILLONES DE METROS CUBICOS ANUALES					
Ciudad de México	901	Zona Metropolitana de la Cd. De México	512.8	0	979.762196	0	01.709800	11.757919	0.000000	-480.429914
Hidalgo	1308	El astillero	3.1	0	0.038982	0.662091	0.000000	0.023124	2.375803	0.000000
	1309	Chapantongo-Alfajayucan	136.9	112.9	5.443209	3.763321	0.197581	0.942297	13.653593	0.000000
	1310	Valle de Mezquital	515	293	167.952024	12.138701	6.494807	4.951725	30.462743	0.000000
	1311	Ajacuba	25.7	15.6	2.459013	0.070120	2.592967	0.065127	4.912774	0.000000
	1312	Ixmiquilpan	150.1	124.6	4.270279	1.944673	3.756904	2.818694	12.709450	0.000000
	1313	Actopan-Santiago de Anaya	208.1	90	48.492584	4.276877	10.304154	1.882292	53.144093	0.000000
	1316	Tepeji del Rio	46.3	35.2	8.335828	5.440523	0.917380	0.660735	0.000000	-4.254466
	1319	Tecocomulco	27.8	0.5	3.109193	0	6.629130	0.217331	17.344356	0.000000
	1320	Apan	30.3	0	27.053197	0	0.000000	0.490411	2.756391	0.000000
Estado de México	1506	Chalco-Amecameca	74	0	102.570449	0	0.240103	7.182987	0.000000	-35.993539
	1507	Texcoco	145.1	10.4	273.404707	0	0.000000	11.100417	0.000000	-149.805124
	1508	Cuautitlan-Pachuca	356.7	0	551.07936	0	9.163608	26.403093	0.000000	-229.942637
Tlaxcala	2902	Soltepec	57	16.2	16.717709	0	0.176580	0.378942	23.526769	0.000000

Fuente: DOF, 2023.

R= 145.1

DNC= 10.4

VEAS= 273.404707+0+11.100417= 284.505124

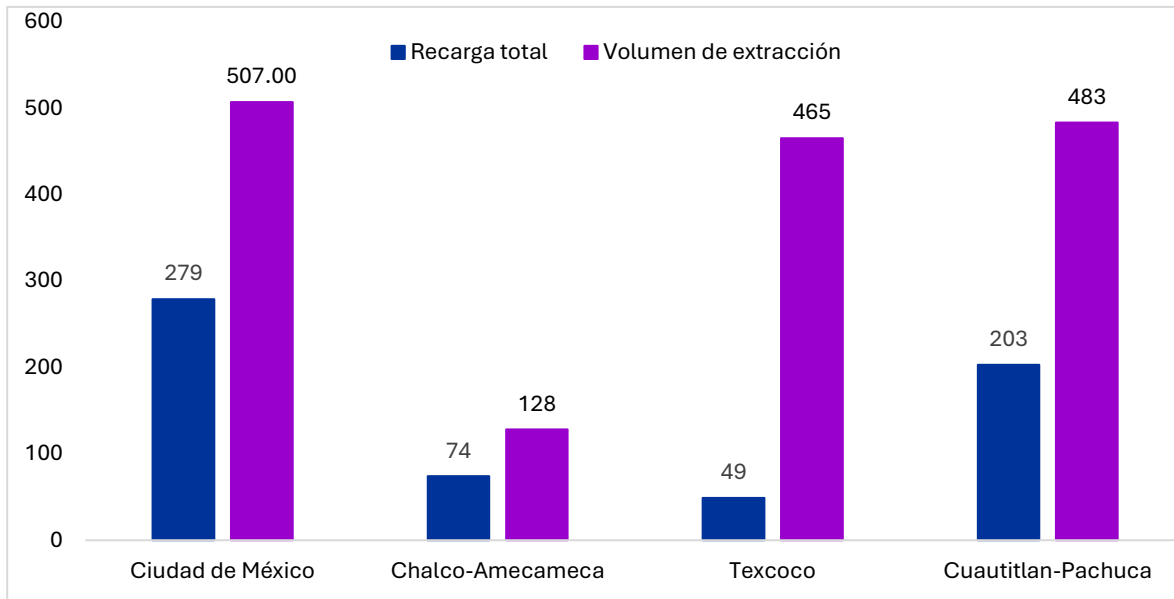
Disponibilidad media anual de agua del subsuelo del acuífero en Texcoco

= (145.1 -10.4 - 284.505124) = **-149.805124** hm³ /año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **149.805124 m³** anuales que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero (Tabla 16).

Gráfica 12. Comparación de extracción y recarga de algunos acuíferos de la Región XIII Valle de México, 2003

(Volumen hm³/año)

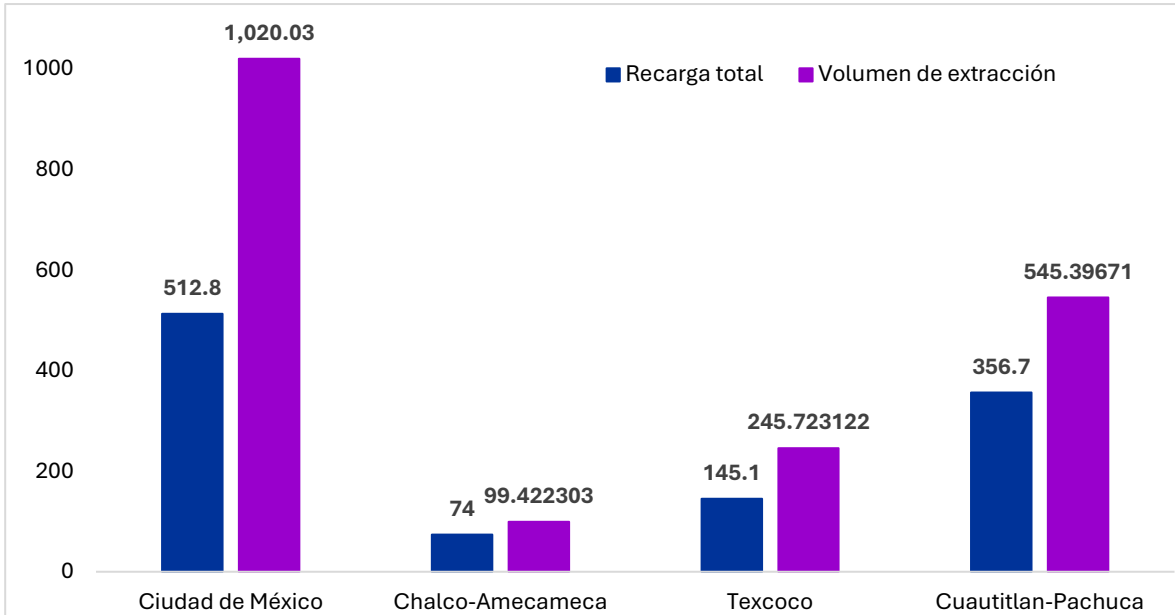


Fuente: Elaboración propia con datos del DOF, 2003

En la gráfica 12, se puede analizar la comparación de la extracción de agua y recarga de algunos acuíferos del Valle de México para el año de 2003, lo que significa que para la Ciudad de México se tiene una recarga de 279 hm³/año y un volumen extracción es de 507 hm³/año, para Chalco-Amecameca, se tiene una recarga de 74 hm³/año y un volumen de extracción de 128 hm³/año, para el caso de Texcoco se tiene una recarga de 49 hm³/año y un volumen de extracción de 465 hm³/año y finalmente para Cuautitlán-Pachuca se tiene una recarga de 203 hm³/año y un volumen de extracción de 483 hm³/año.

Gráfica 13. Comparación de extracción y recarga de algunos acuíferos de la Región XIII Valle de México 2020

(Volumen hm³/año)



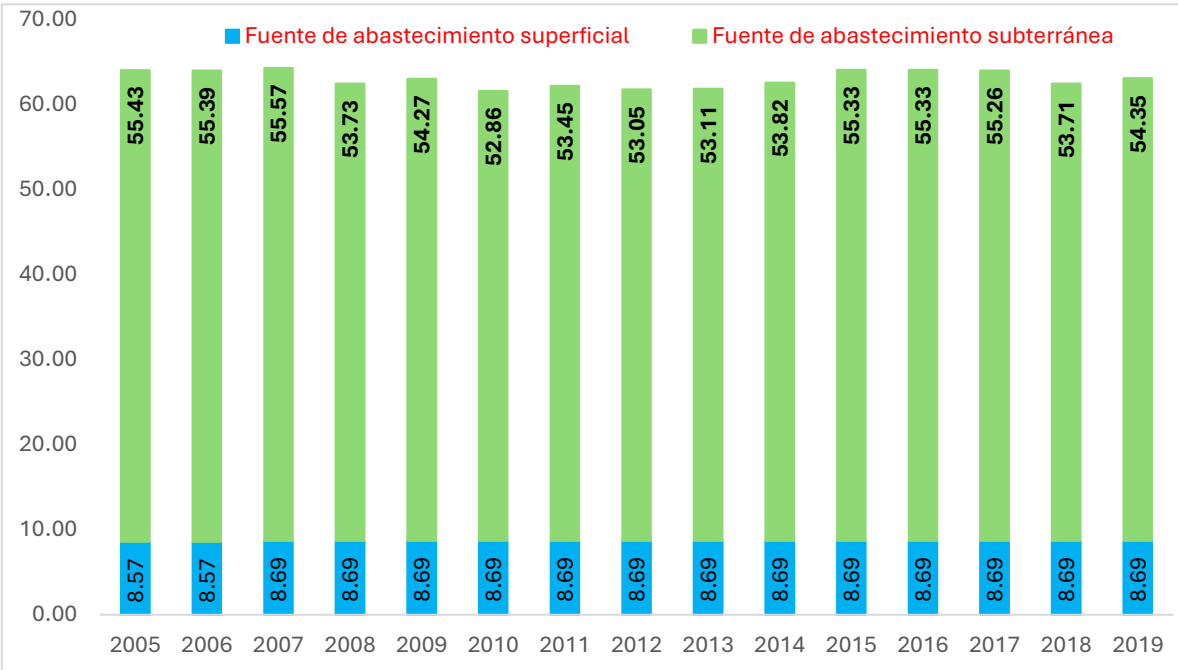
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2020.

En la gráfica 13, se puede analizar la comparación de la extracción de agua y recarga de algunos acuíferos del Valle de México para el año de 2020. El panorama es alarmante, ya que para la Ciudad de México se tiene una recarga de 512 hm³/año y un volumen de extracción es de 1,020. hm³/año, para el caso de Texcoco se tiene una recarga de 145 hm³/año y un volumen de extracción de 245 hm³/año.

Los usos del agua, ya sea superficial o subterránea, se clasifican en dos grandes grupos, el consuntivo que se refiere al consumo de agua por parte de los diferentes sectores y el no consuntivo que involucra el uso de la energía motriz del agua para producir electricidad mediante las hidroeléctricas. La autoridad responsable de la administración del agua en México es la CONAGUA, quien publica datos sobre el volumen concesionado por tipos de uso, tipo de fuente superficial o subterránea entidad federativa y región, entre otras clasificaciones. Aun cuando estos son los

datos oficiales, el volumen autorizado en una concesión no representa el volumen real de uso, ya que existen usos sin título de concesión que no logran ser estimados con exactitud, por lo que se dificulta la obtención de datos más precisos sobre el volumen real de uso. A pesar de esto, la información presente en los títulos de concesión permite hacer comparaciones entre sectores, usos y tipo de extracciones (IMCO, 2023).

**Gráfica 14. Total, de volúmenes concesionados agropecuario
(hectómetros cúbicos)**



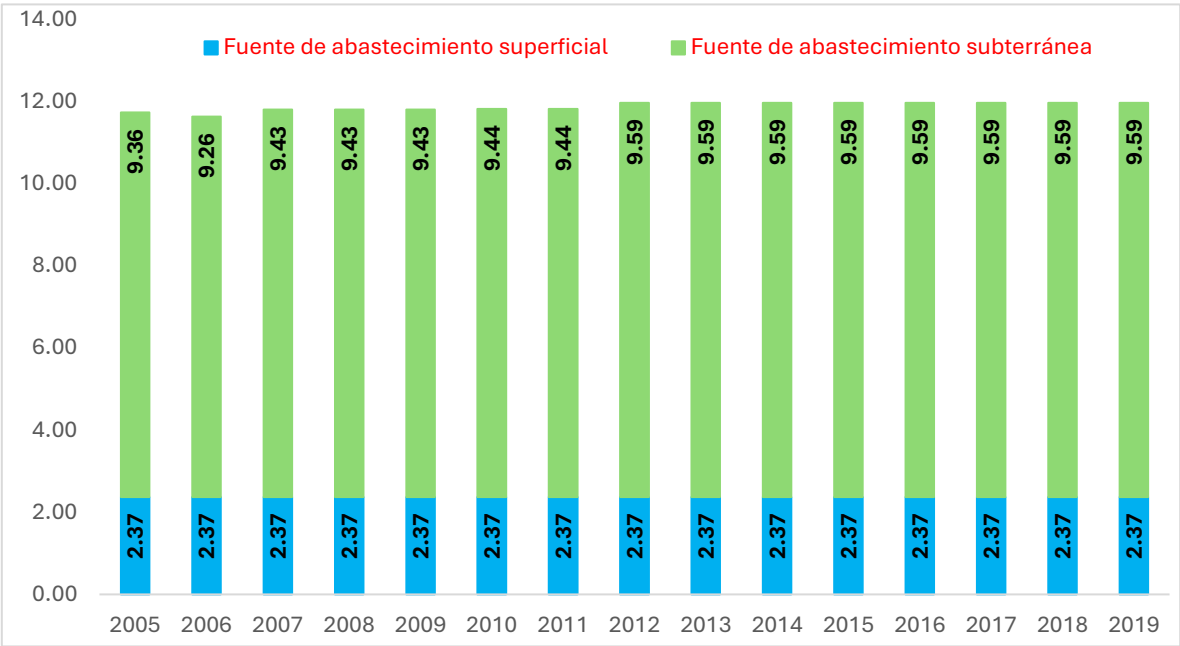
Fuente: Elaborada con datos de SEMARNAT, 2021.

Como se aprecia en la gráfica 14, el principal uso del agua en México es agrícola, el cual en términos de uso de aguas nacionales se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos.

El principal uso del agua subterránea del acuífero Texcoco, clave 1507, es el público urbano, ya que el 70.0% del volumen total que se extrae del acuífero se destina para este uso. Aproximadamente el 24.0% de la población se ocupa en el comercio,

el 20.0% de la población se dedica a alguna actividad dentro de la industria manufacturera, el 7.0% se dedica a la industria de la construcción; el 6.0% se dedica a actividades propias del transporte, correos y almacenamiento; el 1.3% se dedica al sector agrícola, forestal y ganadero, mientras que la demás población se dedica a los servicios, educativos, profesionales, de apoyo a negocios, de salud y de asistencia social, de esparcimiento y culturales, hoteles y restaurantes, financieros y de seguros, inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles, y actividades del gobierno (DOF, 2019).

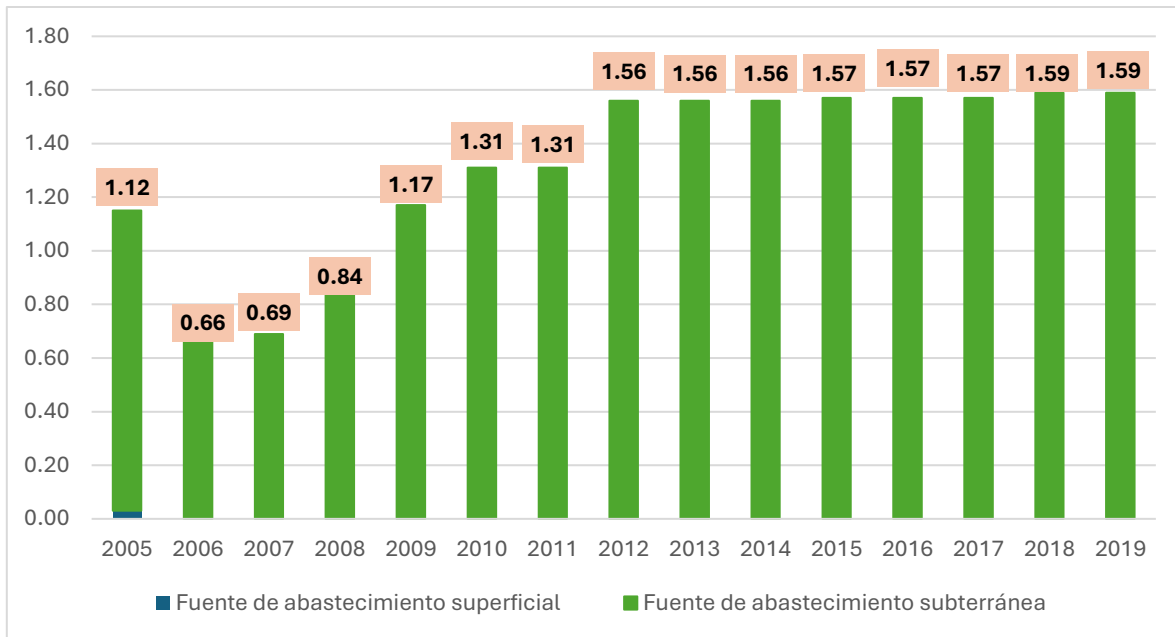
Gráfica 15. Total, de volúmenes concesionados abastecimiento público (hectómetros cúbicos)



Fuente: Elaborada con datos de SEMARNAT, 2021.

En la gráfica 15, el uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes.

**Gráfica 16. Total, de volúmenes concesionados Industrial
(hectómetros cúbicos)**



Fuente: Elaborada con datos de SEMARNAT, 2021.

Para la gráfica 16, en este rubro se incluye la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país.

6.4 Sistema Cutzamala

La Ciudad de México (CDMX) y el Estado de México (Edomex) están enfrentando una severa crisis hídrica, la peor en su historia, ante la incapacidad del Sistema Cutzamala para aumentar su capacidad debido a la falta de precipitaciones y otros factores. Según estimaciones hechas por expertos, esta situación llevaría al Valle de México a la situación crítica del “Día Cero” en aproximadamente cinco meses. Según reportes de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las presas El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria, que proporcionan cerca del 25.0 % del agua para la Zona Metropolitana del Valle de México y que conforman el Sistema, han visto reducidos sus niveles de llenado a 39.8% de su capacidad total, lo que indica

un déficit del 37.0 % en comparación con los registros históricos para esta fecha (Tinoco, 2024).

Tabla 17. Almacenamiento en presas del Sistema Cutzamala 2024

FEBRERO	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm ³		LLUVIA	VALLEDE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm ³		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm ³		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm ³	%		mm	ALMAE. Mm ³		%	mm			
1	56.015	30.16	1	132.148	33.51	0	120.731	59.65	0	308.894	39.47
2	56.015	30.16	0	131.744	33.4	0	120.557	59.56	0	308.316	39.4
3	56.015	30.16	0	131.339	33.3	0	120.47	59.52	0	307.824	39.34
4	56.015	30.16	0	130.934	33.2	0	120.47	59.52	0	307.419	39.29
5	56.015	30.16	0	130.528	33.1	0	120.296	59.43	0	306.839	39.21
6	56.015	30.16	0	130.122	32.99	0	120.035	59.31	0	306.172	39.13
7	56.015	30.16	0	129.715	32.89	0	119.948	59.26	0	305.678	39.06

Fuente: Tomada del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, 2024.

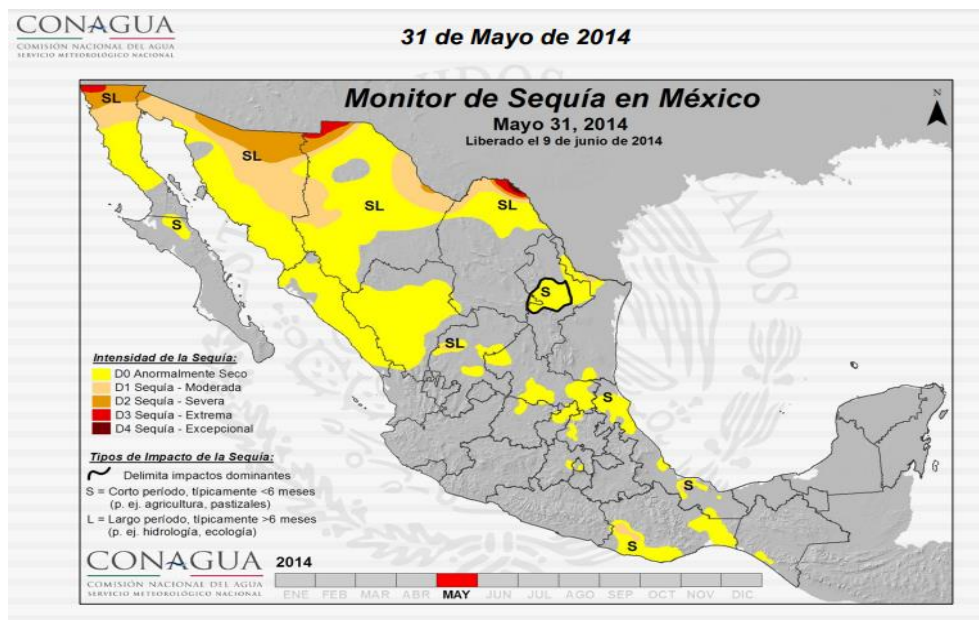
En la tabla 17, se puede apreciar que el almacenamiento disminuye cada día. De acuerdo con estimaciones del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM), Lo que significa que durante el paso del tiempo el almacenamiento de esta presa va disminuyendo.

El Sistema Cutzamala aporta el 26 % del agua potable que se consume en el valle de México. El resto del suministro se obtiene del Sistema Lerma, de pozos, y de diversos manantiales que operan con normalidad. El crecimiento de la población en la zona metropolitana de la Ciudad de México y del valle de Toluca, la consecuente demanda de agua potable y la falta de fuentes alternas de suministro de agua a incorporar en el corto plazo son las causas que motivan mantener operando en condiciones adecuadas esta infraestructura, para evitar conflictos sociales y garantizar un abastecimiento continuo en cantidad y calidad (Santos et al., 2021).

6.5 Sequía en México

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) informó que mayo de 2024 fue el mes más caluroso registrado en la historia de México, con una temperatura media de 27 grados Celsius. Este registro supera las mediciones históricas iniciadas en 1953 y coloca a este mes 2.9 grados por encima del promedio climatológico de 1991 a 2020 (Tinoco, 2024).

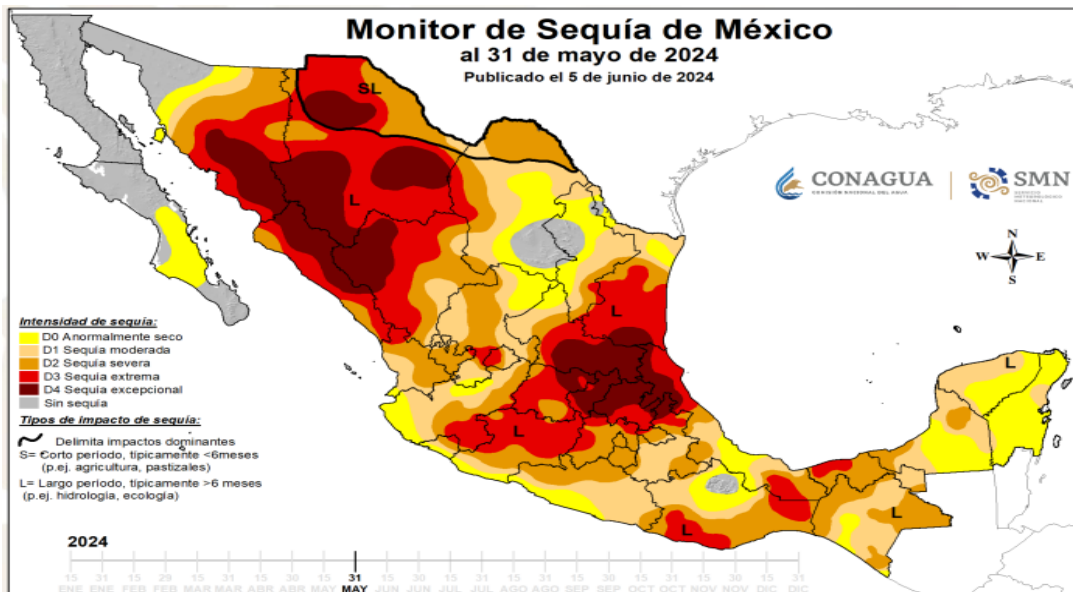
Mapa 4. Sequía en México para el periodo 2014



Fuente: CONAGUA, 2014.

Donde se explica el mapa 4, de acuerdo con la más reciente emisión del Monitor de sequía, realizada por el área de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), abril de 2014 ocupa el lugar 25 entre los abrils más secos desde 1941, con un acumulado de lluvia de 13.8 milímetros; es decir, 20 por ciento menos de la media histórica, que es de 18.7 mm (CONAGUA, 2014).

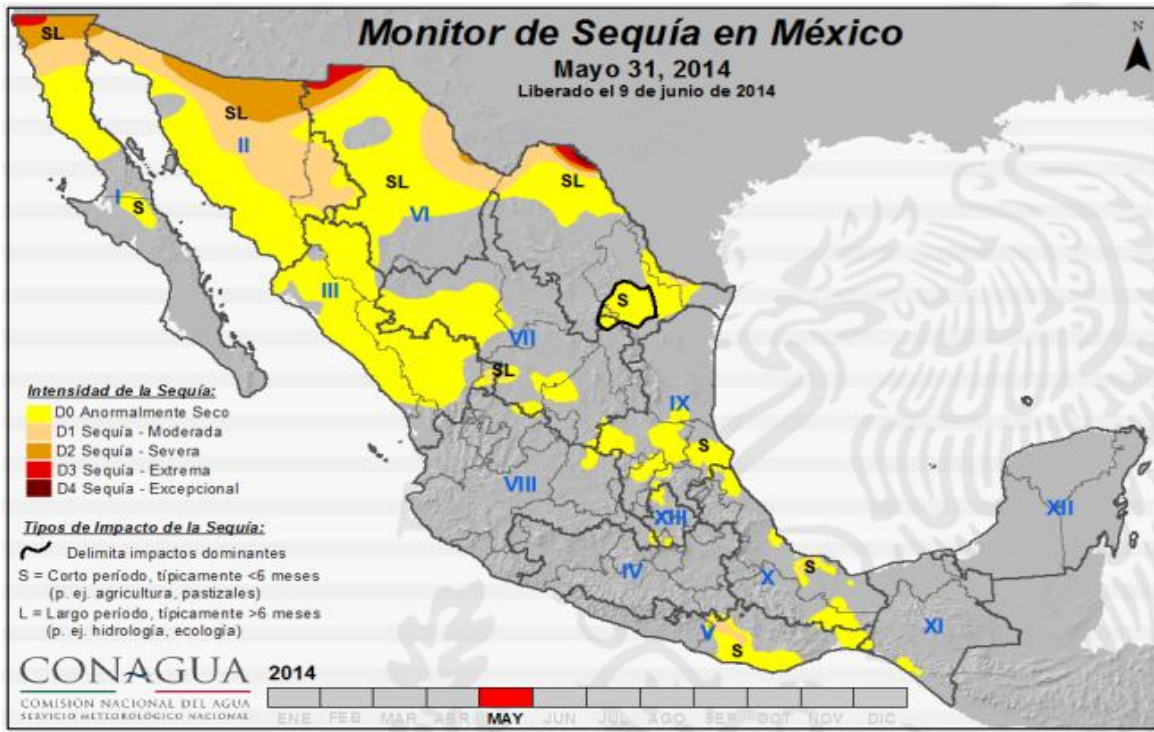
Mapa 5. Sequía en México para el periodo 2024



Fuente: CONAGUA, 2024.

Como se aprecia en el mapa 5, “Durante la primera quincena de mayo de 2024, aumentaron las zonas afectadas por la sequía extrema a excepcional. Aunque la temporada de lluvias inició el pasado 15 de mayo, la mayor parte del territorio mexicano sufren de sequía, pues de acuerdo con el reporte de la CONAGUA, 2 mil 105 de los 2 mil 471 municipios presentan algún tipo de afectación por la escasez de precipitaciones. El 100% del territorio de la Ciudad de México sufre de sequía severa (D2) desde hace 16 meses, por lo que es la entidad con mayor tiempo en estas condiciones, de acuerdo con el Monitor de Sequía de la CONAGUA, datos que confirman la inusual evaporación que han sufrido los pocos canales que subsistían en Xochimilco. A pesar de registrarse lluvias en puntos específicos de Coahuila, Puebla, Oaxaca, Chiapas y la zona limítrofe entre Tabasco y Campeche debido al desplazamiento del sistema frontal No. 50 y la interacción de varios factores climáticos, estas no fueron suficientes para reducir las áreas con sequía” (Tinoco, 2024).

Mapa 6. Porcentaje de área con sequía en las Regiones Hidrológico Administrativas (CONAGUA), mayo 2014



Fuente: CONAGUA, 2014.

Como se muestra en el mapa 6, Así se veía México hace 10 años, sin embargo, para febrero de este año, el 76. 21% del país presenta algún grado de sequía y de tener solo 3 estados anormalmente secos, ahora hay 21 entidades que presentan sequía de moderada a excepcional: Aguascalientes, Chihuahua, Ciudad de México Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.

Tabla 18. Área afectada con sequía en México, 2014

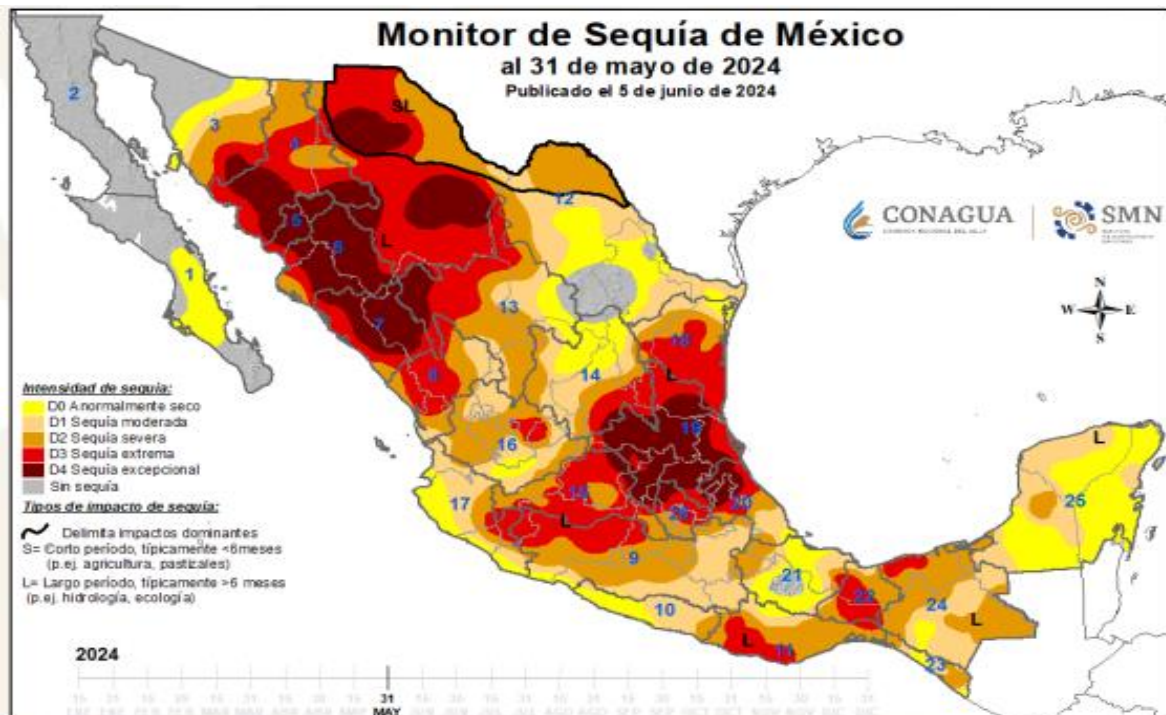
		Porcentaje de área (%)					
Clave	RHA	Sin afectación	D0	D1	D2	D3	D4
I	Península de Baja California	56.81	24.13	9.17	8.34	1.55	0.00
II	Noroeste	3.06	42.13	39.38	15.38	0.04	0.00
III	Pacífico Norte	19.49	80.01	0.50	0.00	0.00	0.00
IV	Balsas	99.67	0.29	0.04	0.00	0.00	0.00
V	Pacífico Sur	70.83	26.03	3.14	0.00	0.00	0.00
VI	Río Bravo	42.62	42.80	10.14	2.52	1.70	0.21
VII	Cuencas centrales del Norte	73.08	26.65	0.27	0.00	0.00	0.00
VIII	Lerma – Santiago - Pacífico	98.13	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00
IX	Golfo Norte	75.45	24.55	0.00	0.00	0.00	0.00
X	Golfo Centro	84.54	14.64	0.82	0.00	0.00	0.00
XI	Frontera Sur	97.61	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00
XII	Península de Yucatán	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XIII	Aguas del Valle de México	88.40	11.60	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Tomada del Monitor de Sequía en México, 2014.

Para la tabla 18, se puede mencionar que, a partir del proceso de identificación, delimitación, estudio y cálculo de la disponibilidad, comenzado en 2001, el número de acuíferos sobreexplotados ha oscilado anualmente entre 100 y 106. A principios del año de 2014 se reportaron 106 acuíferos sobreexplotados. De los acuíferos sobreexplotados se extrae el 55.2% del agua subterránea para todos los usos. Lo cual permite ver que para el año 2014, ya se encontraban en sequía la mayoría de los acuíferos en el país hace 10 años (CONAGUA, 2014).

Actualmente, las autoridades federales consideraban este episodio de sequía como uno de los más intensos en 70 años, al tomar como referencia que mayo había sido el segundo mes más seco desde 1941. Esto dio a lugar a que en 44.8 % del territorio se presentara la sequía y que se la catalogara como extrema y excepcional (Esparza, 2014).

Mapa 7. Área con sequía en las Regiones Hidrológico Administrativa, mayo 2024



Fuente: Tomada del Monitor de Sequía en México, 2024.

Como se aprecia en el mapa 7, el pronóstico no es alentador. Este año inició con una quinta parte del país con algún grado de sequía. Solo 24% del territorio no registra afectaciones. La disminución de las lluvias y un año inusualmente caluroso son algunos factores para que México sea, cada vez más, un país seco. Por las elevadas temperaturas y la falta de lluvias, el 2023 rompió récords. Se convirtió en el año más cálido del que se tenga registro en México y en el más seco desde 1941, según datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En contraste, la acumulación de agua de lluvia fue 21.1% más baja que el promedio registrado entre 1991 y 2020. Esto provocó que el área afectada por sequía excepcional aumentara de 0.8 a 3%, la más grande de los últimos 10 años. Este tipo de sequía es el más severo y se caracteriza por “escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos” y por una “probable situación de emergencia debido a la ausencia de agua”, describe el Monitor de Sequía de América del Norte (Soto, 2024).

Tabla 19. Área afectada con sequía en México, 2024

		Porcentaje de área					
Clave	RHA	Sin afectación	D0	D1	D2	D3	D4
I	Península de Baja California	84.7	15.13	0.00	0.00	0.00	0.00
II	Noroeste	20.0	6.9	6.0	21.9	22.9	22.3
III	Pacífico Norte	0.0	0.0	6.9	14.5	28.5	50.1
IV	Balsas	0.0	1.0	34.5	40.9	23.6	0.0
V	Pacífico Sur	0.0	17.8	27.2	36.6	18.4	0.0
VI	Río Bravo	7.7	12.3	17.3	21.0	28.1	13.6
VII	Cuencas centrales del Norte	2.9	14.1	19.1	27.7	24.4	11.2

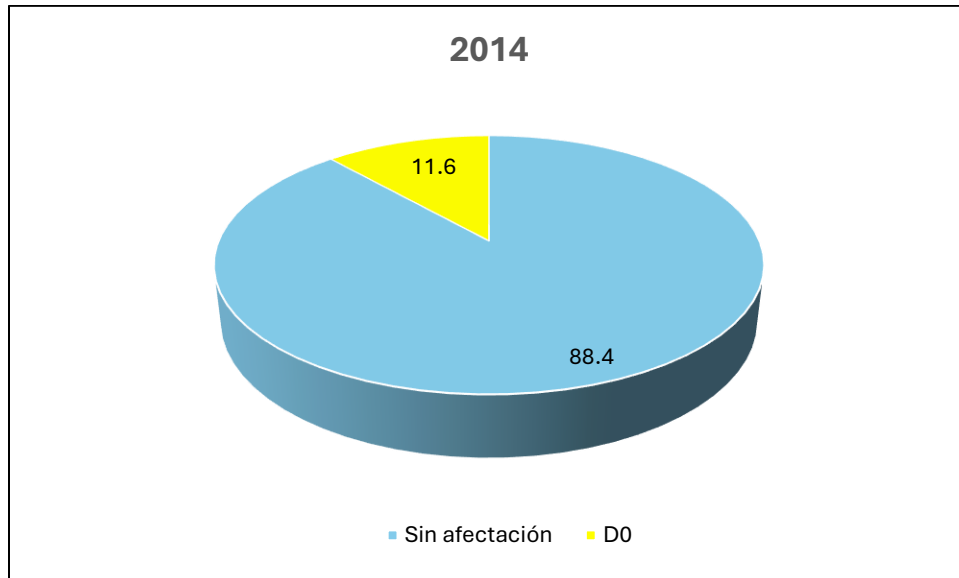
VIII	Lerma – Santiago - Pacífico	0.00	12.4	28.9	32.7	24.1	1.9
IX	Golfo Norte	0.00	1.6	5.8	11.0	36.7	44.9
X	Golfo Centro	5.1	20.5	18.7	26.6	20.6	8.5
XI	Frontera Sur	0.00	14.0	37.0	47.5	1.5	0.0
XII	Península de Yucatán	0.00	62.7	33.6	3.7	0.00	0.00
XIII	Aguas del Valle de México	0.00	0.00	0.1	33.9	51.3	14.7

Fuente: Tomada del Monitor de Sequía en México, 2024.

Como se muestra en la tabla 19, la sequía se está convirtiendo en una realidad cada vez más común en México. Tan solo para la primera quincena de junio de 2024, el porcentaje de áreas con sequía de moderada a excepcional a nivel nacional fue de 73.79%, lo que es 39.27% mayor respecto al mismo periodo de 2023, cuando se reportó un 34.52%, según datos del Monitor de Sequía en México de la Conagua. D0: Anormalmente Seco, D1: Sequía Moderada, D2: Sequía Severa, D3: Sequía Extrema, D4: Sequía Excepcional. Este 39.27% de avance abarca a cuatro (D1, D2, D3, D4) de los cinco puntos que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) usa en su sistema de Clasificación de la Intensidad de la Sequía (El Economista, 2024).

Gráfica 17. Aguas del Valle de México 2014

porcentaje de área con sequía

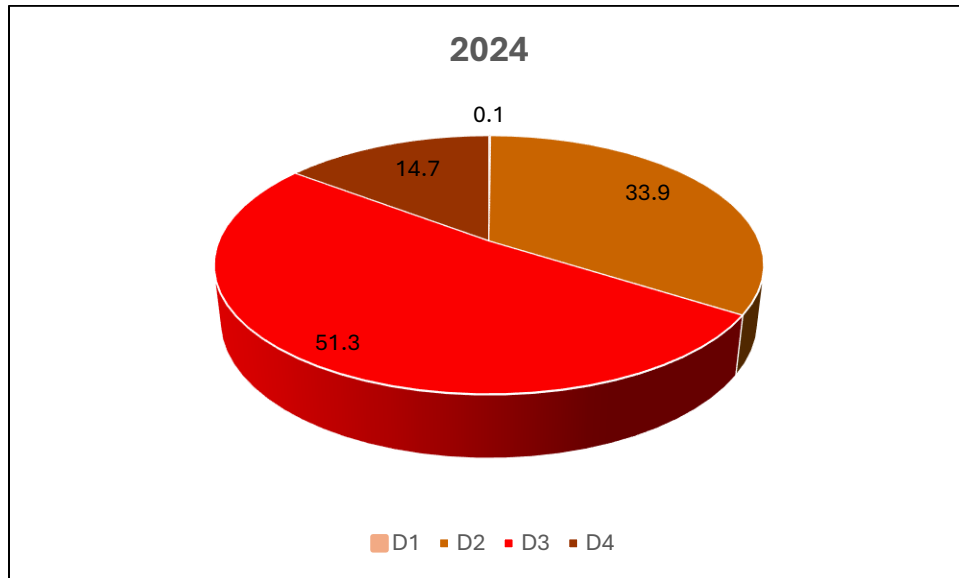


Fuente: Tomada del Servicio Meteorológico Nacional, 2014.

Como se puede apreciar en la gráfica 17, se observa que para el año 2014, que para las Regiones Hidrológico Administrativas específicamente para las Aguas del Valle de México, se tuvo un registro del 88.4%, esto significa que no hubo mayor afectación, pero hubo una intensidad de sequía de D0, lo que significa que fue anormalmente seco.

Gráfica 18. Aguas del Valle de México, 2024

porcentaje de área con sequía



Fuente: Tomada del Servicio Meteorológico Nacional, 2024.

Para la gráfica 18, para el año 2024, se tiene que hay un registro de D1: Sequía moderada en un 0.1%, D2: Sequía Severa en 33.9%, D3: Sequía extrema con 51.3%, y finalmente D4: Sequía excepcional del 14.7%. Esto nos muestra el camino de 10 años que ha tenido esta región hidrológica, que con el paso del tiempo ha ido empeorando.

6.6 Comportamiento de las lluvias

La temporada de lluvias y ciclones tropicales en México comenzó para el 2024 con la tormenta tropical Alberto, cuyo ingreso a territorio nacional trajo abundantes precipitaciones. Estos eventos generan importantes beneficios para la población, especialmente, considerando que el país venía atravesando una severa crisis hídrica. La llegada de este ciclo de lluvias trae consigo múltiples aportes para la población y el medio ambiente:

- Recarga de presas: Las lluvias contribuyen al abastecimiento de agua potable para la población, mejorando los niveles de las presas en todo el país.

- Recarga de mantos acuíferos: Con ello, se asegura la disponibilidad de agua subterránea a largo plazo.
- Agua para cultivos: La agricultura se beneficiará significativamente con el aumento de agua disponible para riego, favoreciendo la producción agrícola.
- Disminución de incendios forestales: La humedad generada por las lluvias reduce la probabilidad de estos incidentes, protegiendo los ecosistemas y la fauna.
- Regeneración de bosques afectados: Podrán recuperarse más rápidamente gracias a la disponibilidad de agua.
- Fortalecimiento de la cultura de organización en protección civil: Las situaciones de emergencia han resaltado la importancia de una adecuada respuesta en la materia, lo que fortalece la cultura de prevención y manejo de desastres (Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana [SSPC], 2024).

Considerando que el principal beneficio consiste en la recarga de presas en diferentes entidades del país, tales como las presas de Monterrey: Cerro Prieto, La Boca y El Cuchillo. Ya que pasaron de un 4.96%, 35.47% y 31.44% de almacenamiento a 58.46%, 97.47% y 84.38%, respectivamente. En tanto, el inicio de la temporada de lluvias y ciclones en México permite favorecer a los mantos acuíferos, cultivos, presas, etc. (CONAGUA, 2024).

6.7 Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres

La salinización de suelos y la presencia de aguas subterráneas salobres se producen como resultado de altos índices de evaporación en zonas de niveles someros de agua subterránea, disolución de minerales evaporíticos y presencia de agua congénita de elevada salinidad. Las aguas salobres se presentan específicamente en aquellos acuíferos localizados en provincias geológicas caracterizadas por formaciones sedimentarias antiguas, someras, de origen marino y evaporítico, en las que la interacción del agua subterránea con el material geológico produce su enriquecimiento en sales (CONAGUA, 2019).

VII. CONCLUSIONES

Finalmente, los resultados de las hipótesis se cumplieron, de acuerdo a la teoría económica, ya que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, el déficit es de 149,805,124 m³ anuales esto calculado por el método de balance hidrológico.

El sector que sobreexplota al acuífero de Texcoco fue el agropecuario. Esto significa que el acuífero está siendo sobreexplotado año con año, ya que es el principal recurso de agua de 12 municipios en la parte oriente del Valle de México, con una población de cerca de un millón y medio de habitantes.

Pero a todo esto, en cuanto a las implicaciones económicas que provocan esta problemática del agua, se dice que, si en el mundo no hay agua, puede provocar más cambios climáticos, prolongadas sequías que afectarán a la agricultura y pesca, la cual se verá reflejada en la producción agrícola de todo el mundo. En cuanto al hundimiento, implica pérdidas en el valor de los predios y terrenos.

Finalmente, resulta importante mencionar también que el desarrollo económico de esta región depende fuertemente de la posibilidad de manejar correctamente el uso de este recurso, esta investigación tuvo por objetivo brindar como conocimiento la situación actual que se presenta para este acuífero, resulta de gran valor ya que es indispensable para poder elaborar un plan en un futuro para el manejo correcto de este preciado recurso.

VIII. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se tienen las siguientes recomendaciones:

1. Realizar un análisis sobre la calidad de agua del acuífero de Texcoco
2. Se recomienda hacer un estudio sobre el tema del hundimiento de los terrenos del municipio de Texcoco
3. Realizar una investigación que dé seguimiento al Plan de Desarrollo de Texcoco en el ámbito hídrico.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banco Mundial. (2019, agosto 20). El deterioro de la calidad del agua reduce en un tercio el crecimiento económico en algunos países. <https://www.bancomundial.org/es/news/pressrelease/2019/08/20/worsening-water-quality-reducing-economic-growth-by-a-third-in-some-countries>

Basilio, J. (2023, 12 de diciembre). La extracción de agua subterránea está causando el hundimiento de la CDMX. Recuperado el 1 de septiembre de 2024, de <https://eos.org/articles/groundwater-pumping-is-causing-mexico-city-to-sink-spanish>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (s.f.). La teoría de la dependencia: Enfoques contemporáneos y su aplicación en América Latina. Repositorio CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/b9b51996-fd72-4003-ba53-233762eebe50/content#:~:text=La%20teor%C3%ADa%20de%20la%20dependencia,del%20mismo%20en%20los%20pa%C3%ADses>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2014). *El de 2014 fue el abril número 25 entre los más secos, desde 1941*. Recuperado el 16 de septiembre de 2024. El de 2014 fue el abril número 25 entre los más secos, desde 1941 <https://www.gob.mx/conagua/prensa/el-de-2014-fue-el-abril-numero-25-entre-los-mas-secos-desde-1941#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20m%C3%A1s%20reciente%20emisi%C3%B3n%20del,la%20media%20hist%C3%B3rica%20que%20es%20de%2018.7%20mm>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2011). Estadísticas del agua en México. Recuperado el 28 de febrero de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259373/2011_EAM2011.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero 20 de noviembre (1412), Estado de

Jalisco. Recuperado el 29 de enero de 2024, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1412.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Texcoco (1507), Estado de México. Recuperado el 02 de febrero de 2024, de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/edomex/DR_1507.pdf

Conocimientos Fundamentales. (s.f.). La transición a la democracia en América Latina. Conocimientos Fundamentales. http://conocimientosfundamentales.rua.unam.mx/ciencias_sociales/Text/48_tema_05_5.2.4.html

Denzin, C., & Taboada, F., (2017). El agua en México: actores sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. Recuperado el 09 de marzo de 2024 de <https://agua.org.mx/biblioteca/el-agua-en-mexico-actores-sectores-y-paradigmas-para-una-transformacion-social-ecologica/#:~:text=M%C3%A9xico%2C%202018%20La%20presente%20obra%20busca%20llamar%20la,al%20agua%20en%20armon%C3%ADa%20con%20el%20medio%20ambiente.>

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019) Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Texcoco, clave 1507, en el Estado de México, Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Recuperado el 14 de noviembre de 2023 https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5572270&fecha=13/09/2019#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020) Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Recuperado el 19 de noviembre

de 2023 De
https://www.diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5708074&fecha=09/11/2023

Ecología y Vida., (s.f.) Sobrepoblación mundial: causas, consecuencias y soluciones para abordar el problema. Recuperado el 12 de octubre de 2024, de Sobrepoblación mundial: causas, consecuencias y soluciones para abordar el problema. <https://www.ecologiaverde.com/sobrepoblacion-mundial-causas-consecuencias-y-soluciones-1563.html>

Escalona, H., (2023). Fugas causan 33% de agua desperdiciada en la CDMX. *La Prensa*. <https://www.la-prensa.com.mx/metropoli/fugas-causan-33-por-ciento-de-agua-desperdiciada-en-la-cdmx-11461270.html>

Esparza, M., (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Revista de historia y ciencias sociales*, (89), 193-219. Recuperado el 13 de diciembre de 2023 de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008

FUNCAGUA (s.f.) *Agua en el planeta*. Recuperado el 02 de enero de 2024 de <https://funcagua.org.gt/agua-en-el-planeta/>

Gobierno Municipal de Texcoco. (2022). Programa de desarrollo municipal 2022-2024 de Texcoco. <https://www.texcocoedomex.gob.mx/Documentos/PDM%202022-2024%20Texcoco.pdf>

Gómez, U. (2011). La demanda de agua para uso doméstico y comercial en Texcoco de Mora, Estado de México. [Tesis de maestría]. Colegio de Postgraduados. Recuperado el 27 de marzo de 2024, de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/487>

González, C. (s.f.) El modelo de regresión lineal múltiple con stata. Recuperado el 25 de enero de 2024.

https://www.academia.edu/34465575/EL_MODELO_DE_REGRESI%C3%93N_LINEAL_M%C3%93LTIPLE_CON_STATA

- González, F., Vázquez, E., Aguilar, E., Arriaga, J., (2022). Perspectivas del agua en México. Propuestas hacia la seguridad hídrica. *Agua Capital*. 20-21. Recuperado el 14 de abril de 2024, de http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/Perspectivas_AguaenMexico2022.pdf
- Ibarra, D. (2013). Estrategias de desarrollo sostenible en comunidades rurales. *Revista de Estudios Socioambientales*, 6(1), 45-60. Recuperado en 13 de noviembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000100002&lng=es&tlng=es
- Iglesias Ibarra, Á y Fernández Rangel, J. (2022). Introducción a la econometría: teoría y aplicaciones usando Stata 17. Fundación Universitaria del Área Andina. Recuperado el 29 de marzo de 2024 de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3597277>
- Instituto del Agua. (s.f.). *¿Qué es el balance hidrológico?* <https://institutodelagua.es/hidrologia/que-es-el-balancehidrologicohidrologia/>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2020, septiembre 29). Impactos socioambientales derivados del estrés hídrico y los cambios en el almacenamiento de agua. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/impactos-socioambientales-derivados-del-estres-hidrico-y-los-cambios-en-el-almacenamiento-de-agua?idiom=es>
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2023). *Aguas en México: Resumen Ejecutivo*. Recuperado el 13 de febrero de 2024, de https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Resumenejecutivo_Aguas-en-Mexico.pdf
- Instituto Mexicano para la Tecnología del agua (IMTA). (2021). Vulnerabilidad del Cutzamala. *Perspectivas IMTA*. (18), 1-3. Recuperado el 27 de mayo de

2024, de <https://www.gob.mx/imta/articulos/vulnerabilidad-del-cutzamala?idiom=es>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.) Investigación COUMIP. Recuperado el 11 de noviembre de 2024, de <https://www.inegi.org.mx/investigacion/coumip/>

JMP. (s.f.). One-way ANOVA. JMP. https://www.jmp.com/es_mx/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html

Llamas M., & Custodio E. (2002). Acuíferos explotados intensivamente: conceptos principales, hechos relevantes y algunas sugerencias. *Boletín Geológico y minero de España* 113 (3). 223-229 Recuperado el 19 de diciembre de 2023 de <https://docta.ucm.es/entities/publication/acef4357-813d-43e5-9aa1-514057765975>

López, A. (2024, 28 de junio). *Aumenta en México la sequía moderada a extrema. El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Aumenta-en-Mexico-la-sequia-moderada-a-extrema-20240628-0088.html#:~:text=Tan%20solo%20para%20la%20primera%20quincena%20de%20junio,Monitor%20de%20Sequ%3%ADa%20en%20M%3%A9xico%20de%20la%20Conagua>

Merino, Á. (2023, 20 junio). El mapa del estrés hídrico en el mundo. *El Orden Mundial*. Recuperado el 09 de diciembre de 2023, de <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/mapa-estres-hidrico-mundo/>

Molina, T., (2021, agosto 20). Consecuencias de la minería en medio de la sequía en Chile. *EMOL*. Recuperado el 11 de noviembre de 2024, de <https://www.emol.com/noticias/Economia/2021/08/20/1030174/cconsecuencias-mineria-sequia.html>

Montero Granados. R. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España. Recuperado el 19 de noviembre de 2023 de https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf

- Moreno Sánchez, E., (2006). El recurso agua en el oriente del Estado de México: importancia en el proceso urbano-regional. Quivera. *Revista de Estudios Territoriales*, 8(2), 66-88. Recuperado el 18 de Diciembre 2024, de <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10534#:~:text=La%20zona%20se%20encuentra%20con%20una%20fuerte%20presi%C3%B3n,mayor%20impacto%20ecosist%C3%A9mico%20y%20ambiental%20en%20la%20regi%C3%B3n.>
- Noé, J., & Martínez, P. (2020). Análisis de la eficacia de la anestesia general en procedimientos quirúrgicos de alto riesgo. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 100-110. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n02.10.pdf>
- Núñez, I. (2020). Estudio sobre la influencia de la comunicación política en la percepción ciudadana: Caso de estudio en España (Trabajo de fin de grado). Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/31720/TFG%20C%20Nunez%20Testor%20C%20Ignacio.pdf>
- Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. (OHCHR). (2022, marzo 22). *El mundo debe poner fin a la sobreexplotación de los acuíferos, dice un experto de la ONU*. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. <https://www.ohchr.org/es/press-releases/2022/03/world-must-end-overexploitation-groundwater-says-un-expert#:~:text=La%20sobreexplotaci%C3%B3n%20de%20los%20acu%C3%ADferos,el%20consiguiente%20aumento%20de%20precio>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2015). Report of the World Commission on environment and development. New York: U.N. Recuperado de <https://digitallibrary.un.org/record/139811>
- Pacheco, R. (2014). Ostrom y la gobernanza del agua en México. *Revista Mexicana de Sociología*, 76 (1), 137-166. Recuperado el 18 de febrero de 2024 de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmsv76nspea6.pdf>

- Padilla, S. (2020). Modelo de Ramsey. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/modelo-de-ramsey.html>
- Pastrana, T., González, M., (2022). Injusticia Ambiental y marginación: La falta de acceso al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Revista Territorios*, (46), 1-25. Recuperado el 29 de marzo de 2024 de <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.9931>
- Pérez, J. M., & López, R. A. (2020). La teoría del neoinstitucionalismo económico (NE) y su influencia en las ciencias sociales. *Revista de Ciencias Sociales*, 34(3), 45-62 [https://www.redalyc.org/journal/364/36461095014/html/#:~:text=La%20Teor%C3%ADa%20del%20Neoinstitucionalismo%20Econ%C3%B3mico%20\(NE\)%2C%20presenta%20una%20discusi%C3%B3n,disciplinas%20de%20las%20ciencias%20sociales](https://www.redalyc.org/journal/364/36461095014/html/#:~:text=La%20Teor%C3%ADa%20del%20Neoinstitucionalismo%20Econ%C3%B3mico%20(NE)%2C%20presenta%20una%20discusi%C3%B3n,disciplinas%20de%20las%20ciencias%20sociales)
- Perló, M., & González, A. E. (2009). ¿Guerra por el agua en el Valle de México?: Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. Recuperado el 06 de enero de 2024, de http://centro.paot.org.mx/documentos/unam/guerra_por_agua_digital.pdf
- PopLab México. (s.f.). Pozos de chatarra. Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de <https://poplab.mx/dataCenter/pozos-chatarra/>
- Sahuquillo A, (2009). La importancia de las aguas subterráneas. Recuperado el 07 de agosto de 2023, de <https://rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>
- Samuel, B., & Palacios, L., (2012). Análisis de la sobreexplotación del acuífero Texcoco. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(2), 67-84 Recuperado el 06 de octubre de 2023 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000200005&lng=es&tlng=es
- Santamarina, S., (2023, 6 de junio). Títulos de Concesión para la explotación de Aguas Nacionales. Recuperado el 01 de agosto de 2023, de <https://www.santamarinasteta.mx/es/titulos-de-concesion-para-la->

[explotacion-de-aguas-nacionales-recomendaciones-para-conservar-un-valioso-activo/](#)

Seguridad y Protección Ciudadana, (s. f.). Precipitaciones de inicio de temporada de lluvias y ciclones genera importantes beneficios para la población. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/sspc/prensa/precipitaciones-de-inicio-de-temporada-de-lluvias-y-ciclones-genera-importantes-beneficios-para-la-poblacion>

Silva, J. A. (2008). El impacto de las políticas públicas en el desarrollo regional (Trabajo de investigación). Universidad de Santa Cruz. <https://www.unisc.br/site/sidr/2008/textos/63.pdf>

Solís, B. (2023). La importancia de lo invisible: ¿Por qué gestionar y conservar los acuíferos en América Latina y el Caribe? Recuperado el 25 de agosto de 2023, de <https://publications.iadb.org/es/aguas-subterraneeas-en-america-latina-y-el-caribe-politicas-y-experiencias-para-la-gestion-y>

Soto, D., (2024, 21 de enero). México será un país cada vez más seco en este 2024. *Política Expansión*. Recuperado el 16 de septiembre de 2024, de <https://politica.expansion.mx/sociedad/2024/01/21/mexico-sera-un-pais-cada-vez-mas-seco-en-2024>

Tinoco, M., (2024, junio 19). Ya sabemos cuál es el mes más caluroso y seco en toda la historia de México. *INFOBAE*. <https://www.infobae.com/mexico/2024/06/19/ya-sabemos-cual-es-el-mes-mas-caluroso-y-seco-en-toda-la-historia-de-mexico/>

Tinoco, M., (2024, mayo 30). Así es como el calor aumentó los niveles de sequía en México en las últimas semanas. *Infobae*. <https://www.infobae.com/mexico/2024/05/30/asi-es-como-el-calor-aumento-los-niveles-de-sequia-en-mexico-en-las-ultimas-semanas/#:~:text=Este%20incremento%20fue%20consecuencia%20de%20la%20segunda%20onda,muy%20calurosas%20en%20todas%20las%20entidades%20de%20México.>

U.S. Geological Survey. (s.f.). Gotita: ¿Qué es el agua? Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de <https://water.usgs.gov/gotita/qausage.html>

UNESCO. (2019). *Educación para el desarrollo sostenible: Informe de seguimiento* 2019. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380743_spa

Valdivielso, A. (2024). ¿Qué es la hidrogeología? Recuperado el 25 de octubre de 2024, de <https://www.iaqua.es/respuestas/que-es-hidrogeologia>

Vega, C. (2023). Aprende Economía. Recuperado el 12 de octubre de 2024, de <https://aprendeconomia.info/como-y-donde-surge-la-economia/>

Vinuesa, P., (2016), Correlación. *Centro de Ciencias Genómicas*. Recuperado el 12 de enero de 2024. https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8_correlacion.pdf

Wooldridge, J. M. (2010). *Introducción a la econometría: un enfoque moderno*.

Zaragoza, U. (2021). Estimación espaciotemporal de la recarga de agua subterránea mediante métodos de balance hídrico. Acuífero Texcoco, Estado de México. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México). Recuperado el 01 de agosto de 2023, de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112213>