



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Lagunas artificiales: solución
para la cosecha de agua.
Caso: Fresnillo, Zacatecas**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero civil

P R E S E N T A

Susana Leticia Domínguez Alejandre

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. Luis M. Salmones Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/074/17

Señorita
SUSANA LETICIA DOMÍNGUEZ ALEJANDRE
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. LUIS MANUEL SALMONES HERNÁNDEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

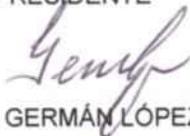
"LAGUNAS ARTIFICIALES: SOLUCIÓN PARA LA COSECHA DE AGUA. CASO: FRESNILLO, ZACATECAS"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES HISTÓRICOS
 - II. DERECHO HUMANO DE ACCESO AL AGUA
 - III. FUENTES DE SUMINISTRO TRADICIONALES
 - IV. ESTUDIO DE CASO: FRESNILLO, ZACATECAS
 - V. CONCLUSIONES
- REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 29 de agosto del 2017.
EL PRESIDENTE


M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 3 |
| I. Antecedentes históricos..... | 6 |
| 1.1. Las obras hidráulicas en las épocas prehispánica y colonial..... | 9 |
| 1.1.1. Obras hidráulicas para usos domésticos | 9 |
| 1.1.2. Obras hidráulicas para la irrigación agrícola | 10 |
| 1.1.3. Sistemas de riego con instalaciones permanentes o temporales..... | 11 |
| 1.1.4. Sistemas de riego con agua pluvial | 11 |
| 1.1.5. Sistemas hidráulicos y formación de lagunas artificiales..... | 11 |
| 1.1.6. Obras hidráulicas para el control de los niveles de agua en zonas lacustres, pantanosas e inundables | 12 |
| 1.1.7. Época novohispana | 13 |
| 1.1.8. Obras hidráulicas novohispanas | 14 |
| 1.2. De la tradición a la modernidad: Cambios técnicos y tecnológicos en los usos del agua | 14 |
| 1.2.1. La época de la modernización | 16 |
| II. Derecho humano de acceso al agua..... | 20 |
| 2.1. Legislación en torno al agua, siglos XIX y XX..... | 20 |
| III. Fuentes de suministro tradicionales | 32 |
| IV. Estudio de caso: Fresnillo, Zacatecas | 40 |
| 4.1. Descripción general..... | 40 |
| 4.2. Riesgos en el municipio..... | 49 |
| 4.2.1. Lluvias extremas | 49 |
| 4.2.2. Inundaciones | 49 |
| 4.2.3. Sequías | 51 |
| 4.3. Situación de los cuerpos de agua disponibles en el municipio..... | 53 |
| 4.3.1. Aguas superficiales | 55 |
| 4.3.2. Aguas subterráneas | 55 |
| 4.4. Características sociales..... | 60 |
| 4.5. Infraestructura | 62 |
| 4.6. Propuesta de captación de agua | 64 |
| V. Conclusiones | 76 |
| Referencias | 80 |

Introducción

“Un poco de agua es un mar a una hormiga”

Proverbio afgano

El inicio de la vida en la Tierra se tiene la teoría de que comenzó en el agua y continuó en gran ascenso para llegar a formar a la humanidad en la estructura como se le conoce en la actualidad, de acuerdo con estudios de diferentes campos de la ciencia. El agua ha llevado a más estudios y experimentos que han conducido incluso hasta el punto de investigar y buscar primeramente este elemento en otros planetas o asteroides que rondan la Tierra en el espacio para saber si también existe vida en ellos o si la misma humanidad podría vivir en ellos, cada situación está planteada bajo un contexto particular; sin embargo, el punto clave ha sido el agua pues se convirtió en base para tomar decisiones en estos casos.

Con ello y otros elementos de salud, se ha tenido la tendencia de establecer el agua como uno de los elementos más importantes y esenciales para el crecimiento y desarrollo de miles de especies vivas, denominado incluso como ese recurso natural que ha servido como fuente de producción de alimento, de hidratación, limpieza, lubricación, erosión, etcétera. Todo ambiente estudiado que rodeó seres vivos desde un principio estaba generado por una necesidad, una oportunidad y una estructura de funcionamiento; cada especie animal, vegetal y humana ha debido buscar la forma de abastecerse de agua para realizar sus respectivas actividades o simplemente para supervivencia, por ello se suele catalogar como el elemento esencial para la vida.

A partir de estudios y descubrimientos de restos de civilizaciones antiguas en el planeta, de la forma de vida de las poblaciones se sabe que siempre se han asentado en lugares que tengan una fuente cercana de agua, ya fuese dulce o salada, superficial o subterránea, para usarla con distintos fines dependiendo del modo de vida que se tuviera. Sin embargo, las formas de vida existentes requieren distintas calidades de agua para satisfacer las diversas necesidades que tienen, un mismo cuerpo de agua no puede saciar los usos que le darán todas las especies que lo exploten; algunos no verán como problema el nivel alto de sal, otros no podrán ingerir tales niveles de sal, unos más requerirán que esa agua esté más libre de color, sabor o bacterias como lo necesitan los seres humanos.

La humanidad demanda una gran cantidad de agua debido al tamaño de la población; no lo hace sólo para el propio consumo, sino también para todas las actividades que realiza cotidianamente como lo son cultivo de alimentos, transformación de recursos, entre otros; es decir las actividades primarias, secundarias y terciarias, antes, durante y después de ellas. Lo anterior está inmerso en un ciclo hidrológico que tiene una etapa de regreso del recurso a las fuentes, dicha etapa es tan importante como lo es que el agua esté disponible para ser explotada; este ciclo se conforma por una parte de equilibrio que por naturaleza debería existir, pero que, con la acción de la humanidad, se ha visto modificado durante la estancia de la población en el territorio donde se ha establecido.

También es importante mencionar que, debido a los avances sociales y culturales de las poblaciones, uno de los aspectos a considerar en cuestiones hídricas es la legislación con que cada nación cuente para permitir, regular, otorgar o sancionar según convenga, pues es la que indica todo lo necesario para tratar temas de agua; para ello han sido creadas a partir de los requerimientos de la época que se vivía: autoridades, reglamentos, estadísticas, limitaciones de uso, derechos, etcétera.

Por parte de México, el país cuenta con el artículo 27° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley de Aguas Nacionales para delimitar y definir todos los conceptos y situaciones necesarias para regir el uso y/o manejo del recurso natural comprendido en el territorio; la ley es una pieza importante para esta investigación porque da un margen legal que se usará como base para proponer una solución a la situación de sobreexplotación de los acuíferos mientras se respetan los lineamientos de uso y explotación del territorio.

Es sabido también que el agua siempre ha sido parte de un problema de inequidad en la distribución del recurso por cuestiones que se mencionarán más adelante, pero este problema puede ser mayor o menor en gravedad en un lugar que en otro; por ello el organismo regulador del agua en México tiene un seguimiento cercano del estado del agua en el territorio nacional y sus respectivos casos de escasez debidos a la falta de infraestructura o del mismo recurso que está en niveles considerablemente bajos. Puede tratarse de un problema que compete a ciudades enteras que son definidas como faltas de agua por distintos factores que, en comparación con otras, deben implementar acciones para mejorar su situación tan pronto sea posible

Este trabajo presenta elementos históricos, descriptivos, legales, planteamientos de situaciones futuras probables, propuesta y análisis sobre el agua como recurso natural en la nación y, como caso específico de estado alarmante, en el estado de Zacatecas y en el municipio de Fresnillo, para ofrecer una comparativa que demuestre la situación de desigualdad del líquido. Desigualdad expresada en números y gráficos que hablan sobre la distribución y disponibilidad de agua, la cual es tan alta o baja y muy acentuada porque se está en un país megadiverso, México. De forma conjunta, hay que considerar que está la cuestión de la infraestructura con que se cuenta y los recursos económicos necesarios para mantener el sistema, pues de la infraestructura y recursos económicos dependerán de los condicionantes niveles de distribución y disponibilidad de agua, pues éstos crecen, decrecen o se mantienen, pero siempre es más probable que disminuyan por la falta de inversión a la infraestructura o, como se mencionó antes, por el desequilibrio hídrico causado por la población.

De forma paralela hay que hablar del sistema del agua, que es un conjunto de engranes que hacen que el agua pueda llegar a donde sea solicitada; dicho sistema es tan complejo como se pueda imaginar, tiene piezas grandes y pequeñas que lo hacen funcionar, pero que también pueden fallar dado que se tienen elementos y/o situaciones a favor y en contra para generar un escenario próspero y adverso. Como ejemplo de que esto sucede está el

hecho de que tener alta disponibilidad no siempre significa tener acceso al agua, ni tener baja disponibilidad de agua significa implementación adecuada de recursos económicos en infraestructura para evitar pérdidas; es decir, se presentan dificultades y efectos en cualquier panorama que se tenga para explotar el recurso y llevarlo a la población que lo demande, algunos más adversos y otros más positivos, pero son parte de la situación social, económica, tecnológica, demográfica, geográfica y climática.

La ingeniería debe ser capaz de estudiar los factores que componen un escenario particular y entregar una solución viable y operativamente económica para poder resolver la distribución y disponibilidad que ahora interesan.

Esta investigación, reiterando, es una recolección de hechos históricos, actuales y planteamientos de futuros posibles, no necesariamente en ese orden, pero en los que estos últimos se presenta la tendencia que hasta ahora sigue la población en cuanto demografía y explotación del recurso, lo cual conduce al desgaste de las fuentes de donde se toma el agua y la huella que deja plasmada en la disponibilidad debido la fuerte demanda que se quiere cubrir. Misma demanda que, como se verá cronológicamente, ha sido establecida en un número dado y no se ha modificado a pesar de los adelantos en tecnología de los productos que ayudan a conducirla, distribuirla y utilizarla y que reducen el consumo o pérdidas y que acrecientan algunos de los problemas que rodean el recurso natural.

Sin embargo, el corazón del tema del agua, tiene tantos factores que lo componen como información que lo estructure para darle forma en la sociedad actual. Unos de estos son los temas legislativo e informativo, ambos deben estar fuertemente relacionados para emitir juicios o recomendaciones que satisfagan las necesidades que una población presenta y aporten a generar o mejorar una ideología que podría beneficiar a más de uno.

Adicionalmente, se plantea en la solución un elemento muy importante, el costo. Factor esencial para tomar decisiones entre si algo es adecuado a ser realizado o no, sin importar el proyecto o producto, por lo que se ofrece un análisis de la operación y se compara con costos actuales para determinar cuán benéfica es la solución extrapolada a partir del panorama actual y cuán bondadosa será en el escenario de un futuro próximo con mayores adversidades; es decir, si el costo puede ser pagado y por quién será pagado para continuar su operación ante situaciones de mayor población, menor recuperación de cuerpos de agua, menor disponibilidad, mayor costo de explotación y conducción, etcétera.

Lo que se tiene como objetivo es proponer una situación en donde la población esté bien parada ante las adversidades y no se conflictúe por los elementos en contra crecientes en el contexto del servicio de agua.

I. Antecedentes históricos

Las primeras civilizaciones de las que se tiene conocimiento surgieron en torno a las cuencas de los grandes ríos del Próximo Oriente. En Egipto, a lo largo del río Nilo, y en Mesopotamia, en las cuencas de los ríos Tigris y Éufrates, fue donde se desarrollaron las primeras civilizaciones consideradas históricas; también se ha tenido presente el surgimiento de otras poblaciones, tales como: persas, fenicios y hebreos con un escenario similar. (Fuente Pérez, y otros, 2017).



Ilustración 1. Mapa de ríos Tigris y Éufrates.
Referencia 13

Hablando de la zona en que se ubicaron los antes mencionados, el agua proporcionó las posibilidades para que la agricultura se desarrollara y la tierra fértil de los valles de estos ríos hizo posible el aumento de la producción de alimentos; esto fue un factor importante para que la población se multiplicara y con ello la explotación de recursos, así, se generó excedente en alimentos que llevaron al intercambio de estos por otros productos, cuestión que dio pie al comercio.

En el hemisferio occidental también se tiene el establecimiento de primeras civilizaciones en distintas zonas del continente americano.



Ilustración 2. Mapa de Mesoamérica con la ubicación de la cultura olmeca.
Referencia 16

Cultura Olmeca: El territorio olmeca se caracteriza por ricas llanuras aluviales y crestas de colinas bajas con volcanes. Las montañas de Tuxtla se encuentran al norte, a lo largo de la Bahía de Campeche. Dicha zona de llanuras aluviales favoreció la alta producción de maíz para uno de los tres centros ceremoniales, San Lorenzo Tenochtitlán, debido al paso de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá. (Gonzales, Historia Cultural, 2010).



Ilustración 3. Mapa de ubicación de civilización maya
Referencia 17

Cultura Maya: Los mayas vivieron en el sur y sureste de México (que corresponde a los estados de Yucatán, Campeche, Tabasco, Quintana Roo y la zona oriental de Chiapas) y en partes de Guatemala, Honduras y Belice. Este extenso territorio comprendía aproximadamente 350 000 km².

Aquí, los ríos Grijalva y Usumacinta fueron un factor esencial para que la población se haya extendido y mantenido por siglos, pues el agua, aunque no los hizo agricultores, es su fuente de vida. (Gonzales, Historia Cultural, 2010).

Cultura Azteca: El pueblo azteca migró hacia el actual Valle de México y se asentó en la isla mayor del Lago de Texcoco, en sus aguas pudieron desarrollar la agricultura mediante la implementación de chinampas. Su crecimiento no se debió a un gran desarrollo en la agricultura, sino a su táctica militar para conquistar otros pueblos; sin embargo, era sustento para su creciente población además del agua que el lago les proveía. (Gonzales, Historia Cultural, 2010).

Y así puede continuarse el listado de primeros asentamientos poblacionales en cualquier parte del mundo. Sin embargo, el punto clave de todo inicio de tribu fue la ubicación que eligieron para asentarse y volverse sedentarios, tal punto tenía que estar directamente asociado con la cercanía y disponibilidad de agua para sus usos y consumo; es decir, tener acceso al agua era el factor indispensable de toda civilización que quisiera continuar su legado.



Ilustración 4. Mapa de localización de asentamientos aztecas e imperio
Referencia 18

El poderío que los constituía tenía consecuencias en la estructura interna de la civilización. Y pocas cosas demuestran tanto dominio como conquistar pobladores, o bien, ser una ciudad rica, próspera y altamente poblada; así se podía trabajar más la tierra, tener ejército más grande y, hacer perdurar el dominio del gobernante.

De forma lógica, el recurso natural hídrico existía en abundancia para que todo poblador viviera saludablemente y pudiera desempeñar su labor en la sociedad; los ríos y lagos proveían inagotablemente de agua a las poblaciones que los circundaban, así que no importaba cuánta agua demandaran los pobladores, la oferta era abundante y los modos de llevarla de un punto a otro no eran difíciles de construir ni de mantener.

Todo lo anterior llevó al crecimiento poblacional, necesario y no limitado, lo cual trajo el uso de mayor territorio para crear asentamientos humanos y, con ello, mayores longitudes de caminos a recorrer para obtener agua de los cuerpos superficiales a los que tenían más cercano acceso; y debido a la forma de construir viviendas y centros ceremoniales, esto se volvía un círculo vicioso de expansión territorial y búsqueda de agua para mayor explotación de recursos y ampliación de dominio. Todo implicaba buscar nuevas formas de usar, conducir y llevar agua a donde el poblado habitara, recorriendo terrenos que iban de lo árido a la extrema humedad; y fue así que surgieron las bases de la infraestructura hidráulica: diques, calzadas-dique, canales de navegación, riego y drenaje, presas almacenadoras y derivadoras, cajas de agua, puentes de entarimado, compuertas y embarcaderos.

En cuanto a la estructura de función de obras hidráulicas se tiene la siguiente información por etapas históricas, es decir, la tecnología y técnica tiene sus particularidades por los conocimientos que se tenían, así como el acceso a los recursos para llevarlas a cabo y mantenerlas en funcionamiento en lo que ahora es México.

1.1. Las obras hidráulicas en las épocas prehispánica y colonial

Enseguida se presenta una síntesis de los tipos de obras hidráulicas que existieron en la antigua Mesoamérica (área cultural que en el siglo XVI abarcaba el centro y el sur de México y gran parte de Centroamérica), así como las fuentes de agua utilizadas, haciendo notar que son tipos ideales, puesto que casi siempre las instalaciones tuvieron más de una función y se vincularon con más de un tipo de agua, pluvial y de manantial, por ejemplo:

- Captación, conducción, almacenamiento y distribución de agua para usos domésticos, de aguas pluviales, perennes superficiales y subterráneas.
- Conducción, control y drenaje de aguas pluviales para evitar inundaciones.
- Conducción y drenaje de aguas de desecho (“negras”) de las poblaciones rurales y urbanas.
- Provisión de agua para la irrigación agrícola.
- Control, aprovechamiento y desagüe de zonas lacustres y pantanosas.
- Recreación y ritualidad.

1.1.1. Obras hidráulicas para usos domésticos

Agua de lluvia. La recolección y el almacenamiento de agua pluvial fueron prácticas comunes en Mesoamérica desde tiempos muy antiguos, fuera en recipientes en depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales y zanjas, aprovechando el agua rodada (en patios y casas, o en el campo, en jagüeyes¹, mediante bordos, entre otros), o bien, conduciéndola desde los techos de las viviendas y edificios por medio de canoas o canjilones de madera o pencas o canalitos, a los depósitos. En las viviendas el agua se almacenó en recipientes de barro, enterrados o no, así como en pilas o piletas de barro, cal y canto, piedra, excavados en el suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa² y estuco.

En lo que respecta a los depósitos pluviales a cielo abierto, destacan los jagüeyes, que fueron muy comunes en el centro y el sur de México, en especial en las zonas áridas y semiáridas donde el nivel freático estaba muy bajo o el suelo era rocoso y resultaba muy difícil alcanzarlo mediante la excavación de pozos someros. A los jagüeyes, hechos artificialmente o acondicionados aprovechando hondonadas³ naturales, situados en terrenos cercanos a cerros y lomeríos, se canalizaba el agua de las pequeñas corrientes pluviales o de los escurrimientos de los cerros y techos aledaños. (Rojas Rabiela, 2009).

Aguas subterráneas: pozos verticales. La perforación de pozos verticales para “alumbrar aguas” fue un procedimiento común para surtir a las poblaciones y en ocasiones también para irrigar. Sin embargo, se conoce poco sobre sus características, antigüedad y distribución, con la excepción de uno de los más antiguos, que tiene 4.7 metros de

¹ Vocablo taíno que significa balsa, zanja o pozo lleno de agua, en el que abreva el ganado. También es conocido como ollas de agua, cajas de agua, aljibes, trampas de agua o bordos de agua, cuya función es almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales.

² Mezcla de materiales como cal o cemento, arena y agua.

³ Terreno más hondo que las zonas que lo rodean.

profundidad y fue identificado por Neely en San Marcos Necoxtla, Puebla, fechado nada menos que en 7900 a.C. (Marcus, 2006).

Otros pozos artesanos, aún sin fechar, fueron localizados en la Mesa de Metlatoyuca, en la Huasteca meridional, Veracruz. Uno de ellos, por ejemplo, muy bien conservado, es de forma rectangular con paredes perfectamente forradas con lajas y cuenta con una escalera de acceso hecha con el mismo material y que llega hasta el espejo de agua, situado actualmente a unos tres metros de profundidad. (Rojas Rabiela, 2009).

1.1.2. Obras hidráulicas para la irrigación agrícola

Si el agua de lluvia fue durante milenios la fuente primordial que alimentó los cultivos, esto no impidió que tal “agricultura de temporal” (posible de practicar con hasta 600-700 milímetros de lluvia promedio anual) se combinara desde épocas muy antiguas también, con alguna forma de riego y que, con el tiempo, éste fuera adquiriendo cada vez más importancia. De hecho, los restos de sus obras son, en forma similar a los de las plantas domesticadas, una clara evidencia del desarrollo civilizatorio alcanzado por las antiguas sociedades mesoamericanas. (Rojas Rabiela, 2009).

El riego cumplió dos fines básicos:

- 1) Incrementar los rendimientos tanto de las plantas cultivadas (productividad agrícola) como del trabajo humano (productividad del trabajo, las horas-hombre invertidas por superficie cultivada).
- 2) Servir como instrumento para ampliar la “frontera agrícola”, dado que la irrigación permitió colonizar más tierras (cada vez más altas o más bajas, más áridas y con lluvia errática o insuficiente, o sujetas a heladas y granizadas) y dar lugar al cultivo continuo de la tierra.

Esto sin mencionar que con las obras hidráulicas fue posible aprovechar los enormes depósitos de agua representados por los humedales existentes en diversas regiones del área, al abrirse zanjas para controlar los flujos, desecar y cultivar en los terrenos rescatados, construir plataformas artificiales para establecer viviendas y contar con vías de navegación, de gran importancia en estas sociedades sin el uso de animales de trabajo.

Desde el punto de vista de su distribución, la irrigación en Mesoamérica puede caracterizarse como dispersa y las obras como de pequeña y mediana escalas. Entre las excepciones destaca la cuenca de México, con un conjunto de estructuras hidráulicas monumentales que los españoles encontraron en funcionamiento cuando llegaron a la región. Pero es un hecho que antes del periodo tardío existieron obras de grandes dimensiones en otras regiones, como por ejemplo el canal y la presa de Teopantecuanitlan (Guerrero), sitio olmeca poblado entre 1400 y 600 a.C. (Rojas Rabiela, 2009).

Un punto a señalar para remarcar la importancia del agua es que el área de irrigación en Mesoamérica coincide con la mayor concentración demográfica, urbana, política y militar del momento previo a la conquista.

1.1.3. Sistemas de riego con instalaciones permanentes o temporales

La irrigación permanente tuvo como base el agua de manantiales, ríos y arroyos de caudal constante, sobre todo en los tributarios más que en ríos mayores, debido sobre todo a la naturaleza de las intrincadas topografía e hidrografía de Mesoamérica. Los caudales de los grandes ríos pocas veces pudieron utilizarse en sistemas de riego continuo debido a su gran variación estacional y a su desnivel respecto a los terrenos adyacentes. Así, casi todos los casos conocidos de riego a partir de manantiales y ríos y arroyos pequeños y medianos contaron con presas derivadoras temporales destinadas a irrigar durante la temporada de secas.

Las instalaciones básicas para el riego consistieron en presas, de las que fundamentalmente hubo dos tipos distintos: almacenadoras permanentes y derivadoras efímeras o temporales; así como canales (de tierra, piedra, madera, barro, piedra con estuco, argamasa-calicanto⁴), acueductos sobre taludes de tierra para conectar vanos⁵ entre barrancas, lomas, montañas y otros accidentes topográficos y, posiblemente, depósitos o embalses secundarios cuya finalidad era la de regular el flujo enviado por los canales y elevar el nivel para irrigar mayor cantidad de tierra.

En lo que respecta a la conducción, diversos autores afirman que el riego llegaba a las parcelas de cultivo en forma directa desde las fuentes de agua por medio de tomas y redes de canales que recolectan el fluido en los cursos de los ríos permanentes. Las evidencias más detalladas indican que las tomas se hacían encauzando las corrientes con bordos-cortinas hechos de tierra, piedras, estacas, ramas y céspedes, es decir, con presas derivadoras flexibles y, luego, con canales de tierra o recubiertos. (Rojas Rabiela, 2009).

1.1.4. Sistemas de riego con agua pluvial

Estos sistemas de riego por inundación o avenidas, conocidos como “derramaderos”, son una especie de presas efímeras en miniatura cuyos bordos o cortinas se construyen en las laderas montañosas con materiales locales tales como palos, ramas, tierra y piedras, con el fin de distribuir los escurrimientos pluviales sobre un área mayor que la que cubrirían en forma natural; en ocasiones cuentan con canalitos de tierra. El agua y los sedimentos (aluvión, lama) se encauzan a las parcelas adyacentes con el objetivo de asegurar las cosechas del ciclo de temporal, convirtiéndose poco a poco en un tipo de terraza agrícola llamada, precisamente, “presa”, “atajadizo”, “lama-bordo” o “trinchera”. Sus restos antiguos se encuentran en Tepeaca, el valle de Oaxaca, la Mixteca Alta, el Río Salado, el valle de Teotihuacán y Tepetlaoztoc, así como en Chihuahua, entre otros. (Rojas Rabiela, 2009).

1.1.5. Sistemas hidráulicos y formación de lagunas artificiales

La capacidad de los prehispánicos para realizar obras hidráulicas con fines múltiples (agrícolas, cría de plantas y animales acuáticos, navegación) queda de manifiesto al

⁴ Procedimiento de construcción a base de cal y cantos rodados.

⁵ Referido a apertura en una superficie.

conocer algunos casos de formación artificial de “lagunas”, en realidad embalses o presas. Por lo pronto pueden citarse tres casos: el de la “laguna-presa” de Totoltepec, en el norte de la cuenca de México, vinculado con el sistema de riego del río Cuautitlán (Rojas Rabiela, 2009); el de Coatepec-Tula (Hidalgo) y el de Amanalco (Estado de México). A propósito de esta habilidad para formar cuerpos de agua artificiales, lo mismo que para “deshacer” cuerpos de agua naturales mediante el drenaje y su uso productivo, puede afirmarse que se manifestó no sólo en las regiones altiplánicas del centro, sino por igual en los humedales de las tierras bajas tropicales, en donde la intensa sequía estacional fue el detonador que impulsó la construcción de camellones agrícolas que al mismo tiempo servían para conservar el agua de esos importantes depósitos naturales, que para habilitar vías de navegación mediante canales y para aprovecharse de la fauna y la flora en la caza, la pesca y la recolección.

1.1.6. Obras hidráulicas para el control de los niveles de agua en zonas lacustres, pantanosas e inundables

Las lagunas interiores y los humedales jugaron un papel primordial en la historia mesoamericana.

Para mejor ejemplificación de esto, están la fundación de Tenochtitlan en plena zona lacustre y su vertiginoso ascenso político que influyeron de manera directa en el proceso de transformación ambiental que incluyó obras hidráulicas orientadas al control de los niveles de agua para manejar la inundación-desección de los canales, las chinampas, los asentamientos insulares, peninsulares y de las orillas, hasta aquellas encaminadas a proveer de agua a las poblaciones; irrigar los campos agrícolas en las laderas y los valles de su entorno, los “jardines y casas de placer”; formar lagunas-presas artificiales, entre las más importantes. El conjunto hidráulico que observaron los españoles a su arribo era especialmente denso, intrincado e interconectado en la sección del lago de México. Se componía por diversos diques; calzadas-dique (doble función); canales de navegación, riego y drenaje de distintas dimensiones y formas y diversos materiales; presas almacenadoras y derivadoras; cajas de agua; puentes de entarimado; compuertas y embarcaderos, entre los principales.

La infraestructura hidráulica permitió la vida urbana, la comunicación lacustre y, gracias a los “puertos de canoas”, la interconexión entre la propia cuenca y el exterior. Pero, sobre todo, sentó las bases para la construcción de chinampas, suelo artificial para el cultivo intensivo y para la habitación, mediante técnicas que combinaban drenaje y creación de suelo (adición de tierra y materia orgánica palustre⁶), que permitió incrementar la base productiva y la sostenibilidad urbana del Estado Mexicano. (Rojas Rabiela, 2009).

En general, las obras hidráulicas prehispánicas eran diversas para satisfacer las condiciones ambientales fluctuantes a lo largo del territorio, las cuales iban desde la aridez hasta la extrema humedad; las sociedades mesoamericanas desarrollaron una serie de soluciones técnicas de carácter ingenieril para aprovechar los recursos hidráulicos

⁶ Adjetivo relacionado con pantanos, lagos o lagunas.

disponibles, siempre en el marco de las condiciones de la época, es decir, sin aplicación de la rueda en máquinas, ni animales de trabajo ni hierro.

1.1.7. Época novohispana

La infraestructura evidentemente cambió y se asemejó a la existente en el viejo continente, pero uno de los cambios más profundos que se dio, en lo jurídico, fue en el terreno de los *derechos sobre el agua*; en lo socio-organizativo, en el coatequitl o sistema de trabajo colectivo y obligatorio aportado en la época prehispánica por la gente común para la construcción y el mantenimiento de las obras hidráulicas y públicas en general. Estos puntos provocaron conflictos entre europeos y pueblos indios, pues los primeros, dotados con mercedes reales⁷, adquirieron la propiedad de la tierra y el derecho de uso del agua para mover su maquinaria o irrigar sus campos, lo que, más tarde o más temprano, trastocó el funcionamiento de los sistemas hidráulicos mesoamericanos desde el punto de vista técnico, además cambió la organización sociopolítica que los hacía funcionar (construcción, mantenimiento), nutrida por su sentido de utilidad colectiva y de reciprocidad social.

Las innovaciones técnicas más significativas del periodo en materia hidráulica fueron las siguientes:

Palancas. Hasta donde el actual conocimiento alcanza, éstas no fueron empleadas en la época prehispánica con fines hidráulicos. A la Nueva España llegaron en la forma de un instrumento muy sencillo, originario del antiguo Egipto, el bimbalete (bambilete, cigüeñal, shadouf), que permite a un solo hombre extraer y elevar el agua de pozos, lagunas y ríos con una pértiga⁸ colocada sobre un caballete que tiene en un extremo un recipiente y en el otro una piedra que le sirve de contrapeso. Llegó a la Nueva España en fecha no determinada, pero su presencia se registra en Río Verde (San Luis Potosí); Lago de Chapala y Guadalajara (Jalisco), Guanajuato e Irapuato (Guanajuato).

Rueda. En la colonia se hizo presente en diversas formas, entre las que destacan las utilizadas para elevar el agua y para mover maquinaria con fuerza hidráulica: las ruedas hidráulicas (norias o anorias: verticales y horizontales), las poleas (para sacar agua), los tornos (para lo mismo), los molinos (para trigo, caña de azúcar y otros) y, más tarde, los tornillos (de Arquímedes) y los sifones invertidos.

Acueductos sobre arquerías. Para librar los accidentes topográficos por donde corría la atarjea o tubería, pronto sustituyeron a los acueductos prehispánicos sobre terraplenes. El arco se hizo igualmente presente en los puentes que complementaron o sustituyeron paulatinamente a los prehispánicos (colgantes o fijos, de troncos o entarimados).

Compuertas. Compuestas de tablonés y deslizantes (Doolittle, 1990) sustituyeron a las prehispánicas, sobre las que se sabe muy poco.

⁷ Tierras cedidas por el rey a cambio de un pago, concedidas mediante título a un particular o pueblo.

⁸ Palo largo, delgado y fuerte.

Animales de trabajo. Al lado de las carretas y carretillas, facilitaron el transporte de materiales y personas, las tareas agrícolas, artesanales, de albañilería, entre otros; jugaron por igual un importante papel en algunas de las máquinas basadas en la rueda, para extraer el agua de diversas fuentes como pozos y lagos.

Molinos, batanes y otros “ingenios” mecánicos. Movidos por agua, antes desconocidos, modificó profundamente el uso de los ríos y los sistemas hidráulicos indígenas al cambiar de función, básicamente porque, para poder contar con la fuerza necesaria, los nuevos edificios se colocaron en las cabeceras de los ríos.

Otras innovaciones fueron las presas construidas con piedra cortada, ajustada y cementada; presas con contrafuertes y presas de almacenamiento sobre corrientes perennes (Doolittle, 1990), además de otros elementos arquitectónicos como cornisas, remates de los muros o caballetes, sardineles y gárgolas.

1.1.8. Obras hidráulicas novohispanas

A manera de lista se mencionarán las obras que datan de esta época, ya sea por mejoras en la técnica o por nueva implementación:

- Acueductos sobre arquerías.
- Pilas y fuentes.
- Lavaderos colectivos.
- Acueductos subterráneos o foggaras.
- Presas de almacenamiento (con algunas diferencias a las mesoamericanas).
- Creación de “lagunas”.
- Desecación (obra hidráulica contraria con el fin de establecer una urbe en suelo seco).
- Norias, poleas, tornos, palancas y molinos.

1.2. De la tradición a la modernidad: Cambios técnicos y tecnológicos en los usos del agua

Para el manejo del agua hay coexistencia de elementos tradicionales y modernos como componente común. Hubo un cambio tecnológico muy importante en las regiones más productivas del territorio, esto fue referente a la administración del agua, no tanto a desarrollo ni aplicación de nuevas tecnologías en la Nueva España en las tres primeras cuartas partes del siglo XIX. (Sánchez Rodríguez, 2009)

Sin embargo, en cuanto al riego y debido a su importancia, muchas de las presas de mampostería construidas durante la época colonial y el siglo XIX aún se conservan y son parte fundamental en el manejo del agua en el México contemporáneo. No es casual que, en diferentes momentos del siglo XX, la Secretaría de Agricultura primero, la Secretaría de Recursos Hidráulicos después, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

posteriormente y la ahora Comisión Nacional del Agua, hayan considerado el mantenimiento, la rehabilitación o la conservación de estas obras.

Por el lado de uso urbano del agua, se sabe que se vio caracterizado por un consumo per cápita mínimo (entre 5 y 10 litros por persona al día), por la diversidad de soluciones tecnológicas para garantizar el suministro (acequias⁹, acueductos, pozos, aljibes¹⁰), por lo limitado de su alcance, los problemas de calidad y por estar inmerso en un sistema donde el predominio agrícola (riego) es casi absoluto sobre otros usos o consumos, este sistema de abastecimiento urbano prevaleció sin mayores modificaciones hasta el siglo XIX. (Matés Barco, 1999).

Existieron acueductos, que, por la monumentalidad de las estructuras e inversión requerida, se asentaron en ciudades medias y grandes; en cambio las ciudades que no contaron con acueductos para satisfacer sus necesidades de agua y aun las que tuvieron la posibilidad de construirlos, recurrieron a la captación del agua de lluvia y al servicio de aguadores. De hecho, estas dos formas de abastecimiento perduraron hasta mediados del siglo XX, y en lugares más marginados hasta la década de los años setenta del propio siglo. Frente a la limitada oferta de agua, los habitantes de Guanajuato, Zacatecas o Mérida, por sólo citar tres casos, adecuaron las azoteas de las casas para captar y conducir el agua de lluvia a todo tipo de depósitos: barriles, ollas, aljibes, cajas de agua, pozos. Aun y cuando el consumo per cápita era reducido, esta forma de abastecimiento no satisfacía del todo las necesidades diarias, así que la población tenía que recurrir a los aguadores¹¹ para acarrearla.

Otra forma de abastecimiento de agua para las áreas urbanas fueron las acequias. Múltiples son las referencias textuales a la existencia de canales que atravesaban todas y cada una de las casas de pueblos o ciudades, estas estructuras estaban ligadas a prácticas agrícolas. (Sánchez Rodríguez, 2009).

En cuanto al uso de agua para la industria textil, molinera, de papel, azucarera, minera o siderúrgica se emplearon los siguientes instrumentos para trabajarlos:

- Máquinas de vapor.
- Máquinas de combustión interna.
- Turbinas y ruedas eléctricas.
- Motores eléctricos.

⁹ Es un canal por donde se conducen las aguas para regar; de origen árabe.

¹⁰ Recurso arquitectónico para almacenar agua, generalmente potable, cuyo modelo tradicional árabe es un recipiente total o parcialmente subterráneo, construido o labrado y cubierto por una bóveda de cañón o apuntada o en cúpula de casquete, hecha de ladrillo.

¹¹ Cumplían la función básica de abastecer de agua a centros urbanos con carretas, a lomo de mula o con su propio cuerpo como transporte.

Sin embargo, las inversiones en este sector no fueron grandes y se ralentizaron en cuanto a innovación y producción.

Para la época de la segunda revolución industrial se desarrolló fuertemente un nuevo uso del agua, generación de energía eléctrica, lo cual dio pie al crecimiento de zonas industriales y la dotación de materiales que indicaban el nivel de desarrollo del país. Además, se tuvo la invención del motor de combustión interna y de maquinaria especial para la construcción, lo que facilitó la desecación de ciénegas y pantanos o el uso sistemático de las aguas subterráneas.

1.2.1. La época de la modernización

Uso agrícola del agua

La generación de energía eléctrica y el desarrollo de la bomba hidráulica, hicieron posible el uso sistemático del agua subterránea para riego a finales del siglo XIX.

Uno de los cambios más espectaculares ocurrió en el noreste del país, se tuvo el uso de la tecnología de la bomba y el pozo profundo para las actividades agrícolas, cubriendo así la necesidad de agua, esto sucedió con apoyo del Gobierno Federal.

La perforación de pozos, la extracción y distribución de agua del subsuelo han cambiado significativamente desde finales del siglo XIX cuando la tecnología fue comercializada mundialmente, hasta el presente siglo XXI en que se cuenta con bombas mucho más potentes que pueden extraer agua a miles de metros de profundidad. En un principio, las bombas hidráulicas funcionaron con motores de vapor y de combustión interna, pero en la medida en que la disponibilidad de energía eléctrica iba en aumento, el uso de motores eléctricos fue abriéndose paso entre los usuarios.

No obstante, en una época de crecimiento se vio la creación de pozos a diestra y siniestra sin control de 1945 a 1948 para obtener el recurso hídrico, hasta que la otrora SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos) estableció que se debía solicitar una concesión para explotar aguas subterráneas, esto gracias a la reforma del artículo 27° quinto párrafo. A partir de estas atribuciones, la SRH y sus sucesoras desplegarían una intensa actividad para declarar zonas vedadas e intentar controlar la perforación de pozos.

Tras el movimiento más convulsivo de la revolución mexicana, el Gobierno Federal, por medio de la Comisión Nacional de Irrigación (CNI) (1926), inició un programa sistemático de diseño y creación de distritos de riego, grandes proyectos sociales que tenían como fundamento el reparto agrario entre la masa campesina organizada en ejidos; la creación de instituciones financieras de apoyo al campo (Banco Ejidal, primero, y Banco Nacional de Crédito Ejidal, después) y la construcción de infraestructura hidráulica (presas, canales, bordos, pozos). Así, en 1926, año en que comenzaron los trabajos de parte de la CNI, el país contaba con 750 mil hectáreas de riego; en la actualidad son 6.5 millones de hectáreas. (Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 2016). Este es un fuerte cambio para lo que compete a la producción nacional y uso del agua del mismo modo.

La construcción de grandes presas continúa en el México contemporáneo, pero ahora las presas deben diseñarse con múltiples propósitos, tanto agrícolas como de generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua para satisfacer a las crecientes ciudades del país.

Hoy día, en cambio, la situación hídrica que se vive está rodeada de una nueva política hidráulica pues se tiene muy presente la preocupación por el ambiente, por el ahorro y el uso más eficiente del recurso en el campo, también es destacable decir que está inmersa en el cambio tecnológico del México del siglo XXI.

Uso urbano del agua

Para este uso, las diferencias entre el sistema antiguo y el moderno son muy grandes. Fue durante la época colonial, desde la segunda mitad del siglo XIX que se hizo un ajuste en las cantidades que cada habitante recibía; los pobladores estaban habituados a consumir de 5 a 10 litros por día, pero por cuestiones de salubridad, según la ingeniería hidráulica de aquel momento, se tomó la decisión de aumentar dicha dotación y se llegó al rango de los 250 a 300 litros al día per cápita.

Creado y aplicado originalmente en Londres, Inglaterra, a mediados del siglo XVIII, el sistema en red se perfeccionó con la generalización en el uso de tubería de hierro que facilitó las reparaciones, permitió mantener el agua a alta presión para que llegara a los pisos superiores de las casas y mejorar sus condiciones higiénicas. (Derry & Williams, 1997).

A partir de la década de 1940 cuando la dotación de servicios de agua potable y alcantarillado se incrementó en México. La política de industrialización, vía sustitución de importaciones aplicada en el país, y el paulatino proceso de urbanización, producto de la migración rural, aumentaron las demandas de agua que no podían ser cubiertas con la infraestructura instalada.

Hasta antes de 1933, el manejo del ramo de agua potable había estado exclusivamente en manos de los gobiernos estatales y de los ayuntamientos que habían construido o concesionado la construcción y la administración de la infraestructura hidráulica con resultados poco satisfactorios. Existía entonces una alta carencia de agua y drenaje, por lo que el Gobierno Federal intervino en el ramo de agua potable y saneamiento, lo cual no significaba que se encargara de la conducción de agua, sino que abarcaba todo el proceso desde la captación hasta la última disposición del agua.

La historia, restos y ruinas de dichas culturas, ahora sirve para aprender y para ayudar a mejorar el entorno a partir de sus aciertos y errores. Lo mismo que sucedió con civilizaciones antiguas, (nacimiento, crecimiento, apogeo, declive, etc.) sucede de alguna manera en las conocidas poblaciones actuales; quizá no se extinga un poblado, pero si se habla de declive, se puede hacer referencia al empobrecimiento, carencia o poca

accesibilidad a servicios públicos y baja calidad de vida para todo habitante; es decir, se presenta una situación de pérdida de confortabilidad debida a la alta densidad poblacional.

Como se mencionó antes, hablando de agua, podía apreciarse la abundancia de ésta y la fácil accesibilidad a la que se enfrentaba la población, pues las extensiones a recorrer eran justas con el número de habitantes. Sin embargo, con la colonización, conquistas, guerras, revoluciones, etcétera, la población fue cambiando, adquirió un estilo de vida que requirió más cosas además de alimento, agua y vestido; la población crecía a lo largo y alto de un territorio, con caminos que conectaban poblados, estructuras que albergaban a muchos pobladores, y riquezas que denotaban la forma de vida de los habitantes de un lugar. Comenzó así una etapa de crecimiento y desarrollo que fijó un curso a seguir para el recurso natural hídrico en cuestión, hablando ya específicamente sobre México.

Con el tiempo, las ideologías cambiaron y los objetivos sociales se modificaron, sobre todo, la población se concentró en aquellas zonas que una vez fueron los primeros asentamientos humanos en el vasto territorio continental, cerca de cuerpos de agua, y las hicieron crecer; una gran mancha urbana que poco a poco se extendió y aumentó sus necesidades en mismo tamaño que la densidad poblacional, a mayor población, mayor demanda de agua, pero con un detalle: esa misma agua que iba a abastecer a los recientes habitantes, ahora se encontraba a diez, cien o más veces la distancia de los primeros. Todo es debido a dos cosas: la tendencia de abandonar las zonas rurales para ir a vivir a la gran urbe para buscar otro tipo de oportunidades; y la explosión demográfica tan acelerada en el último siglo.

A partir de entonces, la extracción del recurso hídrico se vio en ascenso continuo, fuese por el aumento de obras de captación o por el aumento de la extracción de las obras ya existentes; es así que se ha invertido en grandes presas de almacenamiento y apertura de pozos profundos que llegan a mayores niveles de profundidad; es decir, la creación y mejora de obras para la explotación de agua ha sido una actividad frecuente tanto a nivel nacional como estatal y municipal, con altos y bajos que se presenten en cuanto a infraestructura, recursos económicos, conflictos sociales y culturales, cambios al ambiente, etcétera, pero que no dejan de lado el punto esencial que es siempre un trabajo duro para satisfacer la demanda.

Con el conocimiento histórico, evidente y paulatinamente se logró la consolidación de gobiernos federales, estatales y municipales, de cada territorio para que ellos se ocuparan de cubrir las necesidades en cuanto a servicios de seguridad, salud, recolección de residuos, educación, mejoramiento del entorno, etcétera, a través de la recolección de impuestos de los ciudadanos. Para abarcar cada servicio, se crearon secretarías o comisiones que se encargaran de cada sector y se repartieran el presupuesto de acuerdo a los recursos económicos necesarios para mantenerlos y/o mejorarlos; en este punto es cuando comienza a ser partícipe la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA¹²) para definir, estudiar, otorgar permisos, cuantificar, almacenar, distribuir el agua nacional y establecer

¹² Creada el 16 de enero de 1989 por el entonces presidente Carlos Salinas de Gortari.

todo lo anterior en leyes y manuales oficiales que estipularan derechos, obligaciones y modos de diseñar, explotar u operar los cuerpos de agua.

Además, gracias a los avances en materia tecnológica se pudo definir un número que indicara el volumen total de agua con el que cuenta la nación, por lo que la explotación del recurso se llevaría a cabo de forma que obedeciera a la demanda de la población.

Se tiene la idea de que hay que intentar cubrir la demanda al 100%, por ello INEGI maneja datos de la accesibilidad al agua en viviendas, así como conexión a drenaje; sin embargo, es imposible cubrirlo por cuestiones de ubicación, falta de infraestructura, disminución en recursos económicos y falta de comunicación de la información de las autoridades hacia la población. Si todos los factores anteriores mejoraran su condición adecuadamente, se podría dar un giro en la explotación para satisfacción de la demanda, ahora sería trabajar la demanda para satisfacer el equilibrio en la explotación del recurso hídrico. Se hablará de este punto más adelante, pero se puede pensar que con este nuevo enfoque, quizá la cubierta de la demanda llegaría más cerca del 99% de forma general a nivel nacional y estatal.

II. Derecho humano de acceso al agua

2.1. Legislación en torno al agua, siglos XIX y XX

Esta es la parte quizá más conflictiva a analizar y realizar debido a las diferencias que existen entre las actividades de hecho y las de derecho; es decir pueden llegar a apegarse las primeras a las segundas tanto, como pueden discrepar totalmente. No es tarea fácil hacer cumplir los derechos y leyes que engloban la materia del agua en México, pues se tienen escenarios distintos en cada región de la que se quiera tratar el tema; como se hará mención en páginas posteriores, hay una diversidad amplia en este territorio que pondrá los límites y bondades para satisfacer el derecho humano de acceso al agua pues es un tema no sólo de índole nacional, sino internacional que ha tenido un proceso complejo para su consolidación como ley, reglamento o recomendaciones que se presentará a continuación de forma cronológica.

Desde 1520 los pobladores españoles, que arribaron a los territorios conquistados por Hernán Cortés, demandaron que se les dotara de agua para desarrollar la agricultura, la minería y el establecimiento de villas y ciudades. En principio, los distintos usos del agua fueron regulados con base en la legislación castellana, la cual ordenaba que el agua fuera propiedad eminente y directa de los reyes.

En el derecho castellano el uso del agua se dividía entre público y privado. El acceso público consideraba al agua como un bien común de los habitantes de una ciudad o villa y por ello podía obtenerse de manera gratuita en las fuentes públicas. Los usos privados sobre las aguas fueron otorgados a distintas corporaciones (pueblos de indios, órdenes religiosas e instituciones civiles) o particulares mediante concesión real, es decir, se trataba de un uso sancionado por una merced concedida por el rey o en su nombre, que garantizaba el derecho de uso sobre una corriente o un manantial; en caso de disputas, estos documentos eran requeridos para determinar los derechos de propiedad (Birrichaga, 2009).

Se hace alusión a los tipos de cambios en las regulaciones que se hacían en un marco jurídico sobre el derecho y/o uso del agua a partir de información histórica recabada en el ahora país México.

| FECHA | RESPONSABLE | NOMBRE | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------------------|--------------------|---|--|
| Desde 1560 | Corona española | Repartimiento de aguas | Confirma derechos otorgados en mercedes reales o en composiciones. |
| 1573 | Rey Felipe II | Ordenanzas para la fundación de pueblos | Forma de distribución del agua y de la tierra de cultivo. |
| 1789 | Pitic | Ordenanzas | Modelo de distribución de agua para poblados norteños (fundados posteriormente). |
| 1840 | Gobierno de Sonora | Reglamento de policía | Establecía que las aguas de los ríos y fuentes eran comunes a todos los habitantes y que por ello las autoridades de cada pueblo debían vigilar que no se ensuciaran los depósitos de agua. |
| 1855 | Ejecutivo Federal | Ley | Dotó al Ministerio de Fomento de facultades para ordenar a los Jefes Políticos que cumplieran las disposiciones relativas a la limpieza de los ríos en Valle de México, prohibiendo a la par que se sembrara en los cauces de dichos ríos. Años después, esta ley sirvió para regular la limpieza de los cauces de río en otras partes de la República. |
| 4 de febrero de 1856 | Gobierno Federal | Decreto | La Junta Superior de Desagüe podía disponer de las aguas estancadas de los ríos del Valle de México. |
| 1857 | Gobierno Federal | Constitución Federal Artículo 27° | La propiedad de las personas no puede ser ocupada sin su consentimiento, sino por causa de utilidad pública y previa indemnización. La ley determinará la autoridad que deba hacer la expropiación y los requisitos con que ésta haya de verificarse. Ninguna corporación civil o eclesiástica, cualquiera que sea su carácter, denominación u objeto, tendrá capacidad legal para adquirir en propiedad o administrar por sí bienes raíces, con la única excepción de los edificios destinados inmediata y directamente al servicio u objeto de la institución. |

| FECHA | RESPONSABLE | NOMBRE | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------------|----------------------------------|--|---|
| 5 de junio de 1888 | Gobierno Federal | Ley sobre Vías Generales de Comunicación | Definía como vías generales de comunicación los lagos y ríos interiores, si tenían el carácter de navegables. Además, se consideraba que los lagos y ríos de cualquier clase y en toda su extensión, que sirvieran como límites de la República o de dos o más Estados, debían estar vigilados por el Ejecutivo Federal. La Ley estipulaba que serían respetados y confirmados los derechos de los particulares respecto a la servidumbre, los usos y aprovechamientos constituidos en su favor sobre ríos, lagos y canales; pero los interesados en el uso de las aguas federales necesitaban confirmar o solicitar sus derechos ante el gobierno encabezado por el presidente Díaz. |
| 6 de junio de 1894 | Gobierno Federal | Decreto | Facultaba al Ejecutivo a “hacer concesiones a particulares y compañías para el mejor aprovechamiento de las aguas de jurisdicción Federal, en riegos y como potencia a diversas industrias”. |
| 12 de octubre de 1896 | Legislatura del Estado de México | Decreto (contradictorio a lo establecido por Gobierno Federal) | El gobernador podía conceder el aprovechamiento de las aguas pertenecientes a la entidad, en riego y energía tanto a particulares como a compañías. Asimismo, estableció que las aguas del estado eran las “de los ríos y arroyos de corriente constante, que atraviesen su territorio y nazcan en él y que no sean navegables o flotables, o sirvan de límites a la República o al estado en los términos que prescribe la ley general de 5 de junio de 1888”. |
| 17 de diciembre de 1896 | Congreso | Ratificación | Autorizó al Gobierno Federal ratificar las concesiones otorgadas por los gobiernos estatales sobre aguas de jurisdicción federal. |
| 18 de diciembre de 1902 | Gobierno Federal | Ley | Permitió declarar las corrientes federales como bienes de dominio público y de uso común dependientes de la Federación, pero siempre que se cumplieran con los requisitos de la ley de 1888. |

| FECHA | RESPONSABLE | NOMBRE | CARACTERÍSTICAS |
|--------------------------------|---|--------------|---|
| 13 de diciembre de 1910 | Gobierno Federal | Ley | Declaraba que eran de jurisdicción federal: las de los mares territoriales, las de los esteros, lagos y lagunas que comunican con el mar; las de los ríos, lagos y cauces en general y otras corrientes cuyos lechos en su totalidad o en parte sirvan de límites entre los estados o territorios o países vecinos, y cuando se extiendan o pasen de un estado a otro; las de los afluentes directos o indirectos de estas corrientes; las de los lagos y lagunas que comuniquen con los ríos y lagos ya mencionados; las de los ríos, lagunas y cauces en general situados en el distrito y territorios federales. (Las aguas federales eran de dominio público y de uso común, en consecuencia, sólo el Gobierno Federal tenía facultades para darlas en concesión). |
| 15 de agosto de 1916 | Venustiano Carranza | Ley | Obligaba a los extranjeros que quisieran adquirir concesiones sobre terrenos nacionales, aguas federales, fundos mineros, permisos para la explotación de las riquezas naturales (como productos forestales, pesqueros o petroleros), a renunciar a la protección de sus respectivos gobiernos en caso de conflicto. |
| 5 de febrero de 1917 | Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos | Artículo 27° | Introdujo cambios en la política del uso, la distribución y la concesión del agua. El nuevo marco jurídico permitió al Gobierno Federal expedir leyes que regularan las aguas federales de jurisdicción nacional destinadas a la irrigación y a la producción de energía eléctrica. |
| 6 de julio de 1917 | Venustiano Carranza | Decreto | Establecía una renta federal sobre uso y aprovechamiento de las aguas públicas sujetas al dominio de la Federación. |
| 20 de junio de 1921 | Álvaro Obregón | Decreto | Disminución de los impuestos para las empresas hidroeléctricas, en el ánimo de alentar la instalación de plantas de energía. |

| FECHA | RESPONSABLE | NOMBRE | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------------|----------------------------------|--|--|
| 1926 | Presidente Plutarco Elías Calles | Ley sobre Irrigación con aguas federales | Declaraba de utilidad pública “la irrigación de las propiedades agrícolas privadas”, pero siempre que usaran aguas de jurisdicción federal. |
| 1934 | Presidente Abelardo Rodríguez | Ley de Aguas de Propiedad Nacional | Señalaba que la nación, representada por los poderes federales, tenía la soberanía y dominio sobre las aguas. En ella se plasmó la normatividad para el aprovechamiento de las aguas destinadas a la irrigación y el abasto. Dos puntos que quedaron señalados en la confirmación del uso de las aguas fue que la dependencia dejaría de otorgar consideraciones especiales a las personas indigentes y no podía dispensar los requisitos establecidos en la Ley de Aguas. |
| 31 de diciembre de 1946 | Gobierno Federal | Ley de Riegos | Pretendía fomentar la construcción y operación de los distritos de riego que se formasen con las tierras de ejidos, la propiedad agrícola privada o los terrenos de propiedad nacional. |
| 1934 | Gobierno Federal | Reforma a Ley de Aguas | Con la finalidad de que los ayuntamientos contaran con suficiente recurso hídrico “para satisfacer las necesidades de los habitantes de las poblaciones”, que incluía el riego de terrenos en zonas urbanas, el lavado de atarjeas, el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica para el alumbrado público. |
| Diciembre de 1972 | Gobierno Federal | Ley Federal de Aguas | Buscaba regular la explotación y aprovechamiento de las aguas propiedad de la nación. La orientación de esta Ley fue intervencionista, pues unificó las diversas disposiciones jurídicas en materia de agua. En el caso de las concesiones, las limitó a 50 años. Un giro es que, para el aprovechamiento de las aguas de propiedad nacional, se dio prioridad a los usos domésticos y urbanos sobre los agrarios e industriales. |

| FECHA | RESPONSABLE | NOMBRE | CARACTERÍSTICAS |
|------------------------|------------------|---|--|
| 1983 | Gobierno Federal | Reforma artículo 115° | La participación de los tres órdenes de gobierno de manera coordinada en los procesos de planeación, análisis y ejecución de las políticas fiscales. Como parte de esa reforma se asignaron el servicio de agua y alcantarillado a los municipios. |
| 1 de diciembre de 1992 | CONAGUA | Ley de Aguas Nacionales | Postulaba como principios fundamentales la gestión integrada del agua, la planeación y programación hidráulica, la mayor participación de los usuarios de agua y la seguridad jurídica de los derechos de uso o aprovechamiento, entre otros. Aspecto relevante de esta Ley es el reconocimiento explícito del principio de que la cuenca junto con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos (Ley de aguas Nacionales, artículo 3). |
| 12 de enero de 1994 | CONAGUA | Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. | Definió una programación hidráulica que gestione los estudios, proyectos, balances hidráulicos, las normas oficiales, las tecnologías y los estudios financieros que permitieran establecer el financiamiento de las acciones institucionales en el manejo del agua (Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales 1994: artículo 23). |

Tabla 1. Legislación histórica.
Elaboración propia a partir de Referencia 2

Se sigue hablando sobre reformas a las actuales leyes con el fin de incluir nuevos factores o plantear mayores limitaciones a ciertas situaciones, pero por ahora esto es el panorama para México ante los requerimientos legales que se puede presentar para particulares, empresas y servicios públicos; es decir, ante cualquier situación que involucre el recurso hídrico, se debe consultar reglamento, ley y Constitución para cumplir en su totalidad con los requerimientos del país.

Si se habla a detalle sobre el estado legislativo que se tiene en la actualidad, en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, se describe en el artículo 27^{o13} lo siguiente:

La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. [...]

La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. [...]

Son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije el Derecho Internacional; [...]. Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos, el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten las entidades federativas. (Congreso Constituyente, última reforma publicada DOF 24/02/2017)

De igual manera se tiene el artículo 4^{o14}, cuyo interés en este documento es el siguiente párrafo:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines. (Congreso Constituyente, última reforma publicada DOF 24/02/2017)

Este último artículo, que decreta el derecho al acceso al agua, se ha vuelto un reto a aceptar día a día para el ciudadano y el Estado, pues no es un derecho garantizado al 100% a la población, ni es asequible para todo usuario del servicio que ofrece el Estado. Es decir, no existe igualdad ante la ley ni ante la infraestructura pública porque, como se mencionó anteriormente, los escenarios son distintos en cada región y marcan pautas que hay que mejorar, mantener o cambiar para ver cumplido el derecho humano; aunque el artículo 4° es totalmente claro sobre el

¹³Reformado mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la federación el 29 de enero de 2016.

¹⁴Adicionado mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de febrero de 2012.

último, se cae en un punto de relatividad, pues de forma técnica no se explica o analiza en los manuales para diseño de todo el sistema de agua un número único de volumen de agua que diga que eso es suficiente para cualquier individuo, aquí el criterio de situación económica es fuertemente considerado, entre otras condiciones, para definir cuánto volumen de agua es lo que debe formar al sistema de agua. Así, por una parte está la ley que dice que un individuo de derecho debe tener la misma cantidad de agua que otro, pero si el primero no se desenvuelve en un entorno que tenga una buena capacidad adquisitiva, acceso a la información, condiciones geográficas favorables, clima, etcétera, que el segundo, de hecho, el Estado no le va a otorgar el mismo servicio por ese conjunto de factores en contra que dificultan lo establecido en la Constitución, esto no sólo es por una cuestión económica sino también por ideologías, desinformación y acciones que forman escenarios adversos ante el tema hídrico.

De acuerdo con un artículo de la Red del Agua UNAM en el número 4 de Impluvium enero-junio 2015 sobre derecho al agua, en México, el agua se ha convertido en el bien emblemático cuyo suministro y calidad se enfoca, en un primer momento, en los habitantes de mayores ingresos económicos o que habitan zonas de mayor plusvalía (Aguilar Obregón, 2015). Se ha llegado incluso al extremo de dejar sin agua a comunidades que tradicionalmente poseen un yacimiento para hacer uso del mismo en pos de explotarlo a favor de estos ciudadanos de “elite” y aún más dejar sin agua a la comunidad de donde el agua es originaria (Perló, 1999).

Uno de los componentes del derecho humano es la accesibilidad física, que dice que el agua y las instalaciones y servicios de agua deben estar al alcance físico de todos los sectores de la población; en cada hogar, institución educativa o lugar de trabajo o en sus cercanías inmediatas. Se considera que el tiempo necesario para buscar el mínimo exigible no debería exceder de 30 minutos, incluyendo periodos de espera, y la distancia entre el hogar y la fuente no debería superar 1 kilómetro –ida y vuelta.

En México, la ley en el artículo 4º constitucional no se pronuncia respecto del componente de tiempo y distancia para definir si se cumple o no con el derecho de acceso al agua, los motivos pueden ser simples o complejos, pero que finalmente dejan marca en los lineamientos de la misma para definir este importante derecho.

Como ya se mencionó, esto es un tema tratado de forma nacional e internacional, por lo que hay incluso artículos con los lineamientos que definen el derecho de acceso al agua, uno de ellos es la Observación General número 15 que detalla profundamente el derecho humano al agua y saneamiento; así, se realiza una comparación del derecho humano de acceso al agua y al saneamiento (DHAS) entre lo que dicta la carta magna de México en su artículo 4º y la OG15; se tienen los siguientes resultados en la tabla 2:

| COMPONENTE | DOCUMENTO | |
|------------|-------------------------------|------|
| DEL DHAS | ARTÍCULO 4º CONSTITUCIONAL | OG15 |

| | | |
|--------------------------------|--|---|
| Fecha de aprobación | 8 de febrero de 2012 | 11 a 29 de noviembre de 2002 |
| Titularidad | Toda persona | Todos |
| Disponibilidad | Suficiente | Suficiente |
| Uso | Consumo personal y doméstico | Uso personal y doméstico |
| Calidad | Salubre | Salubre |
| Aceptabilidad | Aceptable | Aceptable |
| Accesibilidad física | - | Al alcance físico de todos o en sus cercanías inmediatas (no exceda de 30 minutos y de 1 km de distancia) |
| Accesibilidad económica | Asequible | Asequible (económicamente accesible) |
| Acceso a la información | - | Solicitar, recibir y difundir información sobre las cuestiones del agua |
| No discriminación | - | Sin discriminación por cualquiera de los motivos prohibidos |
| Participación | Federación, entidades federativas, municipios y ciudadanía | Particulares y grupos |
| Sustentabilidad | Acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos | Sustentabilidad de los recursos hídricos con fines agrícolas |

*Tabla 2. Comparación de legislación nacional e internacional
(Jacobo-Marín, 2015)*

Sin embargo, como dice la publicación de Impluvium, un análisis detallado, en campo y bajo el particular contexto de cada región, es lo que nos permitirá saber si en México toda persona puede acceder efectivamente al consumo personal y doméstico de agua en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.

Hablando ahora del Estado, este es visto como el proveedor responsable y gestor del recurso, siempre y cuando siga las directrices siguientes, planteadas por el Comité sobre Derechos Económicos, Sociales y Culturales de Naciones Unidas:

- a) Disponibilidad.
- b) Calidad.
- c) Accesibilidad física.
- d) Asequibilidad o accesibilidad económica.
- e) No discriminación.

Analizando la información anterior en un marco legal sobre el derecho al agua, se puede establecer que sí, todo individuo tiene derecho al agua y el Estado debe garantizar ese derecho, pero ambas partes, en sus distintas formas representativas, deben ser participativas para lograr este fin; con ello es posible inferir que el Estado no está obligado a llevar el agua hasta donde la necesitan si tales usuarios no pagan por el servicio de conducción que solicita la dependencia responsable, esa sería la participación que deben realizar los involucrados.

Sobre el derecho humano, este dice que el individuo debe tener una cantidad mínima de agua para desarrollar todas sus actividades necesarias. Tal volumen mínimo necesario, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), está entre los 80 y 150 litros por persona, donde el acceso óptimo es 100 litros por persona al día; existe también un parámetro mínimo vital para asegurar el derecho humano al agua y saneamiento que va de los 20 a los 50 litros por persona al día. Mientras que la ONU concluyó que el mínimo indispensable para la vida es el acceso a 20-25 litros por persona al día, pero por cuestiones sanitarias se estimó un suministro razonable de 50 litros; por su parte, el óptimo en general oscila entre los 100 y 200 litros por persona al día.

En la misma publicación del periódico digital Impluvium se realizó una estimación de consumo promedio de un mexicano de 220 litros por persona al día, lo cual fue planteado de la siguiente forma:

| ACITIVIDAD | Consumo De Agua Por Actividad (Litros) | Consumo Diario (Litros/Persona) |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| Consumo | | |
| Beber | 2 | 2 |
| Higiene personal | | |
| Ducha | 100 | 100 |
| Uso doméstico | | |
| Lavado de dientes | 2 | 6 |
| Descarga WC | 7 | 35 |
| Otros usos | | |
| Lavado de trastes (cuatro personas) | 54 | 13.5 |
| Preparación alimentos | 40 | 10 |
| Lavado ropa | 190 | 47.5 |
| Riego jardín o traspatio | 6 | 6 |
| Total | 401 | 220 |

Tabla 3. Agua destinada para actividades relacionadas con el DHA, México (Hernández Rodríguez, 2015)

Este análisis de consumo es una media, no representa la realidad en cada lugar, pues existen consumos mayores y menores dependiendo de la zona de México que se estudie. Sin embargo, se puede decir atinadamente que éste está por encima del consumo óptimo establecido por OMS

y ONU, sobrepasa el máximo de 200 litros por persona en un 20%, pero en México no se ha realizado el estudio que dicte un volumen mínimo vital u óptimo, por lo que no se pretende cambiar el actual para seguir lo establecido por organizaciones internacionales.

Una vez establecido lo que dice la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, se plantea la situación actual grave que presenta el recurso natural vital sobre su uso. Según la Ley de Aguas Nacionales en los artículos 13 bis 3 II, 13 bis 4, 14 bis 5 XXII, y 22, se establece que la preferencia de uso en relación con cualquier otro uso son doméstico y público urbano; la misma ley establece los tipos de usos y sus definiciones en el artículo 3°, los cuales se enlistan con fin informativo y comparativo:

1. Agrícola.
2. Ambiental o para conservación ecológica.
3. Consuntivo.
4. Doméstico.
5. En acuacultura.
6. Industrial.
7. Pecuario.
8. Público urbano.
9. En generación de energía eléctrica.
10. Turismo.

La situación de preocupación hace hincapié en que, pese a la preferencia de uso, todo el volumen sustraído de un cuerpo de agua difícilmente se recupera y vuelve a dicho cuerpo; una vez usado ese volumen se vuelve agua residual que pocos están dispuestos a tratar y/o a reutilizar en el campo, en la industria o en la casa-habitación, por lo que siempre se está extrayendo agua de primer uso y otorgándola a todos los sectores indistintamente, cuando bien podría tomarse la decisión de entregar el agua de primer uso en orden de prioridad y al resto darle agua tratada.

A pesar de lo establecido en la ley, está estrechamente enlazado el costo que implica tener acceso al agua, no sólo para el individuo, sino para el gobierno que es quien ahora brinda dicho servicio. Porque, aunque el agua pertenece a todos como habitantes del país, moverla de donde se encuentra hasta donde existe una instalación que lo requiera, llámese campo, industria, vivienda o comercio, no es una labor sencilla ni pronta pues requiere de un pago continuo que cree y sostenga la infraestructura necesaria de captación, almacenamiento, conducción y servicios de mantenimiento a la misma. Es por ello que ambas partes tienen que hacer aportaciones económicas para recibir y brindar el servicio respectivamente, así el usuario aporta con el pago del servicio e impuestos; y el gobierno administra los recursos recaudados para brindar tan adecuadamente como sea posible el servicio de agua para sus distintos usos y hacer nuevas inversiones de acuerdo al presupuesto con que se cuenta.

Lamentablemente, este costo se eleva a medida que aumenta la población y la distancia de traslado del agua, mientras que la población no comprende por qué es necesario pagar más o empezar a pagar el agua que reciben; es así que se generan problemas para mantener la operación de las instalaciones y sus respectivos mantenimientos. Esto solo es falta de comprensión de los sectores beneficiados sobre la complejidad que tiene la conducción de agua en cualquier parte del país, algunos son sólo más complejos por cuestiones económicas, otros por falta de fuentes de captación, y algunos más por la falta de implementación de entrega de agua en orden de prioridad.

Por su parte, se establece un gasto a extraer de los cuerpos explotados para abastecer a todos los sectores con agua de primer uso, lo que lleva a que se realice una extracción de agua de forma continua que satisfaga las necesidades de cada usuario, teniendo grandes caudales que conducir a las respectivas redes basados en un gasto diario que dictan las normas de CONAGUA y que determinan diámetros amplios de tubería de conducción. Es importante tomar en cuenta que los manuales recomiendan gastos diarios de hasta 300 litros por habitante, con las recomendaciones de tipo de vivienda, clima, etc., sin considerar cuán lejos se encuentren las fuentes de captación o el estado de las mismas.

Haciendo referencia a esto último, se sabe que un cuerpo de agua con tal demanda se ve severamente modificado en cuanto al volumen que lo constituye, pues la extracción no iguala a la recuperación del mismo, es decir, se encuentra sobreexplotada dicha fuente; la sobreexplotación no significa que si se continua el proceso de extracción de agua, la fuente se agote en poco tiempo, generalmente dichos cuerpos tienen cantidades muy grandes del líquido natural, por ello aunque no sea inmediato que el cuerpo explotado se termine, tras años o décadas de explotación, puede descender tanto el nivel de agua que se deba llegar incluso al punto de tener que perforar otras capas para llegar a un cuerpo de agua fósil y encarecer el proceso. Se puede decir que la demanda está altamente sobreestimada y con ello se tiene probabilidad de llegar a ver real este escenario.

Con lo todo lo antes mencionado se puede notar que se genera un ciclo que involucra derechos, obligaciones, participación, cantidad y costo que, si se organiza y administra adecuadamente, cada elemento puede tener beneficios y ver cumplidos los rubros establecidos por la ley, tanto constitucional como del sector de agua; así se realizaría adecuadamente la explotación del recurso y su correspondiente distribución sin cometer faltas a la ley, pues el tema del agua es uno muy complejo ante el deseo de que todo individuo tenga la satisfacción de haber recibido el recurso a través de un buen servicio.

III. Fuentes de suministro tradicionales

Ya se ha mencionado el antecedente de los problemas actuales de agua: la ubicación de las fuentes, el crecimiento poblacional, el costo de los procesos, la situación de pérdidas en las redes de conducción, los usos en los sectores y la demanda del consumidor. Se cae siempre en un círculo vicioso de necesidades, dificultades y costos sin fin de la situación actual del agua, así que hay que plantear tales escenarios actuales para analizarlos detenidamente y determinar el estado en que se encuentran, para ello se han planteado las fuentes y formas más comunes de captación de agua.



Ilustración 5. Río Usumacinta
(Wikipedia, 2010)

Río: por ser una corriente natural de agua que fluye permanente o intermitentemente y va a desembocar en otra, en un lago o en el mar, se hace una obra de toma directa.



Ilustración 6. Presa en Durango
(INFO7, 2014)

Presa: obra hidráulica que recolecta escurrimientos superficiales y sirve para almacenar grandes volúmenes de agua o para control de avenidas o de tipo derivadora. Requiere una obra de toma más compleja y su tipo de conducción es por canales y/o tubería.



Ilustración 7. Lago Colombo
(Galizzi, 2008)

Lago: gran depósito natural de agua en una depresión del terreno, que recoge aguas pluviales, subterráneas o de uno o varios ríos, esta fuente puede ser aprovechada a través de una obra de toma directa.

Pozo profundo: perforación vertical, generalmente de forma cilíndrica de diámetro mucho menor que su altura. El agua del acuífero penetra a lo largo de las paredes, creando un flujo de tipo radial. Su profundidad es mayor a los 30 metros y la toma se realiza mediante bombeo.



Ilustración 8. Ejemplo de pozo somero (CODESO, s.f.)

Pozo somero: la diferencia con el anterior solo es la profundidad pues es menor a los 30m, también explotado mediante bombeo o algún otro medio mecánico.

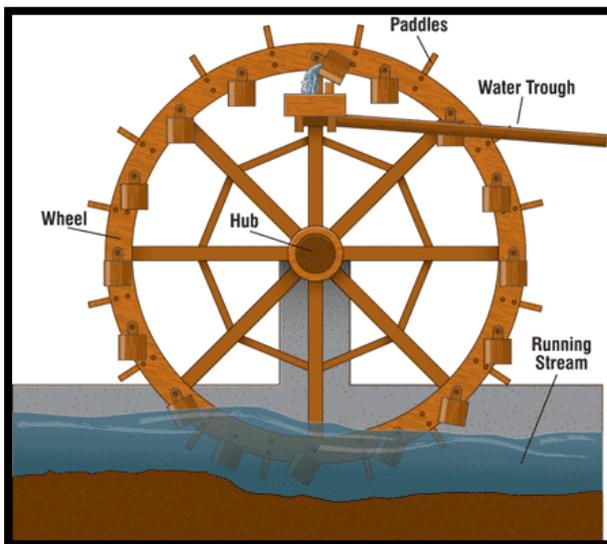


Ilustración 9. Ejemplo de noria (Noria Corporation, 2008)

Noria: Consiste en una gran rueda con aletas transversales que se coloca parcialmente sumergida en un curso de agua, el cual, gracias a las aletas, imprime a la rueda un movimiento continuo. Esta, posee en su perímetro una hilera de recipientes (arcaduces o cangilones), que con el movimiento de la rueda se llenan de agua, la elevan y la depositan en un conducto asociado a la noria que la distribuye al canal de regadío u otro tipo de depósito. Existen también norias para sacar agua de pozos, en las que el movimiento se consigue generalmente utilizando tracción animal. (Varios, Wikipedia, 2017)

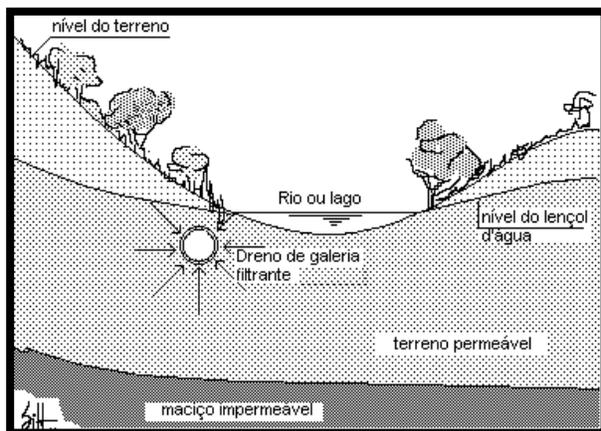


Ilustración 10. Ejemplo de galería filtrante (Venancio, 2009)

Galería filtrante: esta es una obra de toma que consiste en un tubo perforado alojado longitudinalmente dentro de una preparación de piedra picada graduada que permite la filtración, generalmente se instala en un acuífero superficial como fuente de captación.



Ilustración 11. Manantial en Oaxaca (Varios, 2011)

Manantial: acuífero entre estratos de arena y grava del cual el agua fluye y aflora a la superficie debido a la presencia de un estrato de materia impermeable como arcilla o roca que impide la filtración

Sin embargo, los escenarios actuales expresan, a través de números, que ya no es suficiente seguir con el sistema de agua que se tiene, mantener estas obras no mejorará el estado de los cuerpos de agua ni la facilidad de explotación de los mismos, sino al contrario pues la extracción en cada fuente se ha intensificado para cubrir la demanda de agua diaria con la creciente población; es decir, de las mismas fuentes de abastecimiento, con su respectivo volumen de agua contenido, se tiene que satisfacer a una población más grande cada año, por ende, los cuerpos son sobreexplotados hasta el punto de llegar a la necesidad de restablecer el equilibrio hídrico de las aguas nacionales, esto significa que las zonas se verán explotadas bajo veda hídrica, limitaciones de extracción en zonas reglamentadas, reservas y/o el cambio en el uso del agua para destinarlo a los ya mencionados prioritarios doméstico y público urbano. Tales medidas buscan establecer un uso sustentable que permita realizar a las actividades cotidianas sin detrimento del ambiente.

Por ejemplo, las zonas de veda superficial son aquellas áreas específicas de las regiones o cuencas hidrológicas en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente, estos se controlan mediante reglamentos específicos ya sea en virtud del deterioro del agua en cantidad o calidad, por afectación a la sustentabilidad hidrológica o por el daño a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. A 2015 existían ya 349 zonas de veda superficial, (CONAGUA, 2016) debido al desequilibrio hidrológico o deterioro en calidad, como se muestra en la ilustración 12.

Del mismo modo, existe la situación de veda hídrica para cuerpos subterráneos; igualmente es regulada por leyes y reglamentos que, gracias a estudios en campo y estadísticas, muestran el panorama del recurso natural en cuestión de disponibilidad y posible explotación para cualquier uso que se requiera. Adicionalmente, para aguas subterráneas se tienen reglamentos, zonas de reserva y acuerdos generales para otorgar o prohibir concesiones a particulares que quieran explotar el recurso, lo cual se representa en la ilustración 13.

Se puede notar en ambos mapas, las zonas de veda son la mayor parte del territorio mexicano por lo que es necesario analizar la situación actual y actuar para mejorar el estado del recurso hídrico para volver a un equilibrio y brindar sustentabilidad.

Por ello es que a continuación se describe un panorama de un futuro no muy lejano sobre la situación hídrica de la nación, basado en las circunstancias demográficas, sociales, culturales y ambientales.

El país tiene una diversidad climática basta, existen lugares de mucha abundancia de agua y problemas de inundación, mientras que otros tienen falta de agua y sequías intensas. Lo cual representa diversos casos a resolver por dificultades de disponibilidad y sobre todo por costos, dado que, aunque existen los recursos económicos para crear la infraestructura necesaria para mover el agua, no existen los suficientes para mantenerlas pues la operación y mantenimiento se vuelven costosos para las dependencias encargadas de dicho servicio y para el mismo usuario.

Paralelamente se sabe que existe suficiente agua de tipo subterránea que puede abastecer a los sectores que lo utilizan, pero el gran factor que ha afectado al estado de los cuerpos hídricos con que se cuenta es la demanda; siempre se ha trabajado para que la demanda rija en los diseños y costos de la infraestructura, lo cual, idealmente, debe cambiar para evitar la sobreexplotación de los cuerpos de agua.

Con la tasa de crecimiento poblacional que tiene el país y el estado de sobreexplotación de las fuentes de captación, es momento de definir lo que se da a los usuarios a partir de la oferta, es decir, brindar un caudal adecuado para vivir, no excedente, no insuficiente; para ello se pueden considerar las recomendaciones de los organismos internacionales de consumo óptimo que ya se han explicado anteriormente, o bien, realizar un estudio exhaustivo a nivel nacional para definir un volumen "a la medida". Para este fin es imperativo reducir la dotación que cada sector recibe,

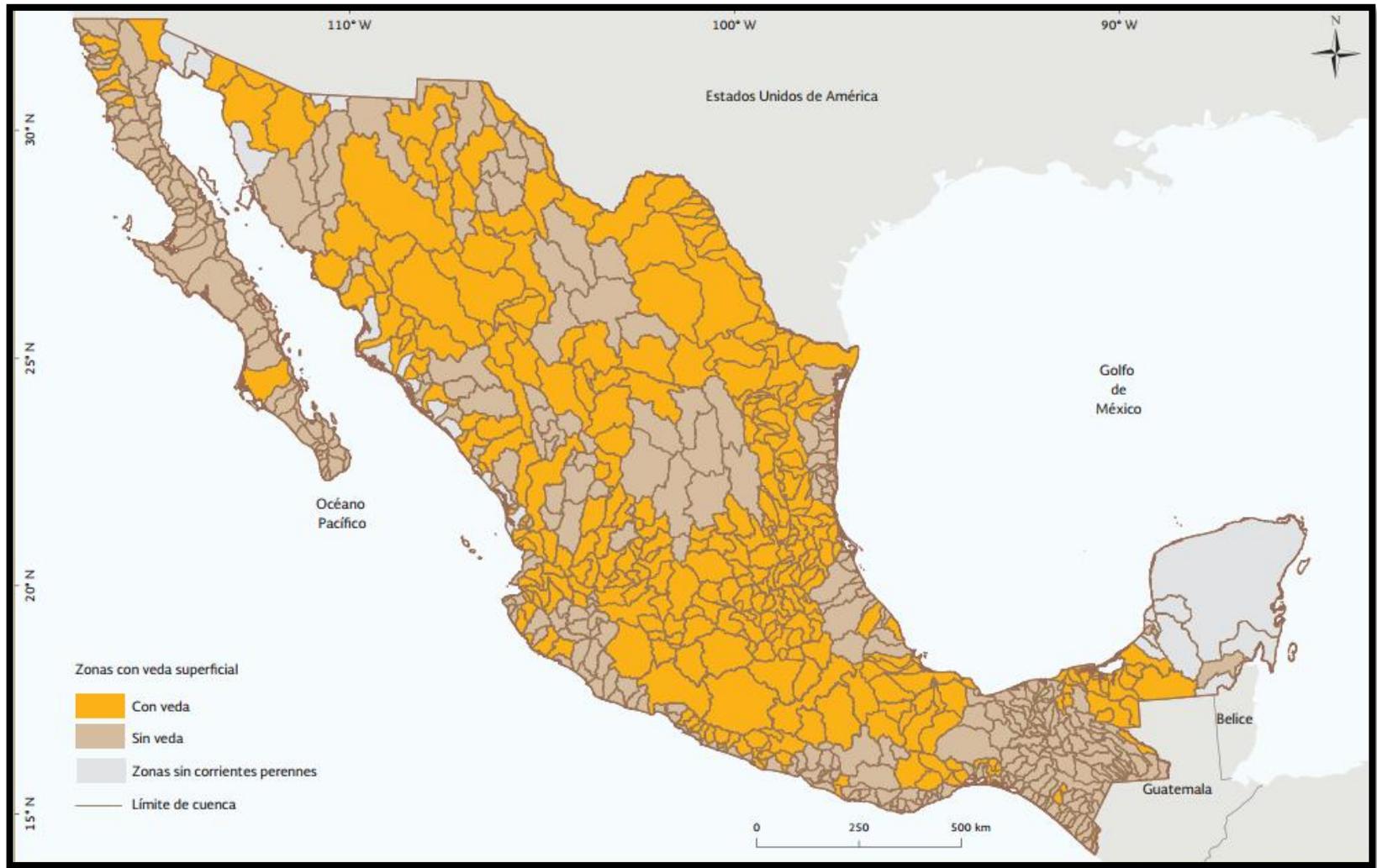


Ilustración 12. Zonas de Veda de Aguas Superficiales, 2015
Referencia 8

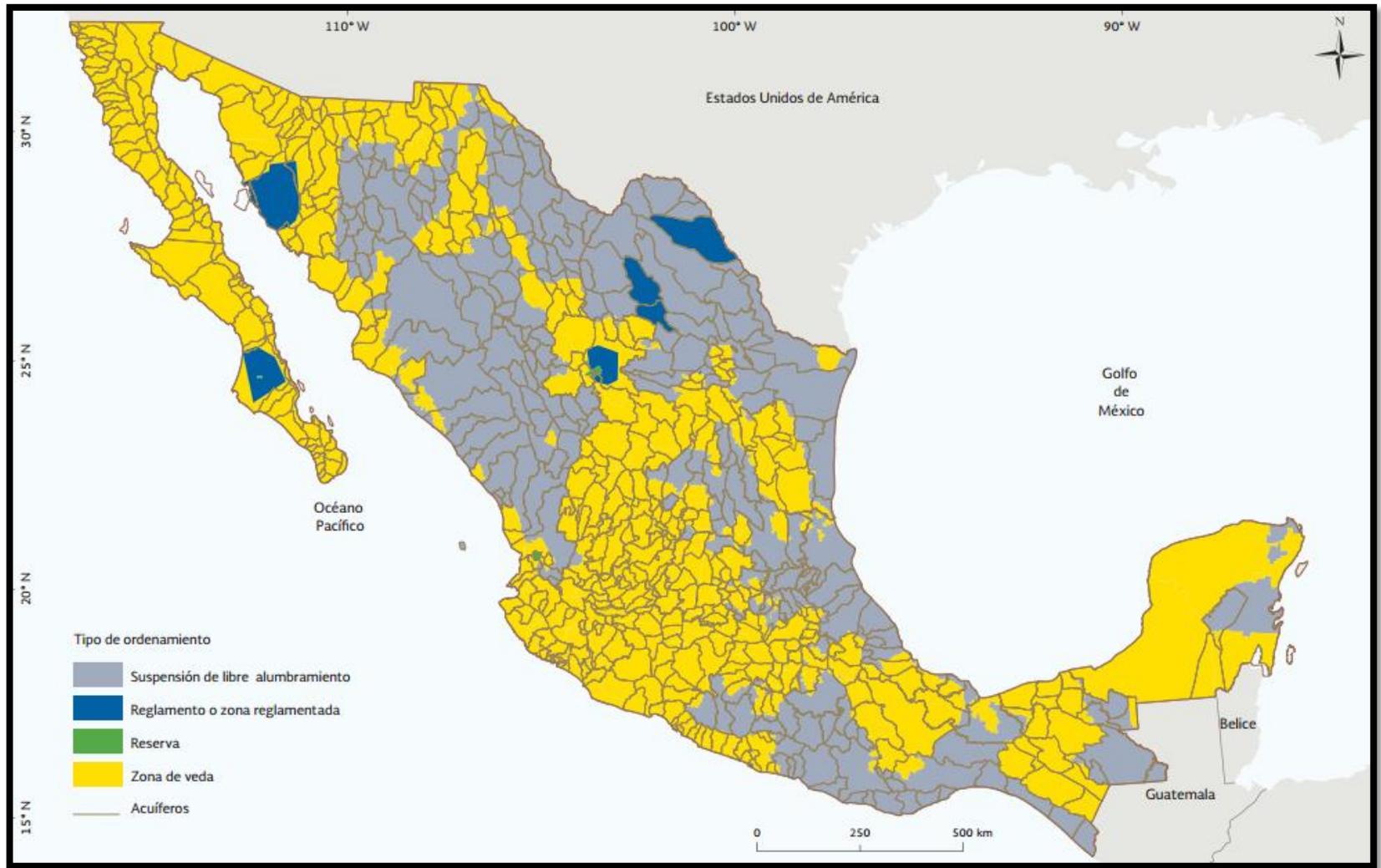


Ilustración 13. Ordenamientos de aguas subterráneas, 2015
Referencia 8

una reducción controlada constante que pueda llevar de los 300 l/hab/día a los 250, 200, 150, o menos, que sería una medida con la que algunos habitantes actualmente viven sin ningún inconveniente; significa que los usuarios obedecerán la oferta de los cuerpos de agua explotados sin provocarles perjuicios y esto ayudará a reducir rápidamente la sobreexplotación de los acuíferos y ríos.

Esta es una acción que requerirá de comunicación y difusión de la información por parte de expertos y autoridades hacia la población para el mejor entendimiento de los porqués de esta medida y su consecuente modificación en los precios del servicio que se recibe. Esta parte es muy importante, pues se debe trabajar este intercambio de información antes de comenzar a reducir los volúmenes para evitar conflictos sociales.

Con esto se puede inferir que una vez que se ha calculado y diseñado únicamente sobre la oferta antes mencionada, es necesario considerar las opciones posibles para mejorar el sistema en general, es decir, aquellas que satisfarán la nueva oferta de forma óptima; hablando de acciones que ayudarán en distintas etapas del proceso de accesibilidad al agua, las principales tareas que se requieren en el sistema de agua se describen a continuación.

Reconsiderar una fuente de captación presente en todo lugar en mayor o menor medida dependiendo del clima, el agua pluvial. Una vez que se haya reducido la dotación a brindar a la población, al riego e industria, considerar el volumen acumulado por precipitación anual será significativa para satisfacer el servicio de agua, aun cuando las precipitaciones sean consideradas como bajas (menores a la precipitación normal de 740mm al año según CONAGUA actualmente), como sucede en el norte del país; el volumen captado será parte fundamental para otorgar agua al sector de mayor prioridad: doméstico y público urbano. De esta forma se reduciría notablemente el nivel de explotación de los cuerpos subterráneos y se aprovecharía aquella agua que no tiene ningún tipo de restricción legal para su captación y uso (no hay limitantes para la cosecha de agua en Reglamento y Ley de Aguas Nacionales emitidas por CONAGUA), lo único a trabajar sería el área destinada a dicha captación y su correspondiente conducción hacia las plantas potabilizadoras de la zona urbana a beneficiar.

La idea principal de la implementación de la cosecha de agua como fuente importante de suministro a nivel nacional es disminuir la explotación o sobreexplotación de las fuentes actuales para satisfacer los mismos usos que hoy se tienen y oferta sustentable del recurso natural.

Además, existe la situación de la concientización sobre el uso del agua, el no desperdicio de la misma y su forma de reducir el consumo en general, lo cual no es incorrecto, pero quizá es poco sensato. El diseño de las redes fue hecho para soportar altos caudales por la alta demanda considerada, lo cual genera una presión estable en las tuberías que ven caudal de entrada igual a caudal de salida más fugas, pero si se inicia por reducir el consumo de los usuarios y aún mantener el caudal de diseño, las presiones en tubería aumentarán debido a que existirá mayor volumen en la red sin poder tener una salida;

cuando aumentan las presiones en la red, las fugas incrementan dañando la tubería y el gasto de salida a los usuarios se verá afectado porque de lo que antes recibía, ahora un porcentaje se estará perdiendo en la conducción, así que se manda notificación de que el caudal de entrada es insuficiente para cubrir la salida y pérdidas por fugas y el caudal de entrada debe seguir aumentando. Se puede decir que el ahorro en el consumo de agua debe ir de la mano con la tarea de recuperación de fugas, así como la modificación del caudal de diseño y con ello las dimensiones de la red de conducción.

Parte del problema es que actualmente no se tiene una ley o lineamientos en manuales de diseño que digan que toda agua tiene que ser reutilizada, reciclada y/o tratada al menos una vez. Se propone el escenario donde el agua de primer uso sea doméstico y público urbano para que así se establezca que se debe dar agua de tipo reciclada o tratada a la industria y al campo, donde los primeros deberán seguir reutilizándola y tratándola antes de darle su disposición final; incluso en los usos de mayor prioridad se deberá implementar la reutilización del agua al menos una vez, pero todos los usuarios en general seguirán con la obligación de pagar sus respectivas cuotas a quienes conducen tales aguas porque, se reitera, lo que cubren esos pagos son los gastos de operación y mantenimiento de la infraestructura existente y futura.

En algunos casos ha sido necesario captar el agua de la fuente más salina existente: el mar. Esto ha sucedido como acción ante la necesidad de agua de las poblaciones y sus actividades económicas y porque el agua dulce no está disponible en el lugar donde se requiere; por ello el agua salada es una opción considerable si se está rodeado por ella y es más económico que explotar fuentes disponibles de agua dulce y su respectiva conducción, esto orilla a tomar la desalación como alternativa de captación de agua. La desalación es una opción que ha funcionado para diversos grupos humanos en distintas épocas, con el tiempo se han implementado, a través de la destilación, procesos de membranas y congelación para cubrir dicho objetivo; el único requisito a cumplir a partir de la innovación en tecnología para elegir esta opción es que el proceso sea barato para quien absorba tal cargo. Este tipo de suministro ya se está llevando a cabo en algunos lugares a nivel mundial y en México se realiza en Baja California, lo cual plantea precedentes y expectativas a mediano y largo plazo para siguientes poblados que consideren como fuente de suministro el mar.

Las cuatro situaciones anteriores son necesarias a partir de un escenario particular y recursos económicos disponibles con que se pueda invertir para modificar las fuentes de suministro de agua, así se tienen que considerar las particularidades de cada acción y su impacto, pero se debe mantener el lineamiento indispensable de obedecer a la oferta y no a la demanda como se ha explicado ya.

IV. Estudio de caso: Fresnillo, Zacatecas

La escasez de agua, baja disponibilidad o inaccesibilidad a fuentes en el país se presenta en regiones tanto desérticas como selváticas, es decir, en ambos extremos climáticos y geográficos.

Poco más de la mitad del territorio mexicano fue conocida como Aridoamérica por una razón muy importante, la escasez de agua para la ejecución de actividades humanas satisfactoriamente, principalmente la agricultura. Este punto es un elemento esencial para definir el estilo de vida de la población, es decir, cómo se obtendrá y aprovechará el agua a partir de esta evidente escena de menor cantidad de agua disponible en comparación con la del sur del país.

De acuerdo a estudios y estadísticas de CONAGUA, hay ciertos estados o municipios específicos que tienen mayor dificultad para obtener agua, ya sea por falta de fuentes, por contaminación de las mismas, por altos costos en el proceso, o por acuerdos protegidos por un marco legal que impiden que más de uno reciba agua de una misma fuente. Cualquiera que sea el motivo no hace diferencia entre la necesidad clara de determinar una fuente que aminore o elimine este problema de falta de agua.

Uno de los municipios que presenta una de las situaciones planteadas en el párrafo anterior es Fresnillo, Zacatecas. Este es un lugar muy poblado que tiene un factor en contra como lo es su ubicación; la ubicación define la disponibilidad de agua porque hay una distribución de ésta que está relacionada con condiciones geográficas e hidrológicas que permiten poco la absorción de agua para llenar los acuíferos o bien, las fuentes superficiales como ríos que en este caso no son de tipo perenne.

Este es un caso que se desea analizar para proponer una solución a la baja disponibilidad de agua con el planteamiento de la modificación de la demanda de agua basada en la oferta de la misma que modificaría el equilibrio hídrico en su favor.

4.1. Descripción general

El municipio de Fresnillo Zacatecas se localiza entre los paralelos 22°51' y 23°36' de latitud norte; los meridianos 102°29' y 103°32' de longitud oeste; altitud entre 1900 y 2900 msnm.

La localidad se encuentra rodeada por los municipios: Sain Alto, Río Grande y Cañitas de Felipe Pescador al norte; Cañitas de Felipe Pescador, Villa de Cos, Pánuco, Calera y General Enrique Estrada al este; General Enrique Estrada, Calera, Jerez y Valparaíso al sur; así como Valparaíso, Sombrerete y Sain Alto al oeste. (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Fresnillo, Zacatecas, 2009).

La ilustración 14 es un mapa de México en el que se resalta la ubicación de interés para mejor entendimiento del planteamiento de la situación hídrica de este lugar; por ello a partir de ahora se colocarán ilustraciones y sus correspondientes guías para ubicar el municipio

de Fresnillo con facilidad sin tener que recurrir a la escala y coordenadas geográficas de las mismas ilustraciones.

La característica fuerte para este municipio, además de su ubicación, es el clima. El rango promedio de temperatura es de 12°C a 18°C y el clima predominante (91.6%) es semiseco templado con lluvias en verano; en menor presencia (8.3%) está el templado subhúmedo con lluvias en verano; y también, pero poco partícipe (0.1%), está el seco templado con lluvias en verano. (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Fresnillo, Zacatecas, 2009).

Debido al clima que tiene el lugar, muy similar al del promedio del estado de Zacatecas en general, la precipitación anual estatal puede presentarse desde los 300 hasta los 700mm, lo cual es considerado un rango bajo o muy bajo según la clasificación de CONAGUA, donde lo normal es 740mm.

En las ilustraciones 16 y 17 se puede apreciar cómo está distribuida la precipitación a nivel nacional y, de forma marcada, cómo lo está en el estado de Zacatecas, poniendo atención en el municipio de interés, Fresnillo. Así se verá claramente el panorama adverso importante a considerar para enmarcar la escasez del lugar y empezar a considerar que las fuentes actuales de explotación no durarán por siempre.

Al comparar ambos mapas, se puede apreciar que los niveles de precipitación se han intensificado en el caso de Fresnillo, Zacatecas; no es una mejora que el hombre pueda controlar, simplemente el clima y temporadas de lluvia, así como intensidad de las mismas ha cambiado en todo el mundo en los últimos años por efectos del calentamiento global. Para este caso se presenta una mejora de las condiciones extremas que favorecen la sequía pues la altura de precipitación aumentó hasta llegar casi a los 500 mm como media al año. Este ligero aumento puede significar un punto a favor para las zonas que se dedican a las actividades agrícolas de temporal y quizá un punto en contra para la zona urbana que ya sufre inundaciones, pero la ingeniería debe saber aprovechar esta oportunidad de solución.

Nuevamente hay que recordar que las condiciones pueden ser adversas o favorables en materia del agua y que generan escenarios distintos, incluso en áreas de territorio pequeñas como lo es un municipio, por ello es importante realizar análisis de situaciones y sus respectivas soluciones posibles y probables.

Además, cabe destacar que el clima puede verse determinado por condiciones fisiográficas, en este caso, se tienen relieves accidentados como la Sierra Madre Occidental y Mesa del Centro. Por cuestiones de topografía, la población está asentada en la zona poco accidentada y sin fuerte pendiente mientras que el resto del municipio es una zona de cambios de formas.



Ilustración 14. Estados, Municipios y Fronteras, 2015. Con la ubicación del municipio de Fresnillo, Zacatecas
Referencia 8

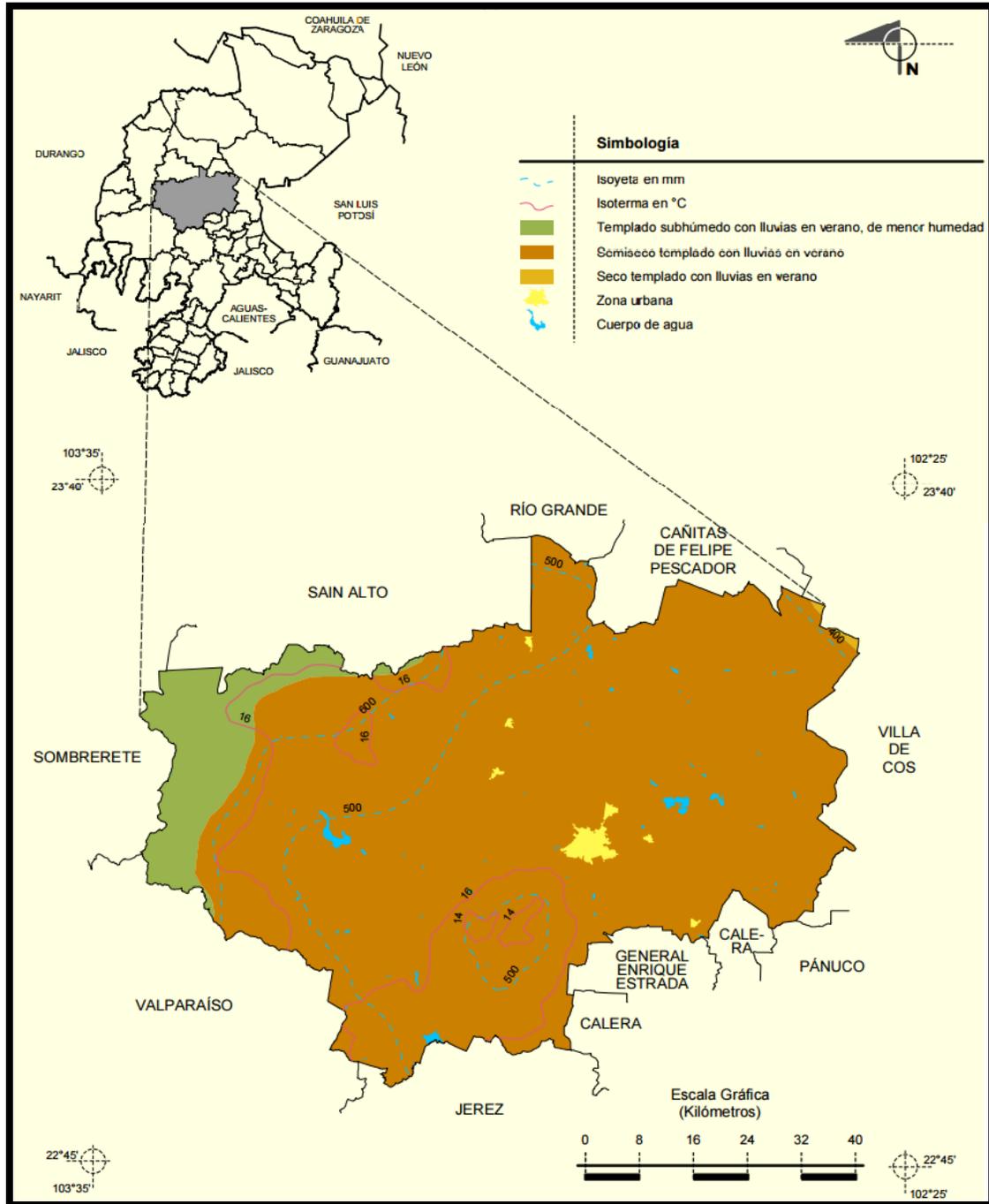


Ilustración 15. Mapa de Climas
Referencia 23

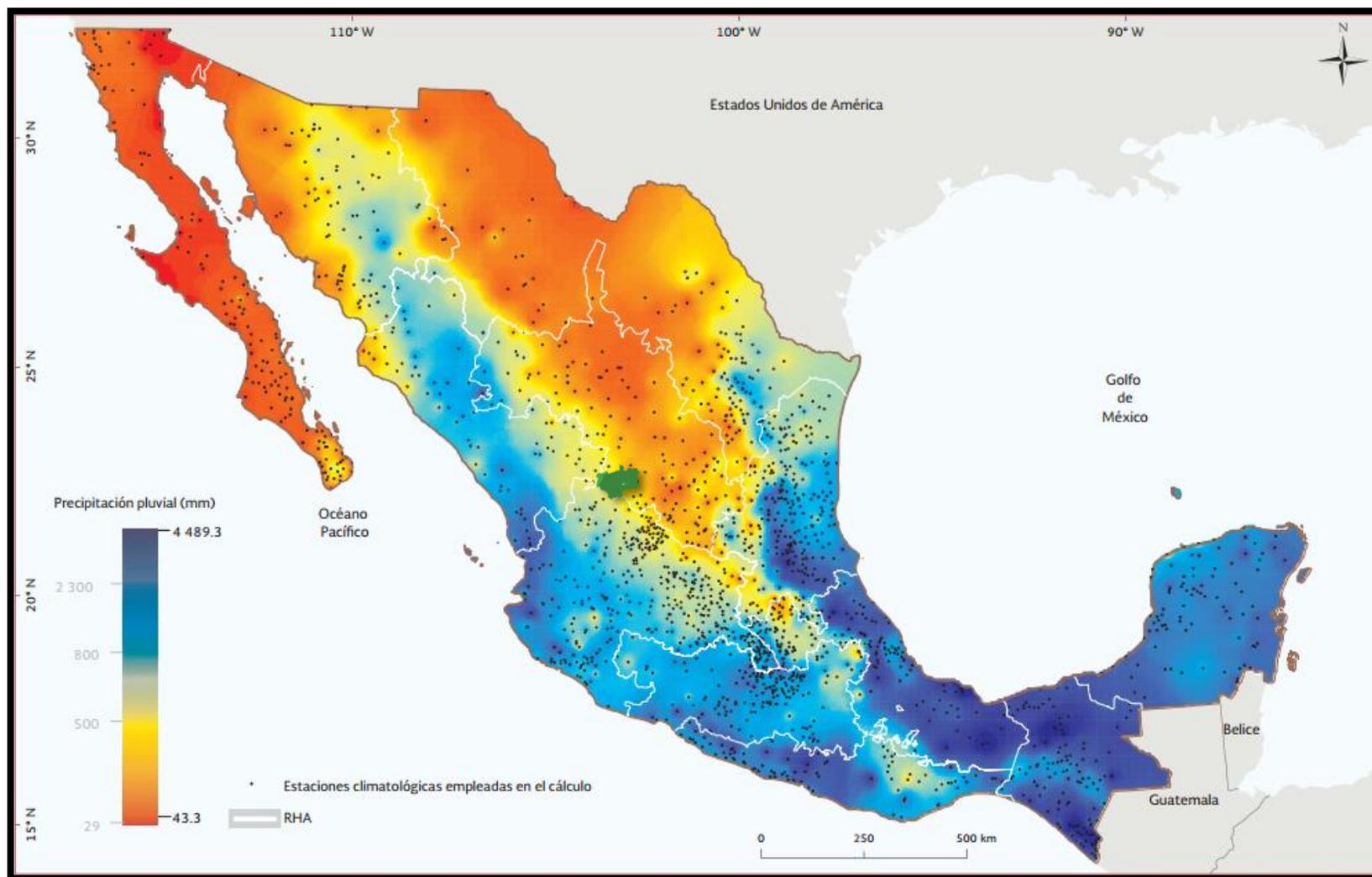


Ilustración 16. Distribución de la precipitación pluvial normal 1981-2010
Referencia 8

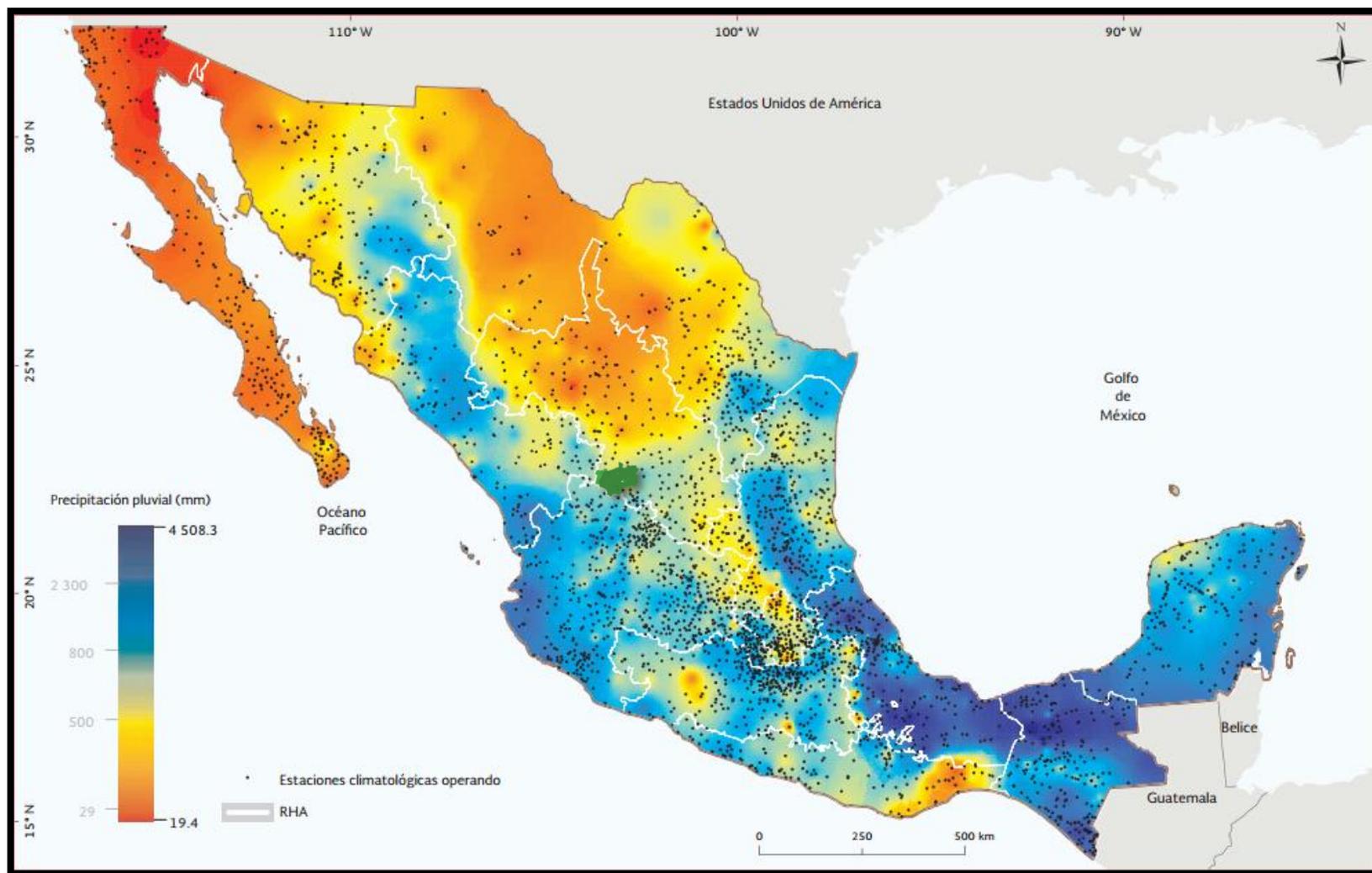


Ilustración 17. Mapa de Distribución de la precipitación pluvial anual, 2015
Referencia 8

- #36 en el mapa Nazas-Aguanaval (54.9%).
- #37 en el mapa El Salado (40.7%).
- #12 en el mapa Lerma-Santiago (4.4%).

Lo anterior se puede apreciar en la ilustración 19, donde se plantea de alguna forma el comportamiento del agua a partir del relieve de la zona en cuestión, esto ayuda a conocer hasta cierto punto el estado de la disponibilidad de agua en la región, además del clima, la división de cuencas es un gran factor para saber si es posible mejorar las condiciones adversas que tiene una población para explotar el recurso natural y satisfacer sus necesidades.

La topografía juega un papel importante en cuestiones de agua superficial, por ello se tiene la división de cuencas en esta forma, lo cual puede ser un inconveniente para muchas ciudades que no tienen bastas fuentes de suministro, pero que tienen que buscar soluciones para obtener el recurso. Este es parcialmente el caso de Fresnillo, Zacatecas puesto que no tiene ríos caudalosos en su territorio.

Debido a su posición en las diferentes cuencas, se puede notar que el municipio es el lugar en que parten los escurrimientos de agua y que llegarán a otros lugares, es decir, ve nacer a dichos escurrimientos, pero no se quedarán en su territorio. Lo anterior deja en claro que, de forma natural, se presenta un problema de reinyección a los acuíferos ya que el escurrimiento superficial puede ser más rápido que el subsuperficial para dar pie al subterráneo y poder recuperar volumen de un cuerpo explotado.

Los escurrimientos antes mencionados terminan desembocando en ríos que, según los datos geográficos de INEGI del municipio de Fresnillo, pueden ser de tipo perenne o intermitente; los primeros son: Río Aguanaval, San Francisco y Río Lavadero; los segundos son: El Águila, Ábrego, Las Iglesias, Paso de Arena, Los Morenos y Buenavista.

De la misma forma, es importante mencionar los cuerpos de agua presentes en la zona, también se les considera como perennes e intermitentes; las perennes son: Gobernador Leobardo Reynoso, Santa Rosa, Cabrales, Presa de Trujillo, La Bomba, El Ahijadero, El Angelito y Tanque de Abajo; los de tipo intermitente son Santa Ana, La Salada y Sedano. (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Fresnillo, Zacatecas, 2009)

Estas son las únicas fuentes que se pueden considerar en un estudio hidrológico dado que las cuencas y sus cuerpos hídricos naturales no pueden ser alterados por cuestiones de veda.

Conocidas las fuentes de agua se puede hablar sobre el uso del suelo y cómo eso impacta al recurso natural que se analiza ahora.



Ilustración 19. Regiones hidrológicas
Referencia 8

Se calcula que el uso del suelo se divide en:

- Agricultura (46.1%).
- Zona urbana (0.7%).
- Pastizales (28.8%).
- Bosques (14.1%).
- Matorrales (9.2%).
- Otra vegetación (0.2%).
- Mezquital (0.1%).
- Vegetación no aplicable (0.2%).

Conocer los porcentajes anteriores puede ser un indicador de la demanda de agua que requiere cada zona y que se verá definida por las funciones o usos potenciales que se le den. En este documento no se presentará un análisis de la demanda, puesto que el principal asunto no se avoca a la cantidad demandada, sino a la acción adecuada para equilibrar dicha demanda.

4.2. Riesgos en el municipio

4.2.1. Lluvias extremas

Estas son lluvias atípicas que presentan una altura de precipitación mayor a la media histórica, además pueden ocurrir dentro o fuera del periodo correspondiente a la estación climática de lluvias.

Este tipo de precipitaciones tienen lugar cuando aparecen fenómenos naturales como huracanes en las costas cercanas a la localidad y cuyo impacto tiene alcance hasta zonas medias del interior del país. Lógicamente, este fenómeno tiene mayor probabilidad a presentarse en verano, que es la época de huracanes.

Dichas lluvias extraordinarias pueden ser causantes de flujos, erosión e inundaciones, tanto en zonas urbanas como en áreas de vegetación o cultivos. Aunque no suceden en cada huracán que se presenta en las costas más cercanas, la posibilidad es un riesgo latente (F. A.-2., SEDESOL, Hábitat, & Fresnillo, 2014).

4.2.2. Inundaciones

Estas se presentan en mayor medida en la zona urbana debido a que esta área tiene diversos factores que combinados puede sufrir este desastre natural. Dichos elementos son:

- Alta intensidad de precipitación.
- Poca filtración de agua en el terreno.
- Liberación brusca de los niveles de una presa.
- Taponamientos de la red de drenaje, superficies asfaltadas y urbanización de cauces naturales.
- Suelo debilitado por tala de árboles que permite desgajamiento y arrastre de sólidos que azolvan cuerpos superficiales de agua.

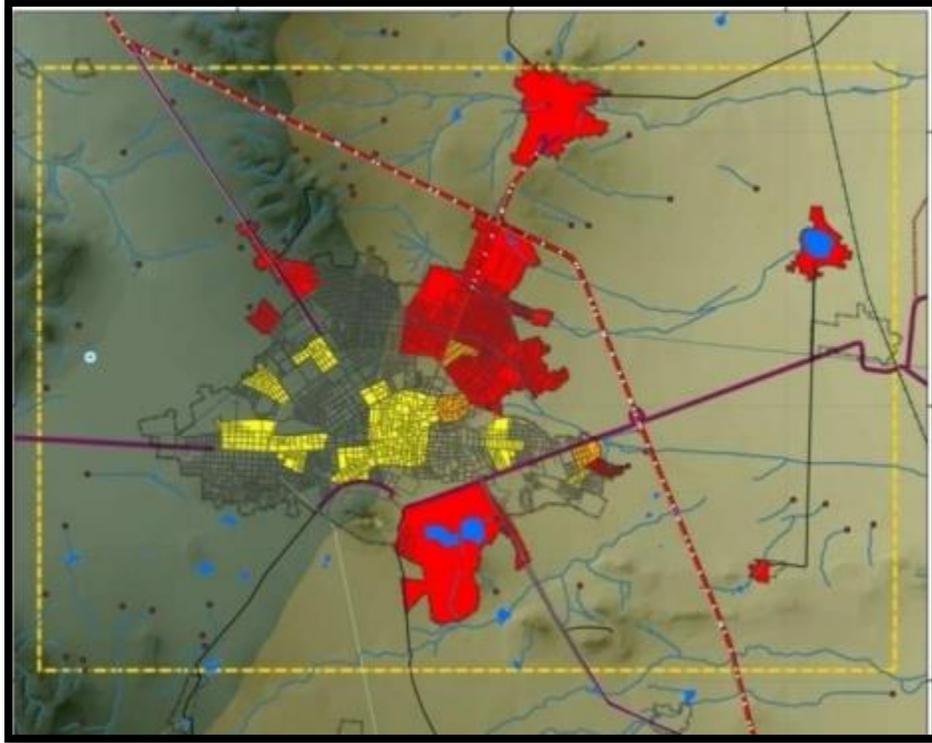


Ilustración 21. Mapa del área urbana susceptible a inundación
Referencia 12

4.2.3. Sequías

La sequía es una insuficiencia en disponibilidad de agua para todos los seres vivos de un determinado lugar, esta puede presentarse en distintas etapas dependiendo del grado de falta de recurso hídrico; además del grado, se debe tomar en cuenta la frecuencia con que se presenta el fenómeno, que es estimado de acuerdo a datos históricos que se tengan registrados.

Uno de los principales problemas de la sequía es que en zonas de altas temperaturas es más severa la afectación a cultivos, vegetación e incluso a la zona urbana; puesto que el clima predominante aunado a la falta de precipitación y carencia de agua en el suelo hacen notable la necesidad aumentada de acceso al recurso natural.

Sin embargo, los cuerpos de agua disponibles se encuentran explotados a su máxima capacidad de extracción y no es posible sustentar la demanda de agua; la población crece exponencialmente, los mantos acuíferos son insuficientes, y existe un problema de perforación de pozos clandestinos destinados a producción agrícola, todo en conjunto representa un estado crítico de la brecha entre la demanda y oferta del recurso hídrico.

La ilustración 22 es un mapa nacional que zonifica áreas dependiendo del grado de sequía que se ha presentado históricamente y se ha registrado.



Ilustración 22. Mapa nacional de Duración de la sequía promedio
Referencia 15

En el mapa anterior se puede notar que el municipio de Fresnillo está en dos áreas de distinta duración de sequía; es así que la mayor parte del territorio esta entre uno y dos años, mientras que una zona de menor tamaño puede sufrir sequias de entre 3 y 4 años, por lo que se puede tener un riesgo bajo como alto en cuanto a sequías.

| Ubicación de la sequía | Fecha |
|---|----------------------|
| Norte del mineral | 23 de mayo 1999 |
| Norte del mineral | 6 de junio 1999 |
| Cultivos temporales | 27 de agosto 1999 |
| Cultivos | 14 de febrero 2000 |
| Cultivos | 1 de septiembre 2000 |
| Chichimequillas, Orilla del Llano, el Mezquite, Presa del Mezquite, Patillos y Tapia del Mezquite | 28 de marzo 2001 |
| Poniente y norte de Fresnillo | 21 de agosto 2001 |
| Cultivos | 25 de agosto 2001 |
| Cultivos | 20 de octubre 2005 |
| Cultivos | 2 de mayo 2006 |
| Cultivos | 27 de junio 2006 |

Tabla 4. Fechas y lugares con sequía registrada del 99 al 2006. Áreas rurales cercanas a la zona de estudio
Referencia 12

El riesgo de sequía, así como el de inundación, son los más peligrosos puesto que atentan contra la producción del municipio en materia agrícola y cuyo ingreso económico es el más importante y de mayor aportación al PIB.

4.3. Situación de los cuerpos de agua disponibles en el municipio

Este es uno de los puntos más importantes en la situación del municipio, e incluso del estado porque se presenta un estado crítico de la capacidad de producción de los cuerpos de agua y la demanda requerida por la población en los distintos ámbitos de uso y destino del recurso.

El dato duro sobre la disponibilidad media anual de agua por habitante a nivel estatal es $1,086\text{m}^3$ (Gobierno del Estado, 2015), un número que año con año puede ir disminuyendo drásticamente debido al crecimiento poblacional como al agotamiento de las fuentes de captación.

Actualmente se tienen conteos sobre la situación de equilibrio de agua en México y se clasifican de acuerdo a la división de las cuencas hidrológico-administrativas. El siguiente mapa muestra que la zona de interés tiene agua renovable mayor a los $1700\text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ (CONAGUA, 2016). Lo cual es el nivel más alto que se maneja en los estudios de CONAGUA y que indica que es el más alto volumen de agua renovable per cápita en la República Mexicana.

Este conteo se ve representado en la ilustración 23 a través de la cantidad de agua que es renovable por habitante a nivel de región hidrológico-administrativa.

Los puntos clave en este apartado son: el empobrecimiento de los acuíferos, esto es consecuencia de la escasa precipitación en la zona y también por el hecho de ser “donante” de agua hacia las cuencas Lerma-Santiago-Pacífico, Pacífico Norte y Cuencas Centrales del Norte; y el otro punto clave es la carencia de infraestructura hidroagrícola para el acopio y distribución de agua al sector agropecuario, lo cual impide su desarrollo y afecta seriamente a la economía del lugar.

Nuevamente se menciona que el municipio en estudio se encuentra dentro de las regiones hidrológico administrativas de El Salado, Lerma-Santiago y Nazas-Aguanaval, lo cual indica que la situación de repartición de agua es compleja por la división administrativa, que de algún modo obedece lo que dicta la naturaleza del terreno, pero que también obedece a los intereses económicos o políticos que abrazan el territorio.

Parte importante de la administración de las cuencas son los estudios de cuerpos de agua disponibles para ser explotados, no todos pueden ofrecer la calidad deseada, pero se deben analizar todas las posibilidades. Por ello se presentan las fuentes de captación posibles que tiene el estado de Zacatecas, que comprenden las de interés del municipio de Fresnillo para considerar más ampliamente el escenario que ofrece la relación hombre-naturaleza respecto al agua.



Ilustración 23. Agua renovable per cápita 2015
Referencia 8

4.3.1. Aguas superficiales

Rio Aguanaval

En la región hidrológica Nazas-Aguanaval es visible que este río cruza el municipio de Fresnillo de suroeste a norte; el río nace en el Cerro del Fraile y su cauce es aprovechado por la presa de almacenamiento Santa Rosa y la presa Leobardo Reynoso; sin embargo, debido al relieve que presenta la zona, existen arroyos que con su escurrimiento aportan al cauce del este río principal, dichos escurrimientos intermitentes pueden ser una parte esencial para su aprovechamiento en otro tipo de fuente de suministro.

Esencial para la explotación de los cuerpos de aguas, es conocer las existentes zonas de veda superficial para casi todo el territorio del municipio, lo cual significa que ya no es posible modificar a favor de la población la explotación que se da a los cuerpos superficiales, es decir, aunque la población aumente, no se podrá explotar más un cuerpo para mantener la demanda de la población actual. Esto se ejemplifica en la ilustración 24.

4.3.2. Aguas subterráneas

Este recurso es aprovechado a través de pozos de extracción del cual, en promedio a nivel estatal, se destina el 86.45% del volumen extraído a la agricultura, mientras que el 13.54% restante se otorga al uso público, urbano e industrial. (Gobierno del Estado, 2015).

Aquí es donde se presenta el mayor problema de diferencia entre extracción y reinyección de agua, pues de lo que se bombea en el pozo sólo el 86.88% (Gobierno del Estado, 2015) es destinado a recargar los acuíferos; por ello es que se tiene un estado actual de déficit en el equilibrio hídrico que se vuelve peligroso conforme pasa el tiempo porque se ve un futuro próximo en que se agotará el recurso natural o no podrá abastecer adecuadamente las necesidades básicas y económicas del municipio.

Del mismo modo que para las aguas superficiales existe la veda hídrica por parte de las autoridades aplicado a las aguas subterráneas; es el mismo concepto de prohibición en el aumento o modificación de explotación de acuíferos y se ejemplifica en la ilustración 25.

Una vez que el lector haya analizado las ilustraciones 24 y 25, se puede proceder a revisar más concretamente los datos numéricos planteados gracias a sondeos, cálculos y estadísticas que presentan la situación hídrica del municipio de Fresnillo Zacatecas. Siempre hay que considerar que los datos numéricos son estimaciones que pueden tener un margen de error.

Se presenta la tabla 5 con un listado de los acuíferos comprendidos parcialmente en el municipio de Fresnillo y su estado actual, es decir, si se encuentra sobreexplotado o con disponibilidad de agua subterránea. Los siguientes son acuíferos que el municipio explota, pues están dentro del territorio y que por ende es una de las fuentes de abastecimiento para las actividades que requiere la zona, y su disponibilidad de acuerdo a información que muestra el Programa Hídrico Estatal versión 2030 Zacatecas.

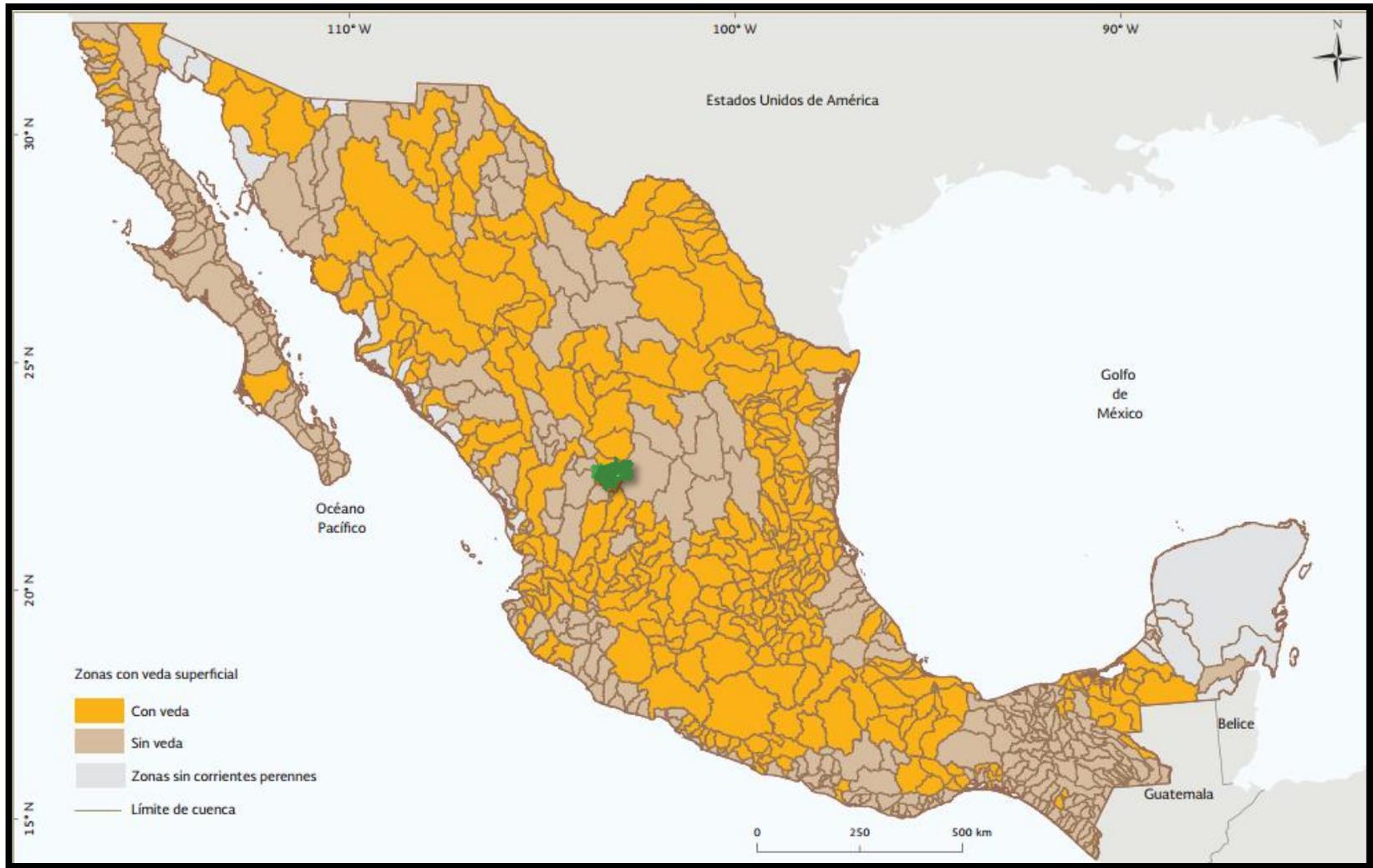


Ilustración 24. Zonas de veda de aguas superficiales, 2015
Referencia 8

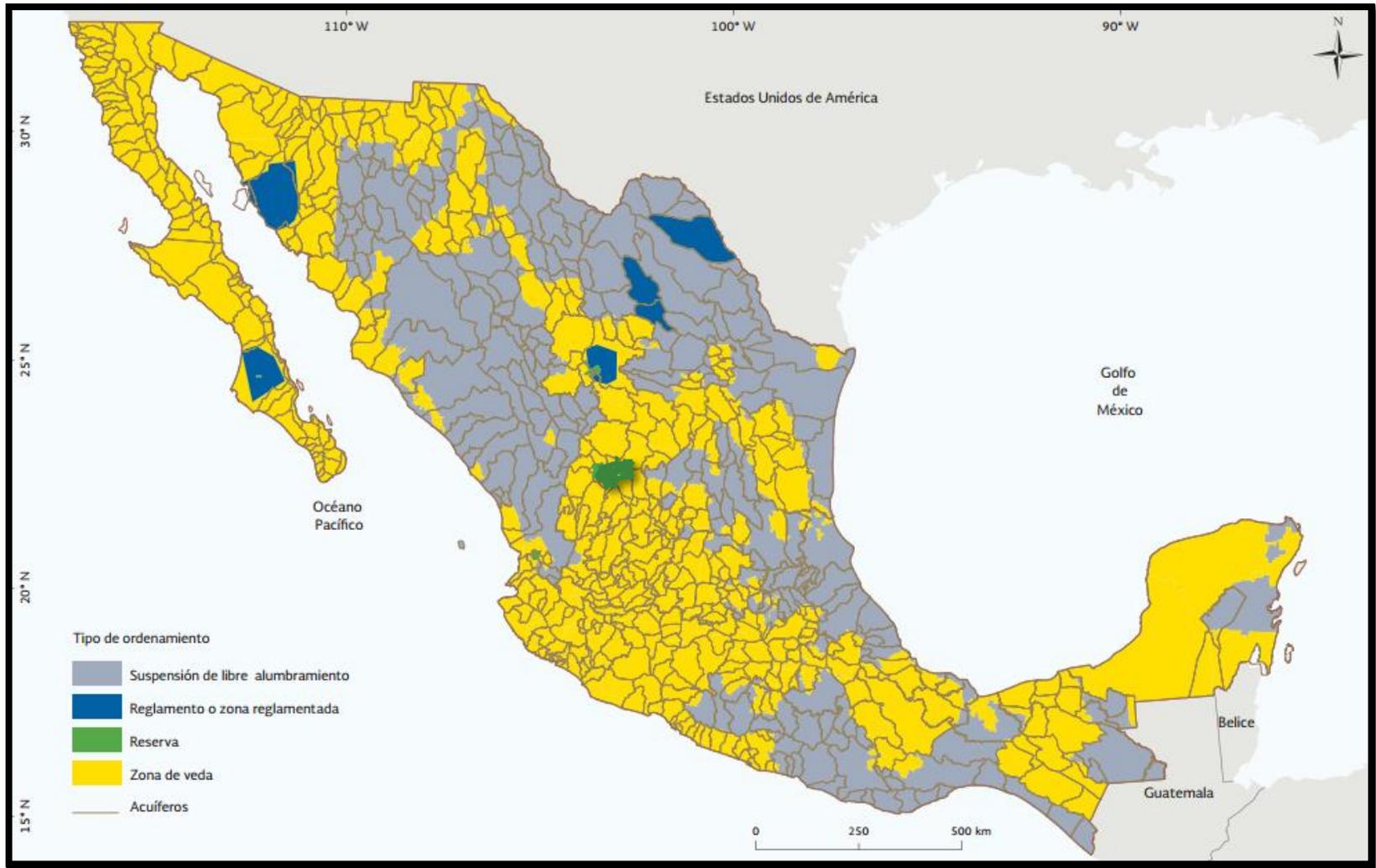


Ilustración 25. Ordenamientos de aguas subterráneas, 2015
Referencia 8

| Acuífero | Recarga (Mm ³ /año) | Concesionado (Mm ³ /año) | Disponible (Mm ³ /año) | Ubicación geográfica |
|-----------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| Corrales | 28.10 | 0.83 | 22.27 | Jiménez del Teul, Valparaíso, Chalchihuites, Sombrerete y Fresnillo |
| Aguanaval | 85.70 | 167.01 | -90.78 | Fresnillo, Cañitas de Felipe Pescador, Sain Alto, Río Grande, Jerez y Sustiacacán |
| Guadalupe de las Corrientes | 13.00 | 44.96 | -31.96 | Cañitas de Felipe Pescador y Villa de Cos, Fresnillo, General Francisco R. Murguía, Mazapil y Río Grande |
| Calera | 83.90 | 161.64 | -79.00 | General Enrique Estrada, Morelos, Calera, Fresnillo, Pánuco, Veta Grande y Zacatecas |
| Chupaderos | 72.80 | 186.31 | -113.51 | Villa de Cos, Fresnillo, Pánuco, Veta Grande, Guadalupe, Ojo Caliente y General Pánfilo Natera |

Tabla 5. Estado de los acuíferos comprendidos en el municipio de Fresnillo, Zacatecas
Elaborada a partir de información de Referencia 15

Con la información de la tabla 5 se puede apreciar que los acuíferos sufren pérdidas cuanto más volumen es extraído de ellos. Decir que el volumen anual disponible es negativo sólo indica la pérdida de volumen original del acuífero, es decir, la alteración en el equilibrio hídrico.

En la ilustración 26 se representan los acuíferos a nivel nacional y si son sobreexplotados o no, nuevamente se marca el estado de Zacatecas y el municipio de Fresnillo para su análisis.

La mayoría de los acuíferos en el municipio están en situación de sobreexplotación, aunque no se agotan inmediatamente los acuíferos, estos sufren un cambio en el equilibrio hidrológico lo cual quiere decir que se va reduciendo poco a poco el volumen del acuífero porque no se recargan en misma cantidad que la extracción. Por ello la ilustración 26 con la división del territorio mexicano en acuíferos muestra color rojo.

La disponibilidad de agua esta medida a escala anual, en millones de metros cúbicos, lo que representa un resumen de los datos altos y bajos que se miden en un año dependiendo de la estación del año, y por ende clima y demanda variante, lo cual se puede interpretar con una cierta lejanía de la realidad.

La tabla 5 anteriormente presentada tiene un punto esencial a analizar. La diferencia de volumen de lo que se recarga y lo que se extrae, considerándolos positivo y negativo respectivamente, arroja un valor que indicaría si aún es viable seguir extrayendo agua de dicho acuífero; es evidente que de los cinco acuíferos que por naturaleza se encuentran comprendidos dentro del territorio en estudio, sólo uno debería ser explotado al ritmo actual, el resto debería reducir el bombeo extraído o verse recuperado en volumen mediante una mayor reinyección a la que ahora se tiene.

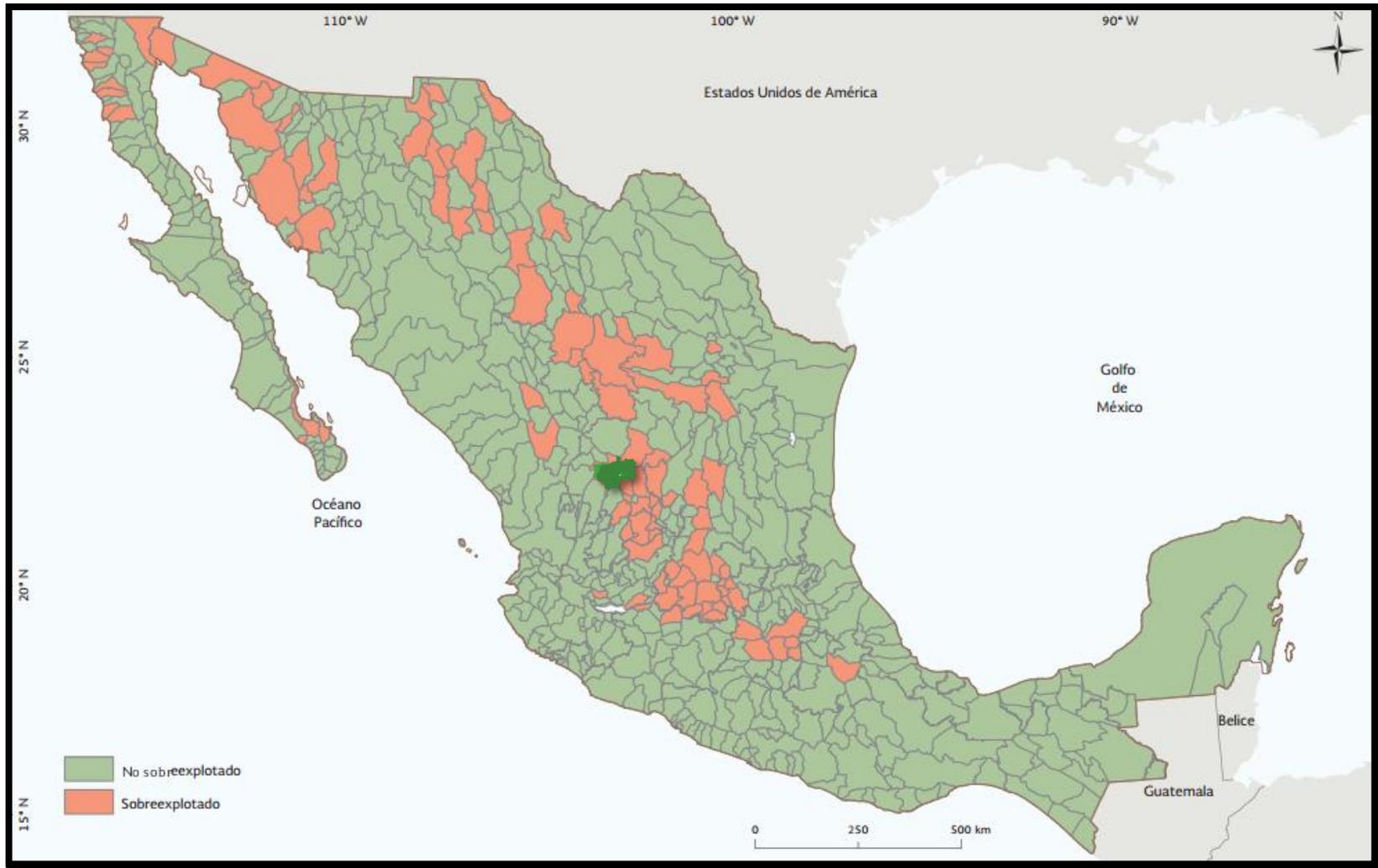


Ilustración 26. Condición de los acuíferos, 2015
Referencia 8

Así, la situación de abastecimiento comienza a verse en cifras alarmantes en cuanto a equilibrio natural del recurso; este municipio tiene conflictos fuertes con la extracción de agua puesto que los pozos de bombeo profundo se ven afectados entre sí dada la cercana localización y por ende la interferencia en los conos de abatimiento, ello reduce la explotación y provoca encarecimiento de la misma pues utilizan la misma energía para extraer menos volumen o mayor energía para mantener el volumen actualmente extraído.

Con este panorama planteado de estado de los acuíferos se procede a presentar la existencia de una proyección por parte de CONAGUA que expresa en rangos de volumen de agua renovable per cápita; de acuerdo a los datos que se tienen de 2015 de disponibilidad y las tasas de crecimiento de la población actuales, se establece que dicho volumen de agua disminuirá considerablemente a medida que aumente el tiempo de explotación de las fuentes, esto es debido a que los factores involucrados no obedecen una relación proporcional, sino que el primero decrece y el segundo crece. Esto es visible en la ilustración 27 con un mapa nacional dividido en regiones hidrológico-administrativas.

Si se revisa una vez más la ilustración 23 y se compara con la 27, es visible que la zona de interés se redujo a un intervalo de 1 000 a 1 700 m³/hab/año, lo cual se reitera que es una situación de desequilibrio hidrológico, dado que no es posible sostener un mismo consumo sin recuperación hoy para todas las personas que por quince años constantes futuros sin sufrir ninguna alteración y sin modificar los usos que hacen del agua. Sería la obvia consecuencia del nivel de explotación del recurso natural y el crecimiento exponencial poblacional, así como la falta de aplicación de conocimiento para la recuperación de los acuíferos.

4.4. Características sociales

En este punto se hace una comparación respecto al crecimiento poblacional, dato que es de interés para remarcar la necesidad de cubrir el derecho de acceso al agua a tal número de personas cuya situación de disponibilidad de agua se está viendo comprometida debido a sí mismas.

La población de Fresnillo en 2005 se contabilizó en 196 mil 538 habitantes, mientras que para 2010 se tiene el dato de 213 mil 139 habitantes y en 2015 ya eran 230 mil 865. La ilustración 28 es una gráfica que muestra el comportamiento de la población total del municipio de Fresnillo de 1995 a 2015 de acuerdo a datos censales. (INEGI, INEGI, 2017).



Ilustración 27. Agua renovable per cápita, 2030
Referencia 8

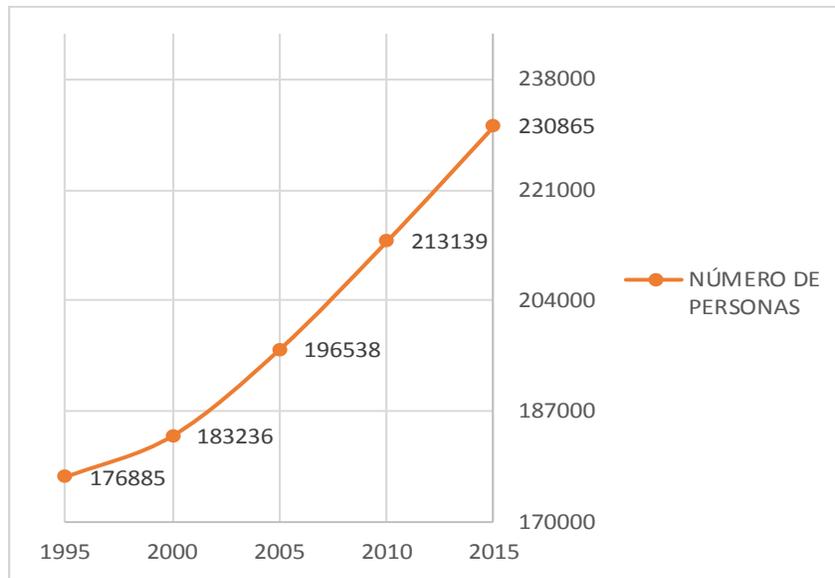


Ilustración 28. Gráfica de crecimiento poblacional en Fresnillo, Zacatecas
 Elaboración propia a partir de datos estadísticos de información censal
 Referencia 25

Es visible la explosión demográfica que ha existido a partir del año 2000 en Fresnillo y que consecuentemente aumenta la demanda de todo tipo de recursos, este comportamiento puede seguir para el cercano 2020 y representaría un mayor reto en materia de agua, por lo que es importante que comiencen a tomarse medidas para mejorar esta situación de baja disponibilidad y encarecimiento de la explotación de fuentes.

4.5. Infraestructura

La infraestructura hidráulica en el estado de Zacatecas está constituida por pozos, presas, manantiales, norias, galerías filtrantes y escurrimientos superficiales, así como plantas potabilizadoras y de tratamiento residual.

Las presas con mayor capacidad de almacenamiento se localizan en los municipios de Fresnillo, Jalpa, Jerez, Sain Alto, Tabasco, Tepechitlán y Villanueva. Estas son obras de gran aportación, pero que ya cuentan con una captación y almacenamiento específico que tiene un sector destino para su vida útil, por lo que estas no verán una inversión para ser mejoradas en algunos años.

En cuanto al municipio de interés, Fresnillo, en este documento, se tiene la información de 2010 de las presas y sus capacidades de almacenamiento ordenadas de mayor a menor volumen en millones de metros cúbicos en la tabla 6:

| Presa | Capacidad de almacenamiento (Mm³) |
|--------------------------------|---|
| FRESNILLO (total) | 158.11 |
| Leobardo Reynoso | 118.00 |
| Santa Rosa | 15.40 |
| Cabrales | 6.50 |
| El Ahijadero | 4.00 |
| Bordo de Toribio | 3.10 |
| La Bomba | 2.00 |
| Chilitos | 1.91 |
| Santa Cruz II | 1.90 |
| Santa Cruz II | 1.30 |
| Trujillito | 1.20 |
| San Juan de la Casimira | 1.15 |
| Los Hornos | 1.00 |
| Guadalupe Trujillo | 0.65 |

Tabla 6. Presas en el municipio de Fresnillo, Zacatecas
Referencia 15

Por otro lado, se tiene el dato a nivel estatal de la cantidad de pozos existentes y en operación que son 8 mil 227; de esos pozos, mil 320 tiene como destino el abastecimiento de agua potable, mientras que los 6 mil 907 restantes, que representan casi el 84% de estas fuentes, son destinados al uso agrícola e industrial. (Gobierno del Estado, 2015). Esto no refleja la situación comprendida en la Ley de Aguas Nacionales donde la prioridad son los usos doméstico y público, y la escasez que presenta el lugar dice que los más de mil pozos no son suficientes ahora para dotar un volumen igualitario a la población.

De forma específica para el municipio de Fresnillo y siguiendo el orden de prioridad de usos doméstico y público, según información del Sistema De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento De Fresnillo, Zacatecas, se tienen 15 pozos profundos en operación y 9 sin operar como fuentes de captación, estas 15 fuentes generan un caudal de más de 500 litros por segundo y su red conecta con tomas de tipo doméstico, comercial, industrial y servicios. Para darle destino a los sectores como agua potable, el municipio cuenta con una planta potabilizadora llamada Sistema Proaño que tiene un tren de tratamiento de ósmosis inversa y una capacidad instalada de 150 litros por segundo.

Detrás de la extracción y conducción del agua, existe la recolección de aguas negras producto de las actividades propias del municipio, por lo que éste cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales para poder realizar una recuperación del agua extraída de los acuíferos y reutilizarlas en algunas actividades o sectores para que el ciclo del agua no se detenga tras un solo uso.

De esta forma y para tener un dato en mente de volumen de aguas negras que son tratadas en la región, se muestra la tabla 7 con los nombres, procesos, capacidades y caudales de

las plantas de tratamiento de agua residual con que cuenta el municipio para disminuir una parte de las aguas residuales que se envían directamente al drenaje:

| Nombre de la planta | Tipo de proceso | Capacidad instalada (l/s) | Caudal medio anual tratado (l/s) | Cuerpo receptor |
|----------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------|
| Laguna seca | Aerobio anaerobio | 5.00 | 5.0 | Laguna seca |
| La estación San José | Aerobio anaerobio | 9.30 | 9.0 | Arroyo el caimán |
| Peñoles plc | Lodos activados | 150.00 | 142.5 | Arroyo el caimán |
| Oriente | Lodos activados | 120.00 | En proceso | Arroyo el caimán |
| Poniente | Lodos activados | 70.00 | En proceso | Arroyo el caimán |

Tabla 7. Plantas de tratamiento en Fresnillo, Zacatecas
Elaborado a partir de información Referencia 5

Contrariamente, aunque se cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales, estas no pueden tratar al 100% la cantidad de agua residual que generan los diferentes sectores usuarios; hay una gran diferencia entre el agua residual generada anualmente y el agua tratada. Se tiene como dato de CONAGUA en 2010 que a nivel estatal se genera, a través de 80 plantas de tratamiento, un volumen de 32.29 Mm³ de agua tratadas con capacidad instalada de 1080.4 l/s que finalmente es sólo el 36% del total de aguas residuales generadas por la entidad; lo que dice que ese porcentaje faltante no está siendo recuperado y aprovechado para ser reinyectado al subsuelo o usado en la industria o en algunas actividades que no requieran agua de primer uso.

Lo anterior indica que hay una pérdida importante del agua extraída, pues no se toma la oportunidad de reinyectar a los acuíferos o, en el peor de los casos, tales aguas no tratadas están contaminando los acuíferos explotados; la primer situación afecta ligeramente la extracción debido a que los niveles de agua no se recuperan, mientras que la segunda afecta fuertemente la extracción porque fuentes de agua tendrían que ser abandonadas en un corto, mediano o largo plazo, en caso de que el costo y la calidad reflejen números no adecuados para seguir en funcionamiento.

4.6. Propuesta de captación de agua

Fresnillo es una ciudad fuertemente poblada y con necesidades altas de agua para realizar sus actividades productivas, domésticas. Tiene un relieve y clima poco favorables para que sus cuerpos subterráneos recuperen volumen a través de precipitación y filtración, pero la población no puede quedarse sin agua y la ley de derecho de acceso al agua la protege para continuar con el servicio. Así se analizarán otras fuentes de suministro para proponer una solución a la escasez.

Por posición geográfica, lejos de las costas del Golfo o del Pacífico, la desalación es posible si un organismo federal, estatal o particular capta el agua salada en el sitio y realiza la acción de bombeo de grandes volúmenes que satisfagan la demanda y que puedan vencer,

al menos, los más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar que tiene el municipio, pero esto encarecería el proceso de desalación por costos de consumo de energía eléctrica por parte de las bombas; así que por cuestión operativa del proceso de desalación y su respectivo bombeo, esta opción es descartada.

En cuanto a fuentes superficiales para considerar como fuentes de suministro tampoco son opción porque el territorio que comprende Fresnillo, Zacatecas no cuenta con ríos caudalosos ni lagos o lagunas que puedan ser explotados debido a la veda que existe y por el proceso administrativo que hay que seguir para solicitar permiso de explotación a CONAGUA para recibir dicha concesión. La veda, como se comentó anteriormente, existe para cuerpos subterráneos que no podrán ser explotados mediante nuevos pozos profundos. Ambas opciones son totalmente descartadas.

Se ha comentado ya que el relieve que presenta del municipio, cerros y mesetas, ayuda a los escurrimientos que convienen a las tres cuencas que inician en el territorio; esto es pro y contra dependiendo de cómo se plantee la situación, por ahora se pretende que con dichos escurrimientos se establezcan lagos artificiales que permitan recolectar agua de origen pluvial y aguas extraordinarias que pueden presentarse en la zona para que ayuden a satisfacer la demanda de agua para población de la ciudad de Fresnillo, Zacatecas bajo el panorama de reducción de pérdidas, concientización de consumo del agua y reducción del volumen per cápita diario basados en lo que se puede ofertar; así la altura de precipitación baja dará un volumen significativo. Para esta solución se deben plantear superficies amplias que alberguen un volumen alto, a mayor superficie, mayor volumen captado.

En la ilustración 29 se ve esta primera propuesta de lago que se plantea sobre la carta topográfica Fresnillo F13B47 1:50000, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con altitudes que van desde la cota en metros 2230 hasta la 2250; y está comprendida entre las longitudes oeste $102^{\circ}57'5.51''$ y $102^{\circ}56'41.63''$, y las latitudes norte $23^{\circ}08'47.55''$ y $23^{\circ}08'16.98''$.

El planteamiento se realiza en un área que agrupa diversos escurrimientos de la zona de cerros de Fresnillo; son escurrimientos de varios kilómetros que pueden ser aprovechados en época de lluvias y almacenados en el punto de mayor concentración de los mismos.

Se propone para el lago un nivel de fondo con cierta pendiente que ayude al movimiento del agua para su conducción, en este caso por gravedad es suficiente; dicha pendiente no debe necesariamente seguir la pendiente del terreno natural. Se presenta una zona más estrecha que serviría para canalizar esa agua a través de tubos o canales y se dirigirá hacia el lago más cercano donde podrá ser bombeada para llegar a la planta de tratamiento más cercana.

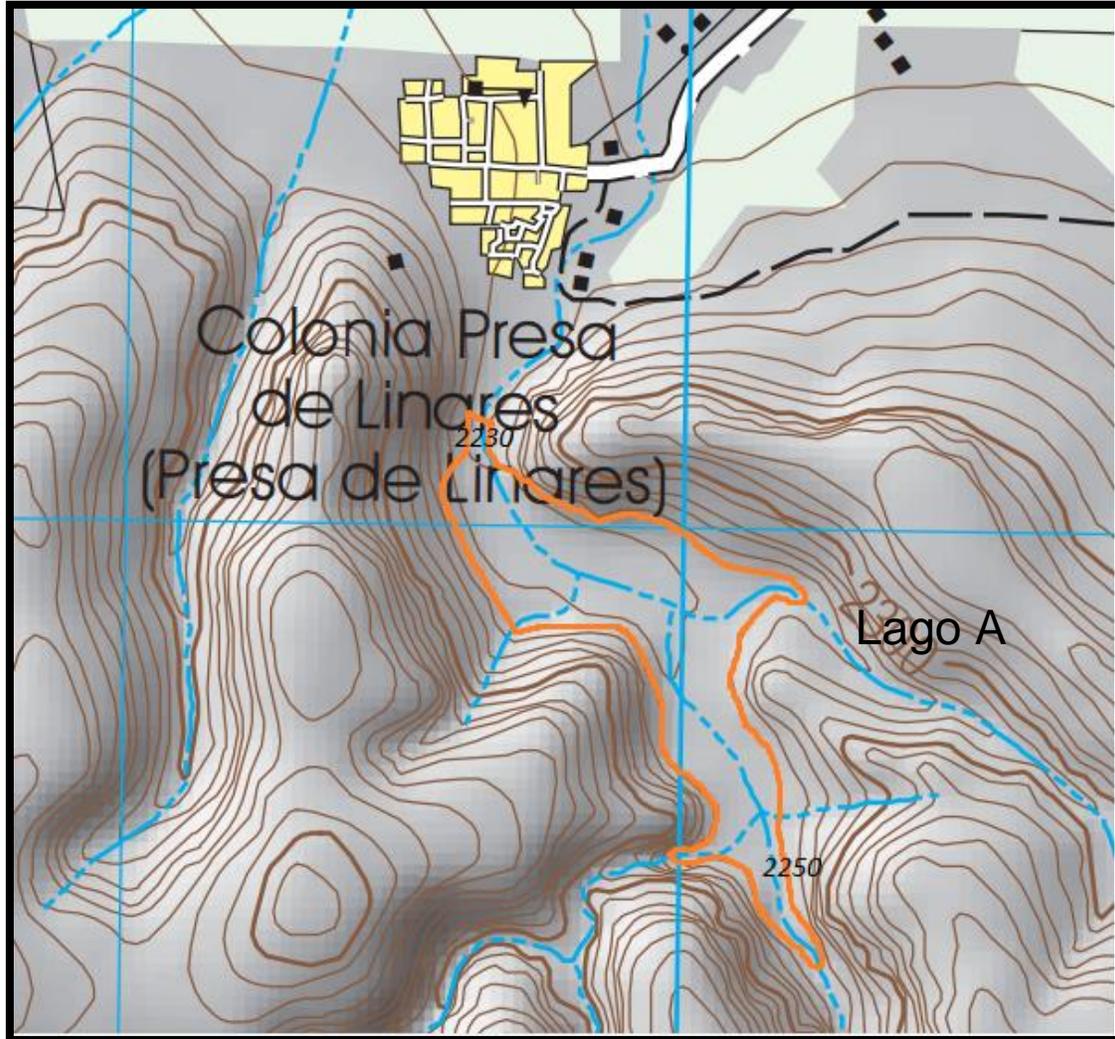


Ilustración 29. Propuesta de localización de Lago A
Referencia 24

La topografía puede ser bondadosa o perjudicial, pero la ingeniería debe superar esta adversidad. Es importante mencionar que la Ley de Aguas Nacionales no solicita tener ningún tipo de concesión para la cosecha de agua, por lo que esta solución ahora es la ideal.

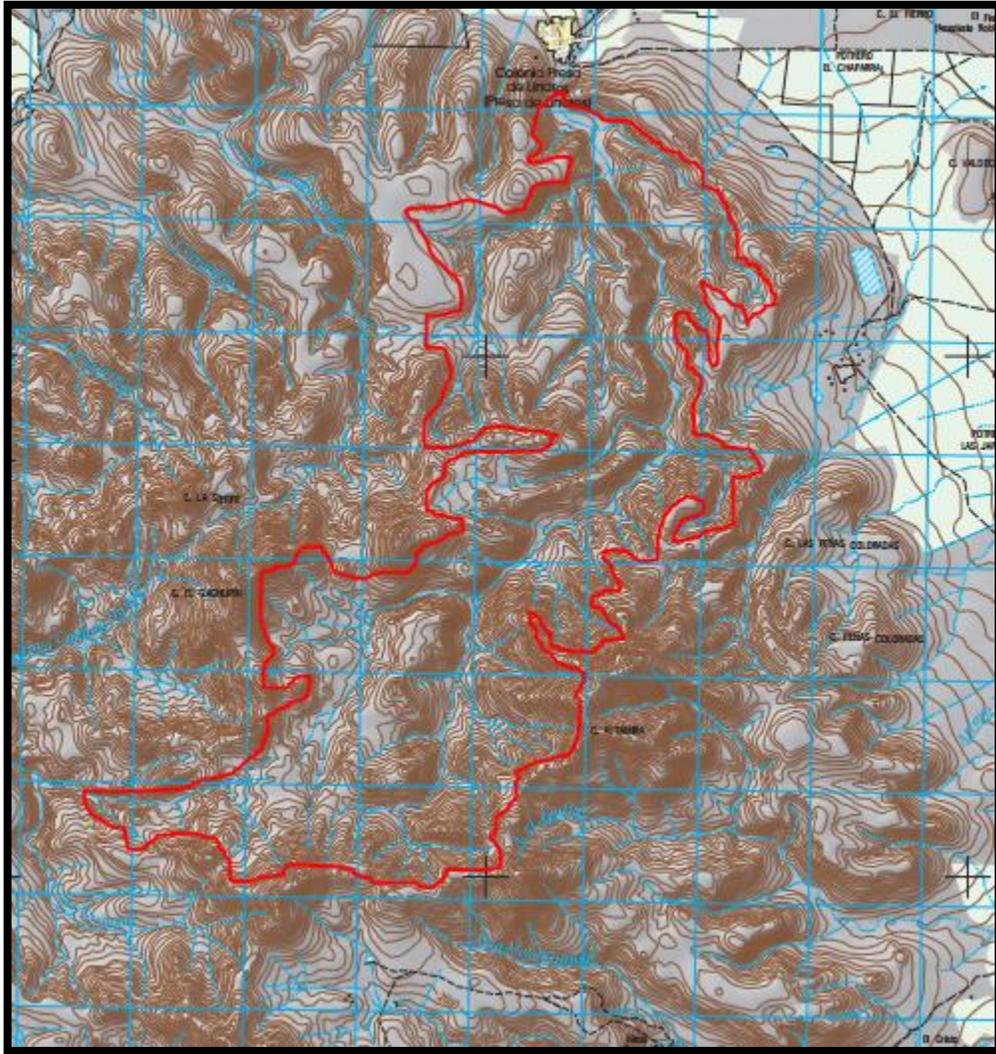


Ilustración 30. Área de captación de Lago A
Referencia 24

La siguiente propuesta esta ejemplificada en la ilustración 30 como un lago de figura geométrica regular que captaría los escurrimientos de dos direcciones, todos los escurrimientos se unen en la cota 2020m que se asemeja a una meseta. Su localización estará entre las longitudes oeste $102^{\circ}59'2.96''$ y $102^{\circ}58'50.74''$; las latitudes norte $23^{\circ}24'57.61''$ y $23^{\circ}24'41.93''$ de acuerdo a la carta topográfica Lázaro Cárdenas F13B37 Escala 1:50000, elaborada por el INEGI.

Este planteamiento podría estar dirigido hacia los cultivos ubicados al oriente y poniente de dicho lago propuesto si es necesario, o se conduciría hacia el conjunto de casas aisladas ubicadas entre las lagunas de Garay y los Caballos si las circunstancias de abastecimiento de agua lo requieren en mayor medida en comparación con las de la población de Lázaro Cárdenas, pero recordando que la prioridad son usos doméstico y público se debe realizar la potabilización, por lo que se conducirá a la planta potabilizadora Proaño.



Ilustración 31. Localización propuesta de Lago B
Referencia 22

Para la conducción de agua se realizaría a través de la combinación de conducciones: por gravedad y por bombeo, debido a que se tienen cotas altas y bajas al oriente y poniente, respectivamente, tanto en cultivos como en las zonas pobladas antes mencionadas.

Por otra parte, se analiza la posibilidad de crear distintas lagunas artificiales alrededor de la zona urbana de Fresnillo; se plantean las siguientes ubicaciones a partir de la carta topográfica Fresnillo F13B47 1:50000, elaborada por el INEGI.

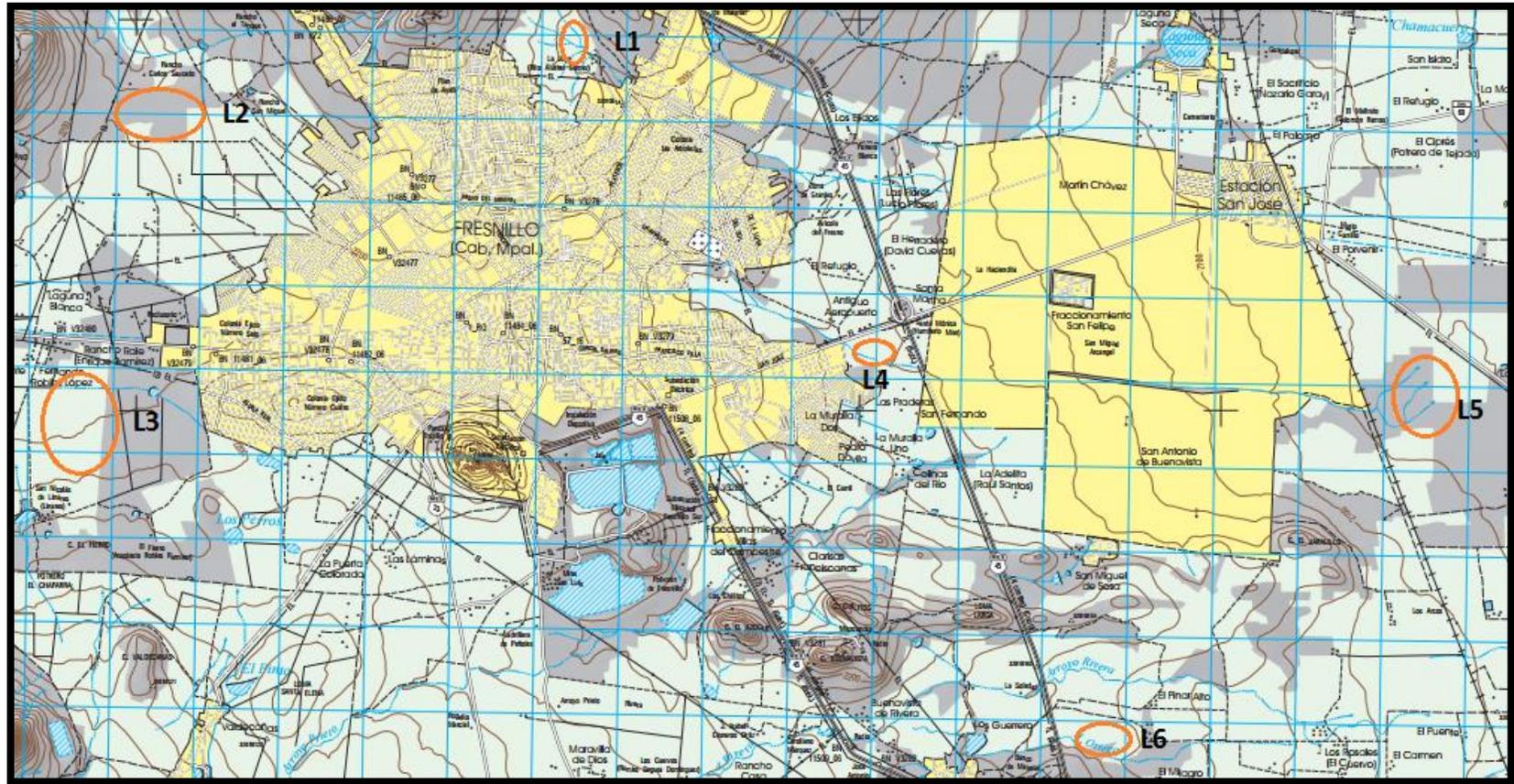


Ilustración 32. Localización de propuesta de lagunas L1, L2, L3, L4, L5 y L6
Referencia 24

Se plantean 6 zonas de lagunas numeradas como L1 hasta L6, sin ninguna característica específica de orden.

Las lagunas 1, 4, 5 y 6 son planteados en zonas donde se presentan algunos escurrimientos no perennes que pueden aportar, además del agua de lluvia, al llenado de dichas lagunas; sin embargo, las lagunas 2 y 3, son planteados en zonas donde no hay escurrimientos intermitentes ni perenes, por lo que se hará una captación totalmente pluvial que, debido a su gran tamaño, el volumen captado será importante.

Los siguientes son datos gruesos de volúmenes a captar y a transportar hacia Fresnillo a partir de la información de precipitación media anual y tarifas de CFE Cabe mencionar que no todos los volúmenes deben moverse por bombeo, algunos casos se darán a través de conducciones por gravedad y dichos volúmenes estarán considerados a partir de la precipitación anual más baja que se puede presentar que es de 300mm, es decir, la condición más desfavorable.

De igual forma se debe hacer un análisis simple de costo, es decir, cuánto costaría mover cada volumen hacia la planta potabilizadora de la ciudad de Fresnillo; el enfoque que se da es hacia la operación, no a los procesos constructivos necesarios para tener las obras físicas, por lo que sólo se basa en un tipo de bomba y tarifas de CFE de 2017.

Como punto clave de partida se hace un resumen de los lagos y lagunas propuestos en la zona para medir los volúmenes que se generarían a partir de su área de captación y altura de precipitación media anual, los datos se observan en la tabla 8.

| Cuerpo | Ubicación | Cotas (m) | Área (m ²) | Volumen (m ³) | Tipo de conducción | Bomba (HP) |
|-----------|--|----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| A | Longitudes oeste y 102°57'5.51" y 102°56'41.63" Latitud norte y 23°08'47.55" y 23°08'16.98" | 2230 a 2400 | 17 100 000 | 5 130 000 | Gravedad, conectado a L3 | - |
| B | Longitudes oeste y 102°59'2.96" y 102°58'50.74" Latitudes norte y 23°24'57.61" y 23°24'41.93" | 2020 | 127 724 | 38 317 | Bombeo | 44.2 |
| L1 | Longitudes oeste y 102°52' y 102°51'50.63" Latitudes norte y 23°12'35.09" y 23°12'18.11" | 2210 a 2220 | 122 107 | 36 632 | Bombeo | 1.8 |

| Cuerpo | Ubicación | Cotas (m) | Área (m ²) | Volumen (m ³) | Tipo de conducción | Bomba (HP) |
|--------|---|----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| L2 | Longitudes oeste y 102°55'4.9" 102°54'29.39" Latitudes norte y 23°12'6.79" 23°11'48.68" | 2190 a 2200 | 522 182 | 156 654 | Bombeo | 6.0 |
| L3 | Longitudes oeste y 102°55'34.29" 102°55'2.45" Latitudes norte y 23°10'19.25" 23°9'39.62" | 2190 a 2200 | 725 437 | 217 631 | Gravedad, conectado a L2 | - |
| L4 | Longitudes oeste y 102°49'58.78" 102°49'40.41" Latitudes norte y 23°10'26.04" 23°10'35.09" | 2140 a 2150 | 108 196 | 32 459 | Bombeo | 19.0 |
| L5 | 102°46'19.59" y 102°45'46.53" y 23°10'31.7" y 23°10'1.13" | 2080 a 2090 | 489 912 | 146 974 | Bombeo | 38.1 |
| L6 | 102°48'25.71" y 102°48'1.22" y 23°8'9.06" y 23°7'57.74" | 2140 a 2150 | 156 853 | 47 056 | Bombeo | 32.1 |

Tabla 8. Descripción de cuerpos artificiales propuestos
Elaboración propia a partir de Referencias 22 y 24

Es importante aclarar que las lagunas 4 y 5 se presentan en el cauce de un mismo escurrimiento, éste parte del este de la ciudad de Fresnillo y continua hasta llegar a la zona del Fraccionamiento San Felipe y San Antonio de Buenavista y sale de la misma hasta cruzar la vía sencilla de ferrocarril, pero lo esencial es el área de captación de su propio terreno.

A continuación, se realiza un análisis de costo anual por bombear el agua desde cada localización hasta la planta potabilizadora del municipio de Fresnillo, ubicada en el poblado de Plateros al noreste de la población en cuestión. Se plantea un promedio para costos fijos a partir de las tarifas de CFE de enero a febrero de 2017; mismo para el costo por consumo.

Se plantea también la carga a vencer y el consumo que generaría al tener esas bombas en operación; además se obtiene un gasto a partir de lo que brinda la bomba con dicha carga, basándose en las curvas que ofrecen los catálogos de proveedores de bombas centrífugas.

| Tarifa 6 | | | | | | | |
|--------------------|----------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------|---------------------|
| CARGOS | PROMEDIO | Lago B | L1 | L2 | L4 | L5 | L6 |
| Cargos | Anual | 44.20 | 1.80 | 6.10 | 18.80 | 38.10 | 32.10 |
| Fijo (\$) | 365.47 | 4 385.69 | 4 385.69 | 4 385.69 | 4 385.69 | 4 385.69 | 4 385.69 |
| Carga dinámica (m) | | 150.00 | 10.00 | 30.00 | 80.00 | 130.00 | 90.00 |
| Bomba (kW) | | 32.96 | 1.34 | 4.55 | 14.02 | 28.41 | 23.94 |
| Q (m³/s) | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| Vol (m³) | | 38 317.00 | 36 632.00 | 5 504 285.00 | 32 459.00 | 146 974.00 | 47 056.00 |
| Tiempo (h) | | 1 064.36 | 1 017.56 | 152 896.81 | 901.64 | 4 082.61 | 871.41 |
| Energía (\$/Kl) | 2.00 | 70 319.07 | 2 737.74 | 1 394 087.77 | 25 336.83 | 232 501.02 | 41 810.77 |
| Total (\$) | Anual | 74 704.76 | 7 123.43 | 1 398 473.46 | 29 722.52 | 236 886.70 | 46 196.45 |
| | | | | | | | 1 793 107.32 |

Tabla 9. Costos de bombeo

Elaboración a partir de información de Referencias 3 y 21

El resultado obtenido, casi 1.8 millones de pesos, es lo que costaría sólo por consumo de energía eléctrica para mover los volúmenes captados hacia la planta potabilizadora encargada de hacer los filtros necesarios para que la población la utilice. Este es solo un paso para el análisis de costo unitario que se obtendrá posteriormente; aunque esto esté obtenido con tarifas de 2017 se puede realizar un análisis económico a lo largo del tiempo para los siguientes diez o quince años, lo cual podría ser analizado en un documento posterior. Cabe aclarar que el análisis de costo está presentado en números con referencias a 2017, tanto la propuesta como la posterior presentación de costo por bombeo de pozo profundo que ahora tiene el municipio en Fresnillo.

En este momento se realiza un desglose del análisis de costo por unidad de volumen de agua captada de cada cuerpo de agua propuesto, el planteamiento se realiza por costo de bombeo ante una altura a vencer para la conducción y de la parte operativa para determinar si el costo es adecuado o excesivo para ser considerado un buen planteamiento de solución.

| Cuerpo | Volumen (m3) | Tipo de conducción | Bomba (HP) | Bombeo (\$) | Operadores | Operadores (\$) | Total (\$) | Costo (\$/m³) |
|--------------|------------------|--------------------------|------------|--------------|------------|-----------------|---------------------|---------------|
| A | 5 130 000 | Gravedad, conectado a L3 | - | 0 | 15 | 1 095 000 | 1 095 000 | 0.47 |
| B | 38 317 | Bombeo | 44.2 | 74 704.76 | 5 | 365 000 | 439 704.76 | 11.48 |
| L1 | 36 632 | Bombeo | 1.8 | 7 123.43 | 5 | 365 000 | 372 123.43 | 10.16 |
| L2 | 156 654 | Bombeo | 6.1 | 1 398 473.46 | 8 | 584 000 | 1 982 473.46 | 3.98 |
| L3 | 217 631 | Gravedad, conectado a L2 | - | 0 | 10 | 730 000 | 730 000.00 | 3.61 |
| L4 | 32 459 | Bombeo | 18.8 | 29 722.52 | 4 | 292 000 | 321 722.52 | 9.91 |
| L5 | 146 974 | Bombeo | 38.1 | 236 886.7 | 8 | 584 000 | 820 886.7 | 5.59 |
| L6 | 47 056 | Bombeo | 32.1 | 46 196.45 | 5 | 365 000 | 411 196.45 | 8.74 |
| Total | 5 805 723 | | | | | | 6 173 107.32 | 1.06 |

Tabla 10. Costo por metro cúbico
Elaboración propia de costos de bombeo

Para entrar ahora en un contexto que hable el mismo lenguaje del costo, se debe realizar un planteamiento del costo por metro cúbico que actualmente tiene el municipio a través de las fuentes de pozo profundo que tienen para obtener el recurso. Así se podrá ver si las lagunas artificiales son una opción costeable.

Se presenta información obtenida del documento de Información básica de los prestadores de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la tabla 11. Es necesario aclarar que la información siguiente puede no ser exacta y que además está incluyendo un costo de potabilización, lo cual no incumbe en este documento, pero permitirá hacer una comparación total del producto final para usos doméstico y público.

DESCRIPCIÓN DE CAPTACIONES

| TIPO DE FUENTE | NUMERO DE FUENTES | | CAPACIDAD INSTALADA EN OPERACIÓN (l/s) | VOLUMEN ANUAL PRODUCIDO (Mm3/año) | CAUDAL MEDIO PRODUCIDO (l/s) | CON MACROMEDICIÓN FUNCIONANDO | | CAUDAL DESINFECTADO (l/s) |
|----------------|-------------------|-----------|--|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------------|
| | OPERAN | NO OPERAN | | | | No. FUENTES | CAUDAL (l/s) | |
| POZO PROFUNDO | 15 | 9 | 525.0 | 13,552,268 | 429.7 | 15 | 525 | 525.0 |

Tabla 11. Captaciones de Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Fresnillo, Zacatecas Referencia 7

La tabla anterior muestra la capacidad que tiene el municipio para extraer agua a través de la única fuente posible, los acuíferos, y tienen un alto volumen de extracción anual que refleja la alta demanda que cubren para una población de más de 230 mil habitantes, lo que dice que per cápita se tiene poco más de 58 mil litros al año, aunque puede ser menor en la realidad debido a que no toda el agua se destina a la población, sino también a las actividades primarias e industria. Es así que estos datos dan una noción de lo que en realidad sucede, pues pueden existir variaciones debido a que no todo el volumen es minuciosamente cuantificado para ser preciso, siempre puede ser mayor o menor y no se cuenta con un margen de error preciso.

REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA

| AGUA POTABLE: | Prioridad | Monto (\$) |
|----------------------|------------------|-------------------|
| CAPTACIONES | 1 | \$ 6,984,640.00 |
| CONDUCCIONES | 4 | \$ 14,201,000.00 |
| DISTRIBUCION | 3 | \$ 1,905,750.00 |
| TANQUES | 3 | \$ 20,700,000.00 |
| POTABILIZACIÓN | 1 | \$ 420,000.00 |

Tabla 12. Monto por costo en la infraestructura del SIAPASF Referencia 7

De igual forma se presenta la tabla 12 con cantidades monetarias aproximadas que servirán para hacer un análisis de costo, de esta tabla se tomarán los puntos de captación y conducción pues interesa saber el monto por tomar y llevar el agua a la población, el resto son puntos que no se requieren directamente en este documento.

COSTO POR m³ DE AGUA EN FRESNILLO, ZACATECAS

| PROCESO | MONTO MES | MONTO ANUAL | VOLUMEN ANUAL (m ³) | COSTO (\$/m ³) |
|--------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| CAPTACIONES | \$6,984,640.00 | \$83,815,680.00 | | |
| CONDUCCIONES | \$14,201,000.00 | \$170,412,000.00 | | |
| TOTAL | \$21,185,640.00 | \$254,227,680.00 | 13 552 268 | \$18.76 |

Tabla 13. Costo unitario de SIAPASF
Referencia 7

Como se puede apreciar, con los datos de las tablas 11 y 12, se obtiene un costo por metro cúbico de agua, que se reitera, puede ser mayor o menor dado que los montos y volúmenes pueden variar a la realidad por la imprecisión de la fuente o falta de confiabilidad en la misma.

Es este documento se desea presentar la información que ayudará a cumplir con los fines comparativos, en este caso se tiene que considerar únicamente el costo del bombeo para captación en pozo profundo y además el costo de bombeo de la conducción desde la fuente al siguiente paso que es una planta potabilizadora; así, los datos del SIAPASF y los obtenidos de los cuerpos artificiales para cosecha de agua¹⁵ se ven planteados en el mismo contexto y pueden reflejar si existe la bondad de la cosecha de agua en los cuerpos propuestos.

Se presentan los costos por el proceso actual de pozo profundo y la proyección de cosecha de agua:

- SIAPASF \$18.76 / m³.
- Lagunas artificiales \$ 1.06 / m³.

Ambos están rodeados de condiciones distintas, pero reflejan perfectamente lo que se requiere para llegar a una conclusión sobre esta solución al problema de escasez y sobre si es posible mantener la operación de estas obras.

¹⁵ Término utilizado únicamente en México para referirse a la captación de agua pluvial.

V. Conclusiones

“Cuando el pozo está seco, conocemos el valor del agua”

Benjamin Franklin

Esta cita hace hincapié en el hecho de que generalmente no se valoran los recursos naturales cuando se tienen en abundancia o se explotan fácilmente. Por ello, hasta hace menos de 15 años, la educación en la escuela decía que el agua era un recurso natural renovable inagotable como el sol, lo cual, con estudios posteriores cambió la oración e intentó hacer consciencia del valor del agua como recurso natural para toda actividad que se realizara por la humanidad o cualquier especie viva.

El agua siempre fue fuente de vida, no sólo hablando de los inicios de ésta, sino del soporte que dio para hacer que perdurara y evolucionara hasta llegar a los tamaños de poblaciones que ahora se tienen en cualquier parte del mundo, ya sea humanos, animales o vegetales.

Los intentos de la actualidad ahora tienen dos fines que deben ir de la mano:

1. Conservar en buen estado y volumen las fuentes de suministro de agua.
2. Hacer subsistir a la humanidad de forma consciente y responsable.

Una vez establecidos estos puntos, se requieren otros aspectos a establecer o mejorar para cumplir con ellos.

Uno de los principales motivos de esta investigación ha sido la preocupación de la situación actual del agua en México, en cuestiones de cantidad, distribución, energía, pérdidas, falta de consciencia en el consumo, leyes tan permisivas o tan estrictas en situaciones específicas, que hacen analizar y entender los porqués de que este recurso natural se vea disminuido y/o sus fuentes deterioradas; el país tiene un amplio territorio que para ser fácilmente controlado requiere estar informado y comunicado. Dicho control no se posee pues no existe homogeneidad en condiciones económicas, tecnológicas y mucho menos sociales, pero estas últimas son las encargadas, prácticamente, de “tomar decisiones” dado que el modo de vida, ideología y poder adquisitivo de una población en un territorio determinado será la base para un determinado ritmo de progreso. Es decir, la sociedad debe entender primero sus necesidades, dificultades, aportaciones y oportunidades para mejorar la situación hídrica en la que se encuentra y dictar los pasos y restricciones con las que se debe vivir para preservar el recurso y su subsistencia.

La idea más ambiciosa como primera etapa del proceso de realización de este trabajo de investigación fue llevar el agua de lugares donde hay intensas inundaciones a otros donde pueden sufrir periodos prolongados de sequías; hacer posible que el agua renovable per cápita sea más una moda que una media, estadísticamente hablando, pues la media no es general en el territorio nacional, hay picos y depresiones en esos números de volumen de agua renovable que no reflejan la realidad a través de una media.

El planteamiento de llevar el volumen extraordinario de una zona, que sufre incluso inundaciones por desbordamiento de ríos, hacia un sitio de mayor carencia no es del todo una acción imposible. Esta afirmación parte del hecho de que el organismo encargado de otorgar el servicio de transportación de agua tiene un presupuesto para generar obras que sirvan para mejorar la infraestructura hidráulica del país y que sirve para dar un servicio con amplia cobertura de entrega de agua; construir estas obras es un pago único que se realiza para poder generar la base del servicio, éste consiste únicamente en captar y entregar el recurso natural hasta donde sea solicitado cuando las fuentes no estén al alcance de la población. Tras esta enunciación, es primordial establecer que el agua nunca ha tenido un precio, tiene un valor que se le da de forma particular, pero nadie puede ponerle un número para comprarla si se toma de una fuente.

A pesar de todas las adversidades de una situación que deviene en problema, se pueden establecer opciones que satisfagan los requerimientos de la misma para verse en un ambiente favorable; como ejemplo están las presas de almacenamiento o de generación de energía, bordos, cortes, etcétera, que fueron creadas con el fin de ofrecer un mejor estado o un servicio que requiere la población, pero esos proyectos tuvieron que ser analizados no solo para determinar si era posible realizarlo, sino también si era posible mantener dichas obras durante 50 años o más, y esta es la parte que más cuesta resolver pues, aunque se tenga el dinero para construir la infraestructura, debe establecerse quién pagará por operar la misma durante tantos años, lo cual no es tarea fácil aun si varios inversionistas se interesan en un proyecto.

Una vez generada la obra que dará servicio de transporte de agua, se requiere un capital continuo que la mantenga en operación como ya se ha mencionado, pues ésta tiene un costo principalmente de energía eléctrica usada para bombear el agua de un punto a otro de menor a mayor altura; pero también está el monto que se debe pagar a las personas operadoras y encargadas de supervisar que el servicio de entrega se lleve a cabo. El monto económico de esta operación es un pago continuo que se realizará durante la vida útil de la obra y por ello debe ser cargado a una única cuenta.

Se le dice única en este documento porque el dinero viene de una fuente característica: la población económicamente activa. A través de ella se recaudan impuestos y directamente paga servicios; la entrega de agua es otro servicio que se paga de esta fuente económica. Es decir, si el gobierno a través de organismos nacionales, estatales o municipales pagara el servicio de agua, tomaría el dinero de los impuestos de la población; si la población lo hiciera directamente se realizaría el pago mediante tarifas de consumo (como el caso de la energía eléctrica entregada por CFE); y, finalmente, si se cediera la operación del servicio de entrega de agua a una empresa particular, ésta realizaría un cobro por entrega muy probablemente por tarifa directamente al usuario, el empresario sería mediador con su respectiva comisión y utilidad.

Vistos estos tres panoramas de pago, se puede establecer que cualquiera que sea el encargado de pagar el costo de operación, el dinero saldrá del mismo lugar, pero es

importante mencionar que uno de los tres en su mayoría tiene más vicios que disminuyen la eficiencia del servicio, ese es el gobierno y su burocratización; no es total ni absoluto pero genera un contexto adverso.

Con motivos de este análisis se podría realizar un documento subsecuente con propuesta de cargo a un organismo o grupo específico y su capacidad de solventar el servicio de agua.

Retomando la idea de llevar agua de donde “sobra” a donde hay carencia y largas sequías, aunado a lo anteriormente mencionado de costos y pagos, se pueden ver escenarios divididos que imponen contraproducciones en todas las partes involucradas; la zona con mayor disponibilidad de agua tiene una aportación económica baja por lo que no puede pagar el servicio de agua, mientras que la otra parte (la que tiene menor agua renovable per cápita) es capaz de cubrir el gasto económico por su mayor población económicamente activa. Tan adverso es el panorama que la disponibilidad o economía de ambos no le garantizan el acceso al agua, lo cual es un incumplimiento al derecho estipulado en el artículo 4° constitucional.

El derecho humano de acceso al agua deviene en un término relativo pues no está garantizado al 100% para cualquier individuo de México, a pesar de la infraestructura y pagos que la mantengan, hay pequeñas y numerosas poblaciones donde tener acceso a este recurso es una cuestión de gran esfuerzo físico para llegar a una fuente y llevarla a donde la necesitan. Aquí se unen factores como el relieve, la economía, la falta de comunicación e información por parte del que requiere agua como del que ayuda a facilitar su transporte. Esto no sólo sucede en comunidades indígenas, sino también en poblaciones que hablan español pero que se encuentran en puntos muy altos o alejados de otras poblaciones, lo cual sólo genera mayores adversidades que impiden llegar a una homogeneidad en el acceso al agua.

No existen culpables ante esta situación pues es tarea de dos grupos muy distintos en condiciones; la parte social de uno es importante y la económica de otro dicta la factibilidad de otorgar acceso al agua. Parte de la diversidad en México incluye desigualdad en aspectos esenciales como este, pero debe hacerse un trabajo e inversión continuos para lograr cubrir este derecho que actualmente no todos ejercen.

Puede ser difícil de comprender la situación del agua si no se es experto en la materia o si simplemente no se tiene la información necesaria que enuncie el estado y complejidad de este recurso, pues pese a campañas de cuidado del recurso, tecnología de disminución de pérdidas, capacitaciones, etcétera, la explotación del agua no ha disminuido ni se ha recuperado lo extraído. Pero como anteriormente se explicó, son más de dos factores los que convergen para tener este resultado: crecimiento poblacional, único deseo de satisfacer la demanda, contaminación de cuerpos de agua, falta de recuperación de los mismos, pérdidas en redes, malos usos, bajo nivel de tratamiento de aguas residuales, reglamentos y leyes, entre otros de igual importancia.

El paso de la humanidad a través del tiempo ha marcado huella en las fuentes que están siendo aprovechadas hasta ahora, las cuales no son muy diferentes de las primeras obras o técnicas empleadas por los habitantes de la época prehispánica o precolombina y que en aquel entonces funcionaban eficientemente bajo su sistema y gobierno. Hoy día, la población debe aprender más sobre los modos de explotación del recurso hídrico para poder mejorarlos y/o aumentar su eficiencia y así evitar momentos de falta del mismo; o sea, es necesario estudiar todas las posibilidades habidas y por haber para tomar la más atinada.

Favorablemente se tiene respaldo para la explotación del agua a través de legislación, por lo que cualquier solución planteada o llevada a cabo, tiene seguridad de estar cumpliendo normas o reglamentos para captar o explotar recursos.

Aquí se plantearon lagunas artificiales para cosechar agua en un área amplia con una altura de precipitación anual de 300mm que representa aproximadamente el 40% de lo que se extrae de los pozos profundos en el municipio. Quizá no se podrán reemplazar los pozos profundos, pero es una aportación que se puede hacer a la zona urbana o bien a los pequeños poblados que están alejados de la mancha urbana para reducir la explotación de los acuíferos actuales.

Ya sean pozos o lagunas, ambos son fuentes con panoramas distintos con demandas a cubrir bajo distintas condiciones pero que si se habla en cuestiones monetarias no se ven esas diferencias tan marcadas; en realidad se demuestra que el costo por metro cúbico actualmente es casi 18 veces lo que cuesta la presente propuesta de solución, un costo alto debido a lo anteriormente comentado de burocratización, pérdidas en redes, demanda muy alta, entre otros, pero que deja en un buen parámetro a las lagunas artificiales como fuente de suministro para la población y que ésta cubra su respectivo pago a través del medio que se establezca y del cual ya se habló.

Esto debe ser considerado como una excelente opción de fuente de suministro para uso doméstico y público urbano por ley, hay que recordar que se debe tener un panorama sobre el consumo diario per cápita reducido al mínimo, 200 o hasta 150 l/hab/día, una reducción importante de fugas en la red de distribución y un sentido de ahorro del agua en las actividades cotidianas. Como ya se ha mencionado anteriormente, esto permitirá decir que el agua pluvial es suficiente para formar parte importante de las fuentes de suministro del municipio.

Este es un punto de partida en materia de agua que puede ser considerado por otras ciudades o estados que presenten una situación similar o incluso menos desfavorable, o sea, con mayores alturas de precipitación anual y espacio para crear las lagunas. El fin es tener otra fuente de suministro y bajar paulatinamente el nivel de sobreexplotación de los acuíferos dado que la población sigue en crecimiento, pues es un hecho que las situaciones hídrica y social requieren cambios en los que se satisfagan las necesidades de la población y la naturaleza.

Referencias

1. Aguilar Obregón, M. e. (2015). Genealogía del derecho al agua en México. En R. d. UNAM, *Impluvium* (págs. 6-10). México: UNAM.
2. Birrichaga, D. (2009). Legislación en torno al agua, siglos XIX y XX. En CONAGUA, & S. d. Naturales (Ed.), *Semblanza Histórica del Agua en México* (págs. 43-59). México, D.F.: Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.
3. CFE. (20 de Marzo de 2015). CFE. Recuperado el 25 de Marzo de 2017, de Comisión Federal de Electricidad: http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAS&Anio=2017
4. CODESO. (s.f.). *Electrificación fotovoltaica individual con 110 voltios AC*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de <https://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.codeso.com%2FFotos%2FSolar-Energy%2FPozo-Profundo-Elarc28a.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.codeso.com%2FFVInd21.html&docid=e3yz4acmxCCqmM&tbnid=F0w4-Ew1roXMBM%3A&vet=10ahUKEwiE1YjC3rPTAhUlj1QKHeFUAY>
5. Comisión Nacional del Agua. (Julio de 2012). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. (Diciembre 2011). (S. d. Naturales, Ed.) México, D.F., México.
6. Comisión Nacional del Agua. (Octubre de 2016). Estadísticas del Agua en México. (2016). (SEMARNAT, Ed.) Ciudad de México, México.
7. CONAGUA. (2015). Información básica de los prestadores de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Fresnillo, Zacatecas, México.
8. CONAGUA. (2016). Atlas del Agua en México 2016. --. México, Ciudad de México, México: SEMARNAT.
9. Congreso Constituyente. (última reforma publicada DOF 24/02/2017). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
10. Derry, T., & Williams, T. (1997). *Historia de la tecnología desde 1750 hasta 1900* (16a ed., Vols. tt. I-II). Siglo Veintiuno Editores.
11. Doolittle, W. E. (1990). *Against the Current in Against the Odds: Noria Technology in Mexico*. Obtenido de Eartworks: <http://www.utexas.edu/dpts/grg/eworks/eworks.html.7>
12. F. A.-2., SEDESOL, Hábitat, & Fresnillo, P. (2014). Atlas de riesgos y peligros del municipio de Fresnillo, Zac. Actualización 2014. Fresnillo, Zacatecas, México.
13. Fuente Pérez, D., Amador Carretero, D., de las Heras Herrero, D., Huguet Santos, D., López Serrano, D., Neira Jiménez, D., . . . Villalba Pérez, D. (2017). *Kairos*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de http://recursostic.educacion.es/kairos/web/enseñanzas/eso/antigua/egipto_00.html
14. Galizzi, G. (2008). *Val Brembana Web*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de <https://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.valbrembanawe>

- b.it%2Fvalbrembanaweb%2Fgallery%2F6_laghetti%2F2008%2Flago-colombo%2Flago-colombo1-bis.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.valbrembanaweb.it%2Fvalbrembanaweb%2Fgallery%2F6_laghetti%2F2008%2F
15. Gobierno del Estado, Z. (2015). Programa hídrico estatal Visión 2030 Zacatecas. (UPLA, Ed.) Zacatecas.
 16. Gonzales, A. (8 de Septiembre de 2010). *Historia Cultural*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de Historia Universal: <http://www.historiacultural.com/2010/01/cultura-olmeca-mesoamerica-mexico.html>
 17. Gonzales, A. (15 de Noviembre de 2010). *Historia Cultural*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de Historia Universal: <http://www.historiacultural.com/2010/01/cultura-maya-precolombina-mesoamerica.html>
 18. Gonzales, A. (2010). *Historia Cultural*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de Historia Universal: <http://www.historiacultural.com/2010/09/civilizacion-cultura-azteca-mexica.html>
 19. Hernández Rodríguez, D. M. (2015). ¿Cuánta agua para el derecho humano al agua en México. En R. d. UNAM, *Impluvium número 4* (pág. 29). México: UNAM.
 20. Howard, G., & Bartram, J. (02 de 03 de 2003). *Domestic water quantity, service level and health*. Ginebra: OMS: WHO.
 21. Industrias Mexicanas de Bombas. (12 de Septiembre de 2016). Programa de selección DPUMPS. *Aplicación*. Recuperado el 6 de Abril de 2017, de <http://www.imbo.com.mx/empresa.htm>
 22. INEGI. (2002). Carta topográfica 1:50 000. *Lázaro Cárdenas F13B37*(Segunda). Zacatecas, México. Recuperado el 18 de Enero de 2017, de http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140&ulang=e
 23. INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Fresnillo, Zacatecas. México: INEGI. Recuperado el 17 de Enero de 2017, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/32/32010.pdf>
 24. INEGI. (2014). Carta topográfica 1:50 000. *Fresnillo F13B47*(Segunda). Zacatecas, México. Recuperado el 16 de Enero de 2017, de http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140&ulang=e
 25. INEGI. (2017). *INEGI*. Recuperado el 23 de Marzo de 2017, de México en cifras: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=32>
 26. INFO7. (24 de Septiembre de 2014). *INFO7*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de https://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Finfo7.blob.core.windows.net.optimalcdn.com%2Fimages%2F2016%2F11%2F10%2F517580_durango-

- presas-
 capacidad.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.info7.mx%2Fseccion%2Fdurango
 -en-alerta-por-cuatro-presas-a-su-maxima
27. Jacobo-Marín, M. D. (2015). El derecho humano al agua y saneamiento en México. Una lectura comparada de su formulación constitucional. En R. d. UNAM, *Impluvium número 4* (pág. 16). México: UNAM.
 28. Justo, J. B. (2013). *El derecho humano al agua y al saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Santiago de Chile: CEPAL.
 29. Marcus, J. S. (2006). *Agricultural Strategies*. Los Ángeles: Institute of Archaeology-University of California, Los Ángeles.
 30. Matés Barco, J. M. (1999). *La conquista del agua. Historia económica del abastecimiento urbano*. Jaén: Universidad de Jaén.
 31. Noria Corporation. (Enero de 2008). *Machinery Lubrication*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de <http://www.machinerylubrication.com/Read/1294>
 32. ONU. (2002). Observación General número 15. El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales). *documento E/C. 12/2002/11*, 6.
 33. ONU. (2011). *El Derecho al Agua*. (Habitat, Editor, ONU, Productor, & OMS) Obtenido de Folleto informativo No. 35: <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
 34. Perló, C. (1999). *El paradigma porfiriano: Historia del desagüe del valle de México*. México: IIS-UNAM.
 35. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). *Informe de la Comisión de derecho Humanos del Relator Especial de UN sobre el derecho a la alimentación*. EU: de 16 de marzo.
 36. Rojas Rabiela, T. (2009). Las obras hidráulicas en las épocas prehispánica y colonial. En CONAGUA, & S. d. Naturales (Ed.), *Semblanza Histórica del Agua en México* (págs. 9-25). México, DF., México: Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua.
 37. Sánchez Rodríguez, M. (2009). De la tradición a la modernidad. Cambios técnicos y tecnológicos en los usos del agua. En CONAGUA, & S. d. Naturales (Ed.), *Semblanza Histórica del Agua en México* (págs. 27-41). México, D.F.: Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.
 38. Varios. (18 de Julio de 2011). *Cicloturismo y Turismo en México por Estado*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de https://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Freydocbici.com%2Fblog%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F07%2Ffha12.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Freydocbici.com%2Fblog%2F2011%2F07%2Ffhag%2F&docid=-aLGyVnYywKssM&tbnid=DyVTeCyrxI21eM%3A&vet=10ahUKEwjO_7a847PT
 39. Varios. (2017). *Wikipedia*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Noria>

40. Venancio, S. (29 de Octubre de 2009). *Abastecimiento de agua*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de <https://www.google.com.mx/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj4vc3V4bPTAhUph1QKHZ0cD9sQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fjacintapalerm.hostei.com%2FGALERIAS.html&psig=AFQjCNEkPTPNBw-KVPnvfTAXI-zIL9VM-g&ust=1492802658039761>
41. Wikipedia. (13 de Junio de 2010). *Wikipedia*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de https://www.google.com.mx/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fa%2Fa6%2FBalanc%25C3%25A1n%252C_Tab.JPG&imgrefurl=https%3A%2F%2Fes.wikipedia.org%2Fwiki%2FArchivo%3ABalanc%25C3%25A1n%2C_Tab.JPG&docid=1JqUp-eG8D1WhM&tbnid=

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Mapa de ríos Tigris y Éufrates. | 6 |
| Ilustración 2. Mapa de Mesoamérica con la ubicación de la cultura olmeca..... | 6 |
| Ilustración 3. Mapa de ubicación de civilización maya | 7 |
| Ilustración 4. Mapa de localización de asentamientos aztecas e imperio | 8 |
| Ilustración 5. Río Usumacinta | 32 |
| Ilustración 6. Presa en Durango..... | 32 |
| Ilustración 7. Lago Colombo | 32 |
| Ilustración 8. Ejemplo de pozo somero | 33 |
| Ilustración 9. Ejemplo de noria..... | 33 |
| Ilustración 10. Ejemplo de galería filtrante | 34 |
| Ilustración 11. Manantial en Oaxaca | 34 |
| Ilustración 12. Zonas de Veda de Aguas Superficiales, 2015..... | 36 |
| Ilustración 13. Ordenamientos de aguas subterráneas, 2015 | 37 |
| Ilustración 14. Estados, Municipios y Fronteras, 2015. Con la ubicación del municipio de Fresnillo, Zacatecas..... | 42 |
| Ilustración 15. Mapa de Climas..... | 43 |
| Ilustración 16. Distribución de la precipitación pluvial normal 1981-2010 | 44 |
| Ilustración 17. Mapa de Distribución de la precipitación pluvial anual, 2015 | 45 |
| Ilustración 18. Mapa de Relieve | 46 |
| Ilustración 19. Regiones hidrológicas..... | 48 |
| Ilustración 20. Mapa a nivel estatal de Zonas susceptibles a inundaciones | 50 |
| Ilustración 21. Mapa del área urbana susceptible a inundación | 51 |
| Ilustración 22. Mapa nacional de Duración de la sequía promedio..... | 52 |
| Ilustración 23. Agua renovable per cápita 2015 | 54 |
| Ilustración 24. Zonas de veda de aguas superficiales, 2015 | 56 |
| Ilustración 25. Ordenamientos de aguas subterráneas, 2015 | 57 |
| Ilustración 26. Condición de los acuíferos, 2015..... | 59 |
| Ilustración 27. Agua renovable per cápita, 2030 | 61 |
| Ilustración 28. Gráfica de crecimiento poblacional en Fresnillo, Zacatecas..... | 62 |
| Ilustración 29. Propuesta de localización de Lago A | 66 |
| Ilustración 30. Área de captación de Lago A..... | 67 |
| Ilustración 31. Localización propuesta de Lago B | 68 |
| Ilustración 32. Localización de propuesta de lagunas L1, L2, L3, L4, L5 y L6 | 69 |