



**El Colegio
de la Frontera
Norte**

Gestión del agua y sostenibilidad de los acuíferos en el
área metropolitana de Monterrey, Nuevo León

Tesis presentada por

Yasmín Ramírez Pichardo

para obtener el grado de

MAESTRA EN GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

Monterrey, N. L., México
2024

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Director de tesis: Dr. Alfonso Andrés Cortez Lara

Aprobado por el jurado examinador:

1. Dr. Juan Manuel Rodríguez Esteves
2. Dr. Hipólito Villanueva Hernández

Agradecimientos

Gracias a Dios por este tiempo.

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo financiero durante estos dos años. La beca me dio la oportunidad de aprender nuevos conceptos e ideas sobre la gestión del agua, conocer la ciudad de Monterrey y adquirir nuevos elementos teóricos y habilidades para contribuir y llevar a cabo la gestión de agua de manera integral.

El Colegio de la Frontera Norte me abrió sus puertas y me recibió cordialmente, muchas gracias por brindarme un ambiente académico enriquecedor y el apoyo incondicional de su personal administrativo y académico. En particular, quiero reconocer la guía y dirección de tesis el Dr. Alfonso Andrés Cortez Lara, cuyo conocimiento y experiencia fueron fundamentales para el éxito de este proyecto. Asimismo, agradezco al Dr. Juan Manuel Rodríguez Esteves por su importante participación y sus retroalimentaciones que hicieron mejor este trabajo y al Dr. Hipólito Villanueva Hernández por sus valiosas aportaciones y por compartir su espacio de trabajo.

Quiero agradecer a mis familiares por su amor y apoyo en todo tiempo. Gracias P. Viridiana, P. Germán, P. Gerardo, P. Sandra y P. Clara por compartirme la verdad.

Gracias al organismo operador de agua de Monterrey quien me permitió realizar una estancia en sus instalaciones.

Gracias el Lic. Ramón Morga por su tiempo, gracias Ing. Adriana, gracias al Dr. Luis Amando, gracias al Mtro. Juan Antonio Valero.

Agradezco por haber conocido a compañeras y compañeros maravillosos; Emilio, Jessica, Mariana, Cuauhtémoc y Paola por todo lo vivido.

RESUMEN

La gestión del agua en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) destaca por tener una administración sectorizada y una visión utilitarista, orientada a la eficiencia y sin considerar la conservación del medio ambiente. En la gestión del agua subterránea convergen instituciones federales, estatales y locales, el resultado de sus competencias y acciones ponen en riesgo la sostenibilidad del agua de los acuíferos. Por ello, se busca comprender la situación actual de los acuíferos que abastecen al AMM que concentra el 92% de la población del estado. La gestión de las aguas subterráneas se abordará desde la perspectiva de Ostrom y Schmid, en el marco de sistemas socio ecológicos y análisis institucional. Los hallazgos de la investigación arrojan que los acuíferos que abastecen el AMM están sobreexplotados, algunos de ellos con problemas de contaminación, derivado de efectos de la industria y crecimiento urbano descontrolado que también afecta las zonas de recarga de acuíferos. En el ámbito institucional existe sobre-concesiones de agua por la CONAGUA, a nivel estatal la gestión y distribución del agua la lleva a cabo Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey que se ha enfocado en la eficiencia dejando de lado la gestión integral, mientras que en el ámbito regional el Consejo de Cuenca del río Bravo no ha establecido un Comité Técnico de Aguas subterráneas que pueda complementar la gestión del agua del subsuelo.

SUMMARY

Water management in the Monterrey Metropolitan Area (AMM) is characterized by a sectorized administration and a utilitarian vision focused on efficiency, and with no full consideration of environmental conservation. In the case of, groundwater management, converge efforts from the federal, state and local institutions, as a result, their powers and actions put the sustainability of aquifer's at risk. Therefore, we seek to understand the current situation of aquifers, which represent the main supply source for the AMM, which concentrates 92% of the state's population. Groundwater management will be addressed from the perspective of Ostrom and Schmid, framed by the socio-ecological systems and institutional analysis approaches. The major findings of this research show that the aquifers that supply the AMM are overexploited, some of them with significant pollution problems as a result of industrial activities as well as uncontrolled urban growth that impacts the aquifer recharge zones. It is safe to say that in the institutional arena, there is an over-concession of water induced by CONAGUA; at the state level, water management is handled by Services de Agua y Drenaje de Monterrey, which focuses more on efficiency issues, leaving aside comprehensive management. At the regional scale embraced by the Rio Bravo Basin Council, it has not established a Technical Committee on Groundwater which could provide support in monitoring groundwater behavior.

PALABRAS CLAVE

Acuíferos, sobreconcesiones, contaminación, gestión del agua, instituciones.

KEY WORDS

Aquifers, over-concessions, pollution, water management, institutions.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
Identificación del problema.....	11
Delimitación del área de estudio	14
Pregunta general	25
Objetivo General	25
Objetivos particulares	26
Justificación:.....	26
Hipótesis:	27
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO CONCEPTUAL	28
Estado de la cuestión	28
Sistemas socio ecológicos (SSE).....	30
Análisis institucional	39
CAPÍTULO III: ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	47
1) Revisión de literatura	47
2) Análisis de sistemas de información geográfica (SIG)	53
3) Realización de entrevistas semiestructuradas.	57
CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY Y SUS ACUÍFEROS.	61
Situación urbano-ambiental.....	61
Gestión del agua en México	86
Gestión del agua en el área metropolitana de Monterrey	97
Breve recuento histórico del agua en Nuevo León.....	114
Estrategias de colaboración para abastecer el AMM	118
CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	123
Bibliografía	153
Anexo 1 Cuestionario de la entrevista	163
Anexo 2 Disponibilidad media anual por acuífero 2003-2023	166
Anexo 3 Estructura de las entrevistas	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Crecimiento de población de los municipios dela AMM	23
Tabla 2 Enfoque de sistemas socio ecológicos	36

Tabla 3 Análisis institucional: tipos de transacción.....	43
Tabla 4 Categorías de primer y segundo orden	47
Tabla 5 Variables dependientes e independientes de aguas subterráneas	49
Tabla 6 Temas analizados que conforman los sistemas conectado de aguas subterráneas	54
Tabla 7 Actores entrevistados.....	59
Tabla 8 Estructura para el acomodamiento de información y análisis de entrevistas	60
Tabla 9 Actores involucrados en la gestión de ANP dentro de la zona metropolitana de Monterrey.....	64
Tabla 10 ANP: Zonas de recarga importantes para los acuíferos.....	65
Tabla 11 Pérdida/ganancia de uso de suelo y vegetación de 2001 y 2021	70
Tabla 12 parques industriales por municipios.....	78
Tabla 13 Consumo de agua por tipo de actividad económica en NL	80
Tabla 14 Semáforo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la red de monitoreo del agua de CONAGUA	85
Tabla 15 Breve historia de la gestión del agua en México	88
Tabla 16 Instituciones y organizaciones en la gestión del agua subterránea en el AMM	89
Tabla 17 Niveles en los que opera la CONAGUA	90
Tabla 18 Acciones del OCRB para garantizar el derecho humano al agua del AAMM al 2023	92
Tabla 19 Estructura del consejo de cuenca del río Bravo.....	94
Tabla 20 Modelo de gestión en México.....	97
Tabla 21 Ordenamientos en los acuíferos al 2021	101
Tabla 22 Volumen de agua concesionada por tipo de uso y acuífero (Mm ³ /año)	102
Tabla 23 Tabla de cuota, pago por derecho sobre agua superficiales y subterráneas.....	105
Tabla 24 Zona de disponibilidad de los acuíferos que abstén el AMM para el pago de derechos de agua.....	105
Tabla 25 Usuarios principales del agua por acuífero, según volumen de agua concesionado REPDA 2023.	108
Tabla 26 Aprovechamiento y uso de agua por acuífero	110

Tabla 27 Numero de título de aguas subterráneas en el estado de Nuevo León.....	112
Tabla 28 Numero de título de concesión de agua subterráneas por acuífero	113
Tabla 29 Infraestructura: recuento histórico del desarrollo del AMM; Error! Marcador no definido.	
Tabla 30 Marco S.E.F. Interdependencias de incompatibilidad de uso de agua en los acuíferos que abastecen el AMM.....	124
Tabla 31 interdependencias: costos de exclusión	133
Tabla 32 Interdependencias: Cooperación no cooperación	138

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sistemas Socio Ecológicos	31
Ilustración 2 Marco de análisis multinivel: 4 subsistemas	35
Ilustración 3 Orden lógico de aplicación de SIG	53
Ilustración 4 Diagrama de la conformación de la empresa de aguas y saneamiento de Monterrey.....	100
Ilustración 5 Usuario del agua subterránea en el AMM	107

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea representa el 96% del agua no congelada en el mundo, abastece casi el 50% del agua potable en el planeta y 43% es destinada al uso agrícola (UICN, 2020, pág. 7). Se prevé que en el año 2050 las ciudades de América Latina y el Caribe pueden llegar a consumir hasta 4 veces más los recursos, lo que implica una alarmante degradación de ecosistemas si no se adoptan medidas de planificación integral del territorio (ONU, 2021). La creciente urbanización a nivel mundial plantea desafíos en la gestión del agua. Se proyecta que en 2050, el 70% de la población global vivirá en ciudades (Banco Mundial, 2023), lo que significa que la infraestructura urbana deberá ser condicionada para brindar los servicios de agua potable y saneamiento.

En este ámbito las aguas subterráneas juegan un papel muy importante como grandes reservas de agua permiten el desarrollo económico, social y ecológico. Las aguas del subsuelo pueden dar origen a las aguas superficiales, mantiene saludables ríos, humedales, riberas y zonas bajas (WWF, 2021), sin embargo la invisibilidad, las hace ser altamente vulnerables a las actividad humanas, en las zonas urbanas los acuíferos son afectados por el constante crecimiento demográfico y económico, en las zonas rurales por actividades agrícolas.

La falta de intereses y comprensión sobre la función de los ecosistemas ha generado un desequilibrio ecológicos, además de que existe instrumentos legales que no se aplican para gestionar los recursos naturales, lo que impacta en la sostenibilidad de los mismos, por ejemplo el desvío de ríos, que puede beneficiar o impactar en otro lugar, como la construcción de infraestructura y sobreexplotación del agua (Carbias & Landa, 2005). La sobreexplotación de los acuíferos ha deteriorado la calidad del agua debido a la salinización y migración de agua fósil, esto es ocasionado por la extracción excesiva de agua y el

número de pozos que se encuentra en un espacio determinado (Carbias & Landa, 2005:33).

El estudio del agua subterráneas se conecta con múltiples conexiones; físico químicas, sociales, económicas y hoy se habla de instituciones. Desde la parte físico química, se encuentran las características hidrogeológicas, desde la parte social, el efecto de oferta y demanda, en la parte económicas, el valor y costo de los servicios por el agua y para la conservación, y finalmente desde la perspectiva institucional, toda la gestión y gobernanza del agua.

La distribución del agua en México es desigual, ya que el 77% de la población que se ubica en el centro y norte solo dispone del 31% del agua renovables, mientras que al sur y sureste se localiza en 69% del agua, pero solo el 23% de la población (Díaz et al., 2013). Es evidente que la contracción de población demanda más agua que las zonas rurales agua, en cuanto abastecimiento de agua, la zona semiáridas donde se localiza el AMM cuenta con el 4.5% de la población.

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), hasta 2023, en el estado de Nuevo León, el sector agrícola concentra el 58% de las concesiones de agua. El 29% se destina al abastecimiento público-urbano para satisfacer las necesidades domésticas. El 4% del agua se utiliza para actividades industriales, el 6% se destina a otros usos, y el 1% se asigna a servicios y Acuacultura.

La gestión del agua subterránea enfocada a la sobreexplotación intensiva de los acuíferos sin considerar el medio ambiente (acuíferos) pone el riesgo la estabilidad financiera y social de una región. La calidad del agua es un elemento esencial dentro de la sostenibilidad, la seguridad hídrica y el derecho a un medio ambiente sano. Es un indicador que evalúa la condición de los sistemas ambientales.

La CONAGUA, a través de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), ha sido responsable de regular su uso, pero las concesiones mal asignadas ponen el riesgo los volúmenes disponibles para el medio ambiente. El estado de déficit de un acuífero es un parámetro que no tiene la relevancia dentro de la gestión, pues pese a que se encuentra en déficit, se prioriza el consumo humano de agua y de las actividades económica, excluyendo al acuífero como un usuario ambiental.

Los desafíos actuales exigen un proceso de adaptación y transformaciones institucionales que permita a los usuarios reconocer y gestionar el agua subterránea como un recurso de uso común. El agua subterránea ha sido históricamente vista como un recurso inagotable y de libre acceso, lo cual ha llevado a su sobreexplotación. La CONAGUA tiene a su cargo la gestión del agua y es la encargada de otorgar y cancelar concesiones y asignaciones. Esta instancia, ha otorgado más concesiones de agua que la que naturalmente puede recargar. A este factor se le agrega el fenómeno de sequía prolongado y el aumento poblacional, económico y cambio climático.

El Consejo de Cuenca del río Bravo tiene como objetivo fomentar la participación social entre los actores y usuarios del agua, con el respaldo de la academia y organizaciones civiles, para lograr una gestión eficiente en el manejo del recurso. Sin embargo, en la práctica esta participación no siempre refleja la realidad del recurso sobreexplotado. Entre sus funciones, el Consejo debería promover la creación de órganos auxiliares, como el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS), pero hasta el momento no se ha implementado dicho organismo. A nivel local, el Organismo Operador de Agua y Drenaje Monterrey (SADM), responsable de la gestión del agua en el estado, ha priorizado la eficiencia del servicio y la construcción de infraestructura, dejando de lado una gestión integral del agua. Por otro lado, la cooperación entre instituciones ligadas al medio ambiente, llevan a cabo las acciones a favor de la conservación de cuencas, pero la urbanización y crecimiento demográficos cada vez son las grandes.

Esta investigación, a través del marco analítico Situación-Estructura y Funcionamiento (SEF) propuesto por Schmid (2004), se describe la situación de los Recursos de Uso Común (RUC), las incompatibilidades de uso y los impactos de las instituciones en las aguas subterráneas, permitiendo la propuesta de instituciones alternativas. Por otra parte, se realizaron entrevistas semi-estructuradas a profundidad con organizaciones que participan en la gestión del agua, como CONAGUA, SADM, Pronatura, Parques y Vida Silvestre, y el Consejo de Cuenca del Río Bravo y CONANP. La investigación se estructuró de la siguiente manera:

El Capítulo 1 establece las directrices de investigación que sustentan el trabajo. En el Capítulo 2 se desarrolla el marco teórico-conceptual que considera las perspectivas combinadas de Análisis Institucional (AI), y los Sistemas Socio-Ecológicos. El Capítulo 3 describe la estrategia metodológica; información documental, entrevistas semi-estructuradas a profundidad con actores clave y análisis geográfico y sistemas de información geográfica. En el Capítulo 4 se realiza la caracterización de los acuíferos y el área metropolitana de Monterrey. Finalmente, el Capítulo 5 presenta el análisis y la discusión

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Identificación del problema

La disponibilidad de agua subterránea se determina mediante el balance hídrico, el cual cuantifica la oferta y la demanda de este recurso. La oferta de agua de un acuífero, está en función de la variabilidad de la precipitación, las características geológicas, el clima, la orografía y el cambio climático, por su parte, la demanda, se refiere el volumen que requieren los usuarios.

El balance de las aguas subterráneas depende de las entradas, salidas y cambios de masas, estos último se miden según los niveles piezométricos. Las recargas son las entradas de agua que recibe el acuífero, puede ser de forma natural o artificial. Las salidas se producen por la extracción mediante bombeo, descargas naturales por manantiales y evapotranspiración. Estos datos son indispensable para medir la disponibilidad media anual de agua en el subsuelo de un acuífero (DMAS). Se mide de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} \\ \text{SUBSUELO EN UN} \\ \text{ACUÍFERO} \end{array} = \begin{array}{l} \text{RECARGA} \\ \text{TOTAL} \\ \text{MEDIA} \\ \text{ANUAL} \end{array} - \begin{array}{l} \text{DESCARGA} \\ \text{NATURAL} \\ \text{COMPROMETIDA} \end{array} - \begin{array}{l} \text{EXTRACCIÓN DE AGUAS} \\ \text{SUBTERRÁNEAS} \end{array}$$

La fórmula explica que la DMAS está en función del volumen total de agua que recarga al acuífero. Las descargas naturales comprometidas es la suma del agua que esta concesionada de los manantiales y el caudal base de los ríos que están alimentados por un acuífero, más el volumen para conservar otros acuíferos y evitar la mala calidad.

La extracción de aguas subterráneas, es el volumen de agua asignado o concesionado que está inscrito en el REPDA, también se encuentran los volúmenes de agua que se están en proceso de registro y titulación o de estudios hidrológicos, y reservas, reglamentos. A través de los resultados se evalúan la asignación de nuevas concesiones, con ello se generan planes, programas o se declaran vedas.

Los métodos utilizados para determinar la disponibilidad media del agua pueden presentar cierta incertidumbre, por la delimitación geográfica del acuífero. La gestión del agua subterránea delimitado por líneas administrativas ha demostrado ser ineficaz, debido a la falta de instrumentos científicos que indique el verdadero volumen de extracción y nivel de contaminación (Barranco, 2018). El polígono irregular del acuífero a menudo se percibe como un acto de conveniencia política a favor de quien lo administra (Hatch, Schmidt, & Carrillo-Rivera, 2020). Según Carrillo-Rivera & Ouyse (2012), es necesaria una delimitación basada en una comprensión profunda del sistema de flujos subterráneos, de lo contrario, la sustentabilidad del agua subterránea está en peligro (Domínguez, y Carrillo-Rivera, 2007). La gestión del agua se complica debido a que los límites de las cuencas hidrográficas, definidos por las divisorias de agua, no coinciden con los límites administrativos municipales. Esta situación, dificulta la coordinación entre diferentes autoridades y puede generar conflictos por el agua.

La gestión del agua del país se lleva a cabo a través de 13 regiones hidrológicas administrativas. Estas regiones se subdividen, en 37 subcuencas hidrológicas y a nivel local en 757 cuencas hidrológicas o microcuencas, mientras que las aguas del subsuelo se dividen en 653 acuíferos. Cada región hidrológica contiene al menos una cuenca hidrográfica, y ninguna cuenca está presente en más de una región hidrológica (Carbias & Landa, 2005, pág. 48).

La posición geográfica del AMM ubicada en una región semidesértica propensa a sequías recurrentes, ha experimentado un significativo desarrollo industrial. Esta combinación ha generado una creciente demanda de agua, tanto para la actividad industrial como para abastecer a la creciente población. Para satisfacer esta demanda, se han explotado fuentes hídricas superficiales y subterráneas. El impacto en tiempos de sequía, aumenta la presión sobre los acuíferos, pero al mismo tiempo su función es esencial para abastecer a la población, pero la mala gestión los hace más vulnerables frente a la crisis climática. Durante las sequías, los sistemas subterráneos se ven sometidos a un estrés considerable, lo que aumenta su vulnerabilidad (Magaña, Méndez, Neri, & Vázquez, 2018).

La gestión del agua del subsuelo en el AMM se lleva a cabo por el organismo operador de agua Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), el cual se encarga de los procesos de extracción, potabilización, conducción, distribución y saneamiento. Para satisfacer la demanda de agua en el AMM, el 70% del agua se extrae de presas y el 30% de fuentes subterráneas. La ciudad requiere de 13 a 16 m³/s para satisfacer sus necesidades, siendo el consumo máximo en la temporada de verano, cuando se presentan las temperaturas más altas. Algunos de los problemas que enfrenta la gestión del agua en Nuevo León son; la extracción constante del agua para la industria y uso público urbano, sequías, sobreconcesionamiento y crecimiento urbano desordenado. Sin embargo, a nivel institucional los acuíferos se encuentran desprotegidos por una ley local, a pesar de las vedas impuestas por Conagua existen transacciones dentro de la institución que emite nuevas concesiones de agua, empeorando la situación de los acuíferos (infobase, 2022)

Los acuíferos que dan agua para AMM forman parte de la Región Hidrológica Administrativa del Río Bravo VI (RHARBVI). En 2020, esta región presentó un alto grado de presión hídrica¹ del 74%. El volumen de agua renovable concesionado per cápita es de 981 m³/hab/año, y se espera que para 2030 el volumen disminuya a 908 m³/hab/año. Esta región es la segunda con menor cantidad de agua renovable, después de la cuenca del Valle de México, que tiene 144 m³/hab/año (CONAGUA, 2021a).

¹ El grado de presión hídrica se mide al dividir el culmen concesionado entre la disponibilidad media anual

Delimitación del área de estudio

La gestión del agua en el AMM se desataca por una administración sectorizada y una visión utilitarista del recurso (Monforte et al., 2012: pág. 62), centrada en alcanzar la cobertura total del servicio de agua potable y saneamiento para los usuarios, de manera que la venta del agua y buscar nuevas fuentes de abastecimiento es su prioridad. La gestión de las fuentes subterráneas está relacionadas con la extracción intensiva por derecho de uso. SADM como el principal usuario y actor, junto con la industria sobre las aguas subterráneas extraen más agua de la que el sistema natural puede recuperar, generado un déficit y amenaza ambiental contra las aguas subterráneas.

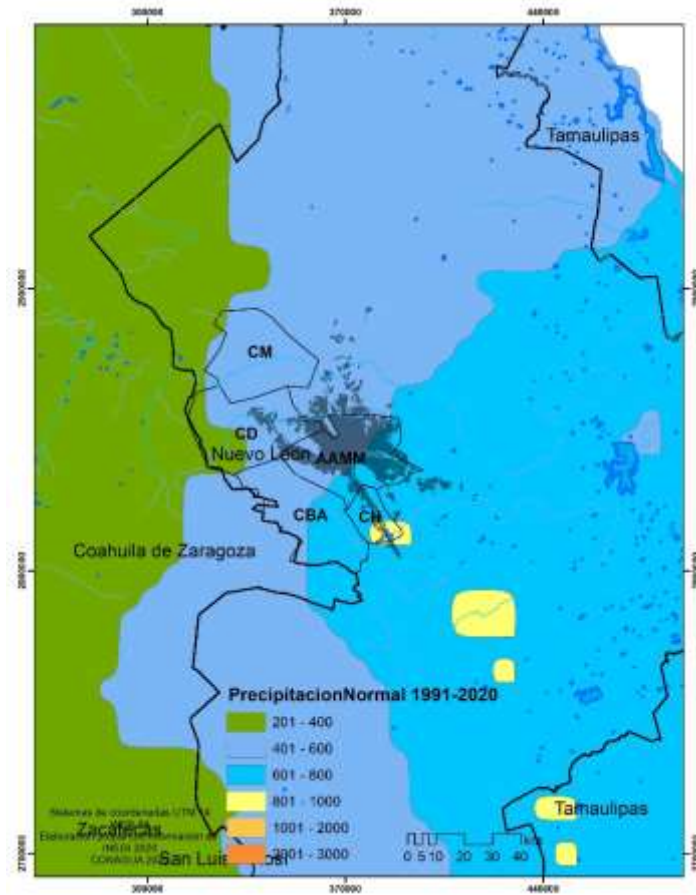
Staines (2020) menciona que el trabajo es uno de los valores que caracterizan a la sociedad de Nuevo León. La naturaleza era considerada como una fuente inagotable de recursos, destinada a ser utilizada y explotada sin límites y sin cuestionamiento moral (Staines Díaz, 2020, pág. 183), la visión mercantil de la sociedad ha olvidado que comparte el espacio geográfico donde interactúan otros seres vivos (Villanueva, Hipólito, 2018)

Los acuíferos que abastecen el AMM se encuentran en la región noreste de México, específicamente entre las coordenadas $25^{\circ}40'30.3''$ N y $100^{\circ}19.108'$ O, se localizan en la zona semidesértica. Los acuíferos que abastecen a la ciudad son; Campo Buenos Aires (CBA), Cañón del Huajuco (CH), Área Metropolitana de Monterrey (AAMM) y Campo Mina (CM). Los tres primeros están situados en la Sierra Madre Oriental (SMO), mientras el acuífero CM se encuentra al norte de la ciudad.

La variabilidad topográfica da lugar a distintos tipos de acuíferos con variaciones litológicas y de rendimientos diferentes. En SMO donde se localizan los acuíferos y el AMM. La sierra se levanta de dirección noreste sureste, como una barrera en la cual chocan los vientos alisios, provenientes del Golfo de México, lo cual genera una significativa diferenciación climática (Biarnes & Hoffmann, 1995).

Por su parte, el ACM se localiza en un ambiente diferente, menos lluvias y se considera que la alimentación del acuífero es producto de un flujo regional. Según, Villanueva (2018) el flujo subterráneo de este último acuífero no necesariamente proviene del ciclo hidrológico anual, sino más bien es agua fósil, lo que aumenta su valor ambiental.

Mapa 1 Precipitación media anual del 1992-2020



Fuente: elaboración propia con información de SINA, 2023

La precipitación promedio del estado fluctúa entre 400 y 600 mm al año (INEGI, 2016). Sin embargo, la variabilidad de precipitación que puede llegar a provocar sequías meteorológicas² hidrológicas³ y económicas⁴. Durante las sequías meteorológicas, la escasez de agua en áreas urbanas incrementa el riesgo de sequías socioeconómicas, debido al efecto combinado del peligro climático en una región vulnerable (Magaña, Herrera, Ábrego-Góngora, & Avalos, 2021). Una región es más vulnerable a las sequías meteorológicas si los acuíferos están sobreexplotados, y si no hay planes para reducir el

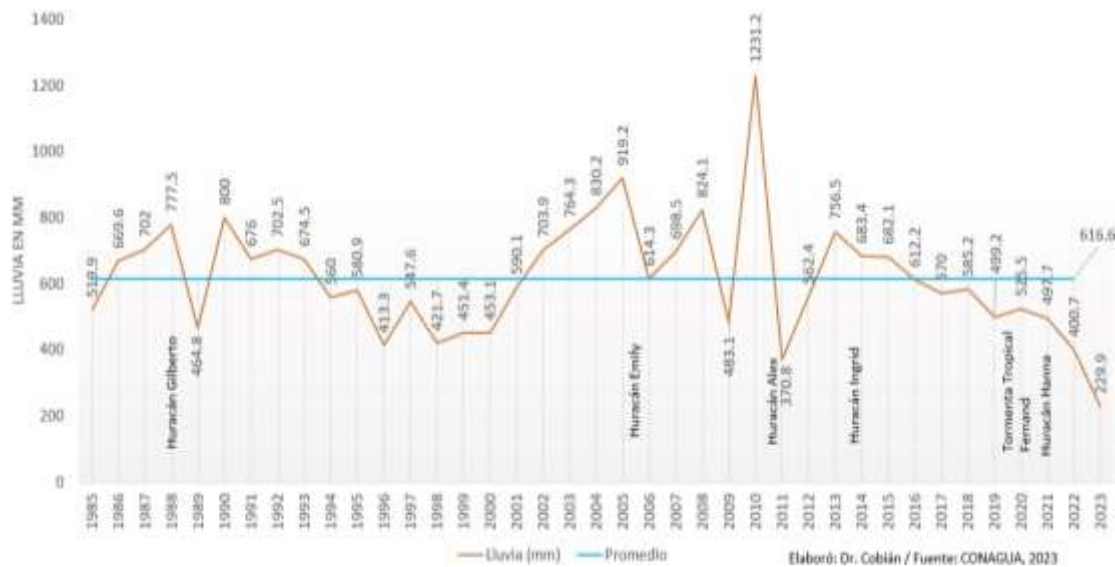
² se manifiesta cuando existe una sequía prolongada.

³ se manifiesta cuando no hay agua en los embalses superficiales y en el subsuelo.

⁴ se manifiesta cuando los impactos por falta de agua impiden realizar actividades económicas

consumo de agua o no se utiliza información climática para acciones preventivas (Magaña, Herrera, Ábrego-Góngora, & Avalos, 2021).

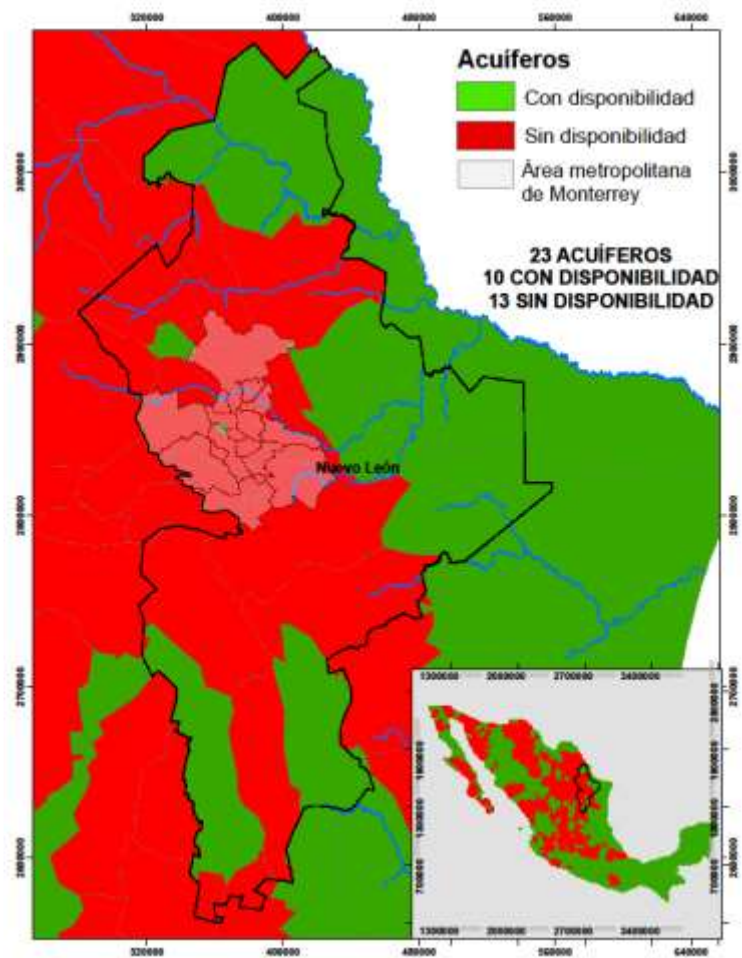
Gráfica 1 Precipitación acumulada anual en el estado de Nuevo León



Fuente: CONAGUA, 2023, elaborado por Dr. Cobían de UANL

La gráfica 1 evidencia la compleja relación entre eventos meteorológicos extremos y la disponibilidad de agua en la región. El huracán Alex de 2010, uno de los más intensos registrados, causó inundaciones devastadoras pero también aportó grandes volúmenes de agua a la región. Sin embargo, los datos muestran que a este evento le siguieron períodos de sequía prolongados, lo que sugiere que la recuperación de los acuíferos es un proceso lento y que las precipitaciones extremas no siempre responden a la recuperación de los acuíferos.

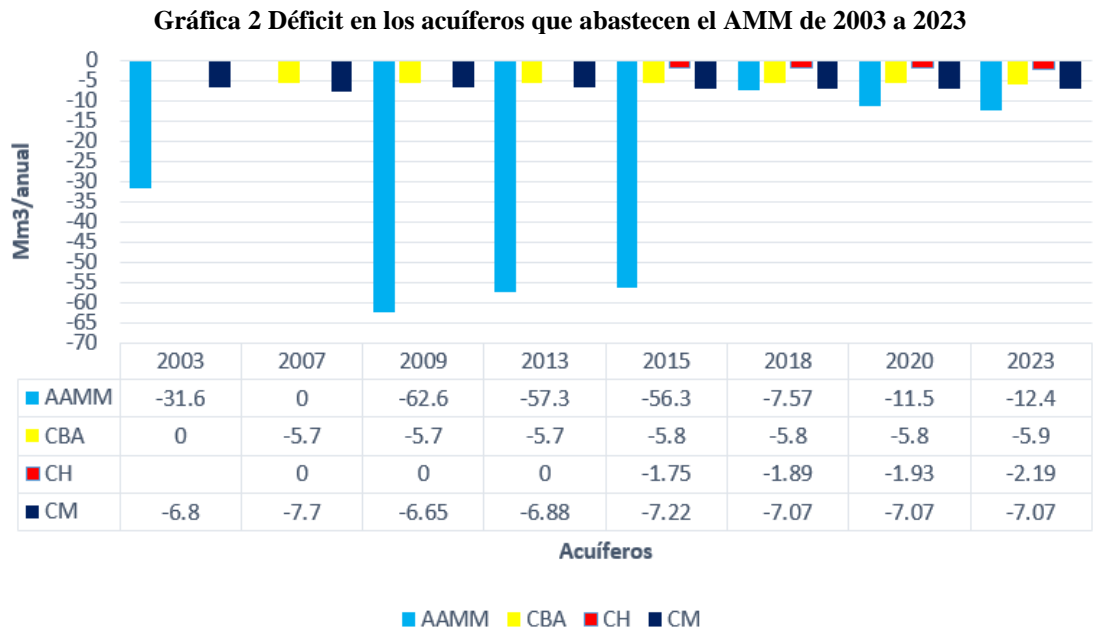
Mapa 2 Acuíferos que abastecen el AMM sin disponibilidad



Fuente: elaboración propia con información de SINA,2023

De los 23 acuíferos que existen en el estado de Nuevo León, 13 se encuentran en déficit, siendo los más impactados los denominados Citrícola Sur, Navidad Potosí y Citrícola Norte, localizados al sur del AMM, su principal uso es agrícola, mientras que Sabinas-Parras se ubica al norte de estado. Sin embargo, en esta investigación se analizaron solo los acuíferos que abastecen el AMM y que se localizan en la zona centro y periferia del AMM. Estos expresan condiciones de déficit, no disponibilidad y sobreexplotación. La crisis de los acuíferos del AMM es un reflejo de una problemática más amplia que afecta a gran parte del territorio mexicano, especialmente en el norte del país, donde existe un

crecimiento continuo de actividades económicas y población que depende de los recursos hídricos del subsuelo que lleva a su agotamiento.



Fuente: elaboración propia con información de diario oficial de la federación (2003-2023)

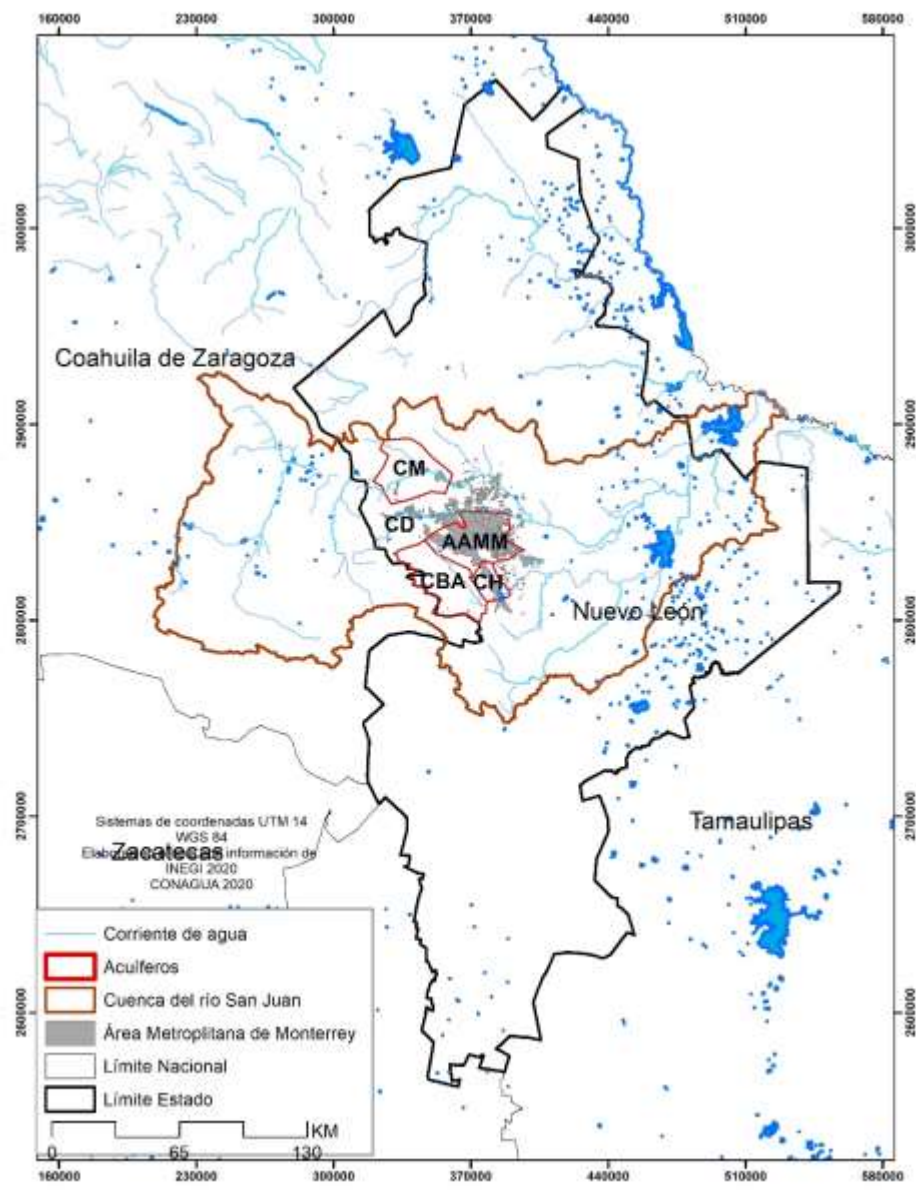
La gráfica número 2 revela un patrón preocupante de sobreexplotación de los acuíferos en la región a lo largo de 20 años. La CONAGUA, encargada de evaluar la disponibilidad hídrica, establece que los volúmenes medios anuales de los acuíferos deben actualizarse como máximo cada tres años. Los datos disponibles desde 2003 indican que los acuíferos CBA, CM y AAMM ya presentaban un déficit hídrico significativo incluso antes de esa fecha. En el caso del acuífero CH el desbalance entre la recarga y extracción y comienza a presentarse en 2015.

El Acuífero del AAMM ha sufrido una sobreexplotación considerable, alcanzando un déficit máximo de 62.6 Mm³/año en 2009. El estado crítico de sobreexplotación es consecuencia de fallas en la gestión institucional. La Conagua ha entregado más agua de la que el acuífero puede recargar. Como ya se mencionó los eventos climáticos extremos, como la sequía de 2009, caracterizada por escasas precipitaciones de solo 483 mm, por debajo de la media.

El aumento de población fue significativo, entre periodo de 2000-2010, se sumaron 797,073 habitantes al AMM, lo que aumento la demanda de agua, además en desde 1994 no se habían creado nuevas fuentes de abastecimiento, generado una presión cada vez creciente sobre los acuíferos. Sin embargo, la industria es el principal usuario en el acuífero AAMM, extrae el 53% del agua subterránea, el 23% es para uso público-urbano, 7% para servicios y el resto para otros usos, Esta situación marca una incompatibilidad de uso entre los mismos usuarios urbanos y también entre el usuario ambiental (acuíferos) y los usuarios urbanos, esta situación de competencia debida a la escasez, se expondrá más adelante.

A pesar de la presencia de eventos climáticos extremos como el huracán Alex, que aportó 1,231 mm de precipitación a Nuevo León en 2010, los datos de la Conagua no evidencian una recuperación significativa del acuífero. Factores como la gestión inadecuada del recurso, la persistencia de sequías, la alta demanda y la pérdida de áreas de recarga debido a la plancha de concreto sobre el acuífero, han limitado la capacidad de recarga natural. Aunque en 2018 se registró una mejora debido a un aumento en la precipitación.

Mapa 3 ubicación de la cuenca del río San Juan, Nuevo Leon.



Fuente: elaboración propia con información de SINA 2023

Desde que CONAGUA publicó por primera vez la disponibilidad del volumen medio anual disponible de agua subterránea en 2003, los acuíferos CBA, CM y AAMM ya se encontraban en déficit. El mapa 2 revela un histórico déficit en los acuíferos de la cuenca del río San Juan, región fuertemente impactada por el desarrollo industrial y urbano. Según Cantú (2018), esta cuenca presenta los índices de impacto ambiental más elevados, a pesar

de contar con una amplia legislación ambiental. Esta paradoja se explica por la ineficacia de las medidas de conservación existentes, lo que evidencia la urgencia de implementar políticas más efectivas (Cantú Ayala, et. Al., 2018).

Es importante mencionar que la implementación del modelo neoliberal en México a partir de 1983 representó un giro radical en el panorama económico, obligando a los sectores industriales regiomontanos a una profunda reestructuración. La menor intervención estatal y la apertura a la inversión extranjera, permitieron a las empresas regiomontanas adaptarse rápidamente a los nuevos tiempos. Los acuerdos comerciales como el GATT o TLCAN, aceleraron los proceso de globalización, en el cual Monterrey jugó un papel protagónico (Sousa, 2008)

Derivado de ello, uno de los factores que inciden en la sobreexplotación de los acuíferos es la creciente demanda de población. El AMM concentra el 92% de los habitantes de Nuevo León, ejerce una presión inmensa sobre los recursos hídricos subterráneos, concentra 5.5 de los 5.7 millones de personas de todo el estado. Monterrey es la segunda ciudad más grande de México, experimenta un crecimiento poblacional del 2.3%, lo que exacerba aún más la demanda de agua.



Fuente: tomado de INEGI 2020

El crecimiento acelerado de la población del AMM, especialmente en las zonas periféricas, ha generado una demanda de servicios básicos que supera la capacidad de la infraestructura

existente. Si bien, el AMM cuenta con una red de distribución de agua, esta se concentra principalmente en los municipios cercanos a Monterrey, especialmente en los 9 municipios que formalmente se considera parte del AMM⁵. Como consecuencia, municipios como Pesquería, El Carmen, García, Ciénega de Flores y Salinas Victoria enfrentan un déficit en el suministro de agua potable.

Tabla 1 Crecimiento de población de los municipios dela AMM

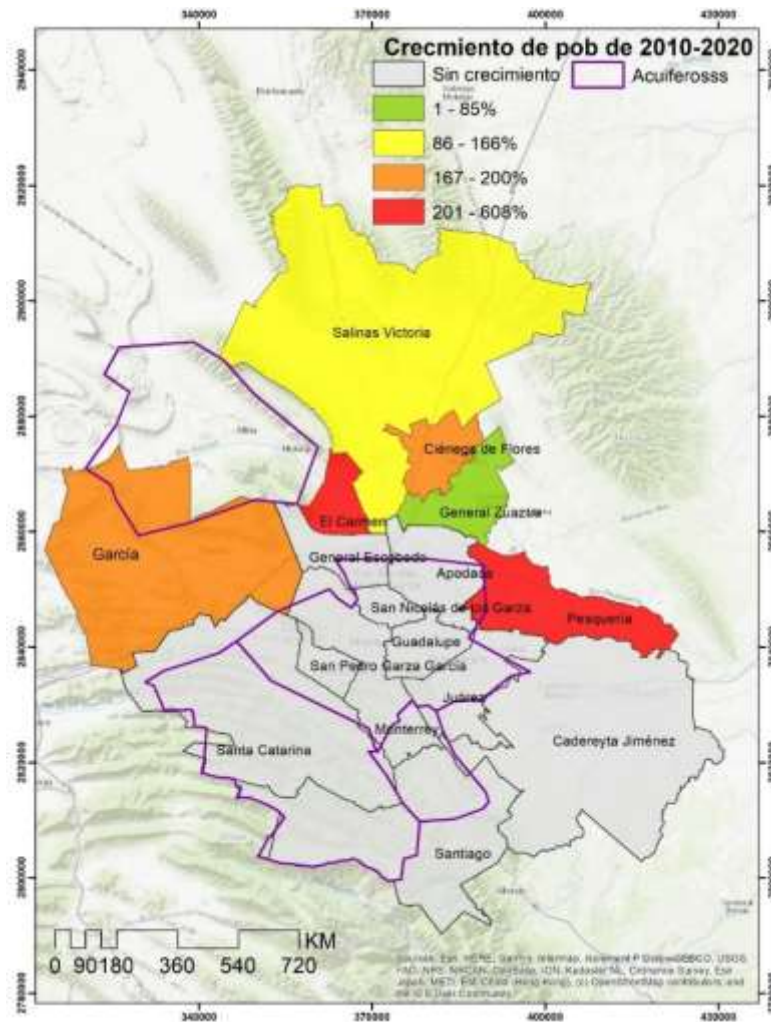
Municipios	Población por municipio			Crecimiento porcentual	
	2000	2010	2020	2000-2010%	2010-2020 %
041 Pesquería	11,321	20,843	147,624	84.11	608.27
010 El Carmen	6,644	16,092	104,478	142.20	549.25
012 Ciénega de Flores	11,204	24,526	68,747	118.90	180.30
018 García	28,974	143,668	397,205	395.85	176.47
045 Salinas Victoria	19,024	32,660	86,766	71.68	165.66
025 General Zuazua	6,033	55,213	102,149	815.18	85.01
031 Juárez	66,497	256,970	471,523	286.44	83.49
009 Cadereyta Jiménez	75,059	86,445	122,337	15.17	41.52
021 General Escobedo	233,457	357,937	481,213	53.32	34.44
006 Apodaca	283,497	523,370	656,464	84.61	25.43
049 Santiago	36,812	40,469	46,784	9.93	15.60
048 Santa Catarina	227,026	268,955	306,322	18.47	13.89
019 Garza García	125,978	122,659	132,169	-2.63	7.75
039 Monterrey	1,110,997	1,135,550	1,142,994	2.21	0.66
026 Guadalupe	670,162	678,006	643,143	1.17	-5.14
046 San Nicolás de los Garza	496,878	443,273	412,199	-10.79	-7.01

Fuente: elaboración propia con información de INEGI 2000 y 2020

La tabla 1 muestra que los municipios del análisis de estudio, que SADM los considera como el AMM. De 2000 a 2010 el municipio de Zuazua pasó de 6,033 personas a 55,213 personas creciendo un 815 % su población. El municipio de García paso de 28,974 a 143,668 en 10 años, creció un 395 % su población. Por su parte, de 2010 a 2020 el municipio de Pesquería ha creció un 608 % su población en 10 años, pasado de 20,843 a 147,624. Estas cifras manifiestan la dinámica demográfica y el aumento intenso de servicios de agua.

⁵ Monterrey Guadalupe, San Nicolás, San Pedro, Apodaca, Santa Catarina, Escobedo, Cadereyta y Juárez

Mapa 4 Densidad y crecimiento de población por municipio



Fuente: elaboración propia con información de INEGI 2000-2020

El crecimiento desordenado de las periferias junto con la proliferación de parques industriales, ha reducido espacios de áreas verdes, que son fundamentales para la recarga de los acuíferos. Las ANP desempeñan un papel central en este proceso en el equilibrio de los acuíferos. Pero, las instituciones encargadas de la gestión del agua en la región priorizan

la extracción y el suministro, a través de procesos técnicos dejando de lado la protección y restauración de los ecosistemas, que son considerados como servicios ambientales.

La gestión del agua en el AMM se enfrenta a un escenario complejo debido a la incompatibilidad de uso entre usuarios urbanos y el medio ambiente. Las instituciones (leyes, normas, planes y programas) impactan en la calidad y cantidad de agua de los acuíferos y el problema se acelera con la el crecimiento demográficos, la variabilidad climática y la expansión urbana. Dada esta situación, surgen las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta general

¿De qué manera los procesos en el manejo de la gestión del agua afectan la sostenibilidad de los acuíferos Campos Buenos Aires, Campo Mina, Área Metropolitana de Monterrey y Cañón del Huajuco que abastecen al área metropolitana de Monterrey?

Preguntas específicas.

1. ¿Cuáles son las características físicas, económicas y demográficas de la zona de estudio?
2. ¿Cuáles son los usos y usuarios que comparten los acuíferos, Área Metropolitana de Monterrey, El Cañón del Huajuco, Campo Mina y Campo Buenos Aires?
3. ¿Cuál es el rol de las instituciones formales e informales para la gestión del agua de los acuíferos que abastecen el Área Metropolitana de Monterrey?
4. ¿Cuál es el rol de las organizaciones gubernamentales y otros actores sociales relacionados con la gestión de los acuíferos Área Metropolitana de Monterrey, El Cañón del Huajuco, Campo Mina, y Buenos Aires?
5. ¿Cuáles son las implicaciones del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Monterrey en la sostenibilidad de los acuíferos Campo Mina, El Cañón del Huajuco, Buenos Aires y Área Metropolitana de Monterrey?

Objetivo General

1.- Analizar los procesos de gestión del agua que afectan la sostenibilidad de los acuíferos Campo Mina, Campos Buenos Aires, Área Metropolitana de Monterrey y Cañón del Huajuco que abastecen al área metropolitana de Monterrey.

Objetivos particulares

1. Caracterizar el área de estudio en el medio físico, social y económico de la zona de estudio.
2. Describir los usos y usuarios que comparten los acuíferos Área Metropolitana de Monterrey, El Cañón del Huajuco, Campo Mina y Buenos Aires
3. Analizar el rol y funcionamiento de las instituciones formales e informales para la gestión del agua de los acuíferos.
4. Analizar el rol y funcionamiento de las organizaciones gubernamentales y otros actores sociales relacionados con la gestión de los acuíferos Área Metropolitana de Monterrey, El Cañón del Huajuco, Campo Mina y Buenos Aires
5. Determinar las implicaciones del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Monterrey en la sostenibilidad de los acuíferos Área Metropolitana de Monterrey, El Cañón del Huajuco, Campo Mina y Buenos Aires.

Justificación:

El tema de aguas subterráneas se deriva de la crisis hídrica mundial y local. Se sabe poco de la gestión de aguas subterráneas en comparación con las superficiales. Además, las aguas subterráneas son grandes reservas para tiempos de sequía. En el norte de México el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento. En el caso del AMM, el agua subterránea representa el 33 % del consumo de agua, pero, desde su fundación, las aguas del subsuelo fueron las primeras fuentes de agua.

La ciudad de Monterrey es la segunda ciudad más grande de México, enfrenta un desafío crítico en la gestión de sus acuíferos. El acelerado crecimiento urbano del AMM ha ejercido una presión sin precedentes sobre estos recursos estratégicos. La

interdependencia entre los diversos usuarios del agua subterránea, sumada a una gestión institucional deficiente, ha comprometido la sostenibilidad de este recurso finito. Es fundamental analizar los impactos y que las instituciones han generado en el tema y como los usuarios han participado en la gestión del agua, considerando la naturaleza milenaria de su formación y la necesidad de garantizar su disponibilidad para las futuras generaciones.

Este estudio tiene como objetivo analizar la gestión del agua subterránea en una región de Nuevo León desde una perspectiva socio-ecológica e institucional. A diferencia de investigaciones anteriores, que se han centrado en aspectos técnicos e ingenieriles, el trabajo busca comprender las dinámicas sociales, políticas y ambientales que influyen en la gestión de este recurso. A través de un análisis tanto de gabinete como de campo, se identificarán las acciones de los diferentes niveles de gobierno y su impacto en la sostenibilidad de los acuíferos.

La caracterización de las interdependencias entre el uso urbano y uso para el medio ambiente (acuíferos) contribuirá a la identificación de la situación de los problemas analizados en torno al impacto en la gestión del agua, mismas que servirán para localizar estrategias o mecanismo alternativos que favorezcan al medio ambiente y el medio económicos

Hipótesis:

La gestión de los acuíferos que abastecen al AMM se ha caracterizado históricamente por una gestión centrada en la extracción intensiva para satisfacer la creciente demanda urbana. De manera que, las instituciones prevalecientes, en sus diferentes niveles, han incidido en la sobreexplotación de los acuíferos, generando un déficit hídrico que pone en riesgo la sostenibilidad de las aguas subterráneas.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO CONCEPTUAL

Estado de la cuestión

La gestión de los acuíferos ha sido abordada principalmente por las ciencias ingenieriles, debido a su importancia comercia. Sin embargo en este apartado, se citan algunos autores que abordan las problemáticas de las aguas subterráneas desde un enfoque institucional, y otros meramente como conocimiento de la problemática de la gestión del agua en el AMM.

Cortez (2011, 2014, 2009) ha profundizado en el análisis de la gestión transfronteriza del agua en el Valle de Mexicali, en su investigación destaca que las decisiones que han tomado los Estados Unidos sobre el revestimiento del Canal Todo Americano impactaron negativamente en la disponibilidad y calidad del agua y los suelos en el lado mexicano. El autor identificó otros elementos que impactan en el ámbito local del Valle de Mexicali y propone soluciones de instituciones alternativas a partir del análisis institucional que utiliza el marco SEF.

Otro de sus trabajos revela un tipo de sustentabilidad muy débil (VWS), que prioriza la eficiencia económica y la sustitución de recursos naturales por capital. La pérdida de calidad del agua y la afectación a los humedales mexicanos, fueron subvaloradas en comparación con los beneficios económicos y tecnológicos esperados por Estados Unidos.

El trabajo de (Briseño Ramirez, 2011) bajo el marco de AID de Ostrom. examina la construcción del acueducto El Molinito en Hermosillo Sonora, una obra que se realizó como respuesta política al creciente problema de escasez de agua en la región. Este proyecto representó una inversión significativa de recursos públicos federales, estatales y municipales. Sin embargo, Briseño cuestiona la efectividad a largo plazo del acueducto, señalando que podría acelerar la extracción de agua de los acuíferos y generar, problemas de sobreexplotación.

Monforte, Aguilar y González (2012), destacan las limitaciones del modelo de gestión del agua en el AMM, que se ha centrado en la gestión de la oferta, priorizando la construcción de infraestructura y la extracción de agua de otras cuencas. Por otro parte, Aguilar y Monforte (2018) consideran que los elementos valor público, la cobertura, la asequibilidad y la equidad representan un paso importante hacia una gestión sostenible y equitativa del agua. Los autores mencionan que los servicios públicos requieren de fuentes que abastecimiento saludables que aseguren su propia subsistencia, es decir, debe lograr la provisión de los servicio ambientales hidrológicos, de tal manera que exista una sostenibilidad ambiental para el continuo servicio de agua potable.

También se citan trabajo de calidad del agua en los acuíferos del AMM.

Calidad del agua

López y Luyando (2018) realizaron un estudio sobre los efectos por el derrame de 4000 barriles de petróleo en la cuenca del río San Juan, provenientes de un oleoducto de Petróleos Mexicanos (PEMEX). Los resultados indican que los impactos sociales causados por el derrame, no fueron relevantes para las autoridades, generando inconsistencias, corrupción, y contaminación, afectando 1120 ha de cítricos y 25 000 Ton de naranja, además del pesca turismo y salud de la población.

Martínez (2018) realizó una investigación sobre la contaminación del río Santa Catarina en Nuevo León. Encontró que las aguas residuales vertidas al río afectan la calidad del agua para uso potable, ya que el río Santa Catarina aporta agua al río San Juan, que

fluye hacia la presa El Cuchillo, cuya distribución abastece al AMM. La autora identificó concentraciones de metales pesados, lo que genera un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (acuiferos).

El estudio de Martínez (2016) observó descensos importantes en el nivel freático del acuífero, como consecuencia de la sequía y el bombeo de pozos. El impacto de las actividades agropecuarias afecta la calidad del agua debido a la presencia de pesticidas, fertilizantes y materia orgánica de la ganadería

Sistemas socio ecológicos (SSE)

En esta sección se exponen las bases teóricas que sustentan esta investigación. Se han seleccionado dos marcos teóricos principales: los Sistemas Socio Ecológicos (SSE) y el Análisis Institucional (AI). Ambos enfoques permiten analizar el Recurso de Uso Común (RUC); los acuiferos, como un sistema complejo e interrelacionado producto de la interacción entre factores naturales y sociales, así como la infraestructura, como medio de suministro para la ciudad y como RUC.

Berkes y Folke (1998) introdujeron el concepto de SSE para analizar la interrelación entre los sistemas sociales y naturales, enfatizando los beneficios mutuos que reciben ambos. Los SSE se caracterizan por su complejidad, dinamismo y capacidad de adaptación. Estos sistemas integran múltiples componentes; ecológicos, económicos, sociales, políticos, culturales e institucionales, que interactúan de manera compleja (Rathe, 2017)

Ilustración 1 Sistemas Socio Ecológicos



Adaptado de Resilience Alliance (2007) "Assessing and Managing Resilience in Social-Ecological Systems: Supplementary Notes to the Practitioners Workbook, Vol. 2"

Fuente: tomado SARAS. www.saras-institute.org

La ilustración 1 representa el movimiento de los SSE. Existe una relación entre los sistemas humanos y sistemas ambientales quienes proporcionan servicios eco-sistémicos como el agua. Los SSE exhiben una complejidad organizacional tanto espacial como temporal, caracterizada por dinámicas no lineales y transiciones abruptas. Estos cambios repentinos en la estructura y el funcionamiento pueden comprometer la capacidad de los sistemas ecológicos y limitar los para proporcionar servicios esenciales para la sociedad (SARAS, S/F)

Folke y colaboradores (2016) menciona que para sobrevivir y prosperar en entornos cambiantes, los SSE deben ser capaces de adaptarse y renovarse continuamente. Para el autor, el enfoque de resiliencia de los SSE se basa en que la humanidad está en la biosfera y la naturaleza dentro del humano, por lo que, la biosfera proporciona condiciones previas para lograr y mantener la dignidad en las relaciones humanas. De manera que, en la resiliencia, los SSE enfatizan que los seres humanos y el bienestar se basan

fundamentalmente en la capacidad de la biosfera para sustentarnos, independientemente de que las personas reconozcan o no esta dependencia. Esto requiere una profunda comprensión de la dinámica de los ecosistemas complejos que sustentan la vida. Por tanto, es fundamental generar conocimiento y promover prácticas que incentiven a las instituciones y organizaciones a gestionar de manera sostenible la capacidad de los ecosistemas para apoyar el desarrollo económico (Folke, et al., 2016)

De esta manera, el agua subterránea es un componente esencial de la gestión de la biosfera, aunque, la invisibilidad del agua afecta la calidad y cantidad, pues no se conoce a ciencia cierta la cantidad disponible en el acuífero. Sin embargo, el agua subterránea se hace visible a través de manantiales y humedales, que actúan como puntos de conexión entre las aguas subterráneas y los ecosistemas superficiales.

Autores como Bouchet, Martin & Parsons (2019), adoptaron el marco de SSE aplicado a las aguas subterráneas en los Pequeños Estados insulares en desarrollo del Pacífico PSIDS (por sus siglas en inglés) dada la degradación ecológica. Los autores mencionan que los componentes sociales y ecológicos de las aguas subterráneas no se pueden estudiar de forma aislada. Si no se debe comprender las aguas subterráneas como SSE que requieren de un enfoque holísticos que utilice principios de sostenibilidad y que consideren a los humanos como parte del sistema de aguas subterráneas. De tal manera, que el enfoque de la socio-hidrogeología al que hacer referencia Sivapalan (2012) citado por Bouchet et al., 2019, permite identificar y predecir las características dinámicas de los sistemas acoplados humanos-agua.

Según (Hynds, y otros, 2018), los hidrogeólogos, desde la perspectiva de la sociohidrogeología, son líderes que facilitan el intercambio de conocimientos y promueven mejores prácticas en la gestión del agua subterránea. Su papel es importante para traducir la ciencia en acciones concretas y fomentar la colaboración entre diferentes actores a distintas escalas (Bouchet en al., 2019). Para estos autores, existe una desconexión entre el valor de las aguas subterráneas y la gestión en los PSIDS. El marco se centra en tres bloques de construcción:

- a) Un enfoque de sistemas adaptativos complejos para considerar las aguas subterráneas: identifica las características del sistema de aguas subterráneas
- b) Pensamiento de sostenibilidad y resiliencia: pensar en la gestión de las aguas subterráneas de manera sostenible, entender la capacidad de un sistema para resistir y recuperarse de las perturbaciones.
- c) Gestión adaptativa estratégica que promueva el intercambio de conocimientos y el aprendizaje continuo entre las partes interesadas (actores).

Los autores sostienen que los enfoques tradicionales de comando y control en la gestión de las aguas subterráneas no toman en cuenta las complejas interacciones entre los factores sociales, económicos y ambientales.

Es importante aclarar que la sostenibilidad hace referencia al “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987). Para (Rathe, 2017) la sostenibilidad es la capacidad para crear, probar y mantener la capacidad adaptativa. De esta manera la gestión de los acuíferos puede ser sostenible si existen formas de crear mecanismos de adaptación, que permitan la recuperación o equilibrio de los acuíferos.

La UICN refiere que la gestión sostenible de las aguas subterráneas contribuye a la conservación de la biodiversidad, ya que la gestión de estas se coordina con la gestión de los ecosistemas para asegurar y fortalecer la disponibilidad de manera continua del agua, así como para mantener los beneficios que los ecosistemas dependientes del agua subterránea proporcionan. (UICN, 2020)

La gestión de las aguas subterráneas en el AMM enfrenta grandes retos, por un lado se encuentran bajo una creciente presión debido a la sobreexplotación y la contaminación, causados por el desarrollo urbano e industrialización, que deriva del crecimiento demográfico y los efectos del cambio climático, por el otro, la gestión del agua, según las concesiones que brida Conagua, están dadas para uso público urbano e industrial, los

actores son dos organizaciones que comparten el acuífero del AAMM y que compiten por el agua, sin embargo, el usuario medio ambiente, también requiere de agua disponible.

Otros autores abordan los SSE enfocados en las aguas subterráneas (Huggins y colaboradores, 2022). Los investigadores proponen un enfoque de sistemas conectados para analizar las dinámicas que se gestan alrededor de las aguas subterráneas. La propuesta de este marco se fundamenta en el legado (McGinnis & Ostrom, 2014; Dalin, Wada, Kastner, & J. Puma, 2017; Castilla-Rho et al., 2018)

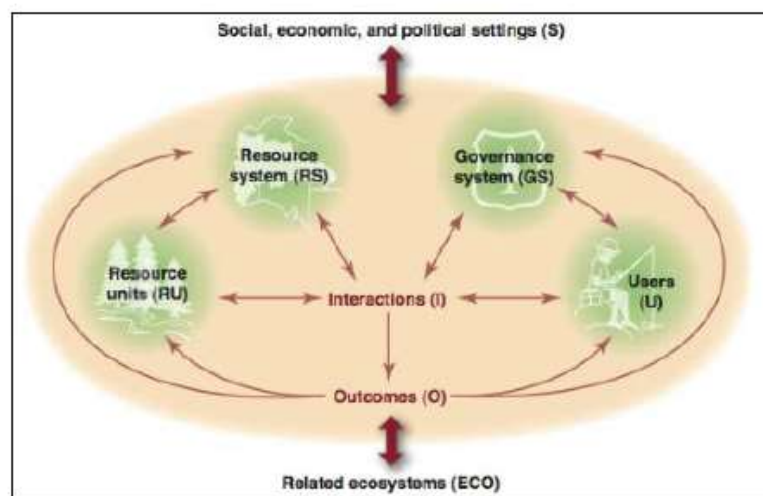
Dalin et al (2017) refiere al consumo de agua en la agricultura para exportación, México se encuentran en un riesgo alto de explotación de sus acuíferos. Castilla-Rho, et al., 2018) menciona que la gestión del agua subterránea debe ser un proceso ascendente, donde las decisiones sean tomadas y ejecutadas por las autoridades locales, quienes conocen mejor las particularidades de sus territorios.

Los autores se basan en una serie de ejemplos para explicar el impacto del desarrollo económico y social, mismos que contribuyen a la disminución de los niveles freáticos de los acuíferos y, como consecuencia, las afectaciones a otros ecosistemas como los humedales (Dalin et al., 2017; Gleeson y Richter, 2018) relacionados con el constante bombeo que impacta en la disminución de los escurrimientos de arroyos, hundimiento del suelo y afectaciones a las actividades económicas (Gleeson y Richter, 2018 en Huggins, 2022). Por ejemplo, la sobreexplotación de los aguas del subsuelo en el Valle Central de California y la problemática de la producción agrícola, en donde los procesos de cambio de uso de suelo y cambio climático aceleraron los procesos de sequía que al final afectaron a los agricultores de la zona (Huggins et al., 2023).

Finalmente, el marco que se adaptó en esta investigación para analizar la problemática de gestión del agua subterránea en el AMM, fue el enfoque de SSE, de McGinnis y Ostrom (2014). El marco incluye una amplia colección de conceptos y variables en múltiples niveles, que han demostrado ser relevantes para explicar los resultados en numerosos estudios de casos relacionados con recursos naturales. Los autores proporcionan un lenguaje común para la comprensión del problema en el territorio a través de un marco interpretativo.

Los procesos evolutivos de los Sistemas Socio-ecológicos permiten comprender cómo las reglas, las normas, las culturas evolucionan y cambian, a través de procesos adaptativos complejos que impactan en favor de la sostenibilidad. Una de las características es la flexibilidad de las normas que permite realizar revisiones periódica y adaptar a las circunstancias cambiantes (Binder et al, 2012).

Ilustración 2 Marco de análisis multinivel: 4 subsistemas



Fuente: Marco de análisis multinivel Ostrom, 2019

McGinnis y Ostrom (2014) desarrollan un marco anidado multinivel, integrado por 4 subsistemas, cada uno se conforma variables de segundo nivel, de esta manera se eligen las variables más relevantes en la investigación:

- Sistemas de recursos: El acuífero subterráneo que abastece a la región.
- Sistemas de gobernanza: Las instituciones y organizaciones responsables de la gestión del agua (CONAGUA, SADM, CCRB, ANP, planes de manejo, planes hídricos, leyes; LAN, LEGEIPA etc).
- Unidades de recurso: La oferta, demanda y distribución del agua subterránea.
- Actores/usuarios: Los usuarios del agua (industrias, agricultura, población) y los actores gubernamentales.

Para Ostrom es fundamental distinguir el sistema de recursos (pool) de las unidades de recursos. El sistema o pool de recursos es un bien típico de alto costo de exclusión. Para los bienes de recurso de uso común, hay fuentes típicas de interdependencia incluidas en la situación. La categoría del sistema de recurso son las características inherentes en las que se encuentran los recursos de uso común, las afectaciones y estado en el que se encuentran por su alto valor ambiental. Las características en las que se encuentran los acuíferos del AMM se describen en capítulo IV.

Los SSE tienen como objetivo analizar los vínculos entre los fenómenos ambientales y sociales que afectan a los acuíferos, este marco resalta los servicios ambientales que ofrecen las aguas subterráneas para el desarrollo de la ciudad. De tal manera que, la gestión adaptativa de los SSE reconocen que los recursos naturales no se encuentran aislados, sino que están interconectados con sus ecosistemas, y estos a su vez dependen de los componentes sociales, institucionales, económicos y políticos. Así, la gestión del agua subterránea en el AMM se aborda desde un enfoque integral y no fragmentado.

Tabla 2 Enfoque de sistemas socio ecológicos

Autor	Conceptos Clave	Par que sirven
Sistemas Socio-ecológicos Berkes and Folke (1998;2016)	Resiliencia, servicios ecosistémicos, No linealidad, sistemas abiertos a los intercambios de energía.	.comprender la complejidad de las interacciones entre los sistemas sociales y naturales.
Ostrom (2009), Ostrom y McGinns (2014)	Las reglas, normas, instituciones y culturas que conforman el sistema de gobernanza como respuesta a cambios en el entorno natural y social.	Diseñar reglas, normas
Huggins et al. 2022	Sistemas conectados de aguas subterráneas.	Problemas multi-escala que afectan a las aguas subterráneas

Bouchet et al., 2019	Sistemas complejos adaptativos, resiliencia, gestión adaptativa estratégica	Fortalecimiento de la resiliencia de la comunidades Participación de instituciones
----------------------	-----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Fuente elaboracion propia con infromacion de Berkes and Folke (1998), Ostrom (1990 y 2009) Rathe (2017), Huggins et al. 2022. Bouchet (2019)

En la tabla 3 se resumen de los diferentes contextos donde se aplican los SSE. Aunque la teoría de los bienes comunes de Ostrom se aplica típicamente en comunidades a pequeña escala, su marco conceptual se adapta a la realidad de los acuíferos del AMM. En este caso, los acuíferos, son los Recursos de Uso Común (RUC) que no se puede restringir el acceso (no excluibles) pero su consumo es rival (Rathe, 2017). Esto significa que el consumo del bien por parte de un usuario limita la posibilidad de que otro agente haga uso del mismo recurso. Es así como, en esta investigación los usuarios urbanos llámese; organismo operador de agua, agricultores e industriales limitan al usuario medio ambiente (acuíferos). El uso intensivo y a menudo desregulado excluye al medio ambiente como usuario legítimo de los acuíferos, generando externalidad negativas como el abasto para la población y las actividades económicas.

La sobreexplotación de los acuíferos del AMM, resultado de una compleja interacción entre la expansión urbana, la variabilidad climática y una gestión del agua ineficiente sin una visión ecológica, compromete gravemente la sostenibilidad hídrica de la región. El debilitamiento de las instituciones federales impacta en la falta de presupuesto para aplicación de la ley, falta de monitoreo y personal capacitado, que agrava la situación de los acuíferos, pone en riesgo el derecho de sus habitantes a un medio ambiente sano.

En este sentido, el derecho humano a un ambiente sano enunciado en el Artículo 4to, Constitucional, se ve amenazado por esta situación. Un acuífero sano garantiza la continuidad de la vida social, desarrollo económico y la salud de los ecosistemas, un acuífero sobreexplotado, refleja la gestión no sostenible. Es importante dilucidar que existen diferentes niveles de intensidad de explotación de los acuíferos, no es lo mismo un déficit de $-62 \text{ Mm}^3/\text{a}$ que $-2 \text{ Mm}^3/\text{a}$, por lo que, la definición de sobreexplotación no está definida, sin embargo, el termino déficit y sobreexplotación que usa Conagua alude a que el

acuífero ya no tiene a capacidad de dar más agua, para actividades diferentes al uso doméstico.

La crisis que se vivió en el AMM en 2022 se debió en gran parte al uso excesivo del agua de los ciudadanos, el mal manejo de agua superficiales y aun constante explotación de acuíferos por las autoridades, al crecimiento urbano y factores como la sequía, amenazaron el acceso al agua y también el uso de agua a las industrias, sobre todo los usuarios que dependen del organismo operador de agua. Anudando a esto existió un impacto económico en el turismo desarrollado por el vaso de la presa La Boca. La crisis de agua llevo a una emergencia hídrica del estado, no había agua suficiente para la ciudad y género inseguridad hídrica.

En este sentido, es importante menciona que la ONU-agua en 2013 definió a “la seguridad hídrica como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico; para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política” (Bretas, y otros, 2019).

El concepto de seguridad hídrica se concibe como un estado ideal donde agua para consumo es abundante y las leyes de protección ambiental se aplican de manera efectiva mediante instituciones robustas. Sin embargo, la realidad es distinta, ya que el agua potable es cada vez más escasa en un mundo con una población y economía en crecimiento, lo que incrementa los conflictos por este recurso. Esto refleja una situación de inseguridad hídrica a nivel global. Sin embargo, a nivel local, las decisiones relacionadas con el uso del agua requieren la participación activa de organizaciones e instituciones que permitan tomar decisiones bien informadas y buscar alternativas que beneficien al medio ambiente.

De esta manera, el hecho de que actores con intereses compartan el agua del acuífero, conduce al agotamiento de los recursos. Es así que las condiciones que hoy viven los acuíferos que abastecen el AMM son resultado de las decisiones de los diferentes niveles de gobierno, que imponen sus reglas a nivel constitucional también por costumbre, esto ha afectado la sobreexplotación de los acuíferos del país. En este sentido, la invisibilidad del

agua subterránea no forma parte de la percepción de las personas, como fuentes o sistemas natural del actual se abastecen, mucho menos que son un sistema ecológico

Gray y Sadof (2006) destacan que la seguridad hídrica en sistemas socioecológicos interconectados requiere sistemas de gobernanza flexibles que promuevan una gestión efectiva del agua, fomenten la confianza y faciliten el intercambio de información, de manera que, exista la capacidad de garantizar un suministro de agua de forma sostenible, que sea equitativo y asequible, que proteja a los ecosistemas.

La gestión de información para administrar los acuíferos es esencial para determinar el nivel sostenible de extracción, pero es uno de los aspectos más deficientes. Aunque el balance hídrico y la disponibilidad de agua son métodos aceptados, tienen sus limitaciones. La industria cuenta con un buen monitoreo de los datos piezométricos, y el organismo operador de agua supervisa sus propios pozos, ya que son usuarios del recurso. Sin embargo, la autoridad no realiza un seguimiento adecuado de los pozos concesionados. Estas deficiencias podrían mejorar con una adecuada transferencia de información, pero en un contexto de sobreexplotación, sequía y falta de disponibilidad, pueden dar lugar a corrupción. Estas son causas profundas que afectan al país.

Para lograr la seguridad hídrica, es necesario un esfuerzo coordinado en todos los niveles, lo que implica la implementación de estrategias institucionales en diversos ámbitos para mitigar las tensiones provocadas por la naturaleza de los recursos y los comportamientos insostenibles de origen humano, de tal manera que se puedan generar el acceso adecuado en calidad del agua, cantidad suficiente, oportunidad, donde todos tengan acceso y asequibilidad que sea un costo accesible (Cortez, 2021, pág. 103).

Por lo tanto, para lograr una seguridad hídrica en las aguas subterráneas, se requieren leyes y normativas bien diseñadas, la participación activa de todos los usuarios, incluyendo a las autoridades y ciudadanos, la academia, la formación de hidrogeólogos y y sociohidrogeólogos, y de un constante monitoreo en todas sus fases.

Análisis institucional

El enfoque neoclásico que había predominado hasta hace unos veinte, es cuestionado por los impactos ecológicos que ha llevado a la toma de decisiones de manera individualista. La economía clásica propone en todo tiempo maximizar la utilidad, es decir se centra en el individual, sin embargo, la nueva economía política, quien se desprende del neoinstitucionalismo, este se centra en las transacciones entre instituciones.

La corriente de la Nueva Economía Institucional (NEI) ha revitalizado el interés por el estudio de las instituciones entre los economistas, destacando figuras como Ronald Coase, North, y Elinor Ostrom (Caballero, 2011:14) quienes han recibido el premio Nobel.

Schmid (2004) menciona que las instituciones definen sus derechos, privilegios y responsabilidades, estas acciones reflejan la falta de intereses por autoridades en la limitada intervención o porque no existen reglas claras en el manejo de aguas subterráneas, ello ha convertido a este recurso en un "campo abierto", como lo expresó Hardin en la tragedia de los comunes.

Aunque la gestión de los acuíferos en México se encuentra sujeta a un marco regulatorio de la LAN, donde la Conagua ha implementado diversas leyes, reglas, programas para su protección como; vedas, reglamentos, reservas de agua, actualizaciones de disponibilidad hídrica, normas oficiales mexicanas y monitoreo piezométrico, con el objetivo de garantizar la sustentabilidad del agua, no ha detenido la sobreexplotación de los acuíferos que continúa siendo un problema en muchas regiones del país, entre ellas el AMM, lo que lleva a repensar la forma de aplicación de la ley vigente.

La tragedia de los comunes, es un concepto central en el estudio de la gestión de recursos compartidos, subraya cómo la falta de instituciones adecuadas puede llevar a la sobreexplotación de estos recursos (Caballero et al., 2015), para Ostrom (2007) menciona que para evitar esta tragedia el diseño de instituciones fomenta la cooperación entre los usuarios del recurso. Al igual que en el dilema del prisionero, la cooperación es esencial para lograr resultados a largo plazo, de lo contrario se incentiva el trabajo individual que a menudo obstaculiza esta colaboración.

El AI tiene sus raíces en la economía política, inicialmente desarrollada por Thorstein Veblen, John R. Commons y Westley C. Mitchell y ha surgido como la

perspectiva económica dominante en las últimas décadas (Leyronas, Maurel, Rojat, & Giraud, 2017). Para North (1993) las instituciones “son reglas de juego en una sociedad [...] que dan forma a la interacción humana” (North, 1993:13).

La diferenciación entre instituciones y organizaciones, tal como la argumenta North, es esencial para entender la dinámica de impacto y cambio en una sociedad. Las instituciones establecen el marco de las interacciones humanas, mientras que las organizaciones, al actuar dentro de este marco, identifican la necesidad de cambios y actúan como motores para reformar las instituciones y adaptarlas a los intereses de sus miembros dominantes (Schmid, 2004), es decir las organizaciones pueden cambiar las reglas del juego (instituciones). Un aspecto importante es que sus preocupaciones e intereses son compartidos y traducidos en metas comunes. Este enfoque, enriquecido por conocimientos de la ciencia cognitiva, permite una comprensión más profunda y matizada del comportamiento humano y del proceso de cambio institucional.

Para Schmid (2004) las instituciones son conjuntos (redes) de relaciones ordenadas (conexiones) entre personas que definen sus derechos, su exposición a los derechos de los demás, sus privilegios y sus responsabilidades, es decir, para el autor las instituciones son más que reglas, son redes complejas escrituradas por intereses de una sociedad, estableciendo derechos y obligaciones que puedan cumplir con las responsabilidades sean legales e informales, éticas y sociales para defender sus privilegios.

De esta manera, a la combinación de instituciones y organizaciones que intervienen en la gestión del agua se denomina mecanismos o procesos institucionales para la gestión del agua (Svendsen, Wester, & Molle, 2005, pág. 4). Puede considerarse eficaces si el suministro de agua es adecuado, sostenible en el tiempo, si existe un acceso equitativo al agua y mantiene su calidad (Heathcote, 1998:7 en Svendsen, Wester y Molle, 2014). Cuando las organizaciones analizan los mecanismos de coordinación, negociación, participación, y procedimiento se pretende que en las toma de decisiones se reduzcan los costos. Por lo que, se destaca acuerdos en la gestión del agua. Si bien estos acuerdos proporcionan orden y previsibilidad, también presentan desafíos. El objetivo de la teoría institucional es justamente iluminar estas dinámicas, haciendo más conscientes las elecciones que tomamos.

Categorías de análisis en el marco de AI

Schmid (2004) y Ostrom (2009) analizan la complejidad y diversidad de las instituciones económicas. Estas pueden ser formales (leyes, contratos) o informales (costumbres, normas sociales) y pueden ser tanto públicas como privadas. Los autores mencionan que las instituciones desempeñan un papel fundamental en la configuración de los resultados económicos y sociales, por ello, las instituciones no operan en un vacío, sino que están interconectadas con otras instituciones, creando un sistema complejo y dinámico.

Schmid (2004) presenta una realiza un maco analítico para analizar las instituciones económicas, donde establece distintos niveles de análisis y preguntas clave. A través del análisis de impacto se examina cómo las diferentes instituciones formales (leyes, regulaciones) e informales (costumbres, normas sociales) afectan la actividad económica y la distribución de la riqueza. En este sentido, la aplicación de este método se enfoca en como impactan las instituciones formales e informales en la gestión de los acuíferos del AMM.

En el análisis de impacto, las alternativas institucionales actúan como variables independientes, mientras que la variable dependiente es alguna medida del desempeño, como quién obtiene qué. Las variables independientes incluyen aspectos del entorno que crean la interdependencia humana, denominada *Situación*. La *Estructura* de las variables institucionales clasifica esta interdependencia e influye en el *Desempeño*. En el análisis de impacto, se mantiene constante la tecnología/situación y se examina cómo las instituciones afectan los resultados de la interdependencia.

Se puede expresar como: Desempeño = función de la institución, manteniendo la tecnología constante. Esquemáticamente, se representa como:

Situación → estructura institucional → desempeño.

La *situación* se refiere a las características inherentes de los bienes y entornos que afectan las interdependencias entre ellas se encunetran:

- *Incompatibilidad (escasez)*: La limitación de recursos y oportunidades impacta directamente en el nivel de acceso de todos los usuarios del RUC. Las instituciones establecen las reglas iniciales de esta distribución.
- *Costo de exclusión*: Determina la facilidad con la que alguien puede ser excluido del uso de un recurso o bien.
- *Costo de información*: La dificultad para obtener información sobre un bien o servicio influye en las decisiones económicas y puede generar ineficiencias.
- *Cooperación/no cooperación*; entre usuarios para optimizar el uso del recurso.

El siguiente nivel del marco SEF es *la estructura (E)* se refiere a las alternativas institucionales que las personas pueden elegir para ordenar las interdependencias creadas por la situación. La estructura es la forma que se relaciona las personas (transacciones).

Tabla 3 AI: tipos de transacción

Tipo de Transacción	Características Principales	Mecanismo	Tipo de relación	Beneficio
Normativa	Jerarquía, autoridad, reglas, normas.	Reglas, leyes, instituciones.	Relación empleador-empleado, leyes de tránsito, jerarquía militar	Obedecer y cumplir las leyes, estatutos normas etc.
Negociada	Igualdad, negociación, acuerdo mutuo.	Acuerdo de las partes, mercado.	Compraventa en un mercado, negociación de un contrato.	Beneficio mutuo, maximización individual.
Habitual	Costumbres, tradiciones, normas sociales.	Normas sociales, valores culturales.	Ayudar a un vecino, donar sangre, compartir alimentos.	Solidaridad, reciprocidad.

Fuente: elaboración propia con información de Schmid, 2004

Según Schmid las transacciones pueden ser administrativas, negociadas, consuetudinaria o habituales:

- Transacciones administrativas: consideran a las personas en orden jerárquico, rango superior (emite) e inferior (ejecuta- no puede ser negociada o caería en la ilegalidad). Son acciones legales como marcos normativos, leyes y reglamentos sobre el bien analizado
- Transacciones negociadas: las personas son consideradas como iguales legalmente, pero no en poder y riqueza. La negociación se da cuando existe una falla en alguna de las partes.
- Transacciones consuetudinarias o habituales: son establecidas como normas sociales aprendidas o habituales, internalizadas e informales. Su comportamiento favorece a otros. La informalidad de las negociaciones se define por el rol y estatus de las personas.

Los tres tipos de transacciones están interconectados, Schmid lo llama proceso meta evolutivo en constante cambio. Las oportunidades en un contexto pueden usarse para alterar oportunidades en otro. Los límites de cada tipo de transacción determinan quién participa (Schmid, 2014:19). Un componente importante en la estructura son las sanciones. Las sanciones pueden variar desde una multa impuesta por un juez hasta la presión social y la exclusión por el grupo.

La gestión del agua subterránea en el AMM se caracteriza por una estructura jerárquica y predominantemente normativa. La LAN establece el marco legal general y delega en la CONAGUA la facultad de otorgar concesiones y aplicar sanciones. Esta asignación centralizada de derechos de uso del agua configura un tipo de transacción administrativa.

A nivel regional, el Consejo de cuenca del río Bravo, promueven un enfoque más colaborativo. A nivel local SADM enfrenta el reto de la administración de los 51 municipios, de modo que se ha enfocado en la extracción y distribución del recursos, además la infraestructura se encuentra centralizada, de manera que, la visión es meramente operativa, el instrumento por el cual se maneja SADM en la ley de agua potable y saneamiento para el estado de Nuevo León (LAPYSPENL) es en este instrumento donde se gestionan las aguas subterráneas.

Finalmente el *Funcionamiento* se refiere a quien obtiene qué. Esta categoría se enfoca en la respuesta entre la situación y la estructura por lo que responde a los intereses por lo que obedece a quién obtiene qué. Los SSE y el AI. Ambos enfoques permiten analizar el RUC complejo e interrelacionado producto de la interacción entre factores naturales y sociales e institucionales.

Conclusión. Para abordar la problemática de la gestión de los acuíferos que dan agua al AMM, el enfoque de los SSE permite realizar un análisis integral de las causas que originan el déficit y la sobreexplotación de estos recursos hídricos. Ostrom y Schmid usan el concepto de RUC para incluir tanto recursos naturales e infraestructura de la cual se abastecen. Estos bienes se caracterizan por su acceso abierto y su rivalidad en el consumo, es decir, el uso del RUC por el individuo A reduce la disponibilidad para el individuo B, de tal manera que se entra en competencia por el recurso finito.

Los usuarios urbanos están en competencia entre ellos mismo por el agua, pero también el usuario medio ambiente (acuíferos), entra en competencia, porque para el funcionamiento los acuíferos son parte de un sistema ecológico del que surge la vida, es esencial tener agua disponible para el medio ambiente, como lo expresa la Conagua en el concepto de descarga natural comprometida donde se conserva agua para evitar la mala calidad y conservar el medio ambiente de los acuíferos cercanos. Pero no todos los acuíferos cuentan con esta descarga natural comprometida donde parte de ella para el medio ambiente, la condición actual de los acuíferos de sobreexplotación, es por una cantidad elevada de agua, por lo se sugieren medidas institucionales de largo plazo para su recuperación y equilibrio.

El marco teórico de los SSE propuesto por McGinnis y Ostrom (2014) resulta particularmente útil para analizar la gestión del agua. Al aplicar este marco, podemos identificar cuatro categorías clave: Sistema Social (SR), Unidades de Recursos (UR), Unidades/Actores (U/A) y Gobernanza (G). En este contexto, el agua se considera el SR, mientras que la precipitación, el clima, la vegetación y las características geológicas se clasifican como UR. Las actividades sociales como la oferta, la demanda, el crecimiento urbano y los factores económicos se enmarcan dentro de las UR. A su vez, la industria, los

sistemas de agua potable y alcantarillado (SADAM) y los usuarios del acuífero son considerados U/A, y las leyes, normas y reglamentos conforman el componente de Gobernanza (G). De tal modo que el AI se de Schmid, forma parte de la gobernanza de Ostrom, además de que funciona como un marco teórico analítico, ello permite analizar el impacto Institucional, es decir, el impacto que tienen instituciones que hacen posible el estado actual de los acuífero del AMM. Las características inherentes del RUC, genera interdependencias que se originan una situación, esta es una categoría del AI, y que Ostrom lo maneja como UR aquí se originan las causas que generan interdependencias.

La situación actual de los acuíferos, caracterizada por la sobreexplotación, es un reflejo de la interacción entre múltiples factores. Las transacciones que se establecen en torno a la gestión del acuíferos es de tipo administrativa, marcada por la ley de aguas nacionales, sin embargo, también se identifican transacciones por costumbre, al dar concesiones a pesar de estar sobreexplotado, de manera que las transacciones por habituales e informales solo favorece algunos cuantos, esto habla que rol que desempeñar las organizaciones e instituciones y del poder que ejercen dentro de ellas.

La expansión urbana y los cambios en el uso del suelo, a menudo motivados por intereses económicos, se llevan a cabo sin una planificación adecuada y con escasa regulación. Esta situación ha llevado a la sobreexplotación de los acuíferos. La falta de control sobre la extracción de agua incrementa la escasez hídrica y compromete la sostenibilidad de los ecosistemas. Las políticas, programas y leyes, como variables independientes, pueden modificar esta situación, ya sea agravando o mitigando los efectos de la sobreexplotación.

El marco SEF proporciona un mecanismo para analizar y gestionar las diversas relaciones que se establecen en torno al uso del agua. Las transacciones que surgen de estas relaciones, ya sean formales o informales, pueden modificar la disponibilidad de los acuíferos, llevado al equilibrio recuperación o empeorar la situación. Al permitir identificar y evaluar diferentes tipos de transacciones (administrativas, negociadas, etc.), el marco SEF facilita la toma de decisiones más informadas y equitativas.

CAPÍTULO III: ESTRATEGIA METODOLÓGICA

El presente capítulo se dedica a la descripción de la metodología de investigación. Se exponen los procedimientos seguidos para la obtención, procesamiento y análisis de los datos. La investigación se desarrolla bajo un marco explicativo con enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014).

La metodología de esta investigación se dividió en tres fases principales: 1) Revisión de literatura 2) Análisis de sistemas de información geográfica (SIG) y 3) Realización de entrevistas semiestructuradas.

1) Revisión de literatura

Sistemas Socio ecológicos

La información se estructura a partir de las categorías de análisis de Sistemas socio ecológicos fueron tomadas de McGinnis, M. y Ostrom (2014). En la tabla se esquematizan los diferentes elementos que se consideran al momento de analizar un sistema socio-ecológico. Las categorías de primer orden representan los componentes generales del sistema que propone Ostrom, mientras que las categorías de segundo orden brindan detalles más específicos sobre cada componente seleccionado para describir los procesos de gestión del agua que afectan la sostenibilidad de los acuíferos.

Tabla 4 Categorías de primer y segundo orden

Categorías	Categoría segundo nivel
Sistemas de recursos	Límites de recursos
Unidades de recursos	Cantidades del recurso
	Calidad y cantidad
	Oferta y demanda

	usos del agua
	infraestructura
	Cambios de uso de suelo en zonas de recarga
	ANP INDVI
Gobernanza	LAN 1992 Plan Hídrico Regional (PRH) Plan Hídrico Nuevo León 2050 (PHNL2050) LAPYSPENL, LEGEPA Programa de desarrollo urbano territorial (PMDU) Ley ambiental del estado del Nuevo León (LANL) Normas mexicanas de potabilización y descargas (NOM)
Actores/usuarios	CONAGUA, Industria Detritos de riego SADM, Consejo de cuenca del Río Bravo. Pronatura Noreste, FAMM, Parques y Vida Silvestre y Conanp, Secretaria del medio ambiente de Nuevo León

Fuente: elaboración propia. Variables adaptadas en Ostrom y McGinnis, 2014

Los Sistemas de recursos (SR); se refieren a los límites de los acuíferos o fronteras administrativas que delimitan los acuíferos del recursos agua subterránea

Las Unidades de Recursos (UR); se refiere a volumen, numero concesiones, datos de calidad, datos de oferta y demanda.

Gobernanza (G); Son las reglas, normas, planes y programas. La gobernanza no es un estado estático, sino un continuo cambio de decisiones conscientes y deliberadas por actores.

Actores/usuarios (A); son los usuarios que usan el agua de los acuíferos, entre ellos se localizan Usuarios urbanos; industria y organismo operador de agua y el medio ambiente (acuíferos).

Análisis Institucional: análisis de impacto

En el análisis de impacto, la situación está dada y nos preguntamos cómo las diferentes instituciones afectan el resultado de la interdependencia que crea la situación. Los impactos pueden ser tanto positivos como negativos. Por ejemplo, una regulación efectiva se espera aumentar la calidad y que haya la disponibilidad suficiente, incluso para el medio ambiente, mientras que la sobreexplotación puede llevar a la escasez y la contaminación.

Cada subsistema de la situación física está gobernado por una institución o subsistema de estructura. La situación incluye el grado de incompatibilidad; interdependencias, costo de exclusión, economías de escala, efecto de otro usuario sobre el costo, costos de información etc. El marco SEF se expresa como una función donde la variable dependiente depende o es consecuencias de variables independientes, que a su vez depende de la aplicación o no de la estructura $f(x) = (v1+,v2+,v3\dots)$, la estructura ayuda a analizar sistemas complejos que rodean a las aguas subterráneas. En la siguiente tabla se expresa esta función.

Tabla 5 Variables dependientes e independientes de aguas subterráneas

Situación	Estructura	Funcionamiento
Variable dependiente	Variable independiente	Impactos positivos o negativos
A1)Calidad de agua	Ca = F (pozos o conexiones ilegales, crecimiento urbano desordenado, crecimiento industrial, infraestructura deficiente, crecimiento industrial, relegación efectiva o regulación deficiente, áreas verdes inexistentes, infraestructura inexistente, áreas, verdes, tecnología).	Cumplimiento de la calidad del agua; monitoreo constante, monitoreo de descargas por los usuarios
B1)Recarga de acuíferos	Ra = F(crecimiento urbano e industrial desordenado, reglamentos de construcción en los programas de desarrollo urbano, plan de manejo de ANP precipitación, temperatura, tipo geo	Disponibilidad/ no disponibilidad, déficit. Servicios ambientales

	hidrología, bombeo constante, cambio de uso de suelo,).	sostenibles o insostenibles
C1) Sobre concesionamiento	Se = F(libre alumbramiento, presión económica y política, falta de un sistema de registro de títulos y volumen, corrupción, coordenadas incorrectas del pozo)	
D1) Sobre explotación	Se= f(mayor extracción: descenso de niveles piezométricos aumento de demanda, menor recarga; variabilidad climática, sequías, extracción continua)	Gestión sostenible/ no sostenible.
		Seguridad/inseguridad Hídrica, cumplimiento o no con el derechos a un medio ambiente sano
E1) aumento en los costos de explotación	Se= f(desecho de nivel piezométrico, aumento de demanda, compra y restauración de infraestructura, gasto de energía, costo por la construcción de pozos, aumento de la demanda, cambio climático, inundación, sequía)	Gestión económica sostenibles

Fuente: elaboración propia con base en Schmid

Para ejemplificar la función del marco SEF, la tabla 6 muestra que las variables dependientes están en función de las independientes, este marco puede ser una herramienta valiosa para analizar la gestión del agua del subsuelo. Al relacionar variables dependientes e independientes, este marco nos permite identificar los principales factores que influyen en los acuíferos. Además, al considerar variables sociales, nos acercamos a una comprensión más holística del problema del agua, lo que facilita la implementación de medidas de gestión más efectivas.

A1) La calidad del agua subterránea es un resultado complejo influenciado por múltiples factores. La contaminación de los acuíferos puede tener orígenes naturales o antropogénicos. De manera natural, el contacto con materiales geológicos como rocas evaporitas puede liberar sales minerales al agua, alterando su composición química. En el caso de zonas costeras, provoca la intrusión de agua salada, contaminando el agua dulce. Asimismo, la actividad minera, especialmente en regiones kársticas, puede introducir metales pesados y otros contaminantes al acuífero (Pulido, 2001).

En áreas urbanas, la contaminación es un problema recurrente. La contaminación difusa, proveniente de múltiples fuentes dispersas como el uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o las escorrentías urbanas, es un tipo común de contaminación, la contaminación ocasionada por la industria, ya sea por aire o por agua se ha encontrado metales pesados. Además, los vertederos de residuos sólidos y las fugas en sistemas de alcantarillado contribuyen a la degradación de la calidad del agua subterránea.

B1) Las zonas de recarga de los acuíferos. Según Peñuela y Carrillo Rivera (2012), las zonas de recarga son áreas donde el agua de lluvia se infiltra en el suelo y alimenta los acuíferos. Por otro lado, en las zonas de descarga, el agua emerge a la superficie. La afectación o preservación de las zonas de recarga son indispensables para la gestión sostenible de los acuíferos. La identificación de estas zonas depende de varios elementos, tales como: conductividad hidráulica, topografía, geología, nivel de permeabilidad, vegetación etc.

Sin embargo, el impacto de las regulaciones institucionales y ambientales aplicados o no repercuten en las zonas de recarga, por ejemplo;

- i) Los reglamentos de construcción y los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano, determinan cómo se utiliza el suelo y qué tipo de edificaciones se permiten en ciertas áreas, así como la superficie que se permite construir
- ii) El porcentaje de áreas verdes, parques urbanos, el tipo de vegetación si es endémica o no
- iii) Los planes de manejo de Áreas Naturales Protegidas (ANP), el número de personal, que trabaja para monitorear fenómenos como incendios, sequías, expansión de la frontera agrícola, asentamientos irregulares. Los presupuesto asignado a las organizaciones, participación social y comunitaria, para reforestación de cuencas.

- iv) Variabilidad climáticas, conciencia ambiental, educación ambiental, intereses económicos en áreas verdes, facilidad o dificultad para obtener una factibilidades para zonas de residencia o industrias

C1) sobreconcesionamiento; uno de los factores que contribuyen a esta problemática se encuentra el libre alumbramiento que desde la constitución de 1917, se estableció que las agua subterráneas son alumbradas por quienes poseen las tierras. La presión económica y política, la falta de un sistema de registro de títulos y volumen, la corrupción y las coordenadas incorrectas de los pozos.

También es importante mencionar que la Conagua enfrenta una crisis institucional, debido al hackeo que sufrió en sus sistemas informáticos en abril del año 2023, en donde se paralizaron sus operaciones, dejando a miles de empleados sin herramientas para trabajar y poniendo en riesgo la gestión del agua en México (García S. , 2023). Por lo tanto, la pérdida de información y la incapacidad de monitorear el uso de las concesiones hídricas plantean una seria amenaza para la seguridad hídrica del país. Además, existen problemas internos, como renuncias de personal clave y cambios constantes en la dirección, que han debilitado aún más a la Conagua (ibídem)

D1) La sobreexplotación de un acuífero ocurre cuando la extracción de agua supera la capacidad de recarga natural. Sin embargo, esta definición, a pesar de su aparente simplicidad, ha generado un amplio debate entre expertos. Algunos autores, como Custodio (2000), proponen el término "explotación intensiva" como una alternativa más precisa.

Un indicador esencial para determinar si un acuífero está siendo sobreexplotado, es el análisis de la evolución de su nivel piezométrico a lo largo del tiempo. Un descenso generalizado y sostenido en el tiempo, incluso en zonas de baja extracción, también puede deteriorar la calidad del agua y generar otros problemas ambientales como el hundimiento del terreno. Aunque la magnitud de este descenso varía según las características geológicas del acuífero, el volumen de agua extraído y su capacidad de recuperación (ibídem).

Sin embargo, es importante diferenciar entre un descenso puntual y uno generalizado del nivel freático. Los conos de depresión, generados por la extracción intensa en áreas

puntuales, pueden crear la falsa impresión de una sobreexplotación generalizada, ya que no se puede hablar de que todo el acuífero está abatido.

E1) Aumento en los costos de extracción; el descenso de los niveles piezométricos conlleva un aumento significativo en los costos de extracción de agua. A medida que disminuye el nivel freático, la altura de elevación del agua necesaria para alcanzar la superficie aumenta, lo que se traduce en un mayor consumo energético, por lo que los usuarios deben aumentar la excavación de los pozos para mantener el rendimiento inicial, lo que implica costos adicionales. Además, el equipo de bombeo debe adaptarse a las nuevas condiciones, lo que incrementa la inversión inicial junto con los gastos de transporte y distribución del agua hasta los puntos de consumo (Pulido, 2001: 119).

2) Análisis de sistemas de información geográfica (SIG)

Los SIG son herramientas poderosas que han revolucionado la gestión de los recursos hídricos. Al permitir la integración y análisis de múltiples capas de información geográfica, estos sistemas ofrecen una visión integral de los sistemas conectados de acuíferos, facilitan la toma de decisiones sobre el espacio.

Para llevar a cabo análisis precisos y confiables mediante SIG, es indispensable contar con una base de datos geográficos estructurada de manera coherente, esta estructura subyace a la coordinación, planificación y comprensión integral de los diversos elementos que conforman un territorio (Chuvieco, 2012).

Ilustración 3 Orden lógico de aplicación de SIG



Fuente: elaboración propia

Aplicando el marco teórico de SSE y AI de Schmid y herramientas geoespaciales, se llevó a cabo un análisis profundo de las interferencias en la gestión de acuíferos, considerando las características de segundo nivel de los sistemas socioecológicos. Los resultados permitieron identificar las características del recurso de uso común (acuíferos) y su régimen de acceso y manejo (AMM). Estos hallazgos son relevantes para una gestión sostenible del agua, ya que revelan factores internos y externos que influyen en la relación de otros sistemas con los acuíferos.

Tabla 6 Temas analizados que conforman los sistemas conectado de aguas subterráneas

Subtema	Descripción	Identificación	Fuente
Concesiones y asignaciones	Título de concesión otorgado para explotación uso y aprovechamiento de agua. Asignación: solo para uso urbano y domésticos	Identifica los acuíferos que están sobre concesionados	REPDA 1993-2023
Características geo-hidrológicas	Describir las características físicas y químicas del agua, permeabilidad, la porosidad, la calidad del agua,	Identifica el tipo de acuífero, y permeabilidad	Actualización DMAS (1906) AAMM , (1907) CBA, (1908) CM y (1911) CH.

Disponibilidad/ déficit	estado de déficit y sobreexplotación	Identifica el volumen disponible de agua o en su caso el déficit	
Crecimiento demográfico	Aumento de población en el AMM de 2000 a 2020	Identifica el crecimiento de la demanda y volumen de uso	Censo de población y vivienda, 2000, 2010, 2020
Crecimiento urbano	Crecimiento de superficie urbana de 2001-2024	Identifica las zonas ocupadas por el crecimiento urbano y pérdida de terreno para infiltración	Carta de usos de suelo y vegetación serie II y VII INEGI, e imágenes de satélite al 2024
Demanda	Cantidad de agua que requiere la población para satisfacer sus necesidades	Identifica el volumen de agua necesario para abastecer la ciudad	Datos de SADM por municipio
Usos	El uso consuntivo: agrícola, público urbano, industrial y pecuario. uso no consuntivo: generación de energía eléctrica	Identifica volumen para las diferentes actividades	CONAGUA SINA
Infraestructura	Forma parte de los recursos de uso común, creados por el ser humano que son compartidos por múltiples actores,	Identifica el acceso de agua a la población	SADM
Calidad de agua	Niveles de contaminación Aceptables o no por la NOM-179-SSA1-2020	Identifica los problemas de calidad de agua o no generado por el crecimiento urbano de la ciudad	RENAMECA, investigaciones por la UANL, TEC. de Monterrey universitarios
Uso de suelo	Las subcategorías de agricultura de riego y permanente se agruparon en "Agricultura".	Identifica el cambio de vegetación o	Series de uso de suelo y vegetación II y VII

	<p>Los seis tipos de bosque primario se agruparon como Vegetación primaria húmeda</p> <p>Los cinco tipos de bosque de matorral y chaparral se nombraron como Vegetación primaria seca.</p> <p>El pastizal cultivado e inducido se agrupó en Pastizal.</p> <p>La vegetación secundaria arbustiva de los tipos de bosque se clasificó como Vegetación secundaria húmeda, y la vegetación secundaria arbustiva de matorral se agrupó en Vegetación secundaria seca.</p>	crecimiento urbano por acuífero	de vegetación (2001 y 2021).
NDVI	<p>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada</p> <p>identifica vegetación la vegetación valor -1 a 1</p> <p>1= vegetación sana</p> <p>0= zonas urbanas o vegetación seca</p> <p>-1= agua. La vegetación sana (clorofila) refleja más luz del infrarrojo cercano (NIR)</p>	La vegetación sana (clorofila) refleja más luz del infrarrojo cercano (NIR) y verde en comparación con otras longitudes de onda.	Google Earth Engine Sentinel 10m

Fuente: elaboración propia

Para evaluar la dinámica de los cambios de uso del suelo y su impacto en las zonas de recarga, se analizaron las ANP y sus alrededores. Utilizando información de INEGI (series II y VII), se compararon los cambios en la cobertura vegetal entre 2001 y 2021. Para simplificar el análisis, se agruparon las categorías de vegetación en: agricultura, vegetación primaria húmeda, vegetación primaria seca, pastizal, vegetación secundaria húmeda y vegetación secundaria seca. Este análisis permite identificar las tendencias de cambio y describir la relación con las acciones desarrolladas en la cuenca alta del río San Juan.

3) Realización de entrevistas semiestructuradas.

Para complementar el análisis y obtener una comprensión más profunda de los factores que influyen en la gestión del agua subterránea, se realizaron entrevistas semiestructuradas a autoridades involucradas en la gestión del agua subterránea en el AMM. Estas entrevistas fueron clave para contestar a suposiciones, de manera que se profundizo en el papel y rol de los diversos actores explorar las percepciones y experiencias de los actores clave, identificando el impacto de los agentes frente a la problemática.

Observación no participante

La observación no participante se desarrolla como una técnica en las ciencias sociales, de manera que el investigador solo participa a través de lo que percibe sus sentidos sobre un hecho o fenómeno, el investigador no participa en la interacción con los sujetos de estudio. Por su parte, la observación participante el investigador interactúa con la sujetos y se hace participe en sus actividades (Balcázar, et al., 2013).

Durante mi estancia de investigación en el AMM, como parte de la observación no participante, se constató que la crisis de agua en la región no se limitaba a las aguas superficiales, sino que involucraba las aguas subterráneas. A través de las visitas de campo a las presas El Cuchillo, La Boca, el socavón de San Francisco, el recorrido por el Cañón de la Huasteca y la cortina rompepicos, me permitieron apreciar la relación del AMM con el agua y sus elementos geográficos. Esto significó mirar las majestuosas montañas de la SMO, como un sistema ambiental que produce el agua para el AMM

Las repetidas travesías hacia las faldas de la SMO, me llevo a observar más detenidamente la repetida construcción de grandes fraccionamientos en el sur del estado, por lo que, con ayuda del GPS observe que hay colonias que se encuentran dentro del límite del ANP PNCM, por lo que logre notar los grandes desafíos que enfrenta la planeación urbana y planeación hídrica,

Desafíos en la Investigación

La necesidad de realizar esta investigación se hizo evidente al constatar la falta de interés en la UANL, donde no se encontraron trabajos relacionados con las aguas subterráneas desde una perspectiva política e institucional. Además, la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León, el Instituto de Agua, y los municipios de García y Monterrey no respondieron a las solicitudes para aplicar el cuestionario. Esta dificultad para obtener información resalta la importancia de este estudio y la necesidad de generar conocimiento sobre esta problemática.

Entrevistas

La entrevista cualitativa es una técnica flexible que permite explorar en profundidad las percepciones, experiencias y opiniones de los participantes a través de una conversación dirigida. A diferencia de los cuestionarios cerrados, las entrevistas cualitativas ofrecen la posibilidad de indagar en temas complejos y de adaptar las preguntas según las respuestas del entrevistado, lo que proporciona una comprensión rica y contextualizada del fenómeno estudiado (Balcazar, et al., 2013).

.Entrevista semi-estructuradas a profundidad

Las entrevistas semiestructuradas tiene relevancia porque es una guía que permite indagar a través de preguntas profundas al entrevistado y quien el entrevistador puede con toda libertad aplicar preguntas (Heranandez,et al., 2014). La naturaleza flexible de este tipo de entrevistas facilita la creación de un ambiente más relajado y natural, lo que puede fomentar la confianza y la apertura del entrevistado. A través de esta entrevista se tiende sumergir en la profundidad del tema, a través del discurso compartido (Balcázar, et al., 2013)

Proceso de aplicación de entrevistas, observación participante y no participante

Para profundizar en el análisis en los procesos de gestión del agua subterránea, se utilizó una metodología cualitativa que incluyó entrevistas a profundidad y semiestructuradas. Estas técnicas permiten explorar percepciones, experiencias y opiniones

de los participantes, proporcionando un entendimiento detallado y contextualizado de las aguas subterráneas. La selección los actores entrevistados fue uno por cada organización, se buscó que el personal tuvieran una participación activa con la gestión del agua o bien que estuviera relacionado con la conservación de cuencas y parques.

En la siguiente tabla se caracterizan los entrevistados, la institución a la que pertenecen, y algunos datos socio demográficos. Para cumplir con la confidencialidad de la investigación el nombre de los participantes no se menciona, pero si el nombre de la organización perteneciente, de esta manera de cumple con los principios éticos de la investigación.

Tabla 7 Actores entrevistados

Actor	Profesión	Cargo
Comisión Nacional del agua CONAGUA	Ingeniero	Secretario Técnico
Consejo de cuenca de Río Bravo CCRB	economista	Presidente
Servicios de agua y drenaje de Monterrey SADM	Ingeniero	Aguas subterráneas
Parques y Vida Silvestre PyVS	Biólogo	Departamento de flora y fauna
CONANP	Ingeniero Forestal	Área de ganadería, agricultura agua y pétreos
Pronatura Noreste	Biólogo	A cargo del programa agua

Fuente: elaboración propia

El Instrumento

Con el fin de analizar las relaciones entre los aspectos ecológicos, institucionales y sociales vinculados a la gestión del agua subterránea en el AMM, se diseñó un cuestionario de 17 preguntas (ver anexo1). Este instrumento se estructura en tres ejes temáticos:

1) el quehacer cotidiano de los actores en relación con el agua subterránea: en esta sección se evalúa la forma de trabajo en la cuestión de aguas subterránea, así como su percepción sobre las principales amenazas que enfrenta este recurso y los costos.

2) el conocimiento y percepción de los encuestados sobre la problemática de los acuíferos: en esta sección se evalúa la forma de trabajo en la cuestión de aguas subterránea, así como su percepción sobre las principales amenazas que enfrenta este recurso y los costos económicos y sociales de una gestión que excluya al acuífero como un usuario más.

3) acciones de las instituciones y organizaciones en la gestión de las aguas subterráneas: a través de este apartado, se pretende comprender el papel de los actores locales en la gestión del agua. Se busca identificar las estrategias que implementan en la gestión del recurso, así como las colaboraciones que establecen con otras entidades para abordar los desafíos comunes

Estructura de análisis de entrevistas. La interpretación de la tabla completa se ubica en los anexos.

Objetivo: analizar los procesos en el manejo de la gestión del agua afecta la sostenibilidad de los acuíferos

Tabla 8 Estructura para el acomodamiento de información y análisis de entrevistas

Organización	Preguntas de investigación	Preguntas del instrumento	Tema central
CONAGUA, SADM, PRONATURA NORESTE, CONSEJO DE CUENCA DEL RIO BRAVO, PARQUES Y VIDA SILVESTRE, CONANP	Pregunta 1 características físicas social y económicas del área de estudio: Acuíferos y AMM	Preguntas 1,2 y 3	Prespectiva personal del estado de los acuíferos
		Pregunta 4	Costos ambientales por excluir al acuífero
	Pregunta 2 usuarios que comparten el agua	Preguntas 5,6,7,8 y 9	Relación entre los usuarios y las organizaciones que gestionan el agua
	Pregunta 3 rol, de las instituciones formales e informales	Pregunta 10 y 11	vínculos interinstitucionales en favor de las aguas

			subterráneas (Planes leyes o programas)
	Pregunta 4 rol de la organizaciones	Preguntas 11 y 12	Prospectiva de la organización de las aguas subterráneas
	Pregunta 5 implicaciones del crecimiento y afectaciones a la sostenibilidad de los acuíferos	Preguntas 13, 14, 15, 17, 18 y 19	Acciones directas e indirectas que afectan la sostenibilidad

Fuente: elaboración propia

La Tabla 8 describe la estructura utilizada para analizar las entrevistas. Se aseguró que las preguntas del instrumento estuvieran en línea con los objetivos de la investigación, de manera que cada pregunta aportara a los hallazgos de este estudio, complementando así el análisis de la gestión del agua en el Área Metropolitana de Monterrey. Esto permitió realizar un análisis detallado de los procesos de gestión del agua en el AMM para cada organización participante.

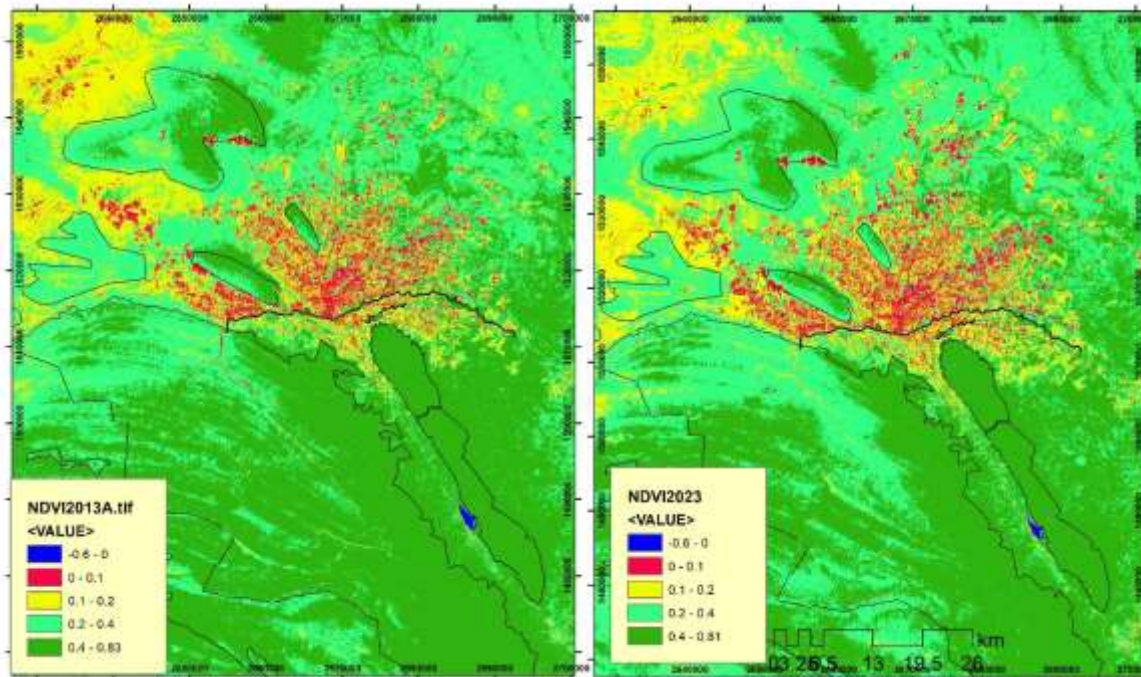
CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY Y SUS ACUÍFEROS.

Situación urbano-ambiental

Para caracterizar la situación ecológica del AMM se utilizó el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI). Esta herramienta de teledetección estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación al observar las diferencias entre las frecuencias visibles (R) y las no visibles (NIR) (INEGI, 2022). La imagen se obtuvo a partir de un promedio de imágenes de 1 año tomadas por el satélite Landsat 7 (2013) y 9 (2023).

Esta herramienta es útil para la planificación urbana ambiental, pues al ofrecer una imagen detallada de la salud de la vegetación, permite identificar zonas con vegetación saludables y las que no. Además (INEGI, 2022) muestra cómo la expansión urbana influye en los espacios verdes, que son esenciales para la sostenibilidad urbana (Rodríguez, 2024). Los valores obtenidos mediante la combinación de estas bandas oscilan entre -1 y 1. La interpretación de estos valores varía según la imagen; en este trabajo, se utilizó la clasificación de ESO DATA ANALYTICS, donde valores cercanos a 1 indican una vegetación densa y saludable, mientras que valores cercanos a 0 o negativos sugieren una vegetación estresada. Valores cercanos a -1 en ocasiones reflejan cuerpos de agua. Se compararon dos fechas diferentes 2013 y 2023.

Mapa 5 NDVI: Imagen compuesta mediana del AMM de 2013 y 2023



Fuente elaboración propia con información Lansat8 y, 2013 y 2023

El mapa 5 indica que los valores superiores a 0.4 corresponden a vegetación con mayor humedad o en buen estado. Aunque la región es semiárida y la vegetación suele ser seca, el índice revela una reducción en la superficie de vegetación natural saludable, probablemente debido a la sequía de ese momento, lo que subraya la importancia de implementar medidas preventivas contra incendios forestales. Los valores negativos cercanos a cero se asocian principalmente con áreas compuestas por rocas y suelo descubierto, como la expansión urbana y suelos sin vegetación o erosionados. No obstante, para validar estos supuestos, es esencial llevar a cabo un análisis más detallado de la zona.

Como resultado, el NDVI destaca la sequía en la zona y las afectaciones a la vegetación. Por ejemplo, en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM) se resalta una reducción de la vegetación “sana” al lado del lecho del río Santa Catarina. Aunque esto podría tener más impacto debido al crecimiento de ranchos y haciendas dentro del parque, es necesario realizar estudios más profundos para determinar su causa. Por el contrario, en la Sierra del Fraile y San Miguel se observa un aumento de daños por actividades mineras, mientras que el Cerro de Topo Chico y el Cerro de las Mitrás también se ven afectados por el crecimiento urbano y la una disminución de vegetación. En la parte sur, se nota un incremento en la expansión urbana que afecta las zonas de recarga.

A través del NDVI, se puede observar una disminución de las áreas verdes en la zona urbana debido al crecimiento urbano y a los complejos industriales, lo que lleva a la pérdida de espacios destinados a la recarga del acuífero AAMM. Gran parte de la superficie del acuífero se encuentra en zonas inundables, como se muestra en el mapa número 6, por lo que, debido a la cobertura de concreto, la capacidad de filtración ha disminuido. Este acuífero es uno de los más importantes para la extracción de agua para la industria.

Finalmente, el NDVI revela una disminución en la superficie de agua en la presa La Boca, debido a una crisis ambiental, meteorológica y de gestión. Estos problemas subrayan la urgente necesidad de que las instituciones se coordinen para enfrentar la crisis ecológica que afecta al AMM. Con base en lo anterior, en esta investigación es importante analizar que la gestión de los acuíferos tiene relación con otras instituciones inmersas en la

gestión del territorio. Las ANP estatales y federales que rodean la ciudad son consideradas como áreas importante de recarga para los acuíferos, sin embargo los proceso de urbanización desordenado pone en riesgo estas áreas (Koleff Osorio, Ruiz González, Urquiza Haas, & Tobón, 2013, pág. 30).

En las zonas de recarga de acuíferos, el crecimiento urbano desordenado es un riesgo para que naturalmente los acuíferos se recarguen. Sharp (2010) destaca que la urbanización introduce superficies pavimentadas y techos que obstaculizan la infiltración del agua al suelo. Este fenómeno tiende a nivelar el paisaje para facilitar la construcción y el diseño de carreteras, lo cual puede llevar al enterramiento de arroyos superficiales y cambiar las direcciones del flujo de aguas subterráneas.

Lo anterior significa que la gestión sostenible del agua implica otras funciones como el pago por servicios ambientales, ya que la naturaleza actúan como reguladora de los procesos ecológicos e incrementan los niveles calidad y cantidad del recursos. (Quijas & Balvanera, 2014). En este contexto, la protección y el manejo sostenible de las ANP se convierten en aspectos relevantes para garantizar la prestación de servicios ambientales esenciales para el AMM.

La LEGEEPA establece que las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son espacios que no han sido significativamente alterados o que, debido a su valor eco sistémico, requieren ser restaurados. Las ANP federales, como el PNCM y el Monumento Natural Cerro de la Silla, están bajo la responsabilidad de la CONANP, mientras que las ANP estatales son gestionadas por Parques y Vida Silvestre, en coordinación con la Secretaría del Medio Ambiente de Nuevo León.

Tabla 9 Actores involucrados en la gestión de ANP dentro de la zona metropolitana de Monterrey

Instituciones educativas	Consejo Estatal Forestal	Comisión Nacional Forestal (Conafor)
UANL Tec de Monterrey	Actores participantes en el Consejo Estatal: Consejos regionales y municipales, representantes del ejecutivo, Comisión Nacional Forestal, productores sociales e	Organizaciones relacionadas con Conafor: Secretaría del Medio Ambiente, Parque Ecológico Chipinque,

	industriales forestales, organizaciones civiles.	PNCM, autoridades del Monumento Natural Cerro de la Silla, Parques y Vida Silvestre, universidades.
--	-----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaborado con información de: De la Mora (2014)

De la Mora (2014) analiza las redes de colaboración entre distintos actores sociales que contribuyen a las ANP. La autora encontró que algunas redes son más densas y diversificadas que otras. La tabla 15 muestra que, las instituciones de mayor colaboración son las educativas: participan a través de investigaciones científicas y el diseño de política. En segundo lugar, el Consejo Estatal Forestal: como órgano de consulta, asesoría, vigilancia y seguimiento en la política forestal y desarrollo de planes y programas. Finalmente, la Comisión Estatal Forestal; que establece relaciones con instancias federales y estatales, autoridades municipales y diversas organizaciones.

Tabla 10 ANP: Zonas de recarga importantes para los acuíferos

ANP Federal	Superficie del ANP(has)	Superficie en el acuífero (has)	%	Pan de manejo
Cerro de la Silla	5983.56904	5811.51924	97.12	x
Cumbres de Monterrey	175718.143	118825.007	67.62	x
ANP Estatal				
Cerro La Mota	9335.13699	9335.13699	100.00	x
Sierra Cerro de la Silla	10511.7713	4632.14148	44.07	x
Sierra El Fraile y San Miguel	23281.3852	19522.7348	83.86	x
Sierra Las Mitras	3326.23581	3326.23581	100.00	x

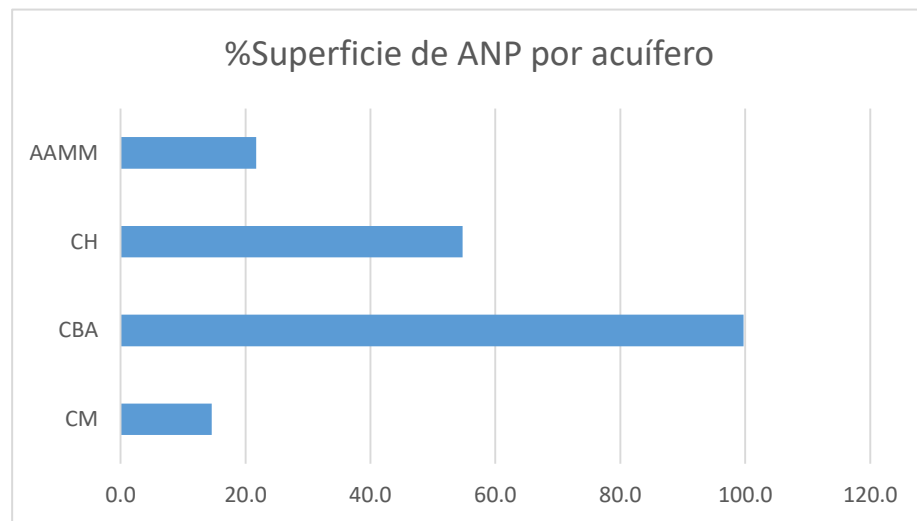
Fuente: elaboración propia con información de Conanp 2023

Las ANP en la zona de estudio desempeñan un papel importante en la conservación, protección y garantía de la recarga y calidad del agua destinada al consumo humano, la agricultura, industria y los ecosistemas. La totalidad de la superficie del acuífero CBA (100%) está protegida por el PNCM. En cuanto acuífero AAMM, el 22% de su superficie está designada como ANP, incluyendo el Monumento Natural Cerro de la Silla, Cerro de

las Mitras y parte del PNCM. El 55% del acuífero CH está dentro de una ANP, que incluye el Cerro de la Silla y el PNCM.

Finalmente, el 15% del acuífero CM forma parte del Área Natural Estatal Sierra del Fraile y San Miguel. Estos porcentajes reflejan la importancia de los servicios ambientales hidrológicos que producen las ANP sea en forma de escurrimiento para almacén del agua en presas o en forma de infiltración en los acuíferos.

Gráfica 4 porcentaje de superficie de ANP por acuífero



Fuente: elaboración propia con información de Conanp 2023

En la gráfica 4 se aprecia la importancia de cuidar las ANP para los servicios ambientales. El acuífero CBA se encuentra dentro esta compuestas por sierras, cañones y barrancos (Seriña, 2013). Desde 1950, se ha desarrollado infraestructura para la captación de aguas subterráneas, como la Galería de Infiltración Huasteca, el Túnel Huasteca y la Galería Morteros (ibídem).

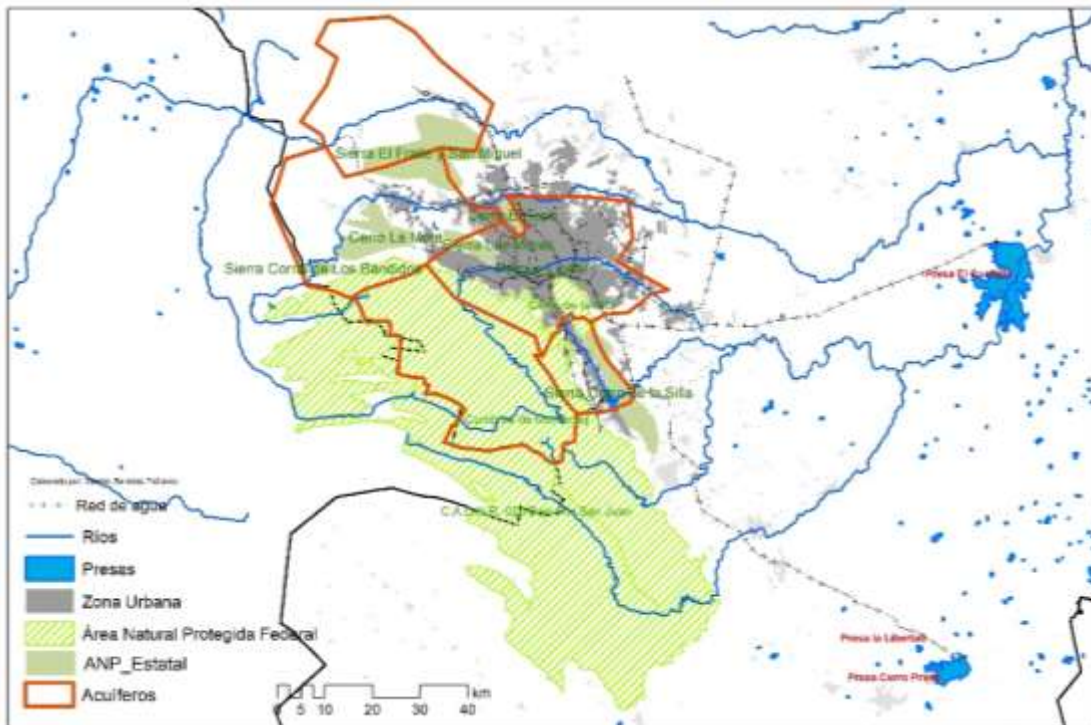
La designación de PNCM ha permitido que esta área se convierta en la principal zona de recarga de agua para la ciudad, produciendo el 70% del agua que consume el AMM (Semarnat, 2018). Los aportes de agua de la SMO han sostenido el crecimiento del AMM (Seriña, 2013:12). La creciente demanda hídrica en la ciudad y su entorno, exacerbada por

recurrentes sequías, ha llevado a una presión cada vez mayor sobre los acuíferos locales. La explotación acelerada de estos recursos, impulsada por la industrialización y la expansión de las actividades agrícolas y pecuarias, está provocando una contaminación progresiva del agua subterránea. La concentración de diversos iones y oligoelementos en estos cuerpos de agua representa una amenaza creciente para la calidad y disponibilidad de este vital recurso.

Desde 2003, el PNCM participa en el pago por servicios ambientales (PSA). El Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey (FAMM) y el Parque y Vida Silvestre (PyVS) colaboran en la conservación y otras iniciativas estatales y privadas, ha establecido un fideicomiso para el pago por servicios ambientales hidrológicos, centrado en el mantenimiento y la restauración de la cuenca del río San Juan, vital para el suministro de agua al AMM (De la Mora, 2014). Sin embargo dentro de esta ANP el problema son los poseionarios que existen en el PNCM y es que existe una situación particular de conflictos de intereses. Dentro de esta Área Natural Protegida (ANP) existen propietarios que están extendiendo la mancha urbana, a pesar de que se han interpuesto juicios que han favorecido a los poseedores. Esta situación revela cómo el poder político puede influir sobre la conservación del medio ambiente, destacando la debilidad tanto del gobierno federal como del local para hacer cumplir las leyes (De la Mora, Gabriela, 2020).

Otra de las afectaciones que demuestra una debilidad al medio ambiente ha sido la reducción de la superficie del PNCM, debido a la presión demográfica. En 1939, el PNCM contaba con 245,000 hectáreas según un decreto, pero en 2000 un nuevo decreto redujo su superficie a 177,396 hectáreas, disminuyendo en 67,604 hectáreas priorizando así la expansión urbana sobre el medio ambiente. Por lo tanto el cambio de usos de suelo, es una de las principales amenazas, que trae consecuencias negativas para la recarga de aguas subterráneas y como menciona Dudley y Strlton (2003) los bosques son ecosistemas importantes para abatecer de agua a las ciudades (Koleff Osrio et al., 2013).

Mapa 6 ANP como zonas de recarga de los acuíferos



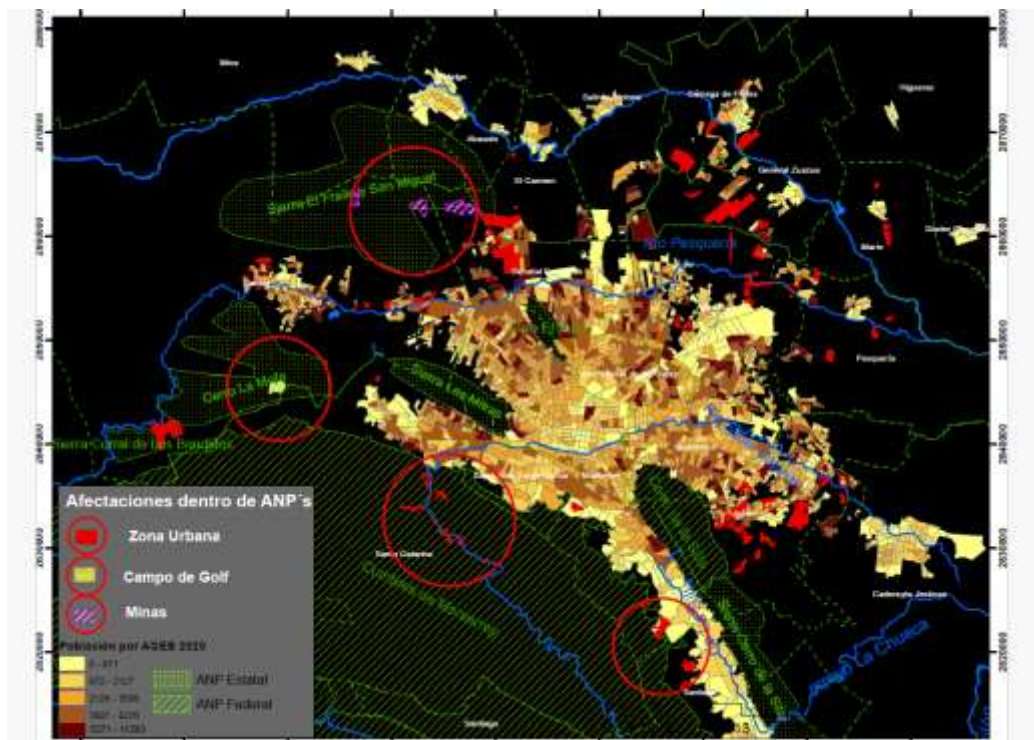
Fuente: elaboración propia con información de INEGI 2020

Un estudio realizado por el Foro Permanente de Aguas Binacionales, junto con científicos del Tecnológico de Monterrey y la Universidad Texas A&M, llamado "Estudio de la Evaluación de los Sistemas de Agua Subterránea en la Región Metropolitana de Monterrey y sus Zonas Prioritarias de Recarga", destaca una disminución del 20% en áreas de alta capacidad de recarga y un aumento del 52% en zonas de bajo potencial de recarga en la región metropolitana de Monterrey, en 23 años. El cambio es derivado del desarrollo urbano y la expansión agrícola. La investigación revela que el cambio en el uso del suelo en el AMM ha impactado una superficie de 1,050 kilómetros cuadrados, equivalente a 730 veces el tamaño del Parque Fundidora o aproximadamente un millón de campos de fútbol (Foro Permanente de Aguas Binacionales, 2024).

De esta manera, se evidencia que el crecimiento urbano es uno de los principales problemas para las zonas de recarga de los acuíferos, ya que ha disminuido el potencial de recarga y ha aumentado el riesgo de inundaciones. Lo más preocupante es que esta tendencia sigue en aumento. Ante esta situación, las autoridades correspondientes deben

abordar la planificación del desarrollo urbano de manera sostenible. Aunque este problema se ve limitado por la aplicación del artículo 115 constitucional, que otorga a los municipios la responsabilidad de planificar su territorio, es necesario que los instrumentos de planificación se alineen con el Programa de Ordenamiento Ecológico del estado y programas de manejo de ANP.

Mapa 7 Crecimiento urbano 2023



Fuente: elaboración propia con información de Inegi 2020

El mapa 7 evidencia un impacto significativo del crecimiento urbano en municipios como Pesquería, Escobedo, General Zuazua, Apodaca, García y Juárez. Esta expansión amenaza directamente a las ANP estatales, como se observa en la Sierra El Fraile y San Miguel, donde se ubica una mina, en el Cerro La Mota, ocupado por un campo de golf y en el PNCM sufre los efectos de la urbanización. Esto representa una amenaza a los ecosistemas derivado de una afecta de conocimiento sobre los servicios ambientales que ofrece el parque (Cantú, y otros, 2013).

La pérdida de vegetación primaria afecta diversos componentes de la biodiversidad y existe una relación directa entre el equilibrio en las cuencas hidrológicas y la cobertura vegetal del territorio (Palacio-Prieto, 2000) que afecta a las aguas subterráneas. Las partes altas de las cuencas, coincidentes con las zonas boscosas, favorecen la intercepción de lluvia en el follaje, disminuyen la escorrentía y promueven la infiltración de agua de lluvia en los acuíferos (Ramírez & Oesterreich, 2013, pág. 33). Las zonas de recarga se encuentran en la parte alta de la SMO, constituidas por macizos rocosos de caliza de alta permeabilidad y porosidad variable.

Tabla 11 Pérdida/ganancia de uso de suelo y vegetación de 2001 y 2021

Categoría	2001	2021	perdida/ganancia
Agricultura	16255.038	7620.05232	-8634.985689
Asentamiento humano	35858.3297	62960.6355	27102.30579
Cuerpo de agua	315.450052	380.215001	64.764949
Pastizal	9139.71174	3130.27327	-6009.438468
Sin vegetación	1379.76011	250.495118	-1129.26499
vegetación primaria húmeda	39428.3246	40222.8573	794.532713
vegetación primaria seca	136182.838	119157.361	-17025.47713
vegetación secundaria húmeda	27431.5728	28458.2299	1026.657098
vegetación secundaria seca	24200.1241	28011.0299	3810.905731
Total general	290191.15	290191.15	

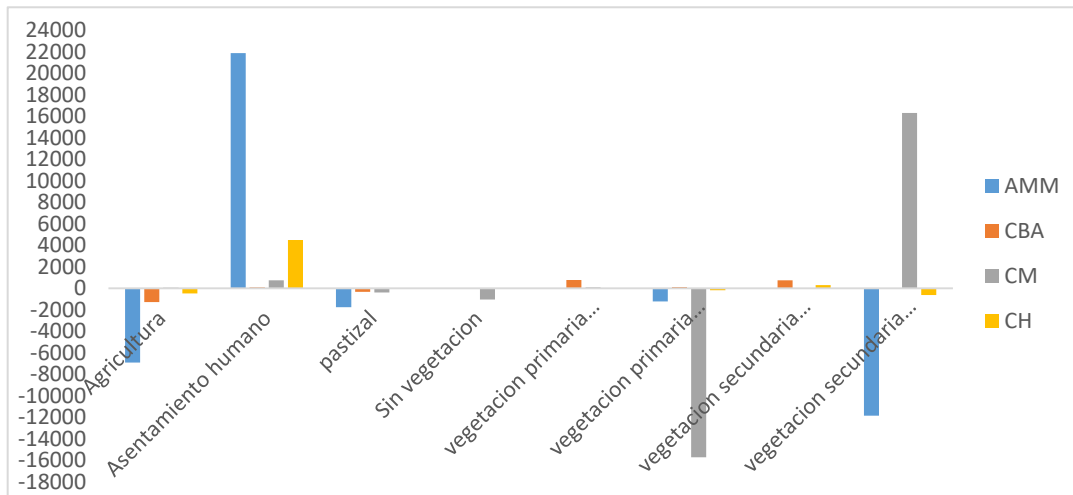
Fuente: elaboración propia con información de INEGI de serie de uso de suelo y vegetación II y VII

En la tabla 11 se observa que, durante el periodo analizado de 20 años, se perdieron 8,634 hectáreas de agricultura, mientras que se ganaron 27,102 has de asentamientos humanos. Por el contrario, la vegetación secundaria seca incremento 3810.95 has, mientras que la vegetación primaria seca fue la más afectada, se perdieron 17025.4 has. Estos cambios en la cobertura terrestre tienen implicaciones directas en la recarga de acuíferos. La vegetación primaria seca y la calidad del agua. Por lo tanto, es fundamental realizar

análisis más profundos utilizando imágenes satelitales de alta resolución para cuantificar y comprender mejor estos procesos

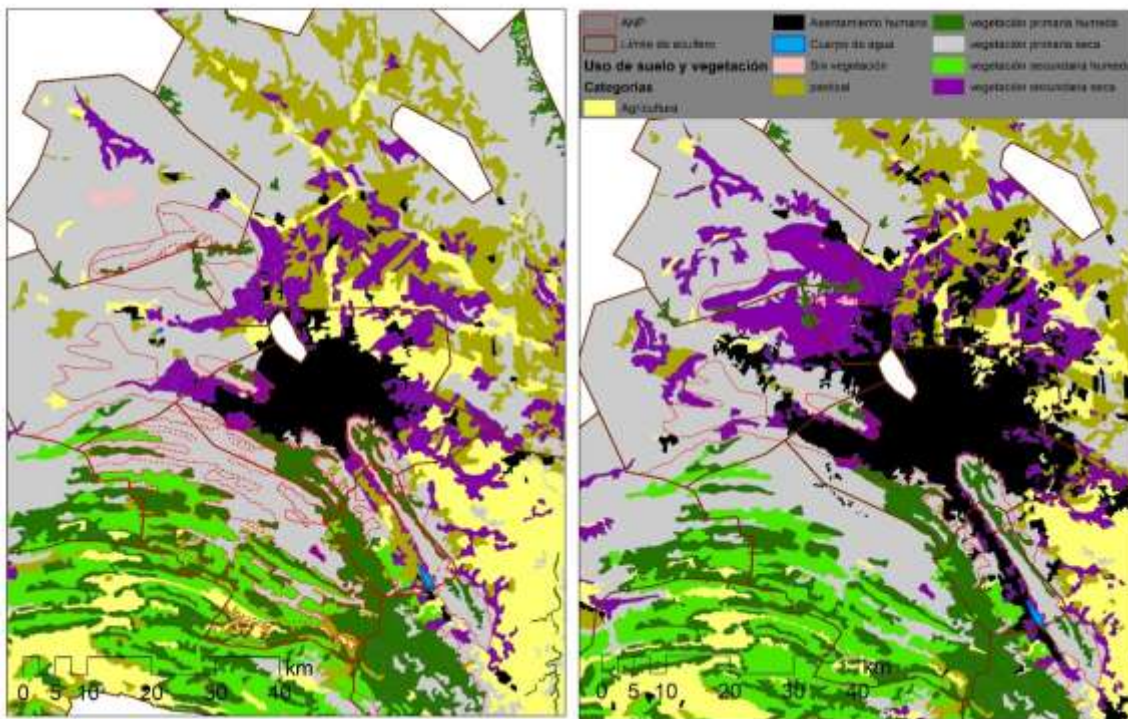
La dinámica de la cobertura son indicadores de los cambios en la cuenca y que representa cambios en el ciclo hidrológico (García , Uvalle , Cantú Ayala, González , & Marmolejo , 2021). La eliminación de la cubierta vegetal, generan una serie de impactos ambientales negativos. Entre ellos se destacan la pérdida de bienes y servicios eco sistémicos, el aumento de la temperatura, la degradación del suelo y la pérdida de hábitat para numerosas especies (ibídem), por lo tanto, realizar los cambios del uso del suelo como herramienta de monitoreo puede prevenir la pérdida de cobertura forestal y la degradación de los ecosistemas.

Gráfica 5 Cambios de vegetación por acuífero



Fuente: elaboración propia con información de serie de INEGI II y VII

Mapa 8 Cambios de vegetación en los acuíferos del AMM en 20 años



Fuente: elaboración propia con información INEGI serie II y VII

Según el mapa de usos de suelo y vegetación 2021 el 15% del territorio del acuífero CM pertenece al ANP la Sierra El Fraile y San Miguel donde el 67% es está cubierto por matorral submontano, y el 19% por matorral desértico rosetófilo solo el 4% de bosque de encino, dentro del ANP se encuentra la mina Trituradas Industriales S.A. quien altera el ecosistema endémico y contamina el ambiente. La falta de un plan de manejo para este ANP impide su gestión sostenible.

Por su parte, el 22% del acuífero AAMM está designado como ANP, entre ellos se encuentran Monumental Cerro de la Silla, Cerro de las Mitrás y una parte del PNCM. La Sierra de las Mitrás, si cuenta con el programa de manejo, en ella promueve la preservación de la zona mediante la restauración y conservación de los ecosistemas y biodiversidad. El ANP Cerro de la Silla también cuenta con el programa de manejo desde 2002, entre sus acciones se localiza la captación de agua, el control de erosión, la regulación del clima y el control del riesgo de inundaciones.

El monumetal Cerro de la Silla es un símbolo natural de Monterrey, la hidrología de esta área está dominada por el Río La Silla y sus numerosos tributarios, que no solo sostienen la biodiversidad local, sino que también son vitales para las comunidades humanas circundantes. El principal río que pasa por el ANP es el Río La Silla, los arroyos tributarios más importantes de este río son El Calabozo, La Virgen y Los Elizondo, los cuales contribuyen significativamente al caudal del Río La Silla antes de que éste se una al Río Santa Catarina aguas abajo (CONANP, 2014).

Cambios de vegetación por acuífero

En el acuífero AAMM, el cambio de vegetación en un periodo de 20 años muestra una disminución significativa de vegetación secundaria seca (11,862 hectáreas) y un incremento de asentamientos humanos (21,891 hectáreas). En el acuífero CBA hubo un incremento de vegetación primaria y secundaria húmeda, aproximadamente 750 hectáreas en cada categoría. Probablemente, las acciones enfocadas en la reforestación respondan a este hecho, sin embargo se requieren análisis que pueda comprar suposición. En el acuífero de CM podría haber una sustitución de vegetación, debido a la disminución de la vegetación primaria seca (15,738 hectáreas), mientras que se ganaron 16,317 hectáreas de vegetación secundaria seca. Finalmente, en el acuífero de CH se observa un aumento de asentamientos humanos con más de 4,480 hectáreas, disminuyendo la vegetación secundaria seca (644 hectáreas) y la agricultura (492 hectáreas).

El pago por servicios ambientales es una forma de incentivar la protección y conservación de bosques y selvas. Los recursos provienen del Fondo Forestal Mexicano y se canalizan a través de la CONAFOR. Un aspecto destacado del PNCM es su enfoque en la provisión de servicios ambientales hidrológicos, los cuales benefician el 78% del territorio bajo su gestión (Ruiz-González, Calderón Piña, & Alanis, 2013)

Los pagos por servicios ambientales (PSA) todavía no incluyen una evaluación completa y sistémica del agua subterránea. A pesar de que los PSA tienen ventajas, como la reducción de la marginación y la pobreza, y la conservación y protección del medio

ambiente, un punto relevante es que los criterios de elegibilidad no consideran el funcionamiento integral de los sistemas hidrológicos. En su lugar, se basan en criterios socioeconómicos, vegetación, deforestación, marginación y el análisis de aguas superficiales, pero no integran adecuadamente los flujos subterráneos. Por lo tanto, es necesario adoptar una evaluación más holística que tenga en cuenta tanto los aspectos superficiales como subterráneos. Para cumplir con la conservación es necesario establecer y mejorar la efectividad y sostenibilidad de los PSA.

Características geológicas y de recarga de los acuíferos.

El agua subterránea se desplaza en respuesta a diversas fuerzas que determinan su dirección y velocidad. La energía que impulsa este movimiento es una combinación de presión, energía cinética y energía potencial. Según la ley de Darcy, existe una relación directa entre la velocidad de flujo del agua subterránea y el gradiente hidráulico, el cual es la diferencia de presión entre dos puntos. Además, la composición del tipo de roca, la permeabilidad y la porosidad son factores que influyen en este proceso.

La composición, estructura y formación de los acuíferos son diversas. El acuífero CBA está compuesto por tres tipos de acuíferos interconectados. El acuífero más productivo está formado por calizas de las formaciones Cupido, Aurora y Cuesta del Cura, y se explota mediante 42 pozos profundos, todos destinados al uso público urbano, incluidos 22 pozos en el Cañón del Huasteca. El segundo acuífero está compuesto por gravas y arenas en el lecho del río Santa Catarina, donde se encuentra la galería Huasteca y Morteros. Aquí, el agua se capta y se transfiere al tanque del Obispado, además de ser explotada mediante pozos someros. Finalmente, el tercer acuífero se ubica en el núcleo de anticlinales erosionados y se explota mediante los pozos números 25, 28, 33 y 39, con cotas de brocal entre 721 y 747 msnm.

La recarga de estos acuíferos se manifiesta de manera escalonada debido a la interconexión de sus formaciones geológicas, lo que influye en la dinámica del agua y su recuperación gradual, aunque esto genera una estimación compleja. Estudios geohidrológicos han determinado que las calizas acuíferas que afloran en las partes altas,

con un área de 450 km², funcionan como zonas de alimentación y recarga. De esta manera, la infiltración del agua de lluvia se conduce a las rocas calizas confinadas, formando el acuífero.

El acuífero AAMM es de tipo libre y está compuesto por un medio granular y otro fracturado. La parte superior del acuífero consiste en sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados. En las zonas más profundas se encuentran lutitas con permeabilidad secundaria, lo que hace que el acuífero sea semiconfinado y confinado, ya que las calizas están cubiertas por lutitas.

La recarga del acuífero se produce a través de la infiltración de agua de lluvia en el valle y la infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, lo cual se considera como recarga vertical y flujo subterráneo horizontal. De manera incidental, se estima que el 10% de las fugas de la red de abastecimiento de agua potable y del sistema de alcantarillado recargan el acuífero, lo que equivale a 346.0 Mm³ anuales, en fugas que representan 1078 l/s.

La recarga del flujo subterráneo horizontal, que proviene de la precipitación pluvial en el valle y la infiltración de los escurrimientos superficiales, es de 39.5 Mm³ anuales. Las salidas o descargas por bombeo ascienden a 98.2 Mm³ anuales, mientras que las salidas de flujo subterráneo horizontal, calculadas a partir de los niveles estáticos, se estiman en 7.0 Mm³ anuales. Las descargas naturales de los tres manantiales localizados en el norte y noreste de Monterrey equivalen a 7.3 Mm³ anuales. Además, se estima que el flujo base del río Santa Catarina y el río La Silla es de 31.5 Mm³ anuales.

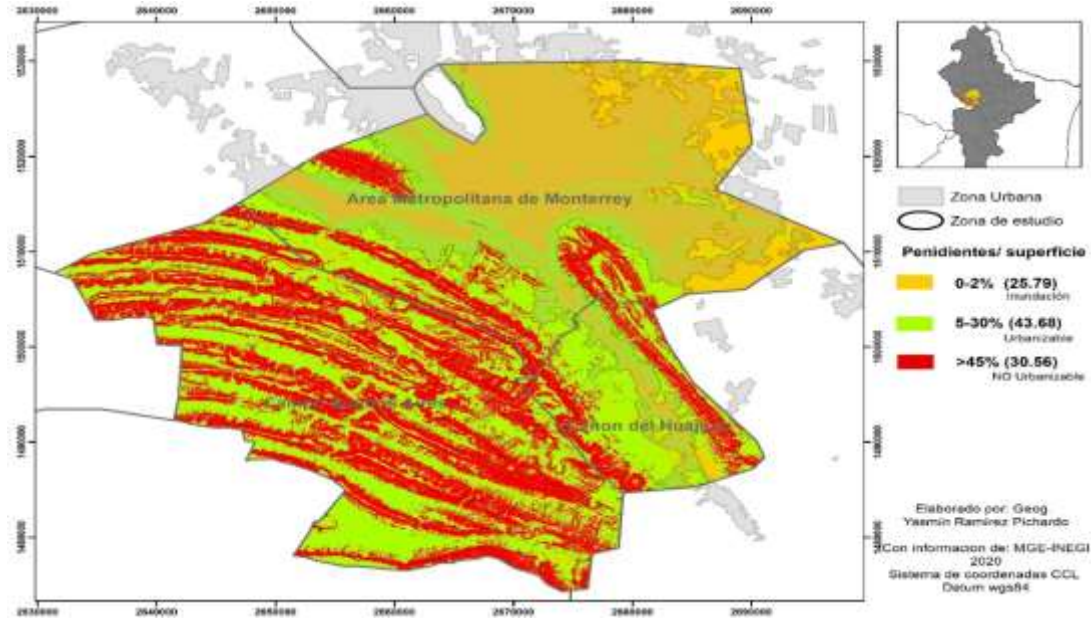
El acuífero Campo Mina (CM), constituido por rocas calizas, funciona como confinado, aunque en ocasiones actúa como libre en las zonas de recarga. Este acuífero es alimentado por flujos locales y regionales que provienen de Coahuila. La recarga por lluvia es de 5.5 hm³ anuales, resultado de aplicar un coeficiente de infiltración del 4% al volumen precipitado de 270 mm anuales en un área de 510 km² del valle. En la zona existe un recarga

por el uso agrícola de aproximadamente 0.6 hm³ anuales, correspondiente al 10%, en este acuífero no hay recarga urbana inducida (Conagua 2023c).

El acuífero Cañón Huasteca (CH) es un acuífero libre a semiconfinado de media granulometría y fracturado. La parte superior está constituida por sedimentos aluviales y conglomerados, mientras que en las zonas más profundas se encuentran las calizas de formación Aurora y Cupido, donde el acuífero pasa de semiconfinado a confinado. La recarga natural ocurre por infiltración de lluvia, así como por la recarga horizontal que proviene de la zona montañosa y las calizas que descargan en los túneles de San Francisco y los manantiales. Las salidas se producen principalmente por bombeo (0.8 hm³/año), el socavón túnel de San Francisco (19.5 hm³ anuales), la evapotranspiración (5.9 hm³ anuales) y los flujos subterráneos horizontales que van al vaso de La Boca (0.6 hm³ anuales) (Conagua, 2023d)

La urbanización de la ciudad ha tenido que adaptarse a este entorno natural, ya que su crecimiento en las faldas de la SMO incrementa el riesgo de destaraste, ocasionadas por las fuertes corrientes y provocando inundaciones (Aguilar & Ramírez, 2021). En busca de soluciones para controlar el río Santa Catarina, durante el gobierno de Ignacio Morones Prieto se decidió modificar el curso del río. Para adaptarlo a la urbanización, se rectificaron sus formaciones meándricas.

Mapa 9 Grado de pendiente por acuífero



Fuente: elaboración propia con información del modelo de elevación digital INEGI 2020

El mapa 9 tiene el propósito de ilustrar cómo la topografía de la SMO afecta la recarga de los acuíferos en la región. La SMO, caracterizada por su formación de cañones, fallas y fracturas, está compuesta en su mayoría por roca caliza. Las precipitaciones que caen en esta área escurriendo a altas velocidades debido al pronunciado grado de pendiente. Aunque las partes altas de la sierra son consideradas fuentes de recarga, la inclinación tan pronunciada presenta efectos adversos para el valle, limitando la efectividad de las lluvias en la recarga de los acuíferos, además de los cambios ocurridos por avance de la mancha urbana, y la frecuencia de incendios principalmente ocasionados por fogatas (Jiménez, Yerena, Aguirre, & Alanís, 2013) son factores que influyen en el nivel de recarga.

Las zonas de descargas pueden variar desde 1 metro por año hasta cientos de metros por día (Val Segura et al., 2006). Pueden transcurrir décadas, siglos o incluso milenios entre la recarga inicial y su liberación hacia manantiales, arroyos o el mar. Estas tasas lentas de flujo y largos períodos de residencia, debido a grandes volúmenes de almacenamiento, son características clave de los sistemas de agua subterránea (ibídem).

Características socio-económicas

En una región semiárida como Nuevo León, el 14.3% de la población cuenta con tinacos y el 2.6% con cisternas (INEGI, 2020). La práctica de almacenar agua es vital para enfrentar periodos de escasez, sin embargo el uso de tinacos y cisternas puede ser visto desde dos perspectivas: por un lado, es una medida de resiliencia y sostenibilidad, permitiendo a las familias gestionar mejor los periodos de sequía y asegurando que las necesidades básicas de agua sean satisfechas incluso en tiempos de escasez. Por otro lado, desde la perspectiva de las autoridades, la dependencia de estos sistemas puede indicar deficiencias en el suministro constante de agua, sugiriendo la necesidad de mejorar la infraestructura hídrica y las políticas de gestión del agua.

El estado de Nuevo León aporta el 8.0 % del PIB nacional después de la Ciudad de México (15.3 %) y Estado de México (9.1 %) (INEGI, 2023) Las actividades primarias representan solo 0.6 % de PIB del estado, el 38% las actividades secundarias y el 62% las actividades comerciales. La población económicamente activa (PEA) en Nuevo León asciende a 2.89 millones de personas. De estas, el 63% trabaja en el sector formal, mientras que el 37% lo hace de manera informal. Estos datos subrayan la importancia de las empresas en el sector formal y el consumo de agua de la red de drenaje.

El AMM es una de las regiones más significativas para la economía nacional e internacional. La instalación de parques industriales en esta área depende de la extracción de agua de pozos o de la red de drenaje. Aunque los parques industriales son esenciales para las cadenas productivas, generando empleo y promoviendo el desarrollo económico, su rápido crecimiento altera el uso del suelo, transformándolo en áreas de concreto que impiden la filtración de agua. Por ejemplo, hasta 2023, la Asociación Mexicana de Parques Industriales (AMPIP) registraba 77 parques industriales distribuidos de la siguiente manera: Apodaca con 23 parques, Monterrey con 13 y Santa Catarina con 7, siendo estos los más grandes.

Tabla 12 parque industriales por municipios

Municipio	Número de
	Parque industrial
Abasolo	1
Apodaca	23
Ciénega de Flores	5
El Carmen	3
García	4
General Escobedo	6
Guadalupe	4
Juárez	2
Monterrey	13
Pesquería	3
Salinas Victoria	2
San Nicolás de los Garza	3
San Pedro Garza García	1
Santa Catarina	7

FUENTE: elaboración propia con información de secretaria d económica 2023

La demanda de agua, impulsada en gran parte por la industria manufacturera, subraya la necesidad de estrategias para garantizar un uso más eficiente y equitativo del recurso. Aunque la gran industria cuenta con plantas de tratamiento. De acuerdo con la Secretaría de Economía (2023), la industria manufacturera es el sector secundario más productivo. Entre los productos con mayores ventas se encuentran las Máquinas y Unidades de Procesamiento de Datos (US\$3,829M), Partes y Accesorios de Vehículos Automotores (US\$3,548M) y Alambres y Cables Eléctricos (US\$3,193M). Este alto nivel de producción tiene un impacto significativo en el consumo de agua. Según el Censo Económico de 2019, el sector manufacturero reportó un consumo de agua de 6,127 millones de pesos, siendo el mayor consumidor en comparación con las actividades comerciales, que tuvieron un consumo de 539 millones de pesos.

La creciente demanda de agua en la región, impulsada en gran parte por la industria manufacturera, exige la implementación de estrategias que aseguren un uso más eficiente y equitativo del agua. La gran producción que se realiza en la entidad específicamente en

el AMM donde se localizan los 77 parques industriales mantiene una economía altamente diversificada en integrada en la globalidad de alto valor agregado

Según la Secretaria de Economía (2023), de las actividades secundarias la industria manufacturera es la más productiva, los productos de mayores ganancias son las maquinarias (US\$3,829M), las partes para automotores (US\$3,548M) y cableado eléctrico (US\$3,193M) (Secretaria de Economía, 2023). Es evidente que el consumo de agua sector de la industria manufacturera es el más alto, según el censo económicos 2019 este sector registro 6127 millones de pesos en recaudación por consumo de agua, en segundo lugar están las actividades comerciales con un consumo de agua de 539 millones de pesos.

Tabla 13 Consumo de agua por tipo de actividad económica en NL

Actividad económica	K976A Consumo de agua y recaudación (millones de pesos)
Sector 11 Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	0.111
Sector 21 Minería	35.269
Sector 31-33 Industrias manufactureras	6127.66
Sector 43 Comercio al por mayor	172.494
Sector 46 Comercio al por menor	366.629
Sector 48-49 Transportes, correos y almacenamiento	51.779
Sector 51 Información en medios masivos	18.911
Sector 52 Servicios financieros y de seguros	117.353
Sector 53 Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles	101.45
Sector 54 Servicios profesionales, científicos y técnicos	45.475
Sector 55 Corporativos	5.579
Sector 56 Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos, y servicios de remediación	83.055
Sector 61 Servicios educativos	102.94
Sector 62 Servicios de salud y de asistencia social	71.491
Sector 71 Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	55.142
Sector 72 Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	255.678
Sector 81 Otros servicios excepto actividades gubernamentales	109.338
Sector 22 Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final	124.213
Sector 23 Construcción	43.933

Fuente: elaboración propia con información de Censo económico 2019

La industria manufacturera en el AMM, motor económico de la región, presenta un perfil de consumo hídrico caracterizado por una alta intensidad en ciertos subsectores. De

acuerdo con los datos disponibles, los sectores de equipo de transporte y metalurgia encabezan la demanda industrial de agua. Sin embargo, estas cifras solo representa el consumo de agua por empresas que se abastecen directamente del red de SADM o por pipa, por tanto este no es el consumo real de agua, pues no incluyen las concesiones de agua particulares que las grandes industrias tienen (Secretaría de Economía, 2023).

La industria en AMM, al tener volúmenes asignados de agua, restringe la disponibilidad de este recurso para el sector público urbano. Al otorgar derechos de uso sobre un recurso escaso, se debe incentivar el uso eficiente del agua, ya que las industrias pueden causar impactos ambientales al sobreexplotar los acuíferos.

Por lo tanto, las empresas deben aplicar los principios de la economía circular, que buscan minimizar los residuos y maximizar el uso de los recursos. En este contexto, el proceso de reciclaje del agua desempeña un papel fundamental, ya que contribuye a reducir la sobreexplotación de aguas subterráneas y superficiales, que promueve la sostenibilidad.

Gestión de las aguas tratadas en el AMM

Las fuentes más comunes de salinidad urbana son los efluentes urbanos no tratados/aguas residuales industriales, materiales de construcción, fertilizantes y productos químicos (Etikala, et al. 2021). Uno de los proceso de la gestión del agua es el tratamiento de aguas. El manejo de una planta de tratamiento implica, inversión en los costos de tecnología, personal capacitado, monitoreo y vigilancia. Hasta el 2023 SADM trataba el 94% del agua a nivel estatal y del 100% en el área metropolitana. Esta cobertura se mantiene gracias a las 40 plantas para tratar el agua y 17 lagunas de oxidación operativas. El organismo operador tiene la capacidad de tratar hasta 16,167l/s, de los cuales 13,750 l/s se tratan el área metropolitana, 1,240 l/s en el área conurbada y 1,177 l/s en áreas foráneas. Actualmente, se están procesando 10,895 l/s, con una disponibilidad de tratamiento de 5,272 l/s. De esta forma SADM cumple con la Norma Oficial Mexicana de Semarnat (NOM-001-Semarnat-2021), que impone estándares para tratar las aguas residuales,

contribuyendo así a una economía circular mediante la venta de agua tratada a empresas (9%). El tratamiento de aguas en la ciudad es un indicador que favorece el medio ambiente.

Sin embargo, el problema de la contaminación por descargas clandestinas involucra la coordinación de instituciones federales y estatales. A nivel federal, la CONAGUA es la encargada de otorgar los permisos de descarga, mientras que la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) tiene la responsabilidad de vigilar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Por su parte, a nivel estatal, la Secretaría del Medio Ambiente de Nuevo León, en el marco de la legislación ambiental, se encarga de prevenir y controlar la contaminación del suelo, para prevenir la contaminación de los acuíferos.

Diversas investigaciones han demostrado la preocupación por la calidad del agua en el AAMM. Los cuerpos de agua más importantes como el río Santa Catarina está considerado como un ANP estatal, sin embargo la protección de este cuerpo de agua no ha aplicado medidas estrictas a las descargas de agua residual de forma clandestina. Un estudio de Martínez (2018) identificó la presencia de diversos desechos en el río, incluyendo llantas, muebles, residuos alimenticios, aceite, jabones y pinturas, advierte que la infiltración del agua contaminada podría poner el riesgo las aguas del subsuelo. Por su parte, Ramos et al. (2023) muestran que existen concentraciones de cromo que representan un riesgo para la salud. Nava (2020), encuentra altas concentraciones de plomo en las calles de Monterrey, que ponen en riesgo la calidad de agua.

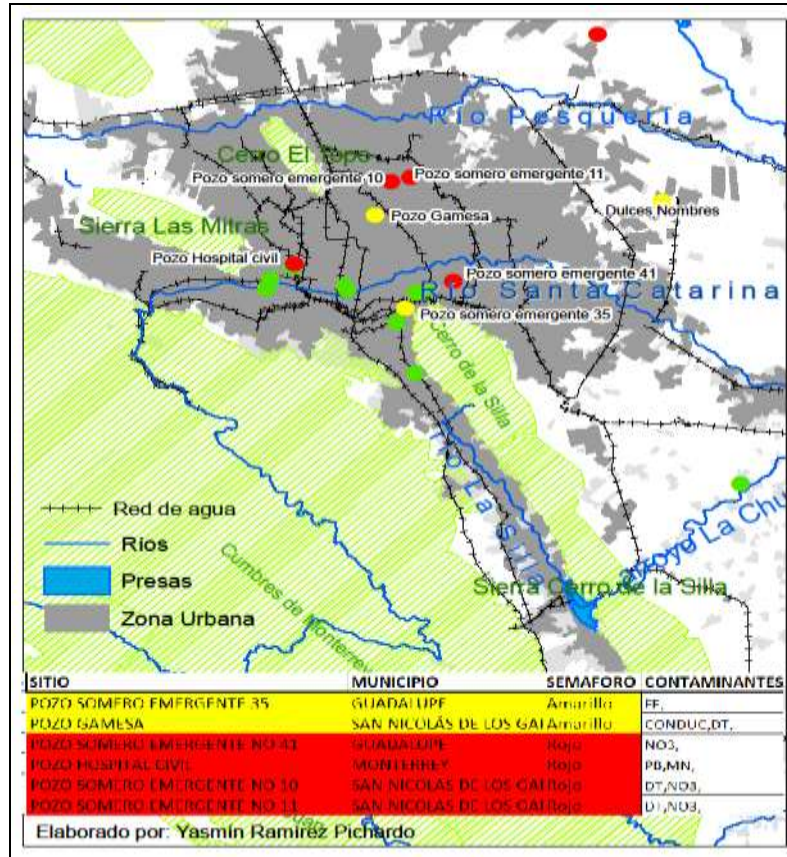
Aunque SADM cumple formalmente con la regulación mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) al tratar las aguas residuales antes de su descarga en el río Pesquería, el cumplimiento de la normativa brinda solo una apariencia de control sobre la contaminación. Hallazgos como el de Guillermo (2016) expone la contaminación por descargas de aguas térmicas de las plantas industriales cercanas al río que afecta negativamente a los ecosistemas del río. Los altos niveles de nitrógeno y fósforo en el río, son más altos a los límites permitidos, favorecen el crecimiento descontrolado de algas, un fenómeno conocido como eutrofización.

La eliminación inadecuada de desechos está causando graves problemas al sistema de alcantarillado en Monterrey, especialmente grasas y aceites provenientes de

restaurantes, carnicerías y rastros. Según (Gaytán, 2023), SADM ha recibido numerosas denuncias por taponamientos atribuidos a estos desechos. Además de grasas y aceites, se han encontrado otros contaminantes como papel higiénico, toallas sanitarias y plásticos(SADM, 2023b). Las colonias con infraestructuras obsoletas, especialmente las más antiguas, son particularmente vulnerables a los efectos de una gestión inadecuada de residuos. Esta situación impacta negativamente en los costos de inversión en el organismo operador, que hace más difícil el tratamiento de aguas residuales. Si bien, esta situación aparentemente no afecta las aguas subterráneas, las fugas que pueda haber en la red si son un problema las aguas del subsuelo. Actualmente el agua no contabilizada es de 41% de los cuales, 17% son por fugas, 10% por error de medición, 12% por consumo no medido y 3% de error de lectura (SADM, 2023a)

Según información de la CONAGUA el acuífero AAMM presenta una elevada concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) estos valores oscilan entre 1100 a 5100 mg/l, La mayoría de las muestras de agua mostraron concentraciones que exceden el límite máximo permitido de 1000 ppm, según la NOM-127-SSA1-2021 para uso y consumo humano (Conagua, 2023a), por su parte los acuíferos CBA, CH y CM no presentan niveles de salinidad superiores a la NOM-127SSA1-2021, sin embargo la literatura muestra que existen otros tipos de contaminantes.

Mapa 10 Puntos de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua en el AMM



Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA 2022

La calidad del agua en México enfrenta un problema grave. Según la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA), el 59.1% de las aguas superficiales están contaminadas. Durante las décadas de 1960 y 1980, los acuíferos sufrieron un fuerte impacto, lo que resultó en la pérdida de manantiales, humedales y la disminución de los caudales de los ríos. Estas son consecuencias de una gestión que no prioriza la protección del medio ambiente. La disminución en el rendimiento de los pozos hace que la extracción sea cada vez menos eficiente, lo que incrementa los costos de extracción y deteriora la calidad del agua. Como resultado del mal manejo de las aguas subterráneas, los usuarios se ven afectados, y esto tiene un impacto negativo evidente en el medio ambiente. (SEMARNAT, 2003).

Según la Ley de aguas Nacionales en el artículo 86 la CONAGUA debe monitorear calidad de agua de los principales cuerpos de agua, mediante la Red Nacional de Medición

de Calidad del Agua (RENAMECA) de forma sistemática y permanente, en ella se encuentran las aguas subterráneas como pozos cenotes, galerías y manantiales.

La red de calidad del agua analiza 14 parámetros como indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, con base en los parámetros que mide la CONAGUA se califica el cumplimiento o incumplimiento de la calidad del agua destinada para uso potable, de consumo o en riego agrícola. En el semáforo cada color representa la cantidad de parámetros del agua

Tabla 14 Semáforo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la red de monitoreo del agua de CONAGUA

Color	Parámetros cumplidos
Verde	14 parámetros
Amarillo	Alcalinidad total, Conductividad eléctrica, Dureza total, Sólidos Disueltos Totales, Hierro Total y Manganeso Total
Rojo	Cuando se incumple en uno o más de los siguientes parámetros: Fluoruros, Coliformes fecales, Nitrógeno de Nitratos, Arsénico Total, Cadmio Total, Cromo Total, Mercurio Total y Plomo Total.

Fuente: elaboración propia con base en Conagua

Dentro del AAMM la red de monitoreo de 2012-2022 georreferenció 19 pozos para medir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de calidad de agua de los cuales 4 están en semáforo rojo y 2 en amarillo el resto se encuentra en semáforo verde. Los pozos someros que se encuentran en semáforo rojo se localizaron nitratos plomo, magnesio y solidos disueltos. Solo dos pozos se encuentran en semáforo amarillo, en ellos se localizó, fierro, solidos disueltos y salinidad (conductividad eléctrica). En los ACH, ACBA, y ACM no hay pozo monitoreados por la red.

Por lo tanto, las aguas subterráneas presentan contaminantes peligrosos en algunos puntos de acuífero AAMM, por su parte, los ríos Santa Catarina, Pesquería y La Silla son los más afectados por la contaminación. Descargas ilegales de aguas residuales sin tratamiento previo, tanto domésticas como industriales, contaminan los ríos y ponen en riesgo la salud pública. Es evidente que los ríos y las aguas subterráneas están interconectados, porque el agua de los ríos puede filtrarse en el suelo, y cuando los ríos

están contaminados, los contaminantes pueden infiltrarse en el suelo y contaminar las aguas subterráneas.

Gestión del agua en México

La gestión del agua en México corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, esta tiene la responsabilidad de proponer al Ejecutivo Federal la política nacional en materia de agua, así como los proyectos, reglamentos, decretos y acuerdos relacionados. Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la autoridad técnica y normativa en cuestiones de agua, encargada del uso y aprovechamiento tanto de aguas subterráneas como superficiales, y actúa como órgano consultivo de la federación.

El papel de la CONAGUA como coordinadora de diversas instituciones y actores involucrados en la gestión del agua, intenta establecer una gestión integrada de los recursos hídricos, que considere aspectos sociales, económicos y ambientales. Par entender la problemática de las agua en México es necesario indagar sobre los procesos hídricos que dieron origen a la sobreexplotación de aguas subterráneas.

A partir de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917, en su artículo 127, estipula la nacionalización de los recursos naturales. Esto significó que las aguas superficiales quedaran bajo el control del gobierno federal, mientras que las aguas subterráneas pertenecieran al propietario del terreno, lo que permitió la sobreexplotación y la disminución de los niveles freáticos.

En 1948, la Ley Reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 reguló las vedas y estableció límites de extracción basados en un "rendimiento seguro", aunque este concepto no fue claramente definido, pero se refiere al volumen de agua subterránea que se puede extraer anualmente sin generar un desbalancee en la recarga (Marañón , 2010, pág. 30)

Para 1948 la Secretaría de Recursos Hidráulicos, fue encargada de regular las extracciones y otorgar permisos, pero las leyes no fueron plenamente aplicadas, porque los

reglamentos no fueron emitidos. En 1966 se creó la Dirección de Aguas Subterráneas dentro de la Secretaría de Recursos Hidráulicos con el objetivo de establecer normas para las tasas de extracción y la protección de las aguas del subsuelo.

Con la creación de la dirección de Geohidrología de Zonas Áridas se intentó entender el comportamiento de los acuíferos y controlar el crecimiento de pozos en zonas áridas y semiáridas. En este ámbito las zonas abatidas se declararon en vedas, pero ello no paro la sobreexplotación, ya que el territorio es extenso y superó la capacidad del personal de supervisión. Esta situación resultó en una débil presencia del Estado y corrupción entre funcionarios federales y supervisores de campo (Marañón , 2010) que hasta la fecha se puede presentar, ya que no se sabe la cantidad extraída real de agua

En la década de 1980, con el objetivo de asegurar un suministro de agua universal y eficiente en las ciudades, y siguiendo las políticas de instituciones internacionales como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, orientadas a transformar a los países en desarrollo en economías abiertas, se impulsó un proceso de descentralización y una revisión de la política hídrica en México (Soares, 2007).

La descentralización en México buscó desconcentrar la toma de decisiones del gobierno federal. En el cuadro 19 se exponen las características de las descentralización. Un cambio significativo fue la modificación del artículo 115 constitucional, que otorgó nuevos recursos para prestar servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Tabla 15 Breve historia de la gestión del agua en México

Federalismo	<ul style="list-style-type: none"> • La Constitución de 1917, en su artículo 127, menciona la nacionalización de los recursos naturales. • Las aguas subterráneas pertenecen al propietario del terreno, pero deben ser reguladas si son de interés público. • Las fuentes subterráneas principales en abastecer el uso agrícola y doméstico.
Centralismo	<ul style="list-style-type: none"> • En 1934, el gobierno de Cárdenas invirtió en infraestructura y exploración de nuevas fuentes subterráneas. • En 1945, se crean las zonas de veda para proteger los acuíferos
Descentralización	<ul style="list-style-type: none"> • se reformó el artículo 115, para que los gobiernos municipales y estatales gestionar los servicios de agua, drenaje y alcantarillado, y fijar tarifas. • La creación de la CONAGUA en 1989 impulsó la descentralización. • La Ley de Aguas Nacionales de 1992 facultó a los gobiernos estatales para adoptar la gestión del agua y crear sus propias leyes de manejo y tarifas.
Democratización	<ul style="list-style-type: none"> • Se establecieron 37 regiones hidrológicas basadas en delimitaciones naturales y municipales, junto con la creación de consejos de cuenca. • se crea en Consejo de Cuenca del Río Bravo en 1991 • En 2000 se constituyó el Consejo Consultivo del Agua y algunos estados formaron Consejos Ciudadanos del Agua
La liberalización	<ul style="list-style-type: none"> • intervención de organismos internacionales favoreció un enfoque privado o mixto (público-privado). • En 2004, el agua se convirtió en un tema de seguridad nacional, y el sector privado se involucró en la solución del problema. • En 2001, se implementó el Programa para la Modernización de Organismos Operadores del Agua (Promagua), financiado por organismos internacionales.
Nueva cultura del agua	<ul style="list-style-type: none"> • En 2004, el agua fue reconocida como un bien económico, estableciéndose tarifas para su uso y la descarga de aguas residuales. • La LAN creó un mercado de agua, permitiendo la transferencia de derechos entre usuarios. • Se introdujo el pago por el servicio de agua y no por el agua. • La participación del sector privado es clave para cumplir con el con el servicio de agua.

Fuente: elaborado a partir del (Rolland & Vega, 2010).

A lo largo de más de 100 años la gestión del agua en México ha evolucionado significativamente desde la nacionalización de los recursos naturales hasta el reconocimiento del agua como un bien común, económico y social, en la tabla número 9 se muestra la gestión de las instituciones que dieron origen al estado actual del agua.

Instituciones y organizaciones en la gestión del agua subterránea en el AMM

Schmid y Ostrom mencionan que detrás de cada puesto de trabajo, cada ley y cada acuerdo institucional se esconden un complejo juego de poder. Las instituciones, diseñadas para ordenar y regular nuestras vidas, a menudo se convierten en arenas donde se libra una constante batalla por el control de los recursos. Schmid describe que los comportamientos esperados de los ocupantes de puestos informales a menudo se describen como roles y cuando son aceptadas se determinan normas sociales., en tanto que en la gestión del agua, se manifiestan transacciones administrativas y negociadas.

Tabla 16 Instituciones y organizaciones en la gestión del agua subterránea en el AMM

Actores	Rol	Instrumentos y Políticas	Desafíos
SEMARNAT	Protección ambiental, conservación de recursos naturales.	Leyes ambientales, POE, normas oficiales mexicanas	Coordinación interinstitucional, actualización de instrumentos
CONAGUA	Autoriza concesiones de agua, asigna volúmenes	Leyes federales, planes hídricos	Sobre-concesionamiento de acuíferos
CCBR	Promueve la participación de los usuarios en pro del calidad y cantidad del agua	Plan Nacional de desarrollo, plan hídrico de CRB, Organismos auxiliares	Desconexión en pro del medio ambiente
SADM	Suministra agua potable y saneamiento	Planes maestros, tarifas, infraestructura hidráulica	Enfoque técnico, falta de visión ambiental
Municipios	Planificación urbana, gestión local del agua.	Programas de desarrollo urbano, reglamentos municipales	Fragmentación de la gestión, falta de recursos
Organizaciones civiles	Promoción de la sostenibilidad, participación ciudadana.	Proyectos ambientales, incidencia política	Falta de recursos

Fuente: elaboración propia con información de las secretarías

Una de las funciones de Semarnat en la gestión del agua es establecer la política nacional de recursos hídricos y establecer normas como las descargas de aguas residuales, vigilar su cumplimiento, monitorear cuerpos de agua, realizar estudios hidrológicos y aprovechar cuencas, causes y acuíferos. Mientras que la CONAGUA tiene la responsabilidad de administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales, así como de promover su uso sustentable. Opera en dos niveles: nacional y regional hidrológico-administrativo, desarrolla programas, supervisa la asignación de recursos y su implementación, y tiene la autoridad para regular las aguas nacionales a través de las NOM (Domínguez, 2019, págs. 93-94)

En este contexto, es importante destacar la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), que busca integrar los componentes naturales, sociales y económicos, resaltando la participación de los usuarios y los planificadores responsables de las políticas a todos los niveles. Es importante recordar que los municipios son usuarios, pero al mismo tiempo actores en la distribución del agua y planificación del territorio. Actualmente, la SEDATU, a través del Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, busca contribuir a la sostenibilidad hídrica mediante un enfoque de cuenca en la planificación territorial (PNOTDU).

Tabla 17 Niveles en los que opera la CONAGUA

NACIONAL	REGIONAL
<ul style="list-style-type: none"> • Actúa como autoridad en materia de calidad y cantidad de agua y su gestión en el territorio nacional. • Formula la política hídrica nacional y el programa nacional hídrico. • Desarrolla programas y supervisar la asignación de recursos y su implementación. • Regula las aguas nacionales a través de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). 	<ul style="list-style-type: none"> • Atiende asuntos interestatales y coordina autoridades federales, estatales y municipales en el ámbito de cuencas y acuíferos. • Otorga concesiones

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA

A nivel regional la Conagua ejerce atribuciones a través de los organismos de cuenca, quien se encarga de los asuntos interestatales y la coordinación entre autoridades federales estatales y municipales, pero actúan sin autonomía financiera, generando solo una desconcentración administrativa (Domínguez, 2019: pp.95). Los organismos de cuencas tienen las atribuciones de concesionar agua en su región correspondiente.

Cuando se descentralizó la Conagua y dio origen a los Organismo de cuencas, algunos de sus problemas fueron la duplicaron funciones administrativas, lo que generó incertidumbre sobre la autoridad final encargada de otorgar concesiones de agua, ya que en oficinas centrales se otorgaron concesiones sin el conocimiento del organismo de cuenca, contribuyendo a la sobreexplotación de acuíferos y la reproducción de prácticas ilegales (ibídem). De esta manera en el año 2015, esta situación llevó a la centralización de las funciones del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), como una medida que buscaba poner orden, pero este hecho reveló un atraso significativo en la resolución de solicitudes de concesión, con aproximadamente 40 mil expedientes pendientes (ibídem).

La división de las 13 regiones u organismo de cuencas de la Comisión Nacional del Agua CONAGUA, está asociada a una cuenca hidrográfica importante. Las regiones hidrológicas se subdividen para facilitar la gestión y el manejo de los recursos hídricos a nivel regional. La zona de estudio pertenece al organismo de cuenca del río Bravo (OCBR) VI, esta se encarga de gestionar el agua en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas, aunque no en todos sus municipios. Alberga once zonas metropolitanas importantes de entre ellas la Zona metropolitana de Monterrey, como ya se mencionó el OCRB tiene la facultad de emitir concesiones e impulsar acciones acordes a la necesidades para garantizar el derecho humano al agua.

El organismo de cuenca del rio Bravo ha realizado grandes inversiones a favor del AMM. En el siguiente cuadro se observan algunas de ellas, que más adelante se explican en la tabla 24. El Plan Hídrico de la Cuenca del Río Bravo se alinea con el Plan Nacional de Desarrollo y el Plan Nacional Hídrico, encuentra objetivos y ejes estratégicos como:

- ✓ La elaboración de estudios de geohidrología por cuenca

- ✓ Hacer efectivas las zonas de veda en acuífero sobreexplotados
- ✓ Implementar órganos auxiliares como mecanismos de participación y acceso a la información

Tabla 18 Acciones del OCRB para garantizar el derecho humano al agua del AAMM al 2023

Acción	Descripción	Inversión Estimada MD	Beneficiarios
Abastecimiento de Agua Presa La Libertad	Acueducto Linares-Monterrey, incorporando 1.5 a 2 m ³ /s de agua	7,474.30	5.5 millones de personas
Acueducto El Cuchillo II	Suministro adicional de 5,000 l/s de agua a la ZMM, para los próximos 10 años con una línea de tubería de 100 km y cuatro plantas de bombeo	10,000	ZMM
Protección a Centros de Población Arroyo Topo Chico	Primera etapa de restitución de la sección hidráulica en San Nicolás de los Garza, Nuevo León, con una longitud de 180 metros	32 MDP	80,000 habitantes
Rehabilitación de Canal Las Lajas	Primera etapa de rehabilitación en el Distrito de Riego 031 Las Lajas, en beneficio de tierras agrícolas	7.6 MDP	2,000 hectáreas y 168 usuarios
Administración del Agua	Emisión de 121 permisos para pozos exploratorios en apoyo a SADM	-	-
Mantenimiento de Instalaciones Observatorios Meteorológicos	Mantenimiento en observatorios de Saltillo, Monclova y Piedras Negras, y estaciones automáticas del OCRB	2.89	-
Verificación de Aguas Superficiales	17 verificaciones a puntos de extracción, ocho clausuras y tres rajes sobre presas de almacenamiento no concesionadas	-	-
Convenios de Cesión de Derechos con empresas Industriales	77 convenios para la transmisión temporal de 13.202 millones de m ³ de agua a SADM	-	-

Fuente: elaborado a partir de Conagua, 2022, comunicado 0968-22

Aunque el programa menciona conceptos clave como la sustentabilidad hídrica, estudios geohidrológicos y planes de manejo de ecosistemas, su enfoque parece estar más orientado hacia la construcción de infraestructura hidráulica, como presas y sistemas de almacenamiento. A pesar de que incluye iniciativas como el pago por servicios ambientales para la recuperación de acuíferos, se manifiesta la prioridad de la construcción de infraestructura para el AMM, dejando de lado las acciones que incluyen la gestión sustentable de los acuíferos por lo que se requiere un equilibrio entre la inversión en infraestructura y la implementación de estrategias de gestión integral que garanticen la protección y recuperación de los acuíferos.

Otro nivel de donde se genera la participación en temas de aguas subterráneas son los Consejos de Cuenca, que con motivo de la descentralización del agua, la LAN en el año 2004 incorpora la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), que integra la participación como uno de sus principios. De esta manera, se estructuran las funciones de los Consejos de Cuencas como cuerpos colegiados de integración mixta que sirven como instancias de coordinación y concertación, apoyo, consulta y asesoría entre la CONAGUA, las dependencias y entidades de los gobiernos los usuarios y las organizaciones de la sociedad civil de la cuenca o región hidrológica. Entre sus funciones está el desarrollo de programas y acciones, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos, y la preservación de los recursos de la cuenca (Domínguez, 2019:224).

El consejo de cuenca del Rio Bravo fue creado en 1999 entre los usuarios se encuentra el usuario agrícola, público urbano, pecuario, industrial, agroindustrial servicios y el ambiental, este último está representado por Pronatura Noreste quien protege las aguas fósiles de la Laguna de 4 Ciénegas. En la tabla 22 se puede observar la distribución de los usuarios del CCBR. Es relevante mencionar que Coahuila tiene un representante del medio ambiente en el CCBR, este logro se debe en gran medida a los esfuerzos de asociaciones civiles como Pronatura Noreste, dedicadas a la conservación del medio ambiente, representa una solución frente a la presión económica que sufre el Valle. Actualmente los volúmenes concesionado han incrementado hasta un 400% pasando de 22Mm³ de 1997 a

88 Mm³ en 2022, una de las actividades que ejercen presión es la producción de alfalfa para la industria lechera (Breña, 2022).

Desde esta perspectiva, se reconoce la importancia histórica y ecológica del agua y su flujo subterráneo para la conservación de humedales como Cuatro Ciénegas. Aunque este valle no esté explícitamente incluido en la gestión hídrica del Área Metropolitana de Monterrey (AMM), la conexión hidrogeológica entre ambas regiones podría ser significativa y no puede descartarse. La movilidad del agua subterránea, influenciada por la porosidad del suelo y los gradientes hidráulicos, implica que el agua que consumimos hoy podría ser de origen fósil, como lo demuestran los estudios de (Villanueva, Hipólito, 2018) Esta realidad plantea interrogantes sobre la interdependencia hídrica entre regiones aparentemente distantes y la necesidad de una gestión integral de los recursos subterráneos.

Tabla 19 Estructura del consejo de cuenca del río Bravo



DISTRIBUCIÓN DE VOCALÍAS POR USO Y ESTADO DENTRO DEL CCRB									
VOCALÍAS CCRB	COMITÉ DIRECTIVO	DURANGO	CHIHUAHUA	COAHUILA	NUEVO LEÓN	TAMAULIPAS	FEDERAL	Total	% por tipo
PRESIDENTE	1							1	2%
SECRETARIO TÉCNICO	1							1	2%
FEDERAL							7	7	13%
ESTATAL		1	1	1	1	1		5	9%
MUNICIPAL		1	1	1	1	1		5	9%
AGRÍCOLA		1	2	1	2	2		8	15%
PÚBLICO URBANO		1	1	1	1	1		5	9%
PECUARIO		1	1	1	1	1		5	9%
INDUSTRIAL			1	1	1	1		4	7%
AGROINDUSTRIAL			1					1	2%
SERVICIOS				1	1	1		3	5%
AMBIENTAL				1				1	2%
ORG. DE LA SOCIEDAD			1	1	1	1		4	7%
VOCALÍA ACADÉMICA		1	1	1	1	1		5	9%
TOTAL	2	6	10	10	10	10	7	55	100%
Porcentaje por estado	4%	11%	18%	18%	18%	18%	13%	100%	

Fuente: tomado del Consejo de cuenca del Río Bravo

Como se mencionó anteriormente, los Consejos de Cuenca están diseñados como espacios de concertación entre autoridades y usuarios del agua. Sin embargo, en la práctica, estos consejos enfrentan varios desafíos como el establecimiento de los COTAS, quienes deben formular y ejecutar programas para mejorar la administración del acuífero.

Los COTAS son organismos auxiliares de los Consejos de Cuenca, que aplican a nivel acuíferos (Marañón , 2010). Al 2016 en México existían 26 consejos de cuencas y 88 COTAS. La implementación de los COTAS varía de una región a otra, por ejemplo el CCRB no ha implementado un COTAS en Nuevo León, sin embargo en el estado de Chihuahua se instalaron COTAS en los acuíferos que abarcan la Zona metropolitana de Chihuahua, lo que representa un gran avance para el CCRB.

Ante las recurrentes crisis hídricas y la creciente competencia por este recurso, resulta fundamental fortalecer la composición y el funcionamiento de los órganos de gestión del agua. Estos organismos tienen como objetivo vigilar el cumplimiento de los acuerdos relacionados con la gestión de los acuíferos y emitir recomendaciones para garantizar la sostenibilidad de este recurso. Sin embargo, es importante señalar que, según Sandoval (2008), estas recomendaciones carecen de carácter vinculante y no cuentan con el poder coercitivo necesario para hacer cumplir los acuerdos. A pesar de estas limitaciones, estos órganos juegan un rol fundamental en el mantenimiento del equilibrio hídrico y la calidad del agua subterránea, y su funcionamiento efectivo requiere de un financiamiento adecuado.

Un ejemplo de la conformación de COTAS a nivel nacional se dio en el estado de Guanajuato. La presión que ejerce el desarrollo industrial y el crecimiento poblacional ha llevado a una sobreexplotación del recurso, haciendo insostenible la extracción, coexistiendo el auge económico y la ineficiencia institucional.⁶ Los COTAS instaurados en esta entidad, han sido apoyados por el Gobierno del Estado de Guanajuato desde 1988

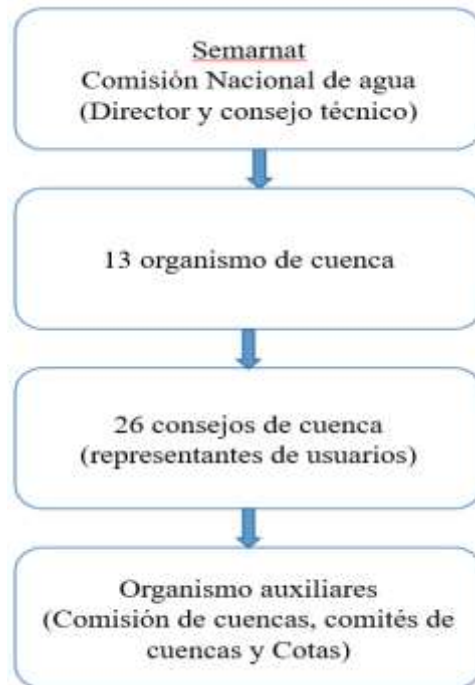
⁶ Las vedas impuestas para restringir la sobreexplotación no funcionaron debido a que no existe la capacidad económica, ya que se requiere una financiación significativa para contratar personal, establecer infraestructura, ejecutar programas y vigilar (Foster, Garduño, Kemper, 2004). El potencial de los Cotas en Guanajuato fue reconocido por la CONAGUA por lo cual financió estos organismos auxiliares, pero depender del financiamiento de Conagua, también afectó el desarrollo de algunos de ellos.

y mediante la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) a través del Fideicomiso para la participación Social en el Manejo del Agua en Guanajuato (FIPASMA) quien trabaja en la implementación de programas de agua, los cuales se llevan a cabo por los organismo auxiliares. Una de las funciones de la CEAG es la creación de COTAS (Dávila Poblete, 2006), pero también se encarga de la suspensión de aquellos que no cumplan con ciertos indicadores de desempeño (Foster, Stephen; Garduño, Héctor; Kemper, Karin, 2004). Es importante mencionar que en el año 2000, la CNA estableció las CEA en todas las entidades federativas con el propósito de desarrollar planes maestros y establecer sistemas de monitoreo. Sin embargo, durante su consolidación, surgieron contradicciones como la planeación por cuencas, lo que limitó sus funciones en la ejecución de programas operativos y en la construcción de obras de agua potable, saneamiento y alcantarillado (Dávila Poblete, 2006, pág. 85)

Las CEA funcionan como instancias intermediarias entre los organismos y consejos de cuenca y los servicios de agua potable y alcantarillado. A pesar de esto, su implementación a nivel nacional ha encontrado problemas debido a diferencias en los marcos jurídicos, la gestión y coordinación dentro de una misma cuenca hidrológica y administrativa, y las funciones asignadas en cada entidad. Por ejemplo, en Querétaro, la CEA opera como un organismo de gestión del agua, mientras que en Jalisco y Guanajuato fueron creadas para regular los organismos operadores de agua y a los municipios en áreas rurales. En Guanajuato, sus funciones se han ampliado hasta incluir la creación de COTAS (ibídem).

En contraste, en Nuevo León no existe una CEA solo hay un organismo operador de agua que brinda servicios tanto a zonas rurales como urbanas, desde la desaparición del SISTELEON. Este organismo se encarga de la gestión de aguas superficiales y subterráneas y, como se ha mencionado anteriormente, no ha formado COTAS en ninguno de sus 23 acuíferos. En la tabla 24 se muestra la gestión del agua en México por la CONAGUA.

Tabla 20 Modelo de gestión en México



Fuente: tomado de Dávila Poblete (2006)

Gestión del agua en el área metropolitana de Monterrey

En este apartado, se examinará la estructura, gestión y desafíos que enfrenta SADM en la gestión de aguas subterráneas. La escasez de agua en el AMM no es un fenómeno nuevo. La región se encuentra en una zona semiárida, con precipitaciones anuales escasas e irregulares. A esto se suma el crecimiento poblacional y el desarrollo económico, que han incrementado la demanda del recurso hídrico.

La gobernanza del agua subterránea se realiza a través de diferentes escalas, desde un nivel macro hasta un nivel micro. En lo micro, se podría considerar que el agua es privada, ya que solo se concede por un período máximo de 30 años. Según la ONU (2002), las autoridades gubernamentales son las responsables de su gestión, lo que hace esencial proteger las zonas de recarga. La gobernanza de las aguas subterráneas suele involucrar una compleja red de instituciones, que incluye ministerios, agencias

reguladoras, organizaciones de cuenca y corporaciones públicas. Cada una de estas entidades posee competencias y jurisdicciones específicas. Dada la naturaleza transversal del recurso hídrico, instituciones de otros sectores como agricultura, ordenamiento territorial, energía, salud y saneamiento también participan en la toma de decisiones relacionadas con el agua. Es fundamental que las funciones y responsabilidades de cada institución estén claramente definidas en la legislación y que exista una coordinación efectiva entre ellas (UICN, 2020, pág. 64)

La gobernanza multinivel según la OCDE se caracteriza por la eficiencia, la confianza y la efectividad. Según Barca (2009), la gobernanza multinivel es un sistema en que diseño y la aplicación políticas se basa en la responsabilidad, que distribuye los diferentes niveles de gobierno y las asociaciones privadas. Esta relación se caracteriza por un tipo estructura en red lo que implica un reto en la coordinación, ya que requiere alinear las acciones de varios actores cada uno con su propios intereses y perspectivas, a fin de lograr una intervención pública coherente, además requiere un inversión significativa de tiempo y recursos. Por ellos se desarrolla un lenguaje común, que permita establecer mecanismos de diálogo y resolución de conflictos para garantizar la coherencia de la acción pública. (Barca, 2009)

En este contexto, la gobernanza hídrica en el área de estudio se refiere a las leyes y programas, reglas, normas que involucran a los diferentes niveles de gobierno y la industria. Según Aguilar y Ramírez (2021) la gestión del agua se realiza a través de un tipo de gobernanza hídrica multinivel, esta se caracteriza por incluir una mayor participación de actores no relacionados con la estructura de gobiernos. Según los menciona los autores este tipo de gobernanza no siempre ha respondido para resolver las problemáticas. No obstante, se han realizado esfuerzos significativos entre el gobierno federal, estatal y local, así como con la participación activa del sector privado. Esta colaboración ha generado una industria altamente participativa en el tratamiento de aguas residuales, lo cual ha impulsado a SADM a optimizar sus procesos para abastecer, tratar y devolver el agua a la naturaleza, no así en el manejo de agua subterráneas, ya que este se ha enfocado en la extracción,

aunque existen organizaciones como FAMM y las instituciones de gobiernos que realizan actividades en favor de la conservación, que de manera indirecta benefician a los acuíferos.

De manera que los procesos que garantizan el suministro eficiente de agua. Estos procesos incluyen la captación de agua de fuentes naturales, su conducción a través de tuberías, la purificación para cumplir con los estándares de salud, el almacenamiento en tinacos a través de redes de distribución. Además, la agencia supervisa los sistemas de drenaje sanitario y el tratamiento de aguas residuales, asegurando que todas las etapas, desde la recolección hasta la purificación y el vertido final, se gestionen de manera eficaz para mantener la calidad del agua y la salud pública.

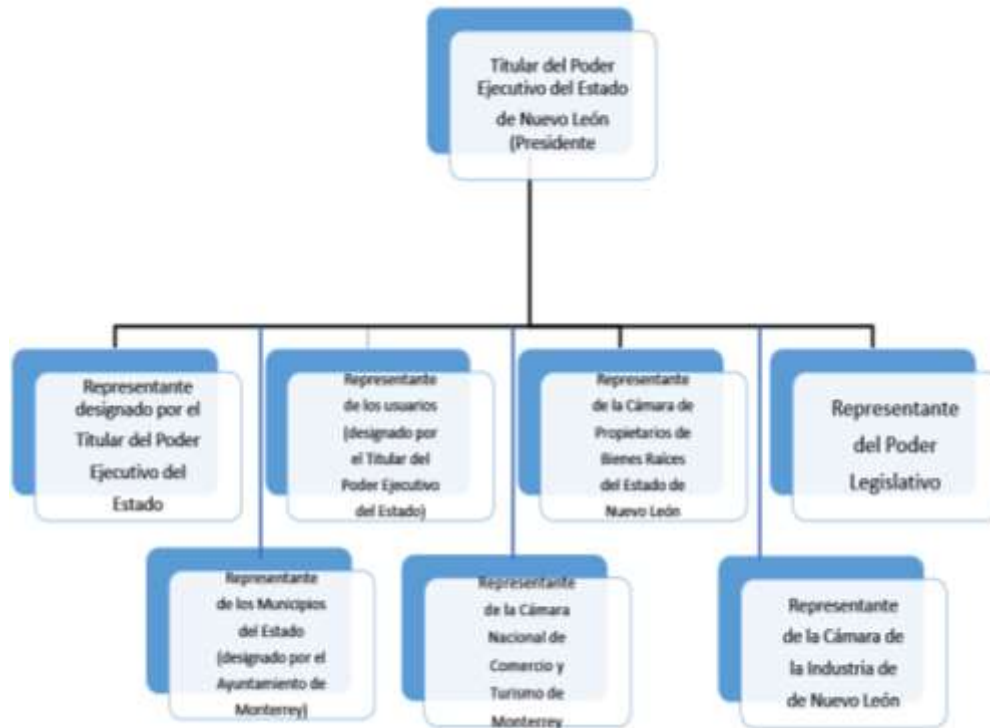
La Gestión local del agua subterránea en el AMM se lleva a cabo Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D (SADM). Es una organización pública descentralizada del Gobierno del Estado de Nuevo León, con personalidad jurídica y patrimonio propio (Aguilar y Ramírez, 2021). A través de esta estructura le otorga autonomía administrativa y financiera, permitiéndole mayor flexibilidad y eficiencia en comparación con una entidad gubernamental tradicional.

Su administración recae en el Consejo administrativo del de Agua, liderado por el Gobernador del Estado y conformado por representantes del gobierno estatal y municipal, la iniciativa privada (cámaras de propietarios de bienes raíces, comercio e industria) y el poder legislativo. Esta composición busca equilibrar los intereses con respecto al uso y distribución del agua, la evaluación de proyectos y la búsqueda de nuevas fuentes de agua sin embargo, la búsqueda de la eficiencia había dejado de lado el medio ambiente, por otra parte el consejo ha aprobado el cobro de una cuota voluntaria destinada a recuperación de las cuencas.

Como organismo estatal no está sujeto a cambios continuos de cada 3 años, lo que le permite retener al personal con conocimiento en el tema del manejo del agua, además su amplia experiencia técnica le ha permitido posicionarse dentro de los operadores de agua

con las más eficiencia, por lo Aguilar & Ramírez (2021), lo compra con una empresa, en este sentido, los múltiples actores en especial los empresarios que lo conforman son una de las partes fundamentales que han permitido alcanzar los niveles de eficiencia.

Ilustración 4 Diagrama de la conformación de SADM



Fuente: elaboración propia con información de Ramírez y Aguilar, 2021

SADM ha estado al frente de la gestión del agua por más 100 años ha enfrentado diversas presiones por solucionar el problema de escasez. Sin embargo, en los últimos años, el AMM se ha visto envuelta en una serie de desafíos relacionados la sequía y la escasez, este fenómeno no se debe únicamente a fenómenos hidrometeorológicos, sino también a una gestión ineficiente del recurso (Esparza M. , 2013), que puede derivar en crisis múltiples que tienen raíces más profundas en la administración.

Uno de los mecanismos para hacer sostenible las aguas subterráneas son la vedas, impuestas para restringir la extracción de agua áreas donde los acuíferos están sobreexplotados y se restringe la perforación de pozos, y el aumento de volumen de

extracción, no se permite incrementar los volúmenes autorizados hasta que se emita un acuerdo oficial.

Tabla 21 Ordenamientos en los acuíferos al 2021

ACUÍFERO	VEDA	ACUERDO GENERAL	AÑO	COTAS
AAMM	Tipo II	Acuerdo general 2013 se prohíbe la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura	Decreto que amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo 1951 y 1954	No
CBA	Tipo II	Porción no vedada está Sujeta a acuerdos 2013	1951 y 1954	no
CM	x	X	1951 y 1958	no
CH	Tipo II	Porción no vedada está Sujeta a acuerdos 2013	1958	no

Fuente: elaboración con información de Conagua 2023

Los acuíferos que abastecen AMM están en su mayoría bajo zonas de veda tipo II y zonas reglamentadas, a excepción del acuífero CH, que está únicamente en zona de veda. Esto indica que los acuíferos están experimentando un impacto ecológico considerable y necesitan acciones para asegurar su sostenibilidad. Solo se permite la extracción de agua para uso doméstico.

Concesiones de agua

Como ya se mencionó las extracciones de agua subterráneas se da en función de las concesiones y volumen de agua disponible. Las asignaciones son para uso público urbano, en este sentido, SADM tiene derechos sobre las aguas subterráneas y superficiales para abastecer a los 51 municipios del estado. Las concesiones se otorgan a personas físicas y morales para usos agrícolas, generaciones de energía eléctrica, industriales y pecuarias. La tabla 11 muestra las concesiones y asignaciones registradas por acuífero según el tipo de uso.

Tabla 22 Volumen de agua concesionada por tipo de uso y acuífero (Mm3/añual)

Usos	AAMM	%	ACBA	%	ACM	%	ACH	%	Total	%
Agrícola	3.752	1.6	0.160	0.1	4.123	2.6	0.353	0.2	8.388	1.2
Agroindustrial	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
Diferentes usos	7.248	3.2	0.000	0	0.001	0	0.408	0.3	7.657	1.1
Domestico	0.143	0.1	0.003	0	0.008	0	0.140	0.1	0.295	0.04
Gen. Ener. Elect	1.482	0.7	0.000	0	0.000	0	0.000	0	1.482	0.21
Industrial	51.690	22.7	0.000	0	0.010	0	0.000	0	51.700	7.42
Pecuario	0.367	0.2	0.000	0	0.103	0.1	0.036	0	0.506	0.07
Público Urbano	154.830	68	154.357	99.9	154.357	97	154.416	99	617.959	88.7
Servicios	8.016	3.5	0.000	0	0.039	0	0.569	0.4	8.623	1.24
Total	227.53	100	154.52	100	158.64	100	155.92	100	696.61	100

Fuente: elaboración propia con información de REPDA, 2023

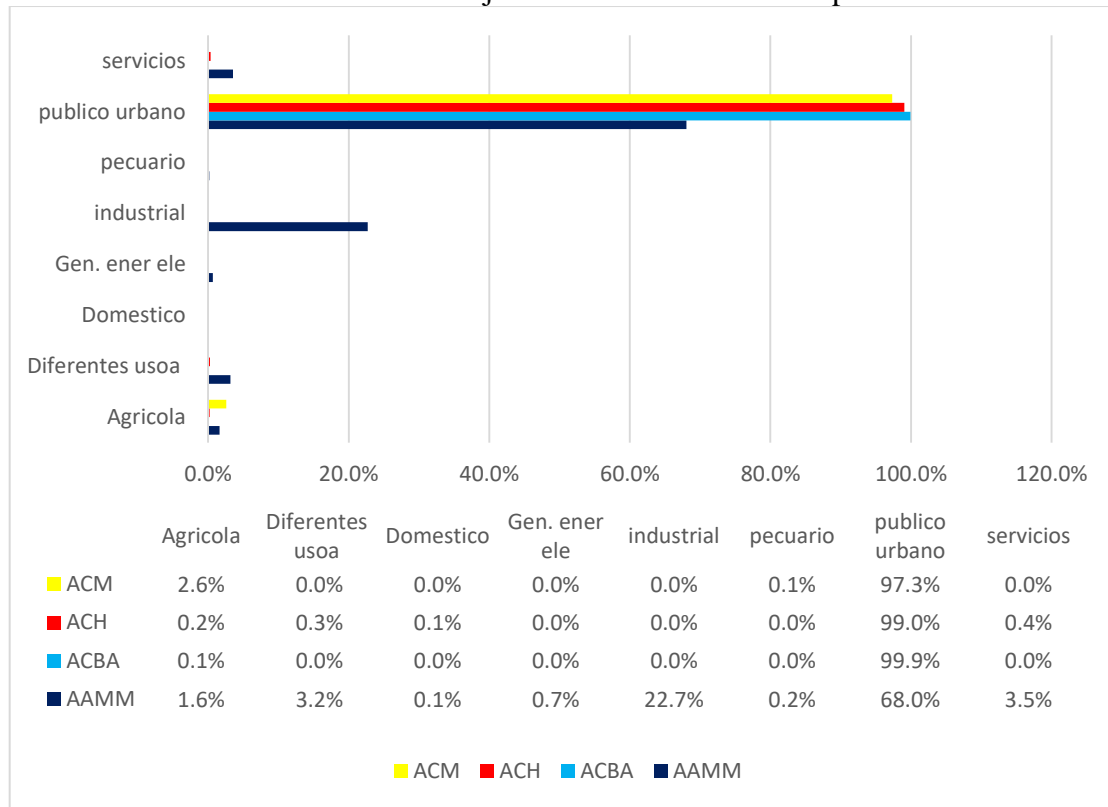
Los títulos de concesión y asignación se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Las prórrogas, suspensiones, terminaciones y transmisiones de titularidad. Una concesión tiene una vigencia que puede extenderse hasta por 30 años, pero no menor a 5 años. Existen prórrogas o extensiones de tiempo que pueden ser tramitadas dentro de los últimos 5 años y 6 meses antes de su vigencia.

Estas concesiones son otorgadas por el organismo de la cuenca del Río Bravo. Sin embargo, la industria, los comercios o los usuarios domésticos pueden obtener el servicio de agua directamente de la red de agua y drenaje si hay disponibilidad, estos son contrataos que se adquieren por el servicios.

Durante la crisis de agua de 2022, no se otorgaron nuevas factibilidades debido a la escasez del recurso. Sin embargo, ante la demanda de los ciudadanos por su derecho al agua, y dado que no se puede negar este derecho, la infraestructura juega un papel para permitir el desarrollo urbano. A pesar de esto, la facilidad de otorgar factibilidades

positivas, donde el pago por infraestructura es el único determinante, ha llevado a que se concedan nuevas factibilidades sin considerar si estas áreas son zonas de recarga.

Gráfica 6 Porcentaje Volumen Concesionado por uso



Fuente: elaboración propia con información de REPDA, 2023

Los datos de la tabla ponen de manifiesto el papel central de los acuíferos como proveedores de agua para el consumo humano y las actividades económicas en las zonas urbanas, revelando su importancia estratégica para el desarrollo de las ciudades. Según datos del REPDA hasta el 2024 cada unidad acuífera cuenta con una asignación para SADM de 154 millones de metros cúbicos al año (Mm³/año), sumando el volumen concesionado de cada acuíferos, el agua para la ciudad tiene asignado de 617.9Mm³/año, que equivale a un caudal de 19.63 m³/s.

En segundo lugar, el volumen concesionado a la industria es de apenas 51.6 Mm³ anuales y su participación se limita únicamente al acuífero AAMM. Sin embargo, las asignaciones y concesiones, aunque se otorgan formalmente, no reflejan el volumen real

de extracción. Es importante señalar que las nuevas concesiones se basan en la disponibilidad de agua en los acuíferos. La CONAGUA debe actualizar esta disponibilidad de aguas subterráneas, como máximo, cada tres años. Con base en estas actualizaciones, se decide en qué acuíferos pueden emitir nuevas concesiones. No obstante, la ley también permite que los consejos de cuenca acomoden o prioricen cierto usos,

Toda concesión de agua lleva un respectivo pago, esto es importante porque el agua es considerada como un bien público y económico. La Ley Federal de Derechos en Materia de Agua establece la obligación de pago por la extracción de agua superficial y subterránea. La tarifa varía en función de la zona de disponibilidad en la que se encuentre. El índice de disponibilidad para aguas subterráneas se calcula mediante:

1. DMAS
2. La recarga total media anual, y
3. La descarga natural comprometida.

Costo del agua subterránea

El agua superficial tiene un costo más económico en comparación con las aguas subterráneas, debido a la relativa facilidad con la que se puede extraer y utilizar. Los cuerpos de agua superficiales, como ríos y lagos son más accesibles y no requieren tanta inversión en infraestructura y tecnología para su extracción como las aguas subterráneas. Sin embargo, esta percepción puede cambiar, cuando se entienden los costos a largo plazo y los impactos ambientales asociados con la sobreexplotación y contaminación de las fuentes de agua superficiales y el cambio climático, la evaporación y evapotranspiración juega un papel muy importante en las aguas superficiales, el costo real puede ser mucho más alto.

Tabla 23 Tabla de cuota, pago por derecho sobre agua superficiales y subterráneas

Zona de disponibilidad	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
1	\$21.7931	\$29.3655
2	\$10.0330	\$11.3668
3	\$3.2897	\$3.9579
4	\$2.5156	\$2.8769

Fuente: Tomado de Consultora. Agua 2024

Las zonas de disponibilidad 4, ubicadas en los estados del sureste mexicano (Tabasco, Campeche y Chiapas), se caracterizan por una abundante disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, una menor presión hídrica en comparación con el norte del país. Esto se debe en gran medida a la concentración de la actividad industrial y poblacional en las zonas centro y norte del territorio nacional.

Tabla 24 Zona de disponibilidad de los acuíferos que abstén el AMM para el pago de derechos de agua

ESTADO (S)	ACUÍFERO	ÍNDICE DE DSIPONIBILIDAD IDAS	ZONA DE DISPONIBILIDAD
Nuevo León	Campo Buenos Aires	-0.1017	1
Nuevo León	Campo Mina	-0.3145	1
Nuevo León	AAMM	-0.0542	2
Nuevo León	Cañón del Huajuco	-0.0709	2

Fuente elaboración propia con información de Conagua, 2023 DOF: 26/03/2024

De esta manera, los acuíferos que abastecen AMM se encuentran en las zonas de disponibilidad 1 y 2, caracterizadas por un alto estrés hídrico, el pago por el agua son los más altos debido a sus posición geográfica y la demanda que genera. Mientras que los

acuíferos en la zona de mayor disponibilidad tienen el potencial de apoyar un desarrollo económico de manera más sostenible si se gestionan adecuadamente.

Es importante mencionar que la LFD establece que; de los ingresos recaudados por derechos de explotación de aguas nacionales, 300 millones de pesos se destinarán al Fondo Forestal Mexicano para programas de PSA, ampliando el presupuesto de la Comisión Nacional Forestal (LFD, artículo 223). Esta transacción es relevante debido a los servicios ambientales hidrológicos que ofrece una cuenca en un estado bueno de salud, es evidente que la conservación de cuencas necesita financiamiento para poner en marcha proyectos de regeneración y vigilancia ante el inminente cambio climático.

Sin embargo, los pagos por servicios ambientales tienen mejores resultados en zonas rurales que en áreas con asentamientos humanos consolidados, como las ciudades (De la Mora, 2020). Además, se requiere de negociaciones con múltiples actores, especialmente comuneros o ejidatarios, en las cuales se establece la protección del medio ambiente a cambio de una compensación económica. Esto pone de manifiesto que, si no hay un pago involucrado, los recursos no son protegidos.

Por otra parte, los mecanismos de monitoreo y evaluación sobre los beneficios del PSA deben ser monitoreados, pero el limitado presupuesto limita la falta de personal capacitado lo que impide alcanzar los objetivos de conservación y provocando una gestión ineficiente de los recursos hídricos, además de que se requiere tecnología e inversión.

Usuarios del agua subterránea en el AMM

La creciente demanda de agua en el AMM ha generado una competencia significativa por los recursos hídricos subterráneos. Los acuíferos, como reservorios naturales de agua dulce, se han convertido en un bien escaso y altamente disputado entre diversos usuarios.

SADM es el principal usuario de agua en los acuíferos, sin embargo el sector industrial tiene una participación muy activa en la gestión del agua. La industria, especialmente la siderúrgica y la cervecera, representa un usuario importante en el acuífero AAMM. Las concesiones otorgadas a grandes empresas industriales reflejan la alta demanda de agua en el sector, para producir estos productos de una creciente demanda en

México. la importancia de este sector en la demanda de agua. Estas concesiones suelen garantizar el suministro de grandes volúmenes de agua para los procesos productivos, por lo que hay conflicto con las necesidades de usuarios del público urbano.

México es el cuarto productor mundial de cerveza, superado solo por China, Estados Unidos y Brasil, y es el principal exportador con el 21.3 % de las exportaciones, muy por encima de los Países Bajos (14.4 %), Bélgica (11 %) y Alemania (9.9 %) (INEGI, 2017). Aunque la industria cervecera de Heineken en Monterrey consume grandes cantidades de agua, la producción de acero requiere aún más, a pesar de que el acero no contiene agua en su producto final (Corrales & Vera, 2020).

Ilustración 5 Usuario del agua subterránea en el AMM



Fuente: elaboración propia con información del REPDA

Como ya se mencionó el AMM enfrenta una creciente competencia por los recursos hídricos, un desafío que se refleja en la distribución y uso del agua subterránea. Las principales compañías que extraen agua en esta región, como se detalla en la tabla 12, incluyen a Ternium, una empresa siderúrgica, y Cuauhtémoc, una cervecera. Ambas compañías destacan por su uso industrial significativo del agua del acuífero AAMM, lo que pone de manifiesto una intensa competencia por este recurso vital. Por un lado, el crecimiento poblacional en el AMM ha incrementado la demanda de agua para consumo

urbano, obligando al organismo operador a satisfacer las necesidades básicas de la ciudadanía y garantizar el acceso al agua como un derecho humano, por el otro, la industria hace uso de sus derechos de concesiones, ambos usuarios urbano e industrial satisfacen sus necesidades, excluyendo al acuífero.

Tabla 25 Usuarios principales del agua por acuífero, según volumen de agua concesionado REPDA 2023.

Acuífero	Usuarios	Usos	Volumen (Mm3/anual)	Porcentaje
CM	SADM Personas físicas	Público urbano	154.3	97.30%
		Agricultura	1.68	1.06%
CBA	SADM	Público urbano	154.3	99.81%
AAMM	SADM Ternium México Sa de Cv Cervecería Cuauhtémoc Alfa subsidiaria Sa	Público urbano	154.3	67.84%
		Industrial	12.28	5.53%
		Industrial	6.33	2.78%
		Industrial	3.053	1.34%
CH	SADM	Público urbano	154.3	99%

Fuente: elaboración propia con información de REPDA 2023

Debido a la extracción excesiva del agua del acuífero AAMM, la industria de Monterrey, a través del Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey (FAMM), antes Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey, busca garantizar la sostenibilidad hídrica de la cuenca. Para lograrlo, se impulsan inversiones en la parte alta del río San Juan, con el objetivo de preservar sus condiciones naturales.

Con ello, las acciones del FAMM en la cuenca alta buscan reducir la cantidad de agua que fluye por el Río Santa Catarina de manera que se prevengan inundaciones a la ciudad. Al mismo tiempo se busca reforestar para aumentar un 20% a la infiltración a los

acuíferos. La industria sabe que mantener un estado adecuado de la salud de la cuenca, beneficia a todos los usuarios. Por lo tanto, el RUC, al ser un sistema natural complejo, enfrenta problemas en su administración, primero por la falta de conocimiento del flujo y movimiento del aguas del subsuelo y segundo por la competencia entre usuarios, ya que la extracción de agua de un usuarios afecta al otro.

El FAMM ha establecido sólidas colaboraciones con instituciones clave en Nuevo León. Destaca su trabajo conjunto con la Secretaría del Medio Ambiente para la restauración de cuencas hidrográficas. En colaboración con SADAM, el FAMM ha desarrollado el plan hídrico estatal 2050. Asimismo, ha participado en proyectos de conservación en áreas naturales como el Arroyo de Calabozo y el Parque Estatal El Cuchillo, en alianza con Parques y Vida Silvestre. Adicionalmente, ha fortalecido vínculos con instituciones académicas como el Tecnológico de Monterrey y el Centro Internacional de Agua, y entre los objetivos del FAMM está la generación de un comité de ciencia y tecnología para monitorear el avance de sus objetivos.

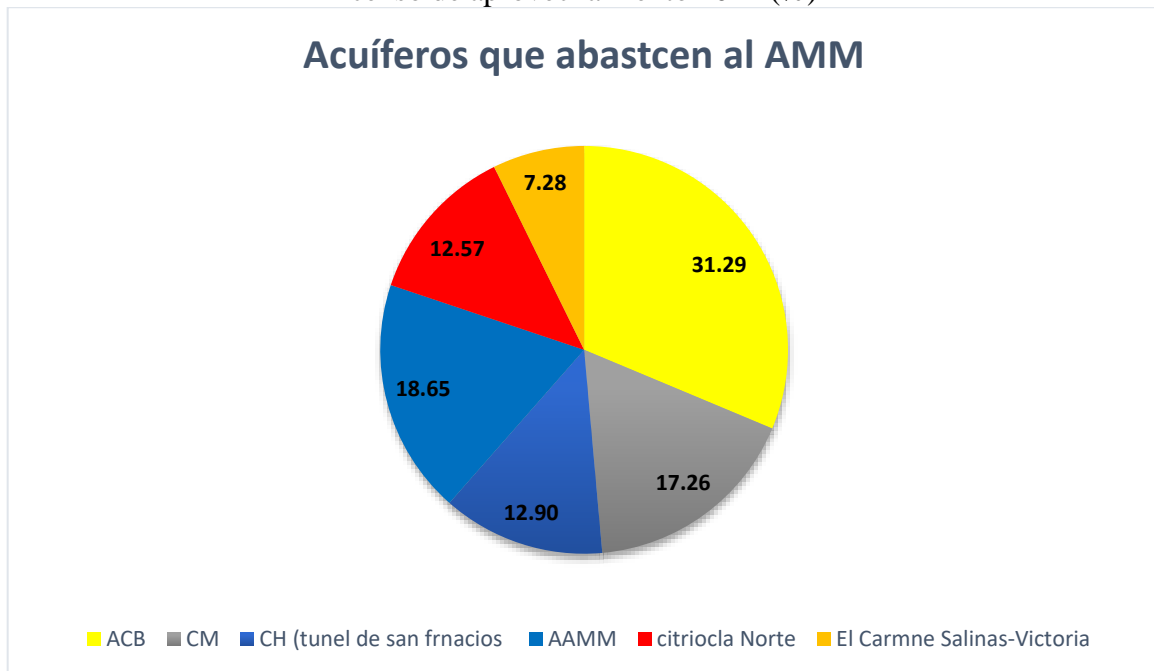
Extracción y aprovechamientos

A partir de la revisión de los documentos actualizados sobre la DMAS, se ha podido determinar la contribución de cada acuífero al abastecimiento de agua subterránea del AMM. En primer lugar, se encuentra el acuífero CBA como el principal proveedor, que suministra 1.5 m³/s, lo que equivale al 31.29% del total del agua subterránea disponible para la ciudad. En segundo lugar, está el acuífero AAMM del que se extraen 0.89m³/s para el uso público urbano, es decir, contribuye con el 18.6% del agua subterráneas. En este acuífero, como ya se mencionó, el sector industrial es el principal consumidor de agua subterránea, representando el 53.3% del total de los aprovechamientos activos y el 70% del volumen total extraído.

En tercer lugar, la extracción del volumen de agua es de 0.83 m³/s lo que representa el 17.6%. Finalmente el acuífero CH con 0.62 m³/s equivalente al 12.90%. Además, se agregaron en este apartado los acuíferos Citrícola Norte y El Carmen-Salinas Victoria, que también abastecen a la ciudad, pero que en la literatura de los planes hídricos no está

actualizada la información, sin embargo el acuífero Citrícola Norte es un gran aportador de agua a la ciudad con 0.60 m³/s, equivalente al 12.57% del abastecimiento de aguas subterráneas de la ciudad, y el acuífero El Carmen-Salinas Victoria aporta 0.35 m³/s, representando el 7.28% del agua del subsuelo.

Gráfica 7 Distribución de agua subterránea para uso público-urbano en el AMM, según el censo de aprovechamiento 2024 (%)



Fuente: elaboración propia con información de Conagua, 2023

El uso del agua subterránea tiene diferentes prioridades en los distintos acuíferos, se observa una distribución y utilización diferenciada del agua subterránea, los acuíferos CBA, CM y CH, la prioridad y el aprovechamiento principal son para uso público urbano. En el acuífero AAMM, el principal uso es industrial, mientras que los acuíferos Citrícola Norte y El Carmen-Salinas Victoria están destinados principalmente para uso agrícola.

Tabla 26 Extracción y uso de agua por acuífero

Acuíferos	público urbano	Domésticos	agrícola	Otros usos	Servicios	industrial
ACB	1.5					
CM	0.83		0.19	0.1		
CH (túnel de San Francisco)	0.62					
AAMM	0.89	0.05	0.19	0.1	0.21	1.65
Citrícola Norte	0.6	0.1	8.48	0.67	0.08	0.07
El Carmen Salinas-Victoria	0.35	0.24	0.37			0.03
Total subterráneas	4.79	0.39	9.23	0.87	0.29	1.75
superficiales						
Cerro prieto	5.3					
La Boca	0.92					
El Cuchillo I	4.9					
El Cuchillo II	3					
Libertad	1.5					
Total superficiales	15.62					
Total general	20.41					

Fuente: elaboración propia con información de Conagua DMAS 2023

La Tabla 26 detalla el volumen de agua superficial y subterránea utilizada en la región. SADM extrae 4.79 m³/s de acuíferos para suministro urbano, cubriendo solo el 30% de la demanda actual. Actualmente, el sistema hídrico del AMM depende en gran medida de las siguientes presas: Cerro Prieto (5.3 m³/s), Rodrigo Gómez (La Boca) (0.9 m³/s), El Cuchillo I (4.9 m³/s), acueducto del Cuchillo II (3 m³/s), y la nueva presa Libertad (1.5 m³/s). Estas presas junto con las aguas subterráneas, podrían suministrar un total de 20.41 m³/s al AMM Sin embargo, la disponibilidad real puede variar debido a factores climáticos e infraestructurales.

Ilustración 6 Consumo per cápita diario por municipio

INDICADOR	Unidad de Medida	Objetivo 2023	Real 2023	Real 2022
Consumo Per cápita Diario por Municipio AMM				
Apodaca	Lts/hab diario	100.00	116.74	128.71
García		100.00	105.55	109.04
General Escobedo		100.00	104.34	105.73
Guadalupe		100.00	126.87	141.52
Juárez		100.00	111.23	106.66
Monterrey		100.00	138.53	145.51
San Nicolás de los Garza		100.00	120.78	136.05
San Pedro Garza García		100.00	217.62	233.74
Santa Catarina		100.00	119.48	130.82
Cadereyta Jiménez		100.00	117.43	118.38
Ciénega de Flores		100.00	114.26	113.90
El Carmen		100.00	95.53	102.85
General Zuazua		100.00	96.38	92.43
Pesqueira		100.00	93.96	85.78
Salinas Victoria		100.00	93.44	90.27
Santiago		100.00	150.63	154.71

Fuente: SADM (2023)

La demanda de agua para ciudad sigue en aumento, según el Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey (FAMM) entre 2002 y 2015, la tasa de crecimiento promedio anual fue de 1.74% equivale a un incremento en el suministro de agua de aproximadamente 210 litros por segundo, pero este escenario ha sido rebasado ya que la tasa de crecimiento, según INEGI de 2010 a 2020 fue de 2.3% (INEGI, 2020a), por lo que, el escenario de consumo de agua será crítico.

Tabla 27 Numero de título de aguas subterráneas en el estado de Nuevo León

Uso	Número de títulos	Porcentaje
Acuicultura	2	0.02
Agrícola	4622	46.96
Agroindustrial	2	0.02
Diferentes usos	1557	15.82
Doméstico	1347	13.69
Generación de energía eléctrica	2	0.02
Industrial	667	6.78
Pecuario	1160	11.79
Público urbano	31	0.31

Servicios	452	4.59
total general	9842	100.00

Fuente: elaboración propia con información de Repda, 2023

En la tabla 27 se observa que en el estado de Nuevo León al 2023 había 9842 títulos de agua subterráneas, el 46.96% de los títulos es de uso agrícola, el 15.82% es para diferentes usos y el 13.69 para uso doméstico. Por su parte, uso público urbano solo tiene el 0.31% y la industria el 6.78%.

La gestión del agua subterránea en el AMM presenta una clara diferenciación en cuanto al uso y la prioridad de los títulos de concesión según el acuífero. Esta distribución revela la diversidad de necesidades y prioridades que convergen sobre un mismo recurso de uso común, que evidencia su complejidad. Por ejemplo, en el AAMM se observa una clara prioridad hacia el uso industrial y de servicios, debido a la concentración de actividades económicas.

Tabla 28 Numero de título de concesión de agua subterráneas por acuífero

Uso	AMM	%	CM	%	CH	%	CBA	%
Agrícola	81	8.8	25	35.7	31	11.1	5	50
Diferentes usos	45	4.9	1	1.4	15	5.4	1	10
Domestico	78	8.5	7	10.0	200	71.7	3	30
Generación de energía eléctrica	2	0.2		0.0		0.0		
Industrial	428	46.6	1	1.4		0.0		
Pecuario	38	4.1	28	40.0	5	1.8		
Público-urbano	9	1.0	1	1.4	2	0.7	1	10
Servicios	238	25.9	7	10.0	26	9.3		0

Fuente: elaboración propia con información de Repda, 2023

Por otro lado, en el acuífero CM, los títulos de concesión predominan para el uso agrícola y pecuario, que refleja la importancia de la agricultura y la ganadería en esta área, donde el agua es esencial para el riego de cultivos y el mantenimiento del ganado. Por su parte, el acuífero CH, el uso doméstico es el más relevante, lo que indica una mayor

concentración de población residencial. Finalmente, en el acuífero CBA, los títulos se destinan tanto para uso agrícola como doméstico.

Breve recuento histórico del agua en Nuevo León

El agua, como en muchas otras ciudades, fue el detonante para la fundación de Monterrey. El manantial de Santa Lucía, ubicado en lo que actualmente corresponde a la avenida Juan Ignacio Ramón, fue el principal atractivo que llevó a Diego de Montemayor y a once familias más (De la Garza, 1998) a establecerse en esta región, dando origen así a la ciudad de Monterrey. La actual ciudad de Monterrey fue fundada en un inicio por Alberto del Canto, quien previamente había fundado la ciudad de Saltillo, y en 1577 llegó a establecer el pueblo de Santa Lucía lo que hoy es el centro de la ciudad. En 1582, Luis de Carvajal fundó la ciudad de León (Cerralvo), Villa de la Cueva y Villa de San Luis (Monterrey) (De la Garza, 1998). La tercera y definitiva re-fundación de la Ciudad Metropolitana de Nuestra Señora de Monterrey se le atribuye a Diego de Montemayor, junto con otras once familias en 1596 (De la Garza, 1998). Ellos decidieron cambiar el centro de población hacia las planicies en la zona de manantiales ubicadas entre los ríos Santa Catarina y Santa Lucía, lo que hoy es la calle de Juan Ignacio Ramón (Esparza, Valdés, Cantú, & De la Mora, 2014, pág. 39).

Debido a la decisión del cambio de lugar, y la posición geográfica, la cercanía de la SMO y sus pendientes han generado diversas inundaciones en el valle donde se asienta el AMM. La visión antropocéntrica de las autoridades observaban al río Santa Catarina como un obstáculo para el desarrollo de la región a causa de su desbordamiento, muy a pesar de los beneficios que aportaba (Flores Longoria & Maldonado, 2009:64).

La primera inundación ocurrió en 1612, solo 16 años después de su fundación, la mitad de las casas se dañaron por lo que la ubicación de la ciudad se trasladó a unos 700 m al sur del Ojo de Agua, (actualmente Plaza Zaragoza) (De la Garza, 1998), sin embargo, el problema de la inundación era latente por las condiciones topográficas del lugar, donde se localizaban grandes montañas y meandros propensos a que el agua retomara su camino,

además de funcionar como un abanico de aluviones y una pared de infiltración que alimentaba los acuíferos.

La ciudad ha experimentado inundaciones causadas por el desbordamiento del río Santa Catarina, lo que se ha visto agravado por la insalubridad de la zona, ya que el río se utilizaba como un vertedero de desechos (De la Garza, 1998). Los constantes desbordamientos de río Santa Catarina y sus efluentes, más la acumulación de desechos en calles y causes de los ríos como el Santa Lucía, que estaba la mayor parte del año pantanoso era usado como basurero y desperdicios de rastros (Esparza, et al. 2014:40), esto generó una crisis de contaminación del agua y severas epidemias como las de; 1798, 1803, 1814 y 1815, lo que significa que existían condiciones de insalubridad (Esparza, et al., 2014:40).

Derivado de la grave crisis de salubridad y baja recaudación fiscal de impuestos para el mantenimiento de la norias para consumo humano, el obispo fray Rafael José de Verger, desarrolló la estrategia para suministrar agua por medio de un depósito elevado en La Loma del Obispado en 1780, ubicada en Santa Catrina, quien compró derechos de agua destinada a satisfacer a la población de 50,000 habitantes, aunque la ciudad aun no contaba con sistemas de alcantarillado y pluvial (Esparza, et al., 2014:41). El depósito elevado era un sistema de abasto y distribución que llevaba el agua hasta la plaza pública, donde la población se abastecía. Según los autores en tiempo de la invasión Norteamericana de 1848, se atañe el triunfo por el control del depósito de agua (Esparza, et al., 2014).

Antes de 1965, las fuentes subterráneas suministraban la totalidad del agua utilizada en el AMM. Desde 1912, existían dos fuentes principales: una galería de infiltración en el lecho del río Santa Catarina con 538 litros por segundo y La Estanzuela con 94 litros por segundo. En 1930, la población era de aproximadamente 132,000 habitantes, de los cuales solo el 43% tenía acceso a agua entubada. La canalización del río Santa Catarina se inició durante el gobierno del General Bernardo Reyes (1885-1887 y 1889-1909). A pesar de estos esfuerzos, se produjeron varias inundaciones en 1903, 1909, 1933 y 1938.

En 1940, la población había aumentado a 190,000 habitantes, pero los servicios de agua no eran suficientes. Ante la incapacidad de la compañía canadiense para realizar

ampliaciones en la red de abastecimiento, se decidió comprar la compañía mediante un préstamo de Nacional Financiera (SADM, 2014a; Chávez Gutiérrez, 2013 como se cito en Aguilar & Ramírez, 2021).

Debido a la falta de lluvias, las galerías de infiltración de San Jerónimo se secaron, por lo que se perforaron 14 pozos en el centro de Monterrey con recursos federales y de Nacional Financiera (Aguilar & Ramírez, 2021:41). Con los periodos de sequía de 1949 y 1966, la situación de desabasto impactó en la sobreexplotación de pozos en la ciudad de Monterrey, San Jerónimo y La Estanzuela. Debido a la insuficiencia de agua, se instaló el acueducto de pozos de Mina a Monterrey, de 42 km.

Con la situación de desabasto y una demanda creciente, en 1954 se creó la Comisión de Agua Potable de Monterrey (CAPM), con la finalidad de estudiar fuentes alternas de suministro para el municipio de Monterrey. Su cometido era buscar nuevas fuentes de agua para cubrir tanto las necesidades actuales como futuras de la población e industria. En 1956, la CAPM jugó un papel importante en el aumento del suministro de agua potable a Monterrey, proponiendo el uso del agua de la presa La Boca para abastecer la ciudad. Con el apoyo del gobierno federal y la iniciativa privada, se planteó un proyecto para usar agua de la presa a cambio de aguas negras tratadas. La capacidad de la presa La Boca se amplió de 7 Mm³ a 40 Mm³, lo que incrementó el suministro de agua en 1,200 l/s (Aguilar & Ramírez, 2021).

En 1960, se perforaron pozos profundos en la zona de la Huasteca (Buenos Aires) para enfrentar el crecimiento de la población. La comisión logró aumentar significativamente el suministro de agua, construir infraestructura crítica y sentar las bases para la gestión futura del agua en la región y en 1985 se integró SADM (ibidem)

Con las obras construidas para extraer aguas subterráneas de Santiago y Mina y la perforación de más pozos adicionales en el área metropolitana se habían alcanzado una cobertura de agua entubada de 71 %, pero todavía 340 000 habitantes carecían de acceso al agua (CAPM, 1977 en Aguilar & Ramírez, 2021).

Entre 1970 y 2010 se diseñaron e implementaron cinco proyectos de infraestructura hidráulica a gran escala (Monterrey I-V) para aumentar el suministro de agua. Estos proyectos incluyeron la construcción de presas, acueductos, plantas potabilizadoras, estaciones de bombeo, pozos y redes de distribución. En la siguiente tabla se encuentran los programas de Infraestructura hidráulica que se conformaron a través del tiempo para abastecer el AMM.

De 1974-1978 se construyen los acueductos de Mina Santiago y la Estanzuela, se perforan pozos y se agregan a la red pozos de Mina y Campos Buenos Aires. En el periodo de 1971-1973 se construye la planta de potabilización de presas la Boca, de 1980-1984 se construye la presa Cerro Prieto, la planta de potabilización de San Roque, de 1990 a 1994 se construye la presa el Cuchillo.

El proyecto Monterrey VI sigue en marcha y se planea extender a una región que beneficiará a Tamaulipas y parte de Coahuila. Ya se han adquirido los derechos correspondientes y se está considerando como un proyecto regional con una capacidad de 15 m³/s. El agua proviene de la Ciudad de México y llega muy contaminada, lo que hace necesario un tratamiento. Aunque algunas plantas logran reducir la cantidad de contaminantes, incluyendo materia orgánica, virus, moléculas pesadas y hormonas, aún no se ha decidido si el tratamiento será secundario o terciario. El proyecto sigue adelante, pero la inversión necesaria es muy elevada, una carga que Agua y Drenaje no puede absorber por completo. Aunque, SADM se destaca por su trabajo en la calidad del agua, los costos económicos son muy altos.

Desde inicios del siglo XX, Monterrey dependió en gran medida de las aguas superficiales, principalmente del río Santa Catarina y sus afluentes, pero también de las aguas subterráneas como las galerías de infiltración en el lecho del río Santa Catarina y La Estanzuela y posteriormente las baterías de pozos de Mina y el Socavón de San Francisco en el Huajuco han sido indispensables para el desarrollo de la ciudad.

A pesar de las obras la infraestructura hídrica siempre se quedó corta ante el crecimiento demográfico y las demandas industriales. Por lo tanto, SADM se ha enfocado en una administración sectorizada y hoy cuentan con una infraestructura de vanguardia que

garantiza una alta cobertura en el suministro de agua potable y servicios de saneamiento. Para el año 2024, SADM reporta una cobertura del 99.6% en el servicio de agua potable y del 98.49% en drenaje y saneamiento, posicionándose como uno de los sistemas más eficientes a nivel nacional. A pesar de los esfuerzos por construir una robusta infraestructura hídrica, impulsada en gran medida por las recomendaciones del consejo de agua, Monterrey ha enfrentado recurrentes crisis hídricas desde su fundación. La planificación hídrica se ha centrado históricamente en la construcción de infraestructura, descuidando en gran medida la gestión sostenible de las aguas subterráneas

Estrategias de colaboración para abastecer el AMM

La colaboración entre el organismo operador de agua y la industria ha sido relevante en el AMM. Como ya se mencionó, las constantes crisis de agua han sido superadas por la colaboración entre autoridades federales, y local, pero también entre usuarios, sin embargo, estas colaboraciones se han enfocado en el agua superficial como la construcción de acueductos o embalses.

Las aguas subterráneas han recibido poca atención y no han sido gestionadas de manera sostenible. Según la UICN (2020), la gestión sostenible de las aguas subterráneas tiene un impacto positivo en el sector económico y en la sociedad, asegurando el recurso y contribuyendo a la conservación de los ecosistemas. Uno de los desafíos en la gestión de las aguas subterráneas es la coordinación entre los usuarios y sus intereses particulares, lo que dificulta una gestión coordinada. Aunque los acuíferos que abastecen al Área Metropolitana de Monterrey (AMM) no cuentan con una Comisión Estatal del Agua ni con COTAS, es importante destacar la gestión interinstitucional que ha permitido el desarrollo económico de la zona.

Este apartado resalta la importancia de los mecanismos institucionales que han sido implementados para abastecer a la ciudad. De manera que, en un futuro cercano, esta coordinación pueda favorecer una gestión sostenible de las aguas subterráneas, permitiendo

una colaboración interinstitucional con dependencias enfocadas en la protección del medio ambiente, el agua y el territorio.

Aguilar & Ramírez (2021) hacen un trabajo sobre la colaboración entre las industria y SADM para abastecer a la ciudad. La iniciativa privada ha brindado un importante apoyo a la ciudad de Monterrey en tiempos de sequía. Durante la severa sequía de los años cincuenta y principios de los sesenta, las empresas cedieron sus pozos para el uso público. Esta acción no solo alivió temporalmente la escasez de agua, sino que también sentó un precedente importante para la colaboración entre los sectores privado y público en la gestión de recursos hídricos.

En 1963, se realizó el cambio de uso de las aguas de la presa La Boca, pasando de ser de uso privado a público, permitiendo así que la ciudad se beneficiara de este recurso. Las negociaciones involucraron a SADAM, industria y la autoridad federal quienes permitieron ampliar la capacidad de la presas de 7Mm³/3 a 40Mm³/S. Este hecho implicó un acuerdo en el que el sector privado, al ceder el acceso a las aguas de la presa, recibió a cambio aguas tratadas por SADAM.

En este contexto, la distribución del agua se convierte en un asunto de interés político, influenciado por motivaciones económicas y sociales. De esta manera, autoridades y usuarios juegan un rol importante en decisiones políticas, los intereses pueden ser moldeados por diferentes grupos sociales, principalmente intereses económicos, que buscan maximizar sus beneficios y minimizar sus costos, lo que genera una dinámica de competencia y negociación en el ámbito institucional y político (Schmid, 2004)

Por ejemplo, la construcción de infraestructuras hídricas como las presas Cerro Prieto, Libertad y El Cuchillo no fue una tarea sencilla, sino un proceso complejo que requirió de una combinación de habilidades políticas, negociaciones con el gobierno federal, conocimientos técnicos especializados y la capacidad de gestionar las presiones sociales. Incluso proyectos de gran envergadura como Monterrey VI quedaron truncados por la politización del tema y la fuerte oposición de la ciudadanía (Aguilar & Ramírez, 2021:176). Sin embargo, el proyecto sigue latente, pero debido a los altos costos no se ha

podido llevar a cabo, ya que se requieren plantas de tratamiento, incluso de tratamiento terciario, debido al alto nivel de contaminación del agua.

La construcción de la presa El Cuchillo ubicada en el municipio de China Nuevo León es otro claro ejemplo de cómo las decisiones en la gestión del agua pueden generar conflictos y desigualdades entre diferentes sectores. La presa se desarrolló como respuesta a la sequía y escasez de agua en la región, que afectó al sector público urbano y al agrícola. Con Salinas de Gortari como presidente y el gobernador Jorque Treviño firmaron en 1989 los acuerdo para sus construcción en donde el Gobernó de Tamaulipas no estuvo presente (Aguilar & Ramírez, 2021:61). En el AMM la población contaba con 2.6 millones de habitantes, por lo que el crecimiento demográfico fue el factor iniciador de estas negociaciones políticas.

La construcción del embalse se localiza en la cuenca alta del rio San Juan, su construcción obstruyó el agua para Tamaulipas afectando el distrito de riego 026. Sin embargo, se establecieron acuerdos entre los gobiernos estatales de Nuevo León y Tamaulipas, junto con el gobierno federal. A pesar de estos arreglos, la solución propuesta generó un desequilibrio, afectando principalmente al sector agrícola del distrito de riego 026 en Tamaulipas. De manera que en el año 1994, Nuevo León, Tamaulipas y CONAGUA acordaron gestionar el trasvase de agua, incluyendo la construcción de un emisor para aguas residuales tratadas desde Monterrey hacia la presas Marte R. Gómez, aunque este último aún no se ha realizado. El acuerdo establece que, cuando Marte R. Gómez tenga menos de 700 mm³ y El Cuchillo más de 315 mm³, el excedente se trasvasará a Marte R. Gómez (Gobierno, s/f).

No obstante, con la construcción del segundo acueducto, las condiciones de volumen cambiaron. Según el nuevo acuerdo del Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas, con el acueducto El Cuchillo II, el mínimo de agua necesario en la presa neoleonesa el trasvase aumentará de 315 a 516 Mm³ al 1 de noviembre de cada año, siempre y cuando Marte R. Gómez mantenga un almacenamiento inferior a 700Mm³

Las nuevas modificaciones pueden tener consecuencias significativas para ambos estados. El aumento del volumen de agua para el trasvase de agua garantiza el abastecimiento de agua para el consumo humano, proporcionando una mayor seguridad hídrica para Nuevo Lean. Sin embargo, el distrito de riego 026 enfrenta riesgos para los agricultores, ya que ahora deben esperar a que llueva lo suficiente para que la presa alcance el volumen mínimo de agua. Estos cambios en el volumen son especialmente vulnerables al cambio climático, debido a que los períodos de sequía se prolongarán, las temporadas de lluvia serán más esporádicas y la variabilidad climática no permitirá un régimen de lluvia uniforme, lo cual afectará los años de entrega de agua y aumentará el riesgo de impacto de los fenómenos hidrometeorológicos en las ciudades. Aunque esto podría ayudar al llenado de presas, solo ocurrirá en periodos cortos, y la evapotranspiración podría afectar el volumen de agua.

Otra obra por analizar es la construcción de la segunda presa Rompepicos , un tema controversial que puede afectar el ecosistema. El tema debe ser analizado más allá de una simple manifestación ambiental, donde la participación de la sociedad podría contribuir desde una perspectiva socioecológica. El debate sobre la presa Rompepicos se ha caracterizado por un doble discurso respecto a la responsabilidad social y el daño ambiental. Por un lado, se presenta la infraestructura como una medida necesaria para la protección de la población y el desarrollo urbano. Por otro lado, se minimizan o ignoran los efectos negativos sobre el medio ambiente. Esta dicotomía puede tener su origen en el enfoque predominantemente técnico de SADM, que se centra en la gestión operativa del agua y el drenaje, y la poca participación en la toma de decisiones de organizaciones, dejando de lado consideraciones más amplias de sostenibilidad y justicia ambiental.

Durante la crisis de 2022 el sector industrial y agrícola agua subterráneas y superficiales para la ciudad a través de la conexión de la red de agua potable. La falta de lluvias y las altas temperaturas, junto con los bajos niveles de las presas, causó una grave crisis de agua en el AMM. Esto resultó en cortes de suministro y bajas presiones en los municipios de la región, afectando tanto a la población como a las actividades económicas.

Esta crisis puso de manifiesto la urgencia de una gestión del agua a través de mecanismo de negociación como ya anteriormente se venía haciendo, en favor de la construcción de infraestructura.

En respuesta, la industria y el distrito de riego Las Lajas forjaron una alianza estratégica. La industria aportó pozos a la red de SADM, para contribuir al suministro a la población, a través de la iniciativa “sumemos un chorro” la Cámara de la Industria de la Transformación (CAINTRA) adoptó medidas para asegurar la sustentabilidad de sus operaciones y garantizar el acceso al agua, junto con el gobierno federal. Por otro lado, el distrito de riego 031 Las Lajas cedió 12 millones de m³/anuales a cambio, revestir y entubar canales y reducir pérdidas. Y evitar la evaporación del agua, además de la tecnificación del distrito de riego.

En este contexto, la gobernanza hídrica en la región se caracteriza por un entramado complejo de instituciones, leyes y programas que involucran a los tres niveles de gobierno y la industria. Aguilar y Ramírez (2021) menciona que en el Área Metropolitana de Monterrey, existe una gobernanza hídrica multinivel, porque involucra a varios actores, a pesar de ello, no siempre ha respondido para resolver las problemáticas (Aguilar y Ramírez, 2021).

La gestión del agua en el AMM ejemplifica claramente los supuestos de Ostrom sobre la gestión de recursos de uso común. Según Ostrom, el consumo de un bien por parte de un usuario limita la posibilidad de que otro usuario haga uso del mismo recurso. En el AMM, las aguas subterráneas han quedado excluidas de una gestión sostenible debido a que la estrategia predominante se basa en la construcción de infraestructura sin suficiente información o consideración sobre las aguas subterráneas. La infraestructura, aunque esencial, puede beneficiar o afectar desigualmente a los diferentes usuarios del recurso hídrico, en este caso la infraestructura beneficia a los usuarios urbanos, pero tiene efectos contrarios en el medio ambiente.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de la información recabada en campo y tomando como referencia el marco de Análisis Institucional (AI) propuesto por Schmid (2004), se llevó a cabo un análisis de las características físicas los acuíferos del AMM, se exploraron las interrelaciones entre los usos urbanos del agua y los impactos en los acuíferos como un usuario más, así como las interacciones entre los diversos actores involucrados en la gestión del agua subterránea y los marcos institucionales que regula su uso y aprovechamiento.

Los resultados de campo fueron contrastados con los postulados teóricos de sistemas SSE y AI, derecho a un medio ambiente sano y seguridad hídrica. El marco S-E-F permitió identificar las interrelaciones y dinámicas entre los actores involucrados en la gestión del agua subterránea del AMM, así como las oportunidades y limitaciones para abordar los problemas actuales

El enfoque de AI, con su énfasis en las reglas formales e informales que estructuran las acciones humanas, proporciona un marco poderoso para comprender la compleja dinámica de la gestión del agua subterránea. Schmid (2004) nos invita a considerar cómo las acciones individuales, la extracción de agua (público urbano, domestico, agrícola e industrial) se entrelazan con lo colectivo, es decir, el uso la extracción de agua de cada usuario, está afectando la disponibilidad de agua, y cómo, a su vez, el colectivo (acuíferos) influye en el individuo. En este apartado de analizan las interdependencia o lo que Ostrom llama Sistemas de recursos en el contexto de la gestión del agua subterránea, destacando el papel de las instituciones en la configuración de los resultados.

El Cuadro 25 presenta una adaptación del marco S-E-F de Schmid (2004) para analizar la gestión de los acuíferos que brindan agua al AMM. La categoría Situación (S) describe el contexto físico, económico y social en el que se encuentran los acuíferos, incluyendo los impactos sobre el recurso hídrico. A partir de los resultados de las

entrevistas y la revisión documental, se identificaron los mecanismos de interacción en la gestión de los acuíferos y las dinámicas de cooperación entre los actores involucrados.

La Estructura (E) se refiere al marco institucional que regula el uso del agua, como las normativas, las transacciones entre actores (CONAGUA, SADM, asociaciones civiles, academia) y los arreglos institucionales desde la perspectiva de los usuarios. Se buscó analizar las negociaciones entre los usuarios y las instituciones reguladoras para el manejo eficiente del recurso hídrico. La Conagua, en particular, juega un papel central en la emisión de permisos y la supervisión del cumplimiento normativo, SADM desempeñan un papel clave en la distribución y negociación con CONAGUA y usuarios del agua.

La categoría de Funcionamiento (F) se centra en la identificación de los impactos y cambios institucionales necesarios para mejorar la gestión del agua subterránea, lo que implica examinar cómo se llevan a cabo la extracción, distribución y conservación del agua subterránea, así como los mecanismos de control y regulación implementados. Para analizar tales situaciones se describen las alternativas de cada situación a saber; incompatibilidad de uso, costos de exclusión, economía de escalas, y cooperación.

Tabla 29 Marco S.E.F. Interdependencias de incompatibilidad de uso de agua en los acuíferos que abastecen el AMM

Situación	Estructura	Funcionamiento
Fuente de Interdependencia		
Acuíferos- red de distribución de agua potable		
A) Incompatibilidad de uso		
a) usuarios urbanos y el medio ambiente	a.1) La Conagua da concesiones a los usuarios	a.1.1) el acuífero está en déficit. El acuífero AAMM tiene signos de abatimiento El gasto de los acuíferos ha disminuido
	a.2) en las transacciones por costumbre se otorgan concesiones	a.2.1) impacto y sobreexplotación, el acuífero en déficit, no se cumple el derecho a un medio

		ambiente sano y se afecta la seguridad hídrica de la región
	a.3) Adaptación institucional, para respetar la veda y respetar el estatus de agotamiento del acuífero vigilar y monitorear	a.3.1) El acuífero empieza su recuperación gradual
b)entre usuario urbano; público e industrial	b.1) La LAN otorga derechos de concesión y asignación a los diversos usuarios. Crisis de agua en el AMM para el uso público urbano	b.1.1) acuíferos en déficit y sobre explotados
	b.2) perforación, activación de pozos	b.2.1)Perforación de pozos de manera urgente y desmedida
	b.3) Modernización de SADM, Industria autoabastecida.	b.3.1) con la modernización del organismo operador se espera un ahorro de agua en fugas y una menor extracción de agua subterránea Aplicación de la económica circular
c3) entre la expansión urbana y las zonas de recarga de la AMM	c.1)Permisos y factibilidades; usos doméstico, servicios e industria	c.1.1 zonas de inundación, menor recarga, incremento de la velocidad de escurrimiento
	c.2) cambios de vegetación y uso de suelo Planes de manejo de ANP, cambio climático	c.2.1) vulnerabilidad de las ANP Planes de manejo de anp, personal limitado en la vigilancia y monitoreo, prioridad a los incendios forestales y turismo. No ay programas que en favor de servicios ambientales hidrológicos
	c.3)Programas de desarrollo urbano vigentes	c.3.1) Cuencas saludables, derecho a un medio ambiente sano y seguridad hídrica

	programas por pago por servicios ambientales	
--	----------------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia con base a Schmid (2004).

Incompatibilidad de uso. Entre usuarios urbanos y el medio ambiente

La incompatibilidad entre los usos del agua en el AMM se ve reflejada en una estructura institucional compleja y dinámica. La LAN, SADM, y el CCRB son los principales actores e instrumentos de regulación, pero sus efectos han sido variados y, en ocasiones, contradictorios. La creciente demanda de agua, la variabilidad climática y el crecimiento urbano han puesto a prueba la capacidad de estas instituciones para adaptarse a las nuevas realidades y garantizar una gestión sostenible del recurso.

a.1.1) Un primer impacto de la incompatibilidad se observa entre los usuarios urbanos y el medio ambiente (acuíferos). La Ley de Aguas Nacionales (LAN) permite otorgar concesiones a usuarios urbanos, industriales y agrícolas, incluso en acuíferos sobreexplotados. Esto significa que la extracción de agua subterránea supera su recarga natural, provocando una disminución de agua de los mantos acuíferos y una serie de consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para la sociedad. La extracción intensiva de agua y la proximidad entre los pozos en el acuífero AAMM ha generado abatimientos de entre 1 y 14 metros, afectando tanto la calidad como la cantidad de agua.

a.2.1) La emisión de nuevas concesiones de agua subterránea, a pesar de las vedas y restricciones existentes, contribuye a la sobreexplotación de los acuíferos. La concesión de nuevos permisos para el uso del agua solo agrava la escasez hídrica en la región. Este tipo de transacciones, conocidas como habituales o de costumbre, se realizan entre los mismos funcionarios de la Conagua que conocen los procedimientos para otorgar agua de acuíferos sin disponibilidad. Durante la crisis del año 2022 el Gobierno del estado de Nuevo León se declaró en crisis de desabasto, partir de ello, la Conagua por orden del gobierno federal expone que a pesar de que los acuíferos están en déficit hubo nuevas

concesiones, aunque en otros periodos ha pasado lo mismo. De esta manera, este tipo de transacciones conlleva a la violación del artículo 4to constitucional que refiere que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y que el Estado debe garantizar que se cumpla este derecho. Sin embargo, esto no se cumple y los acuíferos son afectados, lo que pudiera ocasionar pérdida de ecosistemas como los humedales. La invisibilidad del agua subterránea atenta contra la seguridad hídrica porque la gestión del agua de subsuelo en el AMM se enfoca en la extracción continua de agua e infraestructura.

a.3.1) *una de las alternativas institucionales para recuperar gradualmente los acuíferos* es la actualización de la ley de agua nacionales. Actualmente la forma de extender concesiones obedece a la debilidad de la ley. Por lo que, se requiere leyes más rigurosas que no permitan nuevas concesiones por presión económica o social. Se requiere reforzar la vigilancia y monitoreo de pozos de agua, así como incrementar el número de inspectores, además de personal capacitado para labores de campo. Se requieren sanciones económicas más severas para quienes clandestinamente exploten pozos. Para ello, se requiere de la colaboración entre CONAGUA y secretaria del medio ambiente del estado de Nuevo León. Otra alternativa es la reducción de consumo de agua en la ciudad, al 2023 los habitantes del AMM gastaban en promedio 140 l/día. Por lo que, las acciones de cultura del agua de SADM ha realizado programas como *ciudadanos de 100*, han fomentado la participación con la Secretaria de Educación Pública para penetrar en la educación ambiental en las escuelas.

b.1.1) *Incompatibilidades entre uso público urbano e industrial.* La LAN permite otorgar concesiones a usuarios urbanos, industriales y agrícolas, incluso en acuíferos sobreexplotados. El AMM tiene una tasa de crecimiento de 2.3% por arriba de la media nacional que es de 1.2%. Actualmente la ciudad necesita entre 13 y 16m³/s, los periodos más calurosos pueden demandar hasta 17m³/s, sin embargo con el rápido crecimiento de la población cada año se suman 111,548 habitantes al AMM. Ante la inminente demanda de agua se espera que en 2030 se requieran 20.9 m³/s.

Por su parte, el crecimiento económico tiene el mayor impacto en el acuífero AAMM. La industria manufacturera, que es el motor económico del AMM, consume grandes cantidades de agua, especialmente los subsectores de transporte, petroquímica y metalurgia. El volumen de agua destinado al sector industria manufacturera asciende a 6,127.66 millones de pesos. Además, en el AMM se encuentran 77 parques industriales, y debido a la expansión del nearshoring, se requiere de más propiedades para uso industrial, lo que ha generado una crisis de propiedades industriales. Los espacios disponibles están en aumento. Hasta diciembre de 2023, el reporte inmobiliario de Colliers monitoreaba 178 propiedades industriales con 2.4 millones de m² en la ciudad (Escobar, 2024).

b.2.1) *impacto de la industria y el uso público urbano en los acuíferos.* El 53% de la extracción de agua del acuífero AAMM es para uso industrial, el 29% se destina al uso público urbano, el 7% para uso comercial y el resto se divide entre otros usos. En los acuíferos CBA CH y CM el 99% de la extracciones la agua es para uso público urbano. La cantidad de pozos de agua especialmente para uso industrial en el acuífero del AAMM ha generado una crisis de agua para la ciudad. Durante la crisis de año 2022, se optó por aumentar la perforación de pozos en el acuífero AAMM. Las estrategias del Gobierno del Estado de Nuevo León incluyeron la perforación de 23 pozos en la Macroplaza, la rehabilitación de 30 pozos, la perforación de 50 nuevos pozos y 6 pozos profundos. Todo esto para asegurar el suministro de agua a la ciudad. Sin embargo, la inversión en los pozos de la Macroplaza no generó el flujo esperado de 750-800 l/s, recuperándose solo alrededor de 300 l/s debido a la cercanía y el agotamiento de los pozos (Maldonado, 2022), lo que evidencia la falta de estudios geohidrológicos acertados. Además, las presiones políticas por abastecer a la ciudad influyeron en la toma de decisiones. Basándose en opiniones de administraciones anteriores, como la del exgobernador Jaime Rodríguez, se afirmó que había suficiente agua en el acuífero, sin embargo entre autoridades de SADM y la academia menciona que no hubo un buena planeación la perforar, es decir, que si existe el conocimiento y las condiciones técnicas para perforar, pero no se llevaron a cabo.

Los impactos en los acuíferos CM, CBA, y CH por el uso industrial, urbano o agrícola no son tan visibles porque se encuentran dentro de ANP o muy alejadas de la

ciudad. Los impactos en estos pozos han sido más de origen natural, es decir, derivados de sequías en la región y la falta de lluvia, lo que hace que el flujo de los pozos sea variable. Por otro lado, antes de la construcción de presas, el 70% del agua extraída provenía del subsuelo; hoy, la situación se ha revertido por las nuevas fuentes de aguas superficiales que se han ido incorporando.

b.3.1) propuesta alternativas entre uso público- urbano e industrial. Para garantizar un aprovechamiento óptimo, la gestión de las aguas subterráneas debe considerar las interrelaciones entre las ciencias hidráulicas e hidrogeológicas, de esta manera, permitir una operación adecuada de los pozos, apostando por la conservación de cuencas y la participación de usuarios en favor de vigilancia y monitoreo de niveles piezómetros de pozos de agua. Dado que solo el 5% de la industria en México es autoabastecida, es fundamental que las nuevas industrias que se establezcan en el AMM adopten sistemas de autoabastecimiento, es decir, que cuenten con plantas de tratamiento de aguas residuales propias. Por su parte, el organismo operador de agua de Monterrey junto con la secretaria de educación pública debe concientizar a la población sobre la importancia del impacto urbano e industrial sobre la sobreexplotación de aguas subterráneas. Dentro de los programas universitarios es necesario integrar enfoques socios ambientales, en las ingenierías y en la planeación hídrica.

SADM ha alcanzado un tratamiento de la totalidad de las aguas residuales del AMM, comercializando el 9% del agua, cuenta con 125 usuarios. Sin embargo, existe un gran potencial para incrementar la demanda de agua tratada en la industria y el comercio. SADM ha garantizado la calidad del agua cumpliendo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 (2021) que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación y la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites permisibles para las ventas de agua tratada. Por otra parte, SADM ha optado por disminuir las fugas visibles y no visibles para disminuir su pérdida a través de la implementación de Programa para la Mejora en la Atención de Servicios que busca hacer más eficiente la distribución de agua potable, se ha puesto en marcha un proyecto que incluye la automatización de procesos, la instalación de

sistemas de telemetría y el desarrollo de un modelo digital de la red. Gracias a estas acciones, se espera disminuir significativamente las pérdidas de agua, optimizar la presión en la red y mejorar la calidad del suministro.

SADM está llevando a cabo un proyecto de infraestructura hidráulica para implementar el reúso potable indirecto de agua, conocido como agua regenerada. Este proceso permite la descarga de agua altamente tratada y no potable en el medio ambiente como una etapa intermedia antes de su reúso, aprovechando la dilución y los procesos naturales. La planta proyectada tratará 2.8 m³/s y tendrá un costo global de 33.51 pesos por m³.

c.1.1) *entre la expansión urbana y las zonas de recarga de la AMM.* Una de las principales amenazas a los acuíferos es el crecimiento urbano desordenado. El artículo 115 establece que los municipios tienen la facultad de brindar servicios a las viviendas y ordenar su territorio. Uno de los principales problemas en la gestión del agua es la complejidad con la que las autoridades ejercen poder sobre la planeación urbana. Las factibilidades para obtener un predio y los servicios de agua son diferentes. Por un lado, las factibilidades para obtener un predio se basan en el instrumento de planeación municipal y desarrollo urbano (de Monterrey en este caso), que emite una factibilidad positiva o negativa según sus lineamientos y la ubicación del predio. Sin embargo, el programa municipal presenta grandes áreas de oportunidad, ya que su actualización depende del periodo del presidente municipal. En tanto que, las zonas de delimitación primaria o secundaria y sus reglamentos pueden variar, afectando las zonas de recarga de los acuíferos. Además, los intereses en la planificación suelen estar influenciados por quienes financian el instrumento y los intereses de los desarrolladores urbano (Propietarios de bienes raíces) de que por cierto forman parte del consejo del agua de SADM, esto puede influir en la facilidad de las facilidades positivas para nuevos desarrollos urbanos o zonas industriales.

Por otro lado, las factibilidades que brinda SADM para la conexión a la red de agua potable y drenaje sanitario requieren un pago por el estudio de factibilidad, con una cuota

de \$95,637.39 + IVA pesos para usos habitacionales, comerciales e industriales cuya superficie sea mayor a 10,000 m². Este pago es independiente del resultado positivo o negativo de la factibilidad y está destinado a contribuir a la construcción de infraestructura de captación, conducción, potabilización, almacenamiento, bombeo, redes en el proceso de potabilización, drenaje sanitario y tratamiento de aguas. Sin embargo, el pago de este servicio no contempla el uso del medio ambiente. Las aguas subterráneas abastecen al 30% de la población del AMM, y el valor ambiental del agua radica en los procesos de infiltración y movimiento y acumulación del agua en la roca, que pueden tardar miles de años. Por lo tanto el valor histórico de esta agua radica en su origen como agua fósil o agua geológica, o que puede ser parte de un flujo regional como el acuífero de campo Mina.

c.2.1) Impactos en los cambio de uso de suelo. La vegetación xerófila endémica, esencial para el equilibrio ecológico de la región. Las ANP constituyen las zonas de recarga más importantes para la región constituida principalmente por este tipo de vegetación. En las últimas dos décadas, se ha registrado una pérdida alarmante de 170 km² de vegetación xerófila endémica, además de 86 km² de agricultura y 60 km² de pastizales. Paralelamente, la superficie de los asentamientos humanos se ha casi triplicado, pasando de 357 km² en 2001 a 951 km² en 2021, lo que representa un crecimiento promedio de 29.7 km² por año. Las autoridades de CONANP encargado de proteger el PNCM y el ANP Cerro de la Silla manifiesta su preocupación por el crecimiento descontrolado del AMM que representa amenazas para las ANP como ocurre en PNCM. En esta área, algunos poseedores de terrenos en La Huasteca y Potrero Redondo no han podido confirmar su legitimidad. Por lo que los desarrolladores inmobiliarios representan la principal amenaza debido a la construcción sin autorización. Aunque existen comunidades que estaban presentes antes del decreto que deben ser respetadas, en entrevista con personal de la CONANP menciona que los fraccionadores siguen obteniendo autorizaciones y que eso ocurre porque los programas municipales de desarrollo urbano no se ajustan al programa de manejo del PNCM.

Por otra parte, personal de PyVS el efecto del cambio climático es multifactorial, pero uno de los cambios observados es la alteración en la fenología de las plantas. Esta organización menciona que:

“La estacionalidad ha variado entre especies, causando una desincronización entre los consumidores primarios y los polinizadores. Aunque se espera que el cambio sea temporal. En el área del perrito de la pradera, por ejemplo, las fechas se han adelantado un poco, con una primavera que llega antes desde hace dos años, si esto continúa, cuando los polinizadores intenten polinizar, y no haya sincronía con la vegetación, a largo plazo se producirá una baja tasa de reproducción vegetativa y una menor regeneración vegetal, lo que complicará la recarga de agua. Algunas aves migratorias han adelantado su migración, mientras que otras han desaparecido, lo que parece ser parte del cambio climático. Un ejemplo fue la explosión de langostas en un momento en que debería haber habido aves presentes, pero no las hubo” (Entrevista: personal PyVS, 2024).

Otro de los problemas sobre las ANP son los incendios que son cada vez más frecuentes e intensos debido al periodo de sequía, afectando hectáreas importantes de la parte alta de la cuenca del río Santa Catarina, dentro del PNCM. Los incendios, en su mayoría, han sido causados por actividades antropogénicas, pero recientemente, personal de CONANP de Nuevo León ha mencionado que han sido ocasionados por descargas eléctricas, por lo que, en el parque existe mucha materia orgánica que puede detonar un incendio en cualquier momento. Personal de Pronatura Noreste ha señalado que una de las principales afectaciones a las ANP estatales es la facilidad con la que se pueden modificar las políticas ambientales para alinearlas con intereses económicos o políticos. Según mencionan:

“La construcción del campo de golf en el Cerro La Mota se inició hace más de una década, en una zona clasificada como 'sujeta a conservación ecológica'. Sin embargo, esta categoría de protección ya no está contemplada en la legislación ambiental actual de Nuevo León. Esta situación revela que la autorización para construir el campo de golf fue una decisión política que se contrapone con las disposiciones del programa de manejo original. La administración del exgobernador Natividad González modificó el programa de manejo para permitir esta construcción, lo que evidencia una clara preferencia política por encima de los criterios ambientales” (Pronatura Noreste, 2024).

c.3.1) *Alternativas institucionales.* Ante el acelerado crecimiento urbano y las crecientes amenazas a las áreas verdes y ANP, es importante fortalecer la participación del consejo de cuenca en temas que competen a la cuenca, como los PMDU. Este órgano,

integrado por los principales usuarios del agua, incluyendo a los municipios y la misma cámara de bienes raíces de Nuevo León, quienes conforman el consejo de SADM debe jugar un papel protagónico en la planeación urbana de manera, para ello se necesita del apoyo de la academia quien también es parte de consejo de cuenca y que pueda aportar conocimiento sobre la importancia del desarrollo urbano desordenado y sus efectos sobre las zonas de recarga en relación con una limitada disponibilidad del agua. Es importante que los programas de desarrollo urbano municipal que conforman el AMM sean sometidos a análisis exhaustivos donde participen expertos en recursos hídricos. De manera se aplique la LANL quien en su artículo 120 menciona que se debe proteger el suelo, los escurrimientos, cañadas bosques y la vida silvestre, para asegurar la capacidad de recarga de los acuíferos.

Para Schmid (2004) los costos de exclusión son las facilidades con la que alguien puede ser excluido del uso de un recurso o bien. Esto influye en la propiedad privada, el comercio y la producción.

Tabla 30 interdependencias: costos de exclusión

B) costos de exclusión		
Situación Estructura funcionamiento		
S	E	F
d) Los acuíferos excluidos en la legislación local (altos costos de exclusión)	d.1) Sin protección de leyes locales	d.1.1) invisibilidad
	d.2) Debilidad de las instituciones: Cotas, Instituto del agua en Nuevo León, debilidad en la calidad de agua	d.2.1) Sin conocimiento de las aguas subterráneas
	d.3) Aplicar la ley/modificar la ley limitaciones en la PHR 2001-2004	d.3.1) Cuidado, monitoreo y participación
e) Calidad de agua	e.1) contaminación	e.1.1) Inseguridad hídrica
	e.2) costos de energía	e.2.1) Afectaciones económicas

	e.3) COTA, Aplicación n de sanciones y sanciones PHR-CCRB	e.3.1) Buena calidad menor inversión
--	-----------------------------------------------------------	--------------------------------------

Fuente: elaboración propia con base a Schimd(2004)

d.1.1) invisibilidad. La gestión de los acuíferos locales del AMM está a cargo de SADM. A través de la LAPYSPENL, tiene a su cargo el diseño, del proceso de extracción, conducción, distribución, potabilización y saneamiento de las aguas del estado, por lo cual está enfocado en proporcionar el servicio eficiente, sin embargo en su artículo 6, aborda la conservación de las fuentes de captación de agua y de las reservas hidrológicas del estado asignadas por la autoridad competente. En este ámbito, participa PyVS en la administración del arroyo El Calabozo, el parque la Estanzulea y el ANP El Cuchillo, donde se cuidan y tratan de conservar estos cuerpos de agua para SADM pueda tener agua para la ciudad. Esta es un tipo de transacción de cooperación que se explica más adelante. Sin embargo, en cuanto a las aguas subterráneas, las autoridades locales no han desarrollado planes, programas o comités para su manejo sustentable. Los instrumentos que hacen referencia a los acuíferos son escasos y en algunos casos no se mencionan. Por ejemplo:

- La LANL, en su artículo 121, menciona los acuíferos en aspectos meramente técnicos como la recarga de acuíferos mediante pozos de inyección y estanques, siempre y cuando se cumpla con la norma establecida. Además, hace referencia a la regulación para evitar la contaminación por infiltración. (No se cumple con la norma para inyectar el agua, en su lugar se optó por el reusó potable indirecto del agua).
- El Plan Maestro para Garantizar el Agua de Nuevo León al 2050 se basa en la construcción de infraestructura para abastecer la ciudad
- El Programa Hídrico de la Cuenca prioriza el consumo humano y doméstico sobre cualquier otro uso.
- La Ley de Aguas Nacionales otorga concesiones y asignaciones.

Existe una falta de planes y programas específicos para la gestión sustentable de las aguas subterráneas, además la palabra acuíferos en las normativa son limitadas y principalmente técnicas.

d.2.1) Sin conocimiento de las aguas subterráneas Una de las estructuras de gobernanza del agua es el CCRB, que tiene la potestad de convocar a la creación de un COTAS. Sin embargo, en ninguno de los 23 acuíferos de NL se han creado estos comités. Aunque los COTAS buscan integrar a los usuarios del acuífero en el proceso de toma de decisiones, a través de la gestión colaborativa y participativa del recurso hídrico, existen desafíos a la hora de convocar e integrar a los órganos auxiliares. Según autores como Domínguez y Carrillo (2007), la falta de claridad en el perfil y la selección y participantes en los COTAS puede resultar en políticas que no aborden adecuadamente la gestión del agua subterránea y sus particularidades. Además, los COTAS tienen voz pero no voto. En este aspecto en entrevistas con personal de -CCRB mencionó que ya se estructuró el organismo auxiliar y que el COTAS incluirá los acuíferos que abastecen al Área Metropolitana de Monterrey, pero “no se ha concluido porque llego la pandemia, y porque después de la pandemia llego la crisis de agua”.

La gestión del agua en Nuevo León ha enfrentado desafíos particulares, uno de ellos fue la desaparición del Instituto del Agua del Estado. Esta decisión se tomó debido a que el instituto no cumplió con su misión de desarrollar tecnologías innovadoras para el uso eficiente del agua en AMM, priorizando en su lugar servicios a empresas privadas como PEMEX. Personal de SADM considera que esta pérdida representa un retroceso significativo para la gestión integral del agua en la región.

d.3.1) Alternativas institucionales. Ante la fragilidad institucional actual para proteger directamente las aguas subterráneas a nivel local, resulta importante fortalecer la gobernanza del agua mediante la creación de organismos auxiliares como los COTAS. En entrevistas con personal de SADM, se ha manifestado *la urgente necesidad de instaurar una Comisión Estatal del Agua, y un COTAS, que este controlando y supervisando la explotación del acuífero.*

Por otra parte, para robustecer la vigilancia y el manejo sostenible de los recursos hídricos, es fundamental la participación activa de universidades y organizaciones de la sociedad civil con amplia experiencia en materia ambiental. Con base en lo anterior en entrevista con el personal de CCRB menciona la importancia de la participación de la sociedad

“Debemos inclinarlos más a la sociedad porque necesitamos ideas y contar con una mayor participación de la academia, los gobiernos y la industria en la toma de decisiones. Debemos fortalecer las instituciones que ya existen para que den mejores resultados, y si estas no funcionan, hay que cambiarlas o crear nuevas instituciones. Sin embargo, es fundamental que todos participen. Si reunimos a todos los ambientalistas y asignamos roles, podremos trabajar de manera eficiente y evitar repetir errores” (Entrevista: personal de CCRB, 2024).

La colaboración entre la Secretaría del Medio Ambiente y la CONAGUA ha sido fundamental. Durante la crisis de agua del año 2020 se lograron cerrar pozos ilegales (García J. , 2022) y se aplicaron sanciones en la Huasteca y en otros puntos de PNCM, logrado recuperar niveles de agua en los acuíferos explotados por el SADM. Por lo tanto, la aplicación de la LANL en su artículo 119, permite sancionar y actuar en contra de las desviaciones de agua para usos no autorizados. *En* entrevista con la CONAGUA menciona que; *habían ranchos que desaviaban el agua para pescar para sembrar*. La falta de vigilancia y monitoreo impactan la calidad y cantidad de aguas subterráneas. El organismo de cuenca solo tiene dos inspectores para vigilar los más de 12,682 pozos que se localizan en el estado según el REPDA, más los que no se conocen.

e.1.1) mala calidad en cuerpos de agua federales Las concesiones y asignaciones de las que gozan los usuarios urbanos afectan la calidad y cantidad del agua en N. L. Los acuíferos AAMM tienen un déficit al 2023 de -12Mm³, CM -6Mm³, CH -2 Mm³, CM -7Mm³/anual. En cuanto a contaminación del agua el AAMM tiene una concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) que varía de 1100 a 5100 mg/l, con valores más comunes entre 1000 y 1500 ppm. La mayoría de las muestras de agua mostraron concentraciones que excedían el límite máximo permitido de 1000 ppm, según la NOM-127SSA1-2021 para uso y consumo humano. Los acuíferos CBA, CH y CM, no presentan niveles de

salinidad superiores a la NOM. Diversas investigaciones indican que en el acuífero se ha concentrado metales pesados como arsénico cobre, mercurio níquel plomo y zinc. Mientras que Conagua a través del monitoreo de pozos de la RENAMECA ha encontrado pozos someros con nitratos plomo, magnesio y solidos disueltos.

e.2.1) *limitaciones en monitoreo y vigilancia de descargas de agua.* La vigilancia, monitoreo y aplicación de leyes es una de las debilidades que atentan contra la seguridad hídrica. Aunque la LAN aplica el principio de quien contamina paga, este es un principio reactivo ante una catástrofe ambiental, como lo sucedido por PEMEX en Cadereyta en 2014. La ley de responsabilidad medioambiental junto con la LEGGEPa, establece reglas para que las empresas sean responsables por los daños que causen, se necesita evitar la contaminación del agua por su amplio valor ambiental y bien común escaso. Ya que las sanciones económicas que se puedan recuperar por el delito, no garantiza la restauración completa de los ecosistemas. Por lo que, la contaminación puede causar altos costo de exclusión del acuífero, y afectar la salud y la economía de la población.

Finalmente, el PRH-2001-2024 plantea establecer un Centro de Referencia Especializado en Aguas Salinas, asignar los volúmenes de agua necesarios (reservas de agua) para garantizar la preservación de los ecosistemas naturales en la RHAVI-RB, así como implementar medidas para restaurar los humedales catalogados por el CCRB. Uno de los estados más beneficiados en obras relacionadas con estudios de balances hidrológicos, inducción de recarga natural e instrumentación de la red piezométrica en temas de aguas subterráneas, según el plan hidrológico actual, es el estado de Chihuahua. En contraste, en Nuevo León se destacan las infraestructuras orientadas a asegurar el suministro de agua.

e.3.1) *Alternativas institucionales: recuperación del acuífero.* El PHR plantea la constitución y formación de los COTAS de los 13 acuíferos sobreexplotados y prioritarios para el abastecimiento a las principales ciudades de Nuevo León con carácter de sobreexplotación extrema. En ámbito urbano se implementa el Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU) que busca garantizar el acceso

a servicios básicos de agua potable. Aunque la infraestructura es un indicador de la capacidad para satisfacer las necesidades de los usuarios, también refleja el crecimiento horizontal de la mancha urbana. Para contrarrestar este fenómeno, se podría promover la urbanización vertical en la ciudad y sus áreas periféricas. Sin embargo, el servicio de agua potable está obligado a llevar el agua hasta el primer piso de la vivienda, lo que requiere que los usuarios, tanto domésticos como empresariales, cuenten con capacidad de almacenamiento mediante cisternas o tinacos, obtener los servicios y frenar la expansión urbana hacia las periferias que puedan contribuir a la contaminación de agua.

Los PMDU deben establecer lineamientos claros para fomentar el crecimiento vertical y, al mismo tiempo, preservar los espacios verdes y las zonas no urbanizables. Para garantizar el cumplimiento de estos objetivos, es necesario implementar mecanismos de seguimiento y evaluación, así como promover la participación ciudadana a través de la creación de comités de vigilancia

Tabla 31 Interdependencias: Cooperación no cooperación

Cooperación/ no cooperación		
S	E	F
f) entre Usuarios industriales	f.1) Sobreexplotación	f.1.1) déficit
	f.2) Mala conservación de cuenca	f.2.1) Deterior de la cuenca
	f.3) FAMM	f.3.1) Equilibrar la cuenca
g) entre usuario agrícolas y CONAGUA y SADM	g.1) Sobreexplotación	g.1.1) déficit
	g.2) Distrito las Lajas	g.2.1) menor afectaciones
	g.3) Cambio de Derechos de uso	g.3.1) recuperaciones
h) ente consejo de cuenca y usuario urbanos	h.1) Sobre concesiones	h.1.1) déficit
	h.2) cuota de reparación por concesiones	h.2.1) Recuperación del caudal de las concesiones que no se utilizan
	h.3) decreto de reserva de agua	h.3.1) recuperación

Fuente: elaboración propia con base a Schimd (2004)

f.1.1) Orden de prelación. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales (LAN), el uso doméstico del agua tiene una asignación preferente. Sin embargo, durante las crisis hídricas en el AMM, el sector industrial ha mostrado una participación proactiva en la gestión del recurso.

f.2.1) La colaboración entre la industria, CONAGUA y SADM representa transacciones administrativas de coordinación y cooperación. Un ejemplo de esto es el cambio de uso del agua de la presa La Boca en 1963, que redujo los costos para las empresas al ser suministradas por SADM, mientras que la inversión federal en la ampliación de la presa permitió abastecer tanto a usuarios domésticos como industriales. Las industrias afiliadas a Caintra participaron con 29 Mm³ de agua en 2022. La iniciativa 'Sumemos un chorro' impulsada por la CAINTRA ha sido fundamental para garantizar la continuidad de las operaciones industriales y el acceso al agua para la población.

f.3.1) *Equilibrar la cuenca.* Debido a la extracción excesiva del agua del acuífero AAMM, la industria de Monterrey, a través del Fondo Metropolitano Ambiental de Monterrey (FAMM), antes Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey, busca garantizar la sostenibilidad hídrica de la cuenca. Para lograrlo, se impulsan inversiones en la parte alta del río San Juan, con el objetivo de preservar sus condiciones naturales. Con ello, las acciones del FAMM en las cuencas altas buscan reducir la cantidad de agua que fluye por el Río Santa Catarina de manera que se prevengan inundaciones a la ciudad. Al mismo tiempo se busca reforestar para aumentar un 20% a la infiltración a los acuíferos. Para ello, se construyó el Vivero Forestal “El Refugio” en el PNCM, además de que se en el pago por servicios ambientales, y la prevención de incendios.

Derivado del análisis de cambio de uso de suelo que se realizó se encontró que en el acuífero CBA que se localizan el PNCM, en 20 años incrementó en 750 hectáreas en cada categoría de vegetación primaria y secundaria húmeda, constituido por bosque de pino y pino encino. Esto sugiere que las acciones de reforestación y conservación de las cuencas han dado resultados positivos, sin embargo, los incendios ocurridos en 2021 y 2022 han afectado gravemente gran parte de la zona, según lo informado por personal de la

CONANP. En este sentido, se requiere realizar estudios más detallados que aborden el funcionamiento de la cuenca y los cambios en la disponibilidad de agua para mejorar su gestión. Es fundamental contar con la participación de diversos actores, como Protección Civil.

“La historia de la industria en Monterrey ha dado lugar a programas en beneficio de la sociedad. Un ejemplo de esto es la iniciativa de Don Eugenio Garza Sada, quien fue pionero en crear un sistema de apoyo a la vivienda para los trabajadores de la industria en Nuevo León, similar a lo que luego sería Infonavit. La industria otorgaba créditos para que los empleados pudieran adquirir sus viviendas. De manera similar, el Instituto Mexicano del Seguro Social se fundó bajo principios parecidos, y la clínica NOVA fue creada específicamente para atender a trabajadores de grandes empresas como las del Grupo Monterrey, que luego se dividió en grupos como Vitro y Alfa. Esta participación activa de la industria regiomontana ha sido una característica constante. En 2010, el huracán Alex llenó todas las presas, pero entre 2011 y 2013, Nuevo León experimentó una sequía extrema. En respuesta, CONAGUA contrató pipas para llevar agua a las comunidades afectadas, pero no fue suficiente. La industria privada intervino llevando pipas de agua y construyendo pozos e infraestructura para las localidades necesitadas. Este esfuerzo no fue ampliamente reportado por los medios de comunicación, que no estaban al tanto de la difícil situación en las áreas rurales. Pero si pones atención, la industria forma ha sido esencial para el desarrollo de Monterrey” (entrevista: CCRB, 2024).

g.1.1) La CONAGUA a través del Programa Nacional Contra la Sequía, implementa diversas acciones para apoyar a los organismos operadores en caso de la sequía.

g.2.1) Durante la crisis de agua en 2022 en el AMM, la CONAGUA colaboró en la perforación, rehabilitación y mantenimiento de pozos, y facilitó acuerdos con la industria, el Distrito de Riego 031 Las Lajas y las unidades de riego del Chapotal, estas aportaron temporalmente de agua a la ciudad. El distrito Lajas 031 cedió 12 millones de m³/anuales a cambio, revestir y entubar canales y reducir pérdidas y evitar la evaporación del agua, además de la tecnificación del distrito de riego. El Chapotal cedió 1200m³/s durante la crisis.

g.3.1) Esta transferencia, permitió a SADM incrementar significativamente el volumen de agua disponible y cumplir con el derecho humano al agua. Con esta medida, se modernizar de las redes de distribución y la implementación de tecnologías que permitan reducir las pérdidas de agua, optimizando así la gestión del agua. Personal de la CONAGUA mencionó en entrevista que:

“Desde la crisis de agua 2022, la industria y el distrito de riego Las Lajas cooperaron con pozos de agua para que la red de SADM se conectara a la red. EL distrito Las Lajas solo ocupaba la mitad de sus concesiones por ello se pudo fomentar acuerdos. A cambio, se establecieron acuerdos sobre el entubamiento y revestimiento de sus canales naturales para evitar la evaporación del agua del Distrito las Lajas, además de la tecnificación del distrito de riego. EL distrito las Lajas cedió 12 millones de m³/anuales a cambio de modernizar el distrito de riego, revestir y entubar canales y reducir pérdidas. El Chapotal ya no sigue aportando hasta hoy” (entrevista con CONAGUA, 2024).

h.1.1) El Programa Nacional Hídrico para la cuenca del Río Bravo establece como uno de sus ejes estratégicos la formulación de planes para recuperar y conservar el volumen de agua en cuencas y acuíferos.

h.2.1) La NOM-011-CNA-2015 establece los lineamientos para determinar la disponibilidad de agua en los acuíferos, esta norma contempla factores como la recarga, las salidas horizontales y las reservas de agua para el medio ambiente (Descarga Natural Comprometida). Además en 2018, se decretaron reservas de agua para asegurar la disponibilidad del recurso para la población y la naturaleza durante los próximos 50 años. Estas reservas fueron inicialmente de aguas superficiales, pero según el CCRB busca aplicar los mismos principios de disponibilidad a los acuíferos.

h.3.1) *una de las alternativas institucionales es la aplicación de la NOM-011-CNA-2015*: esta NOM establece lineamientos para la recuperación de agua de los acuíferos. El CCRB pretende aplicar esta Norma, a través la recuperación de concesiones. La recuperación puede ser de dos formas, recuperar aquellas concesiones que cumplan su vencimiento o bien, recuperar aquellas concesiones que caducan, ya que la LAN artículo 29 bis menciona que, si no se hace uso de la concesión durante dos años consecutivos pueden caducar, lo que representa una oportunidad para recuperar volúmenes de agua y contribuir al equilibrio de los acuíferos.

“Es fundamental aplicar esta norma de manera sostenible, lo cual solo puede lograrse a través de acuerdos. Si un acuífero se sobreexplota, los efectos se extienden a otros acuíferos, ya que la extracción de agua a mayor profundidad requiere infraestructura adicional, bombas de mayor capacidad y un mayor consumo de energía, lo que en última instancia reduce los ingresos de los usuarios. En el consejo de cuenca estamos trabajando en conjunto para recuperar los acuíferos y establecer sistemas de medición adecuados. El monitoreo es una de

las tareas pendientes, ya que CONAGUA no ha contado con la capacidad necesaria para monitorear niveles estáticos, piezómetros, presas, calidad del agua, y su sistema ha sido vulnerado, lo que ha llevado a una situación de colapso en la gestión. A pesar de ello, se están haciendo esfuerzos para reservar agua en los acuíferos y el plan hídrico busca proteger las cuencas. Sin embargo, los acuíferos están sobreconcesionados, aunque se espera que, con el vencimiento de las concesiones, se pueda avanzar hacia un mejor equilibrio. Existen diversas formas de recuperar el acuífero, pero la más sostenible es aquella que se logra mediante acuerdos. Nos estamos perjudicando a nosotros mismos, ya que el nivel dinámico del agua continúa disminuyendo, lo que incrementa los costos de energía e infraestructura y, en última instancia, reduce los ingresos". (Entrevista CCRB, 2024)

Uno de los hallazgos de esta investigación es la ausencia de figuras de control y protección para las aguas subterráneas en los acuíferos del AMM. No existen COTAS, ni Consejo Estatal del Agua. SADM es el único organismo responsable de gestionar el agua, y su consejo administrativo está presidido por el gobernador del estado e integrado por representantes del gobierno estatal y municipal, junto con actores de la iniciativa privada y el poder legislativo, lo que refleja una colaboración entre el gobierno y las empresas.

Esta inclusión ha permitido la incorporación de tecnología y el saneamiento del 100% de las aguas en el AMM, aunque solo el 9% del agua tratada se vende y casi el 50% se va para Tamaulipas. Gracias a la construcción de infraestructura, el 70% del agua requerida por la ciudad proviene de aguas superficiales, solo el 30% de fuentes subterráneas. Esto ha permitido dejar de extraer agua a los acuíferos. Existe una cooperación muy activa entre, la industria y SADM en la construcción de infraestructura y pozos de agua para abastecer a la ciudad. Además, CONAGUA y SADM están actualmente buscando recuperar agua de la agricultura, como en el caso del distrito de riego Las Lajas, que cedió la mitad de sus concesiones a SADM a cambio de entubar el canal para evitar pérdidas. El FAMM ha colaborado con diversas organizaciones como Pronatura Noreste, Secretaría del medio Ambiente de Nuevo León, Parques y vida Silvestre y Universidades para reforestar y conservar la cuenca alta del río San Juan, ya que ellos consideran que es la principal fuente de agua para el AMM. Una amenaza latente es el crecimiento urbano desordenado y la plancha de concreto que afecta la infiltración de agua a los acuíferos.

CONCLUSIONES

En esta investigación el objetivo fue analizar los procesos de gestión del agua que afectan la sostenibilidad de los acuíferos Campo Mina, Campos Buenos Aires, Área Metropolitana de Monterrey y Cañón del Huajuco que abastecen al área metropolitana de Monterrey. Los hallazgos de esta investigación permitieron identificar y caracterizar los factores que contribuyen a la sobreexplotación de las aguas subterráneas, tales como; el crecimiento urbano, los cambios en el uso del suelo, el crecimiento demográfico, el sobreconcesionamiento, la calidad, la oferta y la demanda, así como las diferencias geológicas de los acuíferos. Además, se identificaron las instituciones y organizaciones involucradas directas en la gestión de las agua del subsuelo, lo cual permitió analizar las interrelaciones entre los diversos factores, las interacciones entre los principales usuarios del agua y las medidas institucionales implementadas. Este análisis reveló los tipos de interdependencias existentes, incluyendo las cooperaciones establecidas entre actores.

Es así como la pregunta general buscó conocer las formas en torno al manejo del agua subterránea que desempeñan las instituciones en sus diferentes niveles para abastecer el uso urbano y como afectan la capacidad de los acuíferos. Esta pregunta se logró responder a través de la caracterización de los cuatro acuíferos y del AMM, así como la descripción de los actores y usuarios implicados en la gestión del agua. De tal manera que a partir de los resultado se confirma la hipótesis sobre los procesos de gestión prevalecientes en los acuíferos y su repercusión en la sobreexplotación poniendo en riesgo la sostenibilidad de los acuíferos. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas, arreglos o acuerdos que permitan solucionar la sobreexplotación, favoreciendo el equilibrio y su recuperación. De esta manera, la participación activa de los usuarios, junto con la colaboración entre autoridades y la sociedad en general, puede contribuir a alcanzar estos objetivos.

Aunque las autoridades del agua en diferentes niveles de gestión, han trabajado para proteger las aguas subterráneas mediante la implementación de vedas, estas no siempre se han aplicado de manera efectiva. Por otro lado, el CCRB no ha priorizado la protección del

agua al no fomentar los COTAS. El enfoque del CCRB ha estado más orientado hacia la construcción de infraestructura.

En cuanto a SADM, aunque es un organismo eficiente en la gestión del agua, sus competencias como organismo operador de agua no han permitido una gestión integral en el manejo del agua subterránea, la colaboración entre industria y los diferentes niveles se debe a una gobernanza hídrica multinivel, donde se involucran varios actores, quienes participan de manera conjunta por intereses en común, destacando así la importancia de la infraestructura que también es un tipo de RUC.

En este sentido, se observó que el crecimiento urbano en el AMM es uno de los factores más relevantes relacionados con el impacto en la disponibilidad de agua subterránea. El volumen de extracción de los acuíferos coincide con el aumento de la población y de unidades económicas, como los parques industriales, producto del fenómeno del *norshoring*. Los datos medidos de Conagua indican que de 2003 a 2013 se incrementó el déficit de los acuíferos. En este sentido, el acuífero AAMM presenta un déficit significativo de extracción de agua (-12 Mm³/año). Los acuíferos CBA, CM y CH también se encuentran en déficit, aunque menor medida.

Debido al acelerado crecimiento urbano, SADM ha centrado sus esfuerzos en la construcción de infraestructura para abastecer a la ciudad. Antes de 1990, el agua subterránea era la principal fuente de suministro en el AMM sin embargo, con la construcción de nuevas infraestructuras, actualmente solo el 30% del agua proviene del subsuelo. Esta situación refleja dos realidades: primero, que los acuíferos están agotados, y segundo, que las nuevas alternativas de agua superficial permiten reducir la extracción de agua para uso público urbano, de manera que la industria pueda aprovechar la extracción de agua en el acuífero AAMM. De esta manera, la extracción de agua por parte de los usuarios afecta la disponibilidad del agua del acuífero, ya que reduce su capacidad de regeneración natural y pone en peligro su capacidad para satisfacer las demandas actuales y futuras, generando así un alto costo de exclusión.

En términos generales, la investigación permitió analizar los procesos de gestión del agua que afectan su sostenibilidad. El problema fue analizado desde el enfoque de

sistemas SSE y el AI, ambos marcos abordan los recursos de uso común RUC, las características inherentes del RUC generan interdependencias entre los usuarios y el acuífero. Estas interdependencias fueron analizadas a través del AI que al mismo tiempo es un marco teórico metodológicos y funciona como herramientas para examinar cómo las instituciones y los actores sociales interactúan e influyen en la gestión de RUC (acuíferos) De esta manera, el AI permito analizar las interdependencias, incluidas las incompatibilidades, los costos de exclusión y la cooperación.

El AI y los SIG revelan la necesidad de profundizar en ciertos aspectos críticos. La falta de un monitoreo constante de los pozos impide conocer el estado real de los acuíferos y su nivel de abatimiento. A pesar de las vedas, se siguen otorgando concesiones, lo que evidencia prácticas poco transparentes. La crisis de 2022 puso de manifiesto la existencia de concesiones otorgadas en zonas vedadas, revelando un tipo de transacción por costumbre. Además, las vedas tipo II permiten otorgar concesiones para uso doméstico y servicios, lo que ha aumentado la presión sobre los acuíferos en los últimos años.

La calidad del agua es otro aspecto importante. En el acuífero AAMM, los niveles estáticos varían de 1 a 14 metros, y la calidad del agua en este acuífero supera los límites permitidos para consumo humano. Aunque los acuíferos CBA, CH, y CM no presentan problemas significativos en su calidad, la contaminación por desechos en ríos y arroyos es común en la ciudad. El problema principal radica en la falta de vigilancia y monitoreo por parte de la Conagua en áreas federales y la Secretaría del Medio Ambiente de Monterrey en cuerpos de agua estatales.

Otro punto a destacar es el crecimiento demográfico y los cambios en el uso del suelo. Este crecimiento es la principal amenaza para la sobreexplotación de los acuíferos, lo que ha llevado a programas de cultura del agua, como la campaña "Ciudadanos de 100", que busca generar conciencia sobre el cuidado del agua.

El tratamiento de aguas residuales y su venta a la industria representa una oportunidad para que las nuevas industrias utilicen estas aguas residuales, ya que SADM

cumple con las normas específicas, lo que permitiría reducir la extracción de agua subterránea.

Oro punto importante el incremento de la tarifa del agua de agua que el Consejo de administración del agua aprobó, este hecho es relevante porque ya incluye un costo adicional (30 centavos por m³) para la restauración de cuencas, gestionado por la Secretaría del Medio Ambiente del estado. Este es uno de los hallazgos más importantes, ya que beneficia las zonas de recarga de los acuíferos, al mantener una cobertura sana.

Otro punto importante a destacar son los efectos del cambio climático en la región, los acuíferos se encuentran en una zona semiárida con altas temperaturas en verano, un período en el que la precipitación es escasa. Además, el PNCM contiene una gran cantidad de materia orgánica (combustible natural), lo que puede provocar incendios repentinos. Por esta razón, la CONANP prioriza los programas de prevención y control de incendios forestales. Actores como el FAMM, CONANP, PyVS y Pronatura Noreste colaboran en el PNCM, que, como ya se mencionó, es la principal fuente de producción de agua que abastece a la ciudad. Sin embargo, el crecimiento humano en la región representa una amenaza significativa para las 29 ANP. Por ejemplo, en el PNCM y en áreas como Cerro de Fraile y La Mota, se encuentran fincas, minas y campos de golf. Además, existe una debilidad en la protección de las ANP debido a cambios en las políticas de gestión ambiental, como en el caso de Cerro La Mota, y la falta de personal suficiente en las instancias ambientales dificulta el monitoreo adecuado de las 29 ANP.

Otro punto a destacar es son los COTAS. Ante la crisis hídrica que atravesó el AMM demandó respuestas institucionales urgentes. La creación del COTAS representa una oportunidad para transformar la gestión del agua subterránea. Si bien su implementación se encuentra contemplada en el PHR de la cuenca, diversos factores como la pandemia y la crisis hídrica han retrasado su puesta en marcha. Se considera fundamental que su implementación priorice la transparencia y la rendición de cuentas, asegurando que su funcionamiento no esté sujeto a intereses económicos. Además, es esencial que los profesionales involucrados estén altamente capacitados no solo en ciencias

geohidrológicas, sino también en ciencias sociales, con el objetivo de formar un órgano interdisciplinario. Este órgano debe ser un pilar para garantizar, en primer lugar, el equilibrio del acuífero, seguido de su recuperación, y finalmente, hacer sostenible el recurso.

La cooperación entre la industria y SADM está estrechamente relacionada con el tipo de gobernanza multinivel que se implementa. Las transacciones administrativas, como la cooperación y la coordinación, son características de la gestión del agua en el AMM, aunque no siempre se aplican en el manejo de las aguas subterráneas. No obstante, la colaboración en la gestión de estas aguas ha estado dirigida a la recuperación y conservación de la cuenca alta del río San Juan, impulsada por el FAMM con el apoyo del BID y TNC. Se considera que el FAMM es una organización fundamental debido a los recursos económicos que aporta para la restauración de cuencas. Aunque esta iniciativa demuestra el compromiso del sector industrial con la protección del medio ambiente, se sugiere que las empresas del AMM adopten una extracción menos agresiva, reduciendo temporalmente los niveles actuales y utilizando agua residual tratada en sus procesos sin comprometer la calidad del producto.

Finalmente, la cooperación entre la industria y los usuarios agrícolas se vuelve más evidente en tiempos de crisis, lo que convierte los acuerdos alcanzados por CONAGUA y la industria para abastecer al AMM en una experiencia de colaboración, pero también en una aplicación de la ley siguiendo el orden de prelación. Durante la crisis y emergencia nacional del agua en 2022, la industria se vio obligada a colaborar, proporcionando agua para la población. Esta cooperación fue más una transacción administrativa enfocada en cumplir con la ley, lo que tal vez no benefició tanto a la industria. Sin embargo, en el caso de los distritos de riego Las Lajas y El Chapotal, se estableció un tipo de cooperación al transferir la mitad de sus derechos de agua para uso público urbano, a cambio del entubamiento del canal y la tecnificación del distrito de riego Las Lajas. Este modelo de cooperación debería extenderse a otros usuarios con el objetivo de recuperar concesiones y agua, evitando así la sobreexplotación de los acuíferos.

DISCUSION Y RECOMENDACIONES

La falta de un monitoreo continuo de los niveles piezométricos representa un problema significativo en la gestión del agua. La carencia de datos precisos sobre la extracción real de los acuíferos genera incertidumbre. Según Carrillo (2016), existe una comprensión limitada del funcionamiento de las cuencas, y se sabe aún menos sobre las aguas subterráneas. En el acuífero del AMM, se han registrado abatimientos de entre 1 y 14 metros, de acuerdo con datos medidos por Conagua. Sin embargo, estos datos no se han actualizado desde 2014. Una de las razones citadas por Conagua es la falta de presupuesto para contratar personal capacitado. De manera simplista, las autoridades de Conagua mencionan que el organismo operador de agua realiza un monitoreo constante y, en ocasiones, comparten los datos con ellos. En este sentido, se cree que podría dar lugar a interpretaciones erróneas y a un aumento de la corrupción, ya que Conagua, siendo la autoridad competente para realizar el monitoreo, actualmente cuenta con solo dos inspectores para toda la región del Organismo de Cuenca del Río Bravo, según lo mencionado por Conagua. Además, la existencia de pozos clandestinos es otro problema. Personal de SADM ha señalado que durante la crisis de 2022 se clausuraron varios pozos ilegales, algunos de los cuales habían sido desviados por usuarios agrícolas para regar sus parcelas, esta información concuerda con García (2022).

Resulta llamativo que solo en situaciones de crisis hídrica se haya vinculado las autoridades para detectar delitos relacionados con el agua. Esta reacción conjunta de Conagua, SADM y la Secretaría del Medio Ambiente de Nuevo León evidencia la necesidad de declarar estados de emergencia para impulsar acciones concretas. De lo contrario, delitos como el desvío de agua pasan desapercibidos.

Por otro lado, la emisión de nuevas concesiones para el uso del agua en AMM, a pesar de las vedas impuestas sobre los acuíferos, pone de manifiesto las deficiencias de la LAN. La autorización de concesiones sobre acuíferos sobreexplotados revela la existencia de intereses particulares que operan al margen de la ley y socavan los esfuerzos por garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico. En este sentido, la Conagua afirma que no

se otorgan nuevas concesiones, sino que se expiden prórrogas. Esto significa que los títulos de agua vencidos pueden ser renovados si se solicita con una anticipación de entre 6 meses y 2 años, debido a que los titulares ya tienen un derecho establecido. Además, se puede perforar un nuevo pozo si el volumen de agua del pozo original no cumple con el gasto, permitiendo así la reubicación y perforación de pozos. Por lo que según la Conagua no son nuevas concesiones si no solo nuevos títulos.

En este sentido, la Conagua ha sido objeto de diversas críticas debido a su debilidad institucional, caracterizada por una falta de recursos humanos y financieros, además han sido jaqueadas sus instalaciones y sufrieron la quema de sus oficinas donde se perdieron muchos títulos de concesión. Estas deficiencias se han visto agravadas por las múltiples funciones asignadas a la organización como lo menciona Domínguez (2019), lo que ha limitado su capacidad para hacer frente a los desafíos de la gestión hídrica. La sobreexplotación de los acuíferos, la mala calidad del agua y la falta de vigilancia en el cumplimiento de las normas ambientales, el sobre-concesionamiento de los acuíferos, acompañado de una débil regulación y vigilancia, se ha identificado como uno de los principales factores que atentan contra la seguridad hídrica del país. De acuerdo con la ONU (2013), la seguridad hídrica se define como la capacidad de una población para preservar el acceso sostenible al agua. Bajo este concepto, en esta investigación se cree que dicha capacidad es el resultado de la educación y el conocimiento de los flujos subterráneos, de lo contrario, la sustentabilidad del agua subterránea está en peligro según lo refieren Domínguez y Carrillo-Rivera (2007), así como de una participación efectiva en los temas relacionados con el agua. Esto implica que la toma de decisiones debe basarse en un entendimiento previo, sobre el funcionamiento de las aguas subterráneas, un aspecto que aún no se comprende completamente. Aunado a esto la seguridad hídrica se encuentra amenazada por el cambio climático y la urbanización en el AMM. Por lo tanto, se cree que alcanzar la seguridad hídrica demanda un esfuerzo conjunto de todas las instituciones involucradas. Para ello es necesario diseñar e implementar estrategias que aborden las presiones sobre los recursos hídricos, tanto naturales como humanas, como lo menciona

Cortez (2021) con el objetivo de asegurar que todas las personas tengan acceso a agua de calidad en cantidad suficiente, en el momento adecuado y a un costo asequible.

Sin embargo alcanzar la calidad y cantidad, depende de las concisiones físicas del recursos, pero también de las adaptaciones sociales por las instituciones, por ejemplo Consejo de administración del agua de SADM aprobó el reúso potable indirecto del agua para abastecer a la ciudad inscrita en el acta 257, esta medida, se va adaptar porque según el incremento de población en 2025 será de 17500 peronas, de tal manera que con este uso aporten a la ciudad 2.5 m³/s. Este porceos consisten en el tratamiento terciario en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Dulces Nombres, conducción hasta el arroyo la Chueca y tratamiento terciario en la potabilizadora La Boca.

Considero que estos elementos describen la seguridad hídrica como un ideal teórico que podría alcanzarse si se aplicaran sistemas socio ecológicos adaptativos en la gestión del agua. Esto sería posible a través de un trabajo transdisciplinario, como sugiere Ostrom, reconociendo que se trata de un sistema interconectado, como menciona Huggins (2023), lleno de incertidumbre. Por lo tanto, es esencial comprender que la gestión social, política e institucional del agua no es un proceso lineal, sino un sistema abierto en constante cambio. Esto requiere adaptaciones institucionales que permitan equilibrar la extracción y la recarga de los acuíferos, para alcanzar la seguridad hídrica y cumplir con el derecho a un medio ambiente sano. Para lograrlo se considera necesario que existan acuerdos entre usuarios para hacer fuente a los próximos años, ya que el RUC (acuíferos) en la región es un recurso altamente competidos, con bajos niveles de cooperación y altamente excluyente. Evidentemente, las adaptaciones no son las misma en el campo que para la ciudad, sin embargo la reducción en los consumo de agua es una medida necesaria. En el caso del AMM en promedio se consume 140 litros por persona al día, aunque en municipios como San Pedro puede llegar hasta 233 litros por persona, muy por arriba del esperado de los 100 litros esperados por la ONU. En este aspecto, se considera que SADM y el departamento de cultura del agua deben liderar acciones de educación ambiental para que la población valore y proteja las aguas subterráneas, esenciales desarrollo económico y social. Además, es fundamental incluir materias sociales en las ingenierías, ya que estas predominan en la

gestión del agua. Por lo que es importante implementar programas de educación ambiental que promuevan la comprensión de los procesos hidrológicos, diferenciando entre aguas subterráneas, superficiales y zonas de recarga. Asimismo, es necesario integrar un enfoque apropiación del territorio en la planeación hídrica, que reconozca la identidad de la ciudad no solo se construye a partir del trabajo y la prosperidad económica, sino también de nuestra relación con el medio ambiente.

Por otra parte SADM ha logrado tratar la totalidad de las aguas residuales del AMM, pero solo se vende el 9% de esta agua tratada, lo que representa una gran oportunidad para que la industria adopte el uso de agua reciclada. También se podría considerar que LAPYSPENL pueda exigir que la nueva industria utilice agua tratada, así como la agricultura, parques, jardines y campos de golf implementando así un modelo de economía circular que contribuiría a la recuperación del acuífero, aunque la ley menciona que después del término de su vigencia de concesión, algunas empresas especificadas en el artículo 126 bis deberán transitar al modelo de uso de agua residual tratada.

Por otra parte, el cobro por estudios de factibilidad, aunque destinado a infraestructura, no refleja el verdadero valor del agua subterránea y su importancia para los ecosistemas. Sin embargo una de las acciones para garantizar la sostenibilidad hídrica fue destinar 30 centavos por metro cúbico de agua consumida a la restauración de cuencas hidrográficas y la conservación de ecosistemas forestales. Aunque inicialmente la cuota es voluntaria, este paso es fundamental debido al fondo de inversión permanente para la protección de las fuentes de agua. Estas acciones representan un avance significativo; sin embargo, se considera necesarias acciones más allá de la conservación y reforestación, se requiere encontrar mecanismos que hagan participen todos los usuarios de la cuenca. Las zonas altas de la cuenca, aunque generalmente deshabitadas, enfrentan un alto riesgo de incendios debido a la presencia de turismo local. Además, el cambio climático ha incrementado la incidencia de incendios naturales, ya sea por la acumulación de material combustible o por la caída de rayos, como se ha visto en los últimos incendios que han afectado una gran parte de la superficie. Esto resalta la necesidad de un monitoreo constante e inversión en tecnología para mitigar estos riesgos.

La crisis hídrica que atraviesa Nuevo León demanda una respuesta institucional urgente. La creación del COTAS representa una oportunidad para transformar la gestión del agua subterránea. Si bien su implementación se encuentra contemplada en el PHR de la cuenca, diversos factores como la pandemia y la crisis hídrica han retrasado su puesta en marcha. Se considera fundamental que su implementación priorice la transparencia y la rendición de cuentas, asegurando que su funcionamiento no esté sujeto a intereses económicos. Además, es esencial que los profesionales involucrados estén altamente capacitados no solo en ciencias geohidrológicas, sino también en ciencias sociales, con el objetivo de formar un órgano interdisciplinario. Este órgano debe ser un pilar para garantizar, en primer lugar, el equilibrio del acuífero, seguido de su recuperación, y finalmente, hacer sostenible el recurso.

Bibliografía

- Aguilar, I., & Ramírez, A. (2021). *Agua para Monterrey. Logros retos y oportunidades*. Monterrey, Nuevo León, México.
- Aguilar, Ismael; Monforte, Gabriela. (primer semestre de 2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad. El caso del área metropolitana de Monterrey. *Gestión y Política Pública*, 27(1), 149-179. Recuperado el 13 de 12 de 2023
- Balcazar, P., López Fuentes, G. A., Gurrola, G., & Moysén, A. (2013). *Investigación cualitativa*. Toluca, Estado de México: UAEM.
- Banco Mundial. (03 de 04 de 2023). *Grupo Banco Mundial*. Obtenido de Desarrollo Urbano: <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Barca, F. (2009). *AN AGENDA FOR A REFORMED COHESION POLICY. A place-based approach to meeting European Union challenges and expectations*.
- Barranco, A. R. (2018). *El agua subterránea y su importancia socioambiental*. El Colegio de San Luis. El Colegio de San Luis.
- Biarnes, A., & Hoffmann, O. (1995). Manejo de vertiente en la Sierra Madre oriental : la explotación del gradiente altitudinal y del diferencial agroecológico. En E. Boege Schmidt, H. García Campos, P. Jerez Heranadez, & coord., *Alternativas al manejo de laderas en Veracruz* (págs. 49-66). Mexico: Semarnap. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/32973368>
- Binder, C., Hinkel, J., Bots, P., & Pahl-Wostl, C. (2012). Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18(14). Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/26269404>
- Bouchet, L., Martin, C. T., & Parsons, M. (2019). Groundwater as a social-ecological system: A framework for managing groundwater in Pacific Small Island Developing States. *Groundwater for Sustainable Development*, 579-589. doi:doi:10.1016/j.gsd.2019.02.008
- Breña Naranjo, A. (2022). *Monterrey y su día cero*. IMTA. doi:doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-27
- Bretas, F., Casanova, G., Crisman, T., Embid, A., Martin, L., Miralles, F., & Muñoz, R. (2019). *AGUA PARA EL FUTURO DE MEXICO. Estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe* (Vol. vol 1). BID.
- Briseño Ramirez, H. (2011). *Análisis Institucional del problema del agua en la Ciudad de Hermosillo*. El Colegio de Sonora. doi:<https://repositorio.colson.edu.mx/handle/2012/44549>
- Caballero, G., Ballesteros, M., & Fernandez Gonzalez, R. (2015). La economía política de Elinor Ostrom: análisis institucional, comunes y gobernanza policéntrica. *Revista Española de Ciencia Política*(38), 13-40.

- Caballero, Gonzalo;. (2011). Economía de las instituciones: de Coase y North a Williamson y Ostrom. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*(77), 14-51. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/metricas/documentos/ARTREV/3710009>
- Cantú Ayala, C., Uvalle Saucedo, J., Gonzalez Saldivar, F., & Herrea Fernandez, B. (noviembre-diciembre de 2018). Evaluación del grado de conservación de las cuencas hidrográficas de Nuevo León, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 140-167. doi:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.263>
- Cantú, C., Gracia, J., Murguía, M., Leal, L., Chapa, L., González, D., . . . Hinojosa, P. (2013). Percepción Social sobre los Servicios Ambientales. En en: Cantú-Ayala et al. (eds.), *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey* (págs. 261-273). México.: UANL-CONANP.
- Carbias, J., & Landa, R. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. 1ra edición.
- Carrillo-Rivera, J., & Ouyse, S. (2012). Groundwater Salinity due to Urban Growth. En R. Edior Meyers, *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (págs. 4805-4818).
- Castilla-Rho, J., Rojas, R., Andersen, M., Holley, C., & Mariethoz, G. (2018). Sustainable groundwater management: How long and what will it take? *Global Environmental Change*, 58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101972>.
- CONAGUA. (2021). *Estadísticas del Agua en México*: Semarnat.
- CONAGUA. (2021a). Programa Hídrico Regional 2021-2024 Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo. CDMX, México.
- CONAGUA. (2023). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero área metropolitana de monterrey (1906), estado de nuevo león*. Ciudad de México.
- CONAGUA. (2023a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero campo buenos aires (1907), estado de nuevo león*. Ciudad de México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2023b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Campo Mina (1908), estado de nuevo león*. Ciudad de México.
- CONAGUA. (2023c). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero cañón del Hujuco (1911), estado de nuevo león*. Ciudad de México: CONAGUA.
- CONAGUA. (30 de 04 de 2024). *Suspensión Provisional de Libre Alumbramiento*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/articulos/el-agua-en-la-constitucion#:~:text=En%20el%20art%C3%ADculo%204%2C%20p%C3%A1rrafo,%2C%20salubre%2C%20aceptable%20y%20asequible>.
- CONANP. (2014). *Programa de Manejo Monumento Natural El Cerro de la Silla*. Semarnat: México. Obtenido de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Corrales, S., & Vera, J. (2020). Industrialización del agua y producción de cerveza en Monterrey. *Revista semestral se ciencias Sociales y humanidades*(23), 314-348. doi:<https://orcid.org/0000-0002-3774-6653>

- Cortez Lara, A., Donovan, M., & Whiteford, S. (2009). The All-American Canal Lining Dispute: An American Resolution over Mexican Groundwater Rights. *Frontera Norte*, 21(41), 127-150. Recuperado el 01 de 01 de 2024
- Cortez, A. (2021). avanzando hacia la seguridad del agua transfronteriza Mexicali- San Luis Rio Colorado. En J. Castro, A. Cortez Lara, & V. Sanchez, *Visiones contemporáneas de la cooperación y la gestión de agua en la frontera México-Estados Unidos* (págs. 83-113). Tijuana: El Colef.
- Cortez, A. A. (2011). Gestión y manejo del agua: el papel de los usuarios agrícolas del Valle de Mexicali. *Revista Latinoamericana de Economía*, 42(167), 71-95. doi: <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2011.167.27749>
- Cortez, A. A. (2023). *Transboundary Water Conflict in the Lower Colorado River Basin. Mexicali and salinity and the All American Canal Liini Crises*. Tijuana, México: Colef.
- Cortez-Lara, A., Kaplowitz, M., & Kerr, J. (2014). Local stakeholder participation in transboundary water management: lessons from the Mexicali Valley, Mexico. *International Journal of Water*, 8(1).
- Custodio, E. (2000). *USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. THE COMPLEX CONCEPT OF OVEREXPLOITED AQUIFER*. Madrid: Fundacion Marcelino Botin.
- Dalin, C., Wada, Y., Kastner, T., & J. Puma, M. (2017). Groundwater depletion embedded in international food trade. *Nature*(543), 700-7004. doi:<https://doi.org/10.1038/nature21403>
- Dávila Poblete, S. (2006). *El poder de agua; participación social o empresarial? México, experiencia piloto del neoliberalismo para América Latina*. México D.F: Itaca.
- De la Garza Garza, C. M. (1998). *El agua y la sociedad : abastecimiento y contaminación del agua en el área metropolitana de Monterrey, N.L. Maestría thesis*. Monterrey, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- De la Mora, G., Sanjez-Nupa, L., Castro-Torres, B., & Galicia, L. (2021). Sustainable Community Forest Management in Mexico: An Integrated Model of Three Socio-ecological Frameworks. *Environmental Management*, 68, 900-913. doi:<https://doi.org/10.1007/s00267-021-01512-8>
- De la Mora, Gabriela. (2020). *Gobernanza ambiental. conservación de áreas Naturales Protegidas urbanas y servicios ambientales*. 2020: UNAM.
- Díaz Cervantes, R., Bravo, L., Alatorre, L. C., & Sanchez, E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013(82). doi:<https://doi.org/10.14350/riig.32452>
- Domínguez, J. (2019). *La Política del agua en México*. CDMX: El Colegio de México.
- Domínguez, Judith; Carrillo-Rivera, Joel J. ;. (2007). El agua subterránea como elemento de debate en la Historia de México. En A. Meyer, *México en tres momentos*:. México: UNAM.
- Douglas, N. (1993). *Insituciones, cambio institucional y desempeño económico*. Mexico: FCE.
- Escobar, S. (24 de 01 de 2024). Monterrey prepara más de 200 naves industriales para el nearshoring. *El economista [en línea]*.

- Esparza, L., Valdés, C., Cantú, P., & De la Mora, G. (2014). Historia de las crisis del agua en el área metropolitana de Monterrey (AMM),. *CienciaUANL*(67), 37-51. Obtenido de <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=1716>
- Esparza, M. (2013). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia [online]*(89), 193-219. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008&lng=es&nrm=iso
- Etikala, B., Narsimha, A., Madhav, S., & Gowd, S. (junio de 2021). *Salinity Problems in Groundwater and Management Strategies in Arid and Semi-arid Regions*. doi:DOI: 10.1002/9781119709732.ch3
- FAMM. (2016). *Plan Hídrico Nuevo León 2050*. Monterrey.
- Flores Longoria, S., & Maldonado, E. (2009). *Nuevo León. La odisea del Agua*. Monterrey, Nuevo León, Mexico: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A., Reyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3). Recuperado el 28 de 11 de 2024, de <https://www.jstor.org/stable/26269981>
- Foro Permanente de Aguas Binacionales . (06 de 05 de consulta 2024). *El agua nos une*. Obtenido de Alerta hídrica en Monterrey: la expansión urbana y agrícola reducen zonas de recarga acuífera: <https://www.binationalwaters.org/es/alerta-hidrica-en-monterrey-la-expansion-urbana-y-agricola-reducen-zonas-de-recarga-acuifera/>
- Foster, Stephen; Garduño, Héctor; Kemper, Karin. (04 de 2004). The 'Cotas' : Progress with stakeholder participation in groundwater management in Guanajuato : Mexico - Los 'Cotas' : Avances en la gestion participativa del agua subterránea en Guanajuato (Spanish). (B. M. Group, Ed.) *GW MATE case profile collection*. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/784481468278736418/Mexico-Los-Cotas-Avances-en-la-gestion-participativa-del-agua-subterránea-en-Guanajuato>
- García, M., Uvalle, J., Cantú Ayala, C., González, F., & Marmolejo, J. (2021). Cambios de usos de suelo y vegetación en cuencas hidrográficas de Nuevo León, México. *CIENCIA UANL*(105).
- García, J. (21 de 07 de 2022). Descubren mercado negro del agua en Nuevo León; roban miles de pozos ilegales. *El Mañana*. Obtenido de <https://elmanana.com.mx/nacional/2022/7/21/descubren-mercado-negro-del-agua-en-nuevo-leon-roban-con-miles-de-pozos-ilegales-79197>
- García, S. (08 de 05 de 2023). El desastre en Conagua: incendios, hackeos y corrupción. *El Universal*, pág. en línea. Recuperado el 29 de 07 de 2024, de <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/salvador-garcia-soto/el-desastre-en-conagua-incendios-hackeos-y-corrupcion/>
- Gaytán, S. (24 de 05 de 2023). En Línea. Disminuyen taponamientos de drenaje por tirar aceites. *ABCNOTICAS*. Obtenido de <https://abcnoticias.mx/local/2023/5/24/disminuyen-taponamientos-de-drenaje-por-tirar-aceites-189619.html>

- Gleeson, T., & Richter, B. (2018). How much groundwater can we pump and protect environmental flows through time? Presumptive standards for conjunctive management of aquifers and rivers. *River Res Applic.*(34), 83-92. doi:<https://doi.org/10.1002/rra.3185>
- Gobierno, S. I. (s/f). *Proposición con punto de acuerdo, para exhortar a la Conagua a determinar los volúmenes a trasvasar de la presa el Cuchillo a la presa Marte R. Gómez.* doi:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2022/11/asun_4447116_20221123_1669254240.pdf
- Grey, D., & Sadoff, C. (2006). Documento Temático. Agua para el crecimiento y el desarrollo. Documento Temático. *IV Foro Mundial del Agua, Comisión Nacional del Agua y Consejo Mundial del Agua* (pág. 70). Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua y Consejo Mundial del Agua. Obtenido de Foro Mundial del Agua, Comisión Nacional del Agua y Consejo Mundial del Agua.
- Guillermo , N. B. (2016). *Tesis: SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA EN RÍOS CONTAMINADOS, A PARTIR DE DATOS DE MONITOREO PUNTUALES.* Monterrey : UANL.
- Hatch, G., Schmidt, S., & Carrillo-Rivera, J. (02 de 07 de 2020). La retórica sobre el agua subterránea en México. *ContraLinea*. Obtenido de <https://contralinea.com.mx/analisis/social/la-retorica-sobre-el-agua-subterranea-en-mexico/>
- Heranandez Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigacion*. Mc Graw Hill.
- Huggins, X., Gleeson, T., Castilla-Rho, J., Holley, C., Re, V., & Famiglietti, J. (16 de 03 de 2023). Groundwater Connections and Sustainability in Social-Ecological Systems. *Ground Water*, 61(4), 463-478. doi: <https://doi.org/10.1111/gwat.13305>
- Hynds, P., Regan, S., Andrade, L., Mooney, S., Malley, K., Di Pelino, S., & O'Dwyer, J. (2018). Muddy Waters: Refining the Way Forward for the “Sustainability Science” of Socio-Hydrogeology. *Water*, 10. doi:10.3390/w10091111.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y. Vivienda 2000.
- INEGI. Censo de Población y. Vivienda 2010.
- INEGI. Censo de Población y. Vivienda 2020.
- INEGI. (2001). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie II (continuo nacional).* Obtenido de http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250ks2gw
- INEGI. (2016). *Conociendo Nuevo León.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825215231.pdf
- INEGI. (2017). *Estadísticas a propiosto de la actividad de la elaboración de la cerveza.* Obtenido de <https://www.cervecerosdemexico.com/wp-content/uploads/2017/08/estadisticas-a-proposito-de-la-elaboracion-de-la-cerveza.pdf>

- INEGI. (2020a). *Presentación de resultados. Nuevo León*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/cpv2020_pres_re_s_nl.pdf
- INEGI. (2022). *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI Landsat, 1984-2021*. 2022. Aguascalientes: INEGI. doi:https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463908272.pdf
- INEGI. (2023). *PRODUCTO INTERNO BRUTO POR ENTIDAD FEDERATIVA (PIBE)*. Aguascalientes: INEGI. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/>
- infobase. (22 de 06 de 2022). Concesiones para industrias y unidades habitacionales provocaron el desabasto de agua en Nuevo León: AMLO. *Infobase*, pág. en línea. Recuperado el 23 de 04 de 25, de <https://www.infobae.com/america/mexico/2022/06/22/concesiones-para-industrias-y-unidades-habitacionales-provocaron-el-desabasto-de-agua-en-nuevo-leon-amlo/>
- Jiménez, J., Yerena, I., Aguirre, O., & Alanís, E. (2013). Cambio Climático. En en: Cantú-Ayala et al. (eds.), *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey* (págs. 325-334). Monterrey: UANL-CONANP. México.
- Koleff Osorio, P., Ruiz González, S., Urquiza Haas, T., & Tobón, W. (2013). Capital Natural, Áreas Protegidas Prioridades de Conservación en el Noreste de México. En C.-A. e. (eds), *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México*.
- LEGEEPA. (Última reforma publicada DOF 01-04-2024). *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*.
- Leyronas, S., Maurel, F., Rojat, D., & Giraud, G. (2017). *Toward an Analytical Framework for the Governance of Natural Resources: The Case of Groundwater*. World Development Report 2017, Governance and the Law.
- López Naranjo, D., & Luyando Cuevas, J. (2018). Los efectos de la contaminación petrolera en el desarrollo de comunidades ejidales: el caso de la cuenca del río San Juan, NUEVO LEÓN, México. *Investigación y Desarrollo [en línea]*, 26(1), 93-124. Recuperado el 10 de 09 de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-32612018000100092&lng=en&nrm=iso
- Magaña, V., Herrera, E., Ábrego-Góngora, C. J., & Avalos, J. A. (2021). Socioeconomic Drought in a Mexican Semi-arid City: Monterrey Metropolitan Area, a Case Study. *Front. Water*, 3. doi:doi: 10.3389/frwa.2021.579564
- Magaña, V., Méndez, B., Neri, C., & Vázquez, G. (enero-abril de 2018). El riesgo ante la sequía meteorológica en México. *INEGI. Realidad, Datos y Espacio Revista Internaiconal de Estadística y Geografía*, 9(1), 1-102.
- Maldonado, O. (26 de 07 de 2022). Pozos de la Macroplaza han sido una fuerte decepción: Agua y Drenaje de Monterrey. *Milenio*, pág. en línea. Recuperado el 02 de 05 de 2024, de <https://www.milenio.com/sociedad/pozos-macroplaza-decepcion-agua-drenaje-monterrey>

- Marañón , B. (2010). *Agua Subterránea. Gestión y Participación Social en Guanajuato: Coord. Boris Marañón Pimentel*. Instituto de Investigaciones Económicas UNAM Ciudad de México: Juan Pablos Editor.
- Martínez, G. (2018). (Tesis) *Caracterización Geológica del río Santa Catarina como base para la elaboración de estudios ambientales de contaminación y abastecimiento de agua potable para el área metropolitana de Monterrey*. Monterrey: UANL. Recuperado el 01 de 04 de 2023, de <http://eprints.uanl.mx/16176/>
- Matínez Solís, A. (2016). *Tesis: Impacto de la Sequia en el acuífero del centro de Producción (CPA), Linares, Nuevo León*. Linares NL: UANL.
- McGinnis, M., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2), 12 page. Recuperado el 01 de 05 de 2023, de <https://www.jstor.org/stable/26269580>
- Monforte García, G., Aguilar Benítez, I., & González Gaudiano, E. (2012). Limitaciones de una gestión sectorizada de la sustentabilidad del agua. *Revista Bitácora Urbano Territorial [en línea]*(20 (1)), 53-63. Recuperado el 14 de 08 de 2024, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74824041006>
- Nava, D., Santos, M., Lopez-Chuken, U., Vargas-Perez, M., Valdes Gonzalez, A., Rivas Solis, L., . . . Luna, H. (2020). Heavy metals (lead, cadmium and zinc) from street dust in Monterrey, Mexico: ecological risk index. *International journal of Environmental Science and Technology*(17), 3231–3240. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-020-02649-5>
- OCDE. (2015). *Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE*. OCDE. Centro de Emprendimiento, PYMES, Regiones y Ciudades .
- ONU. (13 de 12 de 2021). *ONU programa del medio ambiente*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/las-ciudades-de-america-latina-y-el-caribe-pueden>
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *science*, 419-422.
- Ostrom, E. (2014). Beyond markets and states: Polycentric governance of complex economic systems. *La Revista Mexicana de Sociología*, 76(especial), 15-70.
- Ostrom, Elinor. (2007). Challenges and growth: the development of the interdisciplinary field of institutional analysis. *Journal of Institutional Economics*, 3(03), 239-264. doi:10.1017/S1744137407000719
- Pacheco-Vega, R. (2014). *revista Scielo*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rms/v76nspe/v76nspea6.pdf>
- Palacio-Prieto, J. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones geográficas*(43), 183-203. Recuperado el 01 de 25 de 2023
- Peñuela , L., & Carrillo Rivera, J. (2012). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*(18), 18-32.
- PNOTDU. (s.f.). Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2021-2024., (pág. 114). Obtenido de

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/643102/PNOTDU_VERSION_FINAL_28.05.2021-comprimido.pdf
- Pulido, A. (2001). Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible. Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas. 115-132. doi:ISBN 84-8108-240-6
- Quijas, S., & Balvanera, P. (2014). Biodiversidad y servicios ambientales. En M. Perevochtchikova, *Pago por servicios ambientales en México. Un acercamiento para su estudio* (págs. 41-64). CDMX: El Colegio de México.
- Ramírez, J., & Oesterreich, D. (2013). Desarrollo Geológicos: de continentes ancestrales y océanos a Sierras. En C. A. (eds.), *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (págs. 59-77). México: UANL-CONAP.
- Ramos, E., Bux, R., Medina, D., Barrios, H., & Mahlkecht, J. (2023). Spatial and Multivariate Statistical Analyses of Human Health Risk Associated with the Consumption of Heavy Metals in Groundwater of Monterrey Metropolitan Area, Mexico. *Water*, 15(1243). doi:<https://doi.org/10.3390/w15061243>
- Rathe. (2017). a sustentabilidad en los sistemas socioecológicos. *Utopía y Parxis Lationamericana*, 65-78.
- Rodríguez, E. (29 de 01 de 2024). *NDVI: Una herramienta clave en la planificación urbana*. Obtenido de Implan Torreón: <https://www.trcimplan.gob.mx/blog/2024/ndvi-una-herramienta-clave-ene-2024.html>
- Rolland, L., & Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis. En línea*, 6(2), 155-158. Recuperado el 21 de 07 de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-23332010000200006&lng=es&tlng=es.
- Ruiz-González, J., Calderón Piña, M., & Alanis, E. (2013). El Pago de los Servicios Ambientales. En c. I. México, *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (págs. 395-390). México.: UANL-CONANP.
- Sandoval, L. (11 de 07 de 2008). *¿Qué son y para qué sirven los Cotas?* Obtenido de Agua.org: <https://agua.org.mx/ique-son-y-para-que-sirven-los-cotas/>
- SARAS, I. (S/F). *Sistemas socioecológicos*. Obtenido de Instituto Sudamericano para Estudios sobre Resiliencia y Sostenibilidad: <https://saras-institute.org/es/inicio/>
- Schmid, A. (2004). *An Institutional Economics Perspective*. Michigan: Michigan State University.
- Secretaría de Economía. (2023). *Gobierno de México*. Obtenido de Data México: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/monterrey-991901>
- SADM (2023). Destaca AyD calidad y capacidad en tratamiento de aguas residuales. Recuperado de: https://www.sadm.gob.mx/SADM/Noticia.jsp?id_html=tratamiento_agua_residua_1
- SADM (2023a). Cuenta Pública 2023. Recuperado de <https://www.sadm.gob.mx/Pfiles/Uploads/Documentos/3043.pdf>
- SADM (2023b) AyD atiende problemas en drenaje sanitario y continúa recuperando agua de fugas. recuperado de: https://www.sadm.gob.mx/SADM/Noticia.jsp?id_html=combate_fugas_ciudad

- SEMARNAT. (1996). *NOM-001-SEMARNAT-1996*.
- SEMARNAT. (2003). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-014-CONAGUA-2003, REQUISITOS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN LOS ESTADO UNIDO MEXICANO*.
- SEMARNAT. (2013). *Cuencas Hidrograficas fundamentos y prespectivas para su manejo y gestión*. Ciudad e Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (17 de Novimebre de 2016). *Parque Nacional Cumbres de Monterrey*. Obtenido de Festeja 16 años como área natural protegida neoleonesa de alta biodiversidad.: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/parque-nacional-cumbres-de-monterrey>
- SEMARNAT. (11 de 03 de 2021). *Servicios ambientales o ecosistémicos, esenciales para la vida. Conocer su valor fomentará su cuidado y conservación*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/servicios-ambientales-o-ecositemicos-esenciales-para-la-vida?idiom=es>
- Seriña, F. (2013). La Sierra Madre Oriental y su Relación con Monterrey. En Cantú-Ayala et al. (eds.), *Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México* (págs. 9-14). México: UNAL-CONANP.
- Sharp, J. (2010). The impacts of urbanization on groundwater systems and recharge. *AQUA mundi*, 1(3). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Jack-Sharp-2/publication/285979203_The_impacts_of_urbanization_on_groundwater_systems_and_recharge/links/5733962608ae9ace84073e0e/The-impacts-of-urbanization-on-groun
- Soares, S. (2007). Crónica de un fracaso anunciado: la descentralización en la gestion del agua potable en México [online]. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 4(1), 19-37. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722007000100002&lng=es&nrm=iso
- Solis, B. (2023). *AGUAS SUBTERRÁNEAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. BID. Obtenido de <http://www.iadb.org>
- Sousa, E. (2008). El espacio urbano y su transformación metropolitana en la sobremodernidad. El caso Monterrey, N.L., México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 17(34), 168-203. Recuperado el 07 de 08 de 2024
- Staines Díaz, L. (2020). La identidad industrial de Monterrey y su derivación en los planteamientos urbanos. En C. J. Prieto, *ARQUITECTURA, ARTE Y CULTURA CONTEMPORANEA Viion desde la periferia* (págs. 178-188). Monterrey: UANL.
- Svendsen, M., Wester, P., & Molle, F. (2005). Managing River Basins: An Institutional Perspective. *Irrigation an River Bain magnamnet. Options for Governance and instituciones*(isbn9780851996721). doi:DOI:10.1079/9780851996721.0001
- UICN. (2020). *Acuíferos. Gestión sostenible de las aguas subterráneas*. San Jose,.

- Urquiza, A., & Cardenas, H. (2015). Socio-Ecological Systems: Theoretical and Conceptual Elements to Understand the Debate on Water-Related Vulnerability. *L'Ordinaire des Amériques*.
- Val Segura, R., Herrera, C., Martinez, P., & Aguilar, E. (2006). GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS, GIRH Taller 1. *PRE-ENCUENTRO UNIVERSITARIO DEL AGUA*. Morelos.
- Villanueva, Hipólito. (2018). *tesis doctoral: La Geopolítica del agua en Nuevo León y desarrollo sustentable*. Monterrey NL: UANL. Recuperado el 01 de 05 de 2023
- Villholth y Conti. (2017). *Groundwater governance: rationale, definition, current state and heuristic framework*. Nueva York, Nueva York, Estado Unidos: CRC PRESS.
- Vizcaya, I. (2006). *Los orígenes de la industrialización de Monterrey : una historia económica y social desde la caída del Segundo Imperio hasta el fin de la Revolución (1867-1920)*. Monterrey, N.L.: Fondo Editorial Nuevo León, ITESM,.
- WCED. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. ONU.
- WWF. (09 de 02 de 2021). *Los acuíferos, el agua que “no vemos”*. Obtenido de Por un futuro en el que los humanos vivan en armonía con la naturaleza.: <https://www.wwf.org.mx/?365850/Los-acuiferos-el-agua-que-no-vemos#:~:text=R%C3%ADos%2C%20lagunas%2C%20ci%C3%A9nagas%E2%80%A6,bajo%20tierra%20tambi%C3%A9n%20hay%20agua>.

Anexo 1 Cuestionario de la entrevista



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Programa de Maestría en Gestión Integral del Agua Unidad Monterrey, N.L.

La finalidad de esta entrevista es recompilar la opinión de expertos sobre el tema del agua en Monterrey, N.L. El uso que se le dará a la información es solo para fines de investigación académica.

Título: Procesos de gestión del agua que afectan la sostenibilidad de los acuíferos que abastecen el área metropolitana de Monterrey.

Responsable de la investigación: ~~Yasmin~~ Ramírez Pichardo.

Programa de Maestría en Gestión Integral del Agua Unidad Monterrey, N.L.

Objetivo: analizar los procesos de gestión del agua que afectan la sostenibilidad de los acuíferos Campos Buenos Aires, Cañón del Huajuco Y Área Metropolitana de Monterrey que abastecen al área metropolitana de Monterrey.

Entrevistas a actores clave

- ¿En cuál departamento se desempeña Ud.?
- ¿Cuántos años tiene trabajando en el departamento?
- ¿Cuál es su profesión?

Se busca conocer su perspectiva sobre la problemática de las aguas subterráneas

1. ¿En qué situación se encuentran los acuíferos de Nuevo León?
2. ¿Cuáles son las principales amenazas que afectan al acuífero?
3. ¿En qué situación se encuentran las zonas de recarga de los acuíferos?
- 4.-Para usted ¿Cuáles considera que son los costos de exclusión del acuífero?

Estas preguntas buscan dar respuesta a la pregunta dos sobre los usos y usuarios

5. ¿Cómo ha sido la relación con la inactiva privada y la secretaria del medio ambiente al abordar los impactos en las aguas subterráneas?
6. ¿Cómo ha sido la relación con el organismo operador de agua para abordar los impactos las aguas subterráneas o sus zonas de recarga?
7. ¿Cómo ha sido la relación con los municipios en el tema de crecimiento urbano y zonas de recarga?

Estas preguntas buscan dar respuesta a la pregunta tres sobre las instituciones

8. Cuáles son los acuerdos a los que han llegado con el organismo operador de agua de Monterrey para solucionar el tema de falta de agua en NL?
9. Cuáles son los mecanismos que se han desarrollado para llevar a cabo la gestión de zonas de recarga con otras instituciones?
10. ¿Cuáles son los planes o programas que han realizado para contribuir en la sostenibilidad de los acuíferos?

Estas preguntas buscan dar respuesta a la pregunta tres sobre las Organizaciones

11. ¿Considera usted necesaria la creación de nuevas organizaciones para contribuir a la gestión del agua subterránea en Nuevo León? ¿Por qué?
12. ¿Cómo puede contribuir la organización al impulso de la participación ciudadana en el tema de aguas subterráneas?

Otras preguntas

13. ¿Cada cuando se realizan monitoreo de niveles piezómetros para medir la capacidad?
14. ¿Considera viable la inyección de agua en los acuíferos en Nuevo León?
15. ¿De alguna manera cree que el cambio climático afecta la disponibilidad de los acuíferos o es más la presión social que se ejerce en ellos para tenerlos en el estado en el que se encuentran?

Otras preguntas



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



El Colegio
de la Frontera
Norte

16. A su consideración ¿Cuál es su propuesta para hacer sostenible los acuíferos?

17. Desde su punto de vista ¿cuáles son las actitudes y valores que tendría que tener la población de las aguas subterráneas?

18. ¿Cómo considera la calidad de agua del acuífero de Nuevo León?

19. De acuerdo a su opinión ¿cómo debería ser el manejo de los acuíferos para garantizar el abasto de la población a 5, 10 y 20 años?

¿Algo más que quiera agregar que considere importante?

Anexo 2 Disponibilidad media anual por acuífero 2003-2023

acuífero (1906) Área Metropolitana de Monterrey (millones de m ³ -anuales)											
Año	R	DNC	VCAS	VEXTET	DAS	VEALA	VAPTYR	DEFICIT	Nuevo Títulos de concesiones	Volumen (Mm ³ -a)	
2003	68.2	24.5	75.3	37.7	0	-	-	-31.6	31	155.55	
2007	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	14	0.52	
2009	68.2	24.5	106	37.7	0	0	0	-62.6	20	0.93	
2013	68.2	24.5	101	0	0	0	0	-57.3	32	1.26	
2015	68.2	24.5	100	37.7	0	0	0	-56.3	19	0.5	
2018	144	45.8	99.9	0	0	5.6	0	-7.57	55	4.15	
2020	144	45.8	102	0	0	7.39	0.01	-11.5	33	1.64	
2023	144	45.8	101	7.08	0	2.45	0	-12.4	6	1.51	
acuífero (1907) Campos Buenos Aires											
Año	R	DNC	VCAS	VEXTET	DAS	VEALA	VAPTYR	DEFICIT	Nuevo Títulos de concesiones	Volumen (Mm ³ -a)	
2003	SD	SD	SD	SD	SD	SD	-	-	SD	2	154.31
2007	57	0	62.7	62.4	0	-	-	-5.7	1	0.00086	
2009	57	0	62.7	62.4	0	-	-	-5.7	-	-	
2013	57	0	62.7	62.4	0	-	-	-5.7	1 (2012)	0.001	
2015	57	0	62.8	0	0	-	-	-5.8	1 (2014)	0.00109	
2018	57	0	62.8	0	0	-	-	-5.8	-	-	
2020	57	0	62.8	0	0	-	-	-5.8	-	-	
2023	57	0	62.8	0	0	0.08	-	-5.9	2 (2022)	0.037702	
Acuífero (1911) Cañón del Huijaco											
Año	R	DNC	VCAS	VEXTET	DAS	VEALA	VAPTYR	DEFICIT	Nuevo Títulos de concesiones	Volumen (Mm ³ -a)	
2003	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	13	154.37
2007	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	12	0.012
2013	34.3	0	28.4	0.8	5.92	-	-	0	9	0.122	
2015	26.8	0	28.6	0.8	0	-	-	-1.75	14	0.034	
2018	26.8	0	28.7	-	-	0	0.03	-1.89	6	0.154	
2020	26.8	0	28.7	-	-	0	0.03	-1.93	4	0.055	
2023	26.8	0	28.7	0	0.03	0.28	0	-2.19	350	0.00035	
Acuífero (1908) Campo Mina											
Año	R	DNC	VCAS	VEXTET	DAS	VEALA	VAPTYR	DEFICIT	Nuevo Títulos de concesiones	Volumen (Mm ³ -a)	
2003	24	0	0	35.5	SD	SD	SD	-6.8	6	154.37	
2007	24	0	31.7	35.5	SD	1	SD	-7.7	1	0.098	
2009	24	0	30.7	35.2	SD	SD	SD	-6.65	4 (2012)	0.25	
2013	24	0	30.9	35.2	SD	SD	SD	6.88	2	0.007	
2015	24	0	31.2	35.2	SD	SD	SD	-7.22	2	0.0024	
2018	24	0	30.8	SD	SD	SD	SD	-7.07	1 (2017)	0.0045	
2020	24	0	31.1	SD	SD	SD	SD	-7.07	5	0.006	
2023	24	0	31.1	SD	SD	SD	SD	-7.07	-	-	

Anexo 3 Estructura de las entrevistas

Preguntas de investigación	Preguntas del instrumento	Tema central	CONAGUA	SADM	PRONATURA	CCRB	PyVS	CONANP
Pregunta 1 características físicas, sociales y económicas del área de estudio: Acuíferos y AMM	Preguntas 1, 2, 3 y 4	<ul style="list-style-type: none"> perspectiva personal del estado de los acuíferos Amenazas y exclusiones Costos ambientales por excluir al acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento demográfico Sobre explotación Contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> Sequia Crecimiento demográfico Contaminación cambian la pendiente y cambia la forma de escurrimiento del agua 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento demográfico Contaminación Impacto por la intensidad con la que llegan los huracanes Perdida de suelo Degradación de la cuenca 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento demográfico Sobre explotación Sequia Cambio climático Contaminación Buscar fuentes externas más costosas 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento demográfico impactos ambientales y sociales por la presa rompemos 	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento demográfico deforestación incendios provocados por el humano, y naturales
Pregunta 2 usuarios que comparten el agua	Preguntas 5, 6 y 7	<ul style="list-style-type: none"> El quehacer de los usuarios y actores usuarios 	<ul style="list-style-type: none"> Pozos de la industria los convenios como industrias y agricultores 	<ul style="list-style-type: none"> Acuerdo con la industria distrito de Riego Las Lajas y el Chapotal Inversión en tecnología 	La colaboración se ha dado con el FAMM, con Secretaría del medio ambiente y con otras organizaciones por ejemplo ahora con un río en el río POYECTOS CON EL FAMM	los convenios como industrias y agricultores industria muy altruista con SADAM temas de abasto, energía e infraestructura POYECTOS CON EL FAMM	Proyectos con el FAMM SOSACA	Ejidos y Secretaría de turismo y Protección civil en el PNCM
Pregunta 3 rol, de las instituciones formales	Preguntas 8, 9, 10 y 11	<ul style="list-style-type: none"> vínculos interinstitucionales en favor de las aguas 	<ul style="list-style-type: none"> acuerdo en abastecimiento al SADM con infraestructura y acuerdo con industria y agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> A diferencia de gestiones anteriores, ahora existe una 	Proyectos con el FAMM, SAM, un río en el río, SOSAC	Programa hídrico Regional CRB Tecnología		

e informales		subterráneas (Planes leyes o programas)	Desarrollar estrategias a largo plazo que incluyan la construcción de nuevas fuentes de agua superficial, la reducción de la extracción de los acuíferos y un monitoreo riguroso de los pozos existentes. Esto implica fortalecer las capacidades de la CONAGUA y establecer mecanismos de control más eficientes	planificación hídrica integral. Además existe una gerencia en fuentes de abastecimiento, un equipo de expertos muchos llegaron cuando AMLO los quito de CONAGUA ahora lideran la gestión del agua, realizando evaluaciones semanales para garantizar el suministro Tecnología		Recuperación de agua con concesionarios		
Pregunta 4 rol de la organizaci ones	Pregunt as 11 y 12	• Prospectiva de la organizació n de las aguas subterráneas	• en la zonas de recarga colaboramos con Semarnat	• Acuerdo con la industria distrito de Riego Las Lajas y el Chapotal		COTAS que contenga los acuíferos que abastecen el AMM		Colaboració n con municipio, poseionario s y dueño de la tierras
Pregunta 5 implicacio nes del crecimient o y afectacione s a la sostenibili dad de los acuíferos	Pregunt as 13, 14, 15, 17, 18 y 19	• Acciones directas en indirecta s que afectan la sostenibil idad	Para que se recargue el acuífero se tiene que cumplir con la norma	Establecer una distribución equitativa y sostenible. La implementación de una dotación de agua por persona, cobrada y de calidad, permitirá	inyectar agua a los acuíferos Es necesario la educación ambiental de la población Colaboración con los municipios	Estudios hidrogeológicos para comprender el comportamiento del acuífero. Enfatizar que la inyección de agua puede tener resultados impredecibles si no	En 'Perrito la Pradera', la primavera anticipada está de- sincroniza ndo la floración con la actividad	reúso del agua Existe poca educación ambiental Reducir el consumo de agua

				<p>regular el consumo y garantizar el acceso universal al recurso. El control de presión y el reúso potable indirecto del agua es una opción que ya se contempla</p> <p>Reducción del consumo</p>		<p>se conoce bien el acuífero.</p> <p>Promover la protección de las cuencas</p>	<p>de los polinizadores. Esta alteración podría llevar a una disminución en la reproducción de las plantas y afectar la regeneración vegetal, con consecuencias negativas para la recarga de acuíferos</p>	
--	--	--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Última Página

La autora es Licenciada en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha colaborado en proyectos de planeación urbana, desarrollo territorial y proyectos de conservación, ha sido consultora para organizaciones internacionales, nacionales y universidades, ha sido servidora pública en organizaciones federales.

Egresado de la Maestría en Gestión Integral del Agua de El Colegio de la Frontera Norte.

Correo electrónico: pichardoyas10.agua@gmail.com

© *Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.*

Forma de citar:

Ramírez Pichardo Y. (2020). “Gestión del agua y sostenibilidad de los acuíferos en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León.”, Tesis de Maestría en Gestión Integral del Agua. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México.