

PROBLEMÁTICAS DEL AGUA Y MEDIDAS SUSTENTABLES EN ESTADOS DESÉRTICOS DE MÉXICO, CASO CHIHUAHUA

**Coordinadores:
Germán Eduardo Dévora Isiordia
Esmeralda Cervantes Rendón**



PROBLEMÁTICAS DEL AGUA Y MEDIDAS SUSTENTABLES EN ESTADOS DESÉRTICOS DE MÉXICO, CASO CHIHUAHUA

**Coordinadores:
Germán Eduardo Dévora Isiordia
Esmeralda Cervantes Rendón**



**OFICINA DE
PUBLICACIONES
ITSON**

Problemáticas del agua y medidas sustentables en estados desérticos de México, caso Chihuahua

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por pares académicos externos al ITSON.

© Instituto Tecnológico de Sonora
© Germán Eduardo Dévora Isiordia
© Esmeralda Cervantes Rendón

Instituto Tecnológico de Sonora ITSON
5 de febrero, 818 sur, Colonia Centro,
Ciudad Obregón, Sonora, México; 850000
Web: www.itson.mx

Primera edición versión digital 2019

ISBN: 978-607-609-205-7

Coordinación Editorial ITSON
Maquetado y diseño de portada: Lorenia Guadalupe Félix Esquer

Se autoriza cualquier reproducción total o parcial de esta obra, siempre y cuando sea sin fines de lucro o para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente sin alteración del contenido y dando los créditos autorales.

ÍNDICE

Prólogo

*Esmeralda Cervantes Rendón; Germán Eduardo Dévora Isiordia y Sukey Haydeé
Fernández Lam* vi

Introducción

Esmeralda Cervantes Rendón y Germán Eduardo Dévora Isiordia ix

Análisis del Estado de Chihuahua xiii

Análisis del Estado de Sonora xv

Estructura y contenido del libro xvi

Referencias xix

Capítulo I. Revisión de los Tratados entre México y Estados Unidos que han influido en el deterioro del Río Bravo y su paso por las localidades de Ciudad Juárez, El Valle de Juárez y El Paso Texas 2

Gabriela Montano Armendáriz

Capítulo II. Revisión del panorama hídrico de los municipios de Cuauhtémoc y Delicias, Chihuahua, relacionado al Cambio Climático 12

Esmeralda Cervantes Rendón

Capítulo III. Análisis del manejo del agua desde una perspectiva económica para los seis municipios más poblados del estado de Chihuahua 24

Sarahí Sánchez León

Capítulo IV. Las oportunidades para la sustentabilidad hídrica en las Cuencas de Chihuahua: Estrategias para compensar las demandas socioeconómicas y ambientales ante los retos del cambio climático (Agua-Energía-Alimentación) 34

Alfredo Granados Olivas; Luis Carlos Alatorre Cejudo; Josiah M. Heyman; Arturo Soto Ontiveros; Adán Pinales Munguía; Sergio Saúl Solís; Hugo Luis Rojas Villalobos, Adrián Vázquez Gálvez, María Elena Torres Olave; Luis Carlos Bravo Peña; Oscar Ibañez; William L. Hargrove; Alex Meyer y Shuping Sheng

Capítulo V. Sistema de nano-filtración para tratamiento de agua salobre con energía solar en Samalayuca, Chihuahua, México	50
<i>Alejandra Santamaría Islas; Ulises Dehesa Carrasco; Rosenberg J. Romero Domínguez; Esmeralda Cervantes Rendón; Jonathan Ibarra Bahena; Luis Ernesto Cervera Gómez; Jesús Cerezo Román y Antonio Rodríguez Martínez</i>	
Capítulo VI. Calidad del agua subterránea en el estado de Chihuahua: retos y logros en la búsqueda de soluciones sustentables para el agua de consumo	63
<i>María Socorro Espino Valdés</i>	

PRÓLOGO

*Esmeralda Cervantes Rendón
Germán Eduardo Dévora Isiordia
Sukey Haydeé Fernández Lam*

EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA (ITSON) Y EL COLEGIO DE CHIHUAHUA (el Colech) colaboran para presentar en la primera parte de este volumen problemáticas referentes al agua, con el objeto de dar a conocer las dificultades que se presentan hoy en día en el ámbito ambiental, social y económico a causa del mal uso que se le ha dado a este recurso tan indispensable.

Las problemáticas referentes al agua se reflejan principalmente en la desigualdad en la distribución global del agua y en la contaminación en diferentes áreas del mundo.

Alrededor del mundo, se han presentado situaciones de escasez de agua y de su contaminación, haciendo imposible el consumo humano y por lo tanto hay un descenso en la calidad de vida de la población afectada. Los desechos de industrias, principalmente, han contribuido a la contaminación de grandes cuerpos de agua debido a un seguimiento inadecuado de los protocolos de seguridad a seguir. De igual manera, se le dedica la segunda parte a las medidas y proyectos de aplicación para mejorar la calidad del agua o a tener un uso más eficiente de la misma.

En el caso de Sonora, éste recurso por su escasez, ha sido motivo incluso de conflictos gubernamentales y de la sociedad, tal es el caso reciente de la escasez de agua para la población en la ciudad de Hermosillo, Sonora, que en contra de la voluntad de los productores agrícolas en el sur de Sonora hubo necesidad de construir un acueducto con el agua de la presa El Novillo para derivarla a la población y satisfacer la escasez en la época de estiaje, provocando que ésta decisión subsista la inconformidad de los agricultores en el sur de Sonora quienes reclaman que el agua en el sistema de presas se verá disminuida notoriamente con la afectación de la producción actual y futura.

Se ha insistido ante el gobierno del estado de Sonora la necesidad de establecer equipos de desalación sobre todo en los municipios de Guaymas y Empalme, los cuales junto con el municipio de Hermosillo confrontan una escasez significativa de la falta de agua. Fuera de las ciudades de mayor número de habitantes en el estado, los poblados de menor número de habitantes cuentan con plantas potabilizadoras de agua y por lo mismo el agua que consumen no es potable y existe mayor riesgo de enfermedades a causa de esta falta de potabilización.

En el caso de agua para uso agrícola en la zona central y norte de Sonora, está sujeta a los volúmenes que existan en los mantos acuíferos por lo que la sobreexplotación de estos ha provocado la intrusión salina en los pozos originalmente establecidos, provocando la reducción de estos y consecuentemente las áreas de producción respectivas. No obstante, los valores actuales de producción se han incrementado notablemente por el cambio de cultivos tradicionales a otros más rentables, como son: el nogal, la vid y cítricos principalmente.

Los intentos para resolver el problema en la escasez de agua, sobre todo en terrenos desérticos en el sur de Sonora datan del año 1964, cuando se tenía proyectado el plan hidráulico del noroeste (phlino) que no ha podido concretarse.

Se busca encontrar otras opciones que den solución a este recurso vital para el desarrollo agropecuario y de la población. Se espera que este volumen otorgue herramientas de acción y corrección en las problemáticas referentes al agua, además de concientizar a la población sobre el uso y el cuidado del agua.

Mientras que, el recurso hídrico para una región semiárida como el estado de Chihuahua ha sido un factor de alta importancia social, ambiental y económica, que ya no puede ser abordado solamente desde una sola perspectiva.

Dentro de los problemas sociales en el estado de Chihuahua relacionados con el recurso agua se encuentran las disputas entre diversos grupos de agricultores que al verse afectados por sequías sufren pérdidas de cultivos que pueden ocasionar conflictos sociales. Otro ejemplo es el que la población no tenga acceso al agua de calidad en donde también se ocasionan problemas de salud que no siempre son atendidos ya sea por contaminación por actividades antropogénicas, que por un mal manejo de sus residuos pueden generar contaminación ya sea por la minería, la industria láctea, actividades recreativas, entre otros, o por la naturaleza de la región, sin embargo, la población desconoce las causas, solo vive con los efectos que en ocasiones se incrementan por su mal manejo en el hogar, y cuando es un estado que su mayor producción industrial es para exportación y sus principales fuentes de agua son subterráneas, se ven implicados otros factores que no necesariamente son técnicos, sobre el abastecimiento que se pueda tener de la misma, sumado todo esto a ser un estado que su agua es compartida con el país vecino de Estados Unidos de América, con base en tratados internacionales que con las condiciones actuales ya no satisfacen las necesidades de la región.

Sumados los efectos del cambio climático con incrementos en los periodos de sequía, cambios en los tiempos e intensidad de las lluvias y en las temperaturas extremas de la región, hacen que el estado de Chihuahua, presente una de las mas altas vulnerabilidades hídricas a nivel nacional, lo que ocasiona que ya no sea opcional implementar medidas de mitigación y adaptación, sino que se convierte en una urgencia que estas medidas sean incluidas en las agendas gubernamentales locales, estatal y nacional. Pero estos cambios y medidas incumben a diferentes sectores, desde diferentes ángulos y prioridades de manejo, que desde su capacidad de cambio e influencia puedan implementar cambios de paradigma sobre el recurso hídrico. Entre ellos se encuentra:

- **Gobierno:** Dentro de sus planes y programas debe de considerar el recurso hídrico desde sus medidas de mitigación y adaptación de este, puntualizando en el sector agropecuario y el abastecimiento de agua del sector público con especial énfasis a los municipios y localidades que dependen de acuíferos sobreexplotados, así como dar un mayor seguimiento a los planes de manejo de los residuos industriales y agropecuarios para evitar la contaminación de las fuentes de agua. Revisar los tratados internacionales y plantear a nivel internacional las problemáticas y soluciones para la región fronteriza.
- **Academia:** Generar proyectos de investigación con un enfoque holístico, con grupos multidisciplinarios, en donde el conocimiento generado, no solamente sea para la comunidad académica, sino también para la sociedad y en apoyo para una mejor planeación por parte del gobierno. Para ello, también trabajar más con asociaciones civiles y en la comunicación para una mayor concientización con los diferentes actores involucrados.
- **Sociedad:** Conocer su situación, problemas y posibles soluciones, así como el mejor manejo del agua, para tener una mejor calidad y un mayor cuidado del recurso, por medio de conocimiento informado desde las diferentes asociaciones y academia. Tener una concientización del rol que juegan en el cuidado del agua.

- **Industria manufacturera:** Comprometerse y cumplir con las medidas para el cuidado y manejo de sus residuos, de tal manera que eviten la contaminación de las fuentes de agua, promover el mejor uso y ahorro del agua en sus diferentes procesos y apoyar al gobierno, asociaciones civiles y academia que desarrolle proyectos de manejo sustentable del agua.
- **Agricultores y ganaderos:** Implementar tecnología para el uso eficiente del agua, para lograr un ahorro en su consumo y no para un incremento en su producción que de igual manera genere un impacto en el acuífero, que dentro de estas estrategias se puedan incluir los cambios de cultivo que generen una mayor ganancia y una mejor adaptación a las condiciones de la región.
- **Minería:** Además del correcto manejo de sus lixiviados y residuos, es necesario que cuenten con planes de contingencia ambiental y que incluyan medidas de remediación efectivas en caso de derrames, en donde no solamente se visualicen los impactos ambientales sino también los sociales.

Porque todos somos parte del problema, como también somos parte de la solución, logrando un cambio de paradigma sobre el recurso hídrico que nos permita llegar a un uso sustentable del mismo.

Es por ello la importancia de un libro con enfoque académico multidisciplinario como el presente titulado *Problemáticas del agua y medidas sustentables en dos estados desérticos de México: Chihuahua y Sonora*, del cual emanan propuestas y análisis sobre el recurso hídrico en dos estados que comparten características que enriquecen este análisis que puede ser utilizado por la academia y gobierno para el diseño de estrategias de manejo sustentable del agua.

Introducción

Esmeralda Cervantes Rendón¹ y Germán Eduardo Dévora Isiordia²

Los estados de Chihuahua y Sonora se encuentran en la zona norte de México, dentro de sus características comunes se pueden mencionar que presentan condiciones climáticas que van de secas a muy secas, parte de sus actividades económicas son la agricultura, ganadería y minería, así como la industria manufacturera que se ve incrementada por ser frontera con Estados Unidos de América y en los diferentes escenarios de Cambio Climático presentan vulnerabilidades que van de media a muy alta. Es por ello, la importancia que tiene para ambos el recurso hídrico, desde una perspectiva de análisis y estrategias de sustentabilidad y tratamiento.

En cuanto a la relación internacional con Estados Unidos de América, por sus aguas y cuencas, se han generado principalmente dos acuerdos que impactan a los estados de Sonora y Chihuahua, el Tratado de 1944 entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos Americanos de la distribución de las aguas internacionales de los Ríos Colorado, Tijuana y Bravo, desde Fort Quitman, Texas hasta el Golfo de México y el Tratado de 1906 para la equitativa distribución de las aguas del Río Grande, siendo este de principal interés para el estado de Chihuahua, ya que involucra el área denominada el Valle de Juárez, mientras que el de 1944 al tratar sobre el Río Colorado, presenta un interés para el estado de Sonora y para Chihuahua por la sección del Río Bravo, esta relación internacional por el recurso hídrico a representando conflictos pero también ha generado colaboración entre ambos países (Samaniego, 2012).

En lo correspondiente a aguas subterráneas, entre estos dos estados se encuentra el 23% de los acuíferos sobreexplotados de México (CONAGUA, 2018a), lo que confirma que la disponibilidad y demanda de agua es uno de sus grandes problemas. En el estado de Sonora, se tienen acuíferos con un déficit de hasta -97.01 perteneciente al acuífero Costa de Hermosillo (Figura 1), por otro lado, el total de volumen concesionado REPDA para este estado corresponde a 3002.00 hm³ (CONAGUA, 2018b) de los cuales 1,365.2 hm³ (Tabla 1) pertenecen a acuíferos clasificados como sobreexplotados, es decir el 45.5% del volumen concesionado es de zonas que se debe de tener un especial cuidado para garantizar el uso sustentable del recurso hídrico, que principalmente se encuentran en la región noreste del estado (Figura 1).

¹ Líder del Colech Ciencias de la Tierra y Sustentabilidad de El Colegio de Chihuahua

² Líder del CAIP-036 Tratamiento de Aguas y Tecnologías Alternas del Instituto Tecnológico de Sonora

Tabla 1. Disponibilidad de agua de los acuíferos sobreexplotados de los estados de Sonora y Chihuahua

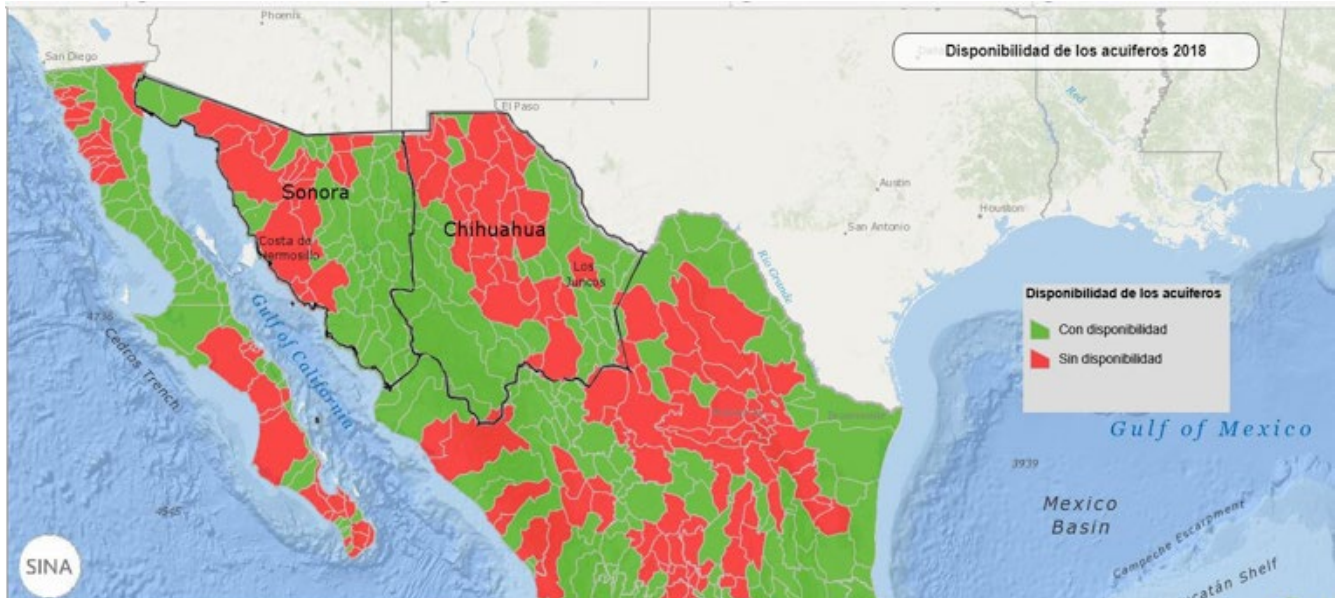
Clave	Nombre	Volumen concesionado REPDA	Disponibilidad de agua subterránea (hm ³)	Extracción (hm ³)	Recarga Media (hm ³)	Disponibilidad media anual de agua del subsuelo (Déficit)*
SONORA						
2601	Valle de San Luis Río Colorado	162.8	41.5	263.5	236.8	0
2603	Sonoyta-Puerto Peñasco	107.4	0	46.3	41.4	-81.93
2605	Caborca	303.8	0	321.2	212.9	-90.87
2606	Los Chirriones	28.7	0	54.2	30	-0.67
2609	Busani	17.8	0	20	15.5	-2.3
2619	Costa de Hermosillo	347	0	430.4	250	-97.01
2621	Mesa del Seri-La Victoria	106.4	0	120	73	-49.41
2624	Río Sonora	61.6	5.1	74.6	66.7	0
2626	Río Zanjón	101.1	0	115.6	94.8	-14.11
2635	Valle de Guaymas	110.2	0	117.4	100	-10.19
2636	San José de Guaymas	18.4	0	8.1	4.5	-13.89
TOTAL		1,365.2	46.6	1,571.3	1,125.6	-360.38
CHIHUAHUA						
Clave	Nombre	Volumen concesionado REPDA	Disponibilidad de agua subterránea (hm ³)	Extracción (hm ³)	Recarga Media (hm ³)	Disponibilidad media anual de agua del subsuelo (Déficit)*
801	Ascensión	239.5	0	191.5	132.2	-107.28
803	Baja Babícora	185	0	132	90.6	-94.39
804	Buenaventura	183.2	0	132	66.5	-116.68
805	Cuauhtémoc	310.9	0	497.9	299.4	-11.5
806	Casas Grandes	200.1	0	200.5	180	-20.1
807	El Sauz-Encinillas	117.1	0	127.2	62.4	-54.65
812	Palomas-Guadalupe Victoria	16.3	0	28.8	15.6	-2.96
819	Laguna la Vieja	227.8	0	153.8	61.5	-166.29
821	Flores Magón-Villa Ahumada	253.8	0	208.1	137.5	-116.32
830	Chihuahua-Sacramento	114.3	0	67.2	56.6	-57.66
831	Meoqui-Delicias	381.8	0	329.2	211.2	-170.64
832	Jiménez-Camargo	329.3	0	303.1	173.3	-161.5
833	Valle de Juárez	212.1	0	171.8	125.9	-86.24
847	Los Juncos	604.2	0	404.2	133.6	-470.71
848	Laguna de Palomas	15.7	7.6	63.3	23.3	0
TOTAL		3,391.1	7.6	3,010.6	1,769.6	-1,636.92

Fuente: CONAGUA. 2018. Subdirección General Técnica. Sistema Nacional de Información del agua

*Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las Regiones Hidrológico Administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación, 4 de enero de 2018

Mientras que, en el estado de Chihuahua, el acuífero con un mayor déficit corresponde a Los Juncos (Figura 1) con un valor de -470.71 hm^3 , lo cual es extremadamente preocupante, en este caso, el acumulativo del déficit estatal es de $-1,636.92 \text{ hm}^3$, con 15 acuíferos clasificados como sobreexplotados (Tabla 1). Para este estado, el volumen concesionado REPDA total es del orden de $5,229.20 \text{ hm}^3$ (CONAGUA, 2018c), de los cuales $3,391.1 \text{ hm}^3$ son de acuíferos sobreexplotados, es decir, 64.8% de sus concesiones son en acuíferos que requieren una especial atención, con el fin de que sigan brindando este recurso, sin comprometer su equilibrio hidrológico, que para el estado de Chihuahua cruza de norte a sur por la región central (Figura 1).

Figura 1. Mapa de disponibilidad de agua de los acuíferos del norte de México.



Fuente: adaptación a los estados de Sonora y Chihuahua de CONAGUA. Subdirección General Técnica, 2018. SINA. (<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuíferos>).

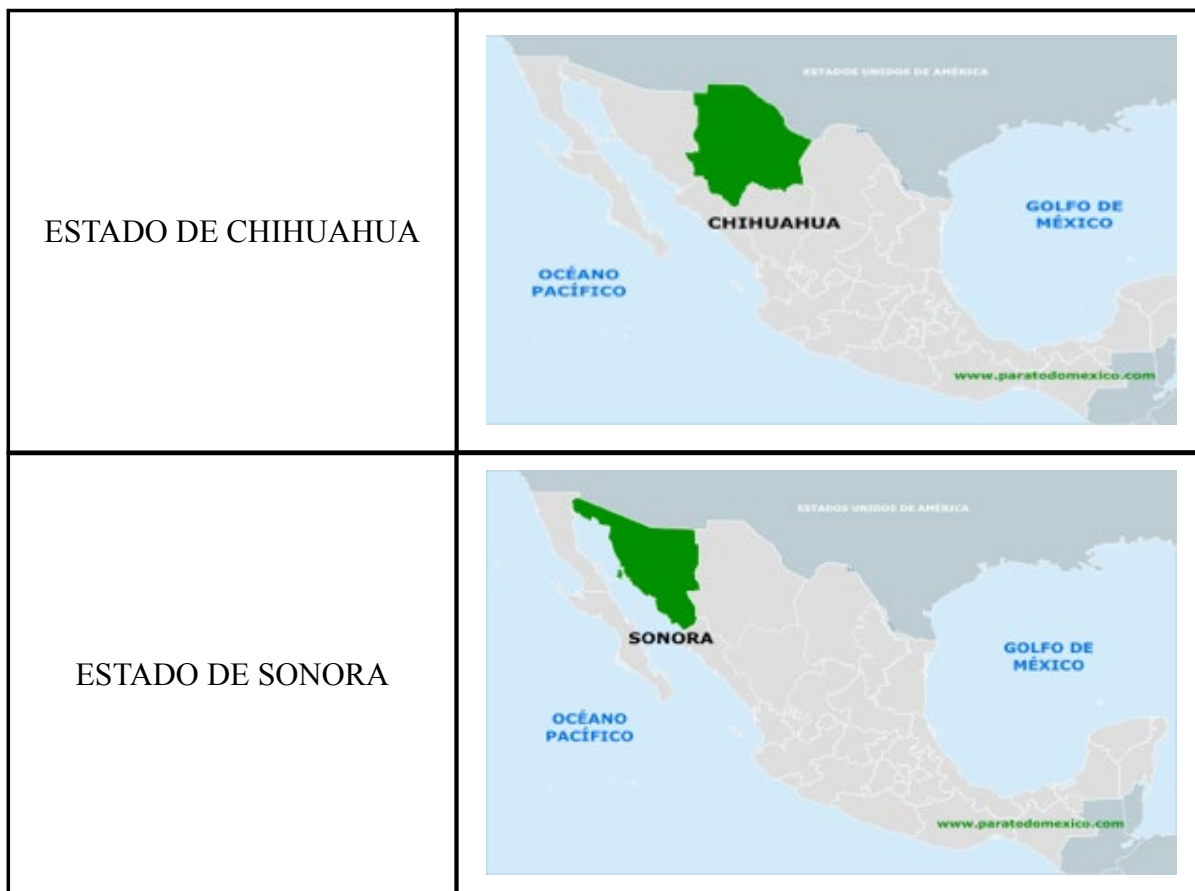
La importancia del análisis de la situación hídrica de estos dos estados, no solamente radica en las problemáticas actuales, sino también, en los diversos escenarios de Cambio Climático, en donde se identifican diferentes grados de vulnerabilidad, que en el caso de Sonora presenta una mayor exposición debido a la brecha hídrica, que se refiere a la diferencia entre la oferta sustentable actual y la demanda al 2030, con regiones en el norte que van de media a muy alta, mientras que en el caso de Chihuahua, su vulnerabilidad más alta la representan las sequías y el grado de sobreexplotación de sus acuíferos, presentando en la zona centro-sur, sequías con grado alto de explotación y por acuíferos un grado muy alto de sobreexplotación.

Generando que por ejemplo la cuenca del Río Conchos en Chihuahua sea considerada con una vulnerabilidad Muy Alta, y para el estado de Sonora el Río Concepción presente una vulnerabilidad global Alta (Rivas, 2015).

Aunado a todo esto, la sociedad, el gobierno y la industria perciben el uso continuo y rutinario del recurso natural agua, y se da por hecho la propiedad de éste en nuestra vida diaria, en donde en ocasiones se suele dar un mal uso de esta, dando por asentado su acceso para satisfacer necesidades fisiológicas y de higiene personal, así como su uso en la agricultura y en la industria. Por otro lado, es importante destacar que el agua está ligada directamente a la salud, bienestar y nivel socioeconómico.

Reconociendo la problemática actual, investigadores y docentes del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) y El Colegio de Chihuahua (El Colech) han colaborado en la publicación de este volumen con el objetivo de analizar a profundidad las distintas problemáticas en relación con el agua y tomar las medidas necesarias para la corrección de estas circunstancias de interés para ambos estados.

Figura 2. Estados de Chihuahua y Sonora al norte de México.



Fuente: Inegi, 2019.

ANÁLISIS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

Para el caso de Chihuahua, el CA Colech 01 Ciencias de la Tierra y Sustentabilidad, trabajó el proyecto *Geografía del Agua en el Programa de Ordenamiento Territorial*, aprobado en la convocatoria Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2017 de la SEP, en donde, entre sus distintos objetivos se realizó un análisis económicos, social y ambiental de la situación del agua en el estado de Chihuahua y es donde se identificó la necesidad de crear un producto que desde una perspectiva multidisciplinaria analice el recurso hídrico, pero además presente opciones de medidas sustentables que se encuentren en proceso de aplicación.

Dentro de las preguntas de investigación del proyecto, se pueden mencionar dos: ¿Cuál es la situación hídrica del estado de Chihuahua desde las perspectivas económicas, ambientales y sociales que impactan en la relación agua-sociedad? y ¿qué tipo de proyectos se han desarrollado en el estado de Chihuahua para el tratamiento del agua? Al analizar la importancia de estas dos preguntas, se consideró que estas fueran la base para el desarrollo y diseño de este libro.

Para contestar la primera pregunta se realizó un análisis en cuatro etapas. En la primera etapa se recopiló información de dos tipos: 1) documentos y publicaciones oficiales de distintos entes de gobierno y 2) bases de datos académicas y de sitios oficiales para cada tipo de análisis (social, ambiental y económico). La segunda etapa consistió en la categorización de la información por temática, de igual manera desde cada tipo de análisis, mientras que en la tercera etapa se realizó un cruce con la información de cada enfoque, para poder identificar los puntos críticos en ciertas regiones del estado que fueron las que se tuvo una mayor información o se consideraron importantes, por diversos factores. Por ejemplo, para el caso del enfoque social, se elaboró un análisis de la región Paso del Norte, por la repercusión social que tiene el Río Bravo y las legislaciones internacionales que han impactado en una dinámica binacional. En el caso del análisis ambiental, se seleccionaron dos municipios con actividad agrícola y que su población fuera mayor a 50,000 habitantes, en donde la mayor demanda de agua correspondiera a esta actividad económica. Mientras que, en el caso del análisis económica, se enfocó en los seis municipios que tienen una población mayor a 50,000 habitantes. En este libro, se presenta el análisis realizado hasta la etapa 3 (Figura 3).

Mientras que, para dar respuesta a la segunda pregunta sobre los tipos de tratamiento de agua, se recurrió principalmente a dos rutas. La primera fue la identificación de actores que realizaran investigación aplicada en el estado, de los cuales se tomó un ejemplo, buscando que principalmente se tuviera una cobertura estatal y otro con una cobertura fronteriza. Por otro lado, el CA Colech 01 Ciencias de la Tierra y Sustentabilidad en su búsqueda de colaboración multiinstitucional participa activamente en la Red Temática Conacyt Sustentabilidad Energética, Medioambiente y Sociedad, con quienes desarrolla un proyecto de desalinización en el área de Samalayuca, por lo que se consideró importante su aplicación al presente documento, para además de presentar los avances del proyecto, también se viera reflejado el trabajo de colaboración con instituciones de otros estados de México (Figura 4).

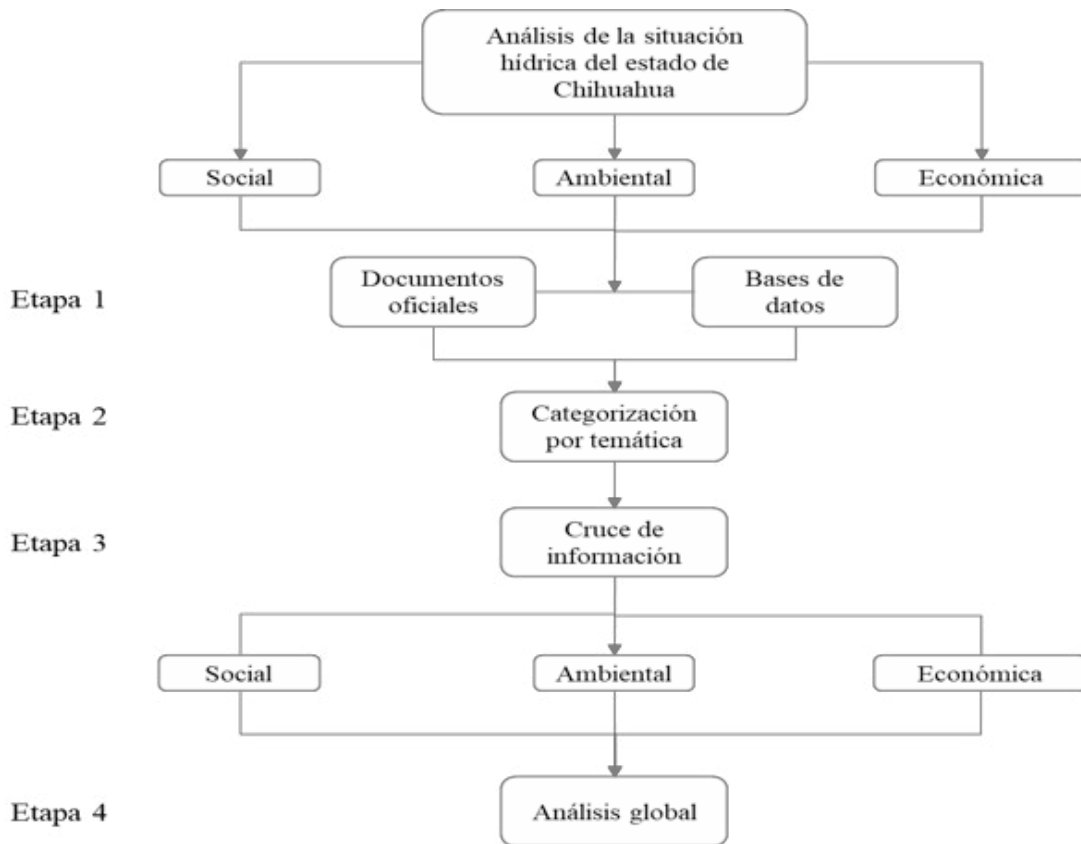


Figura 3. Etapas para el análisis de la situación hídrica del estado de Chihuahua, desde una perspectiva social, ambiental y económica.
Fuente: elaboración propia.

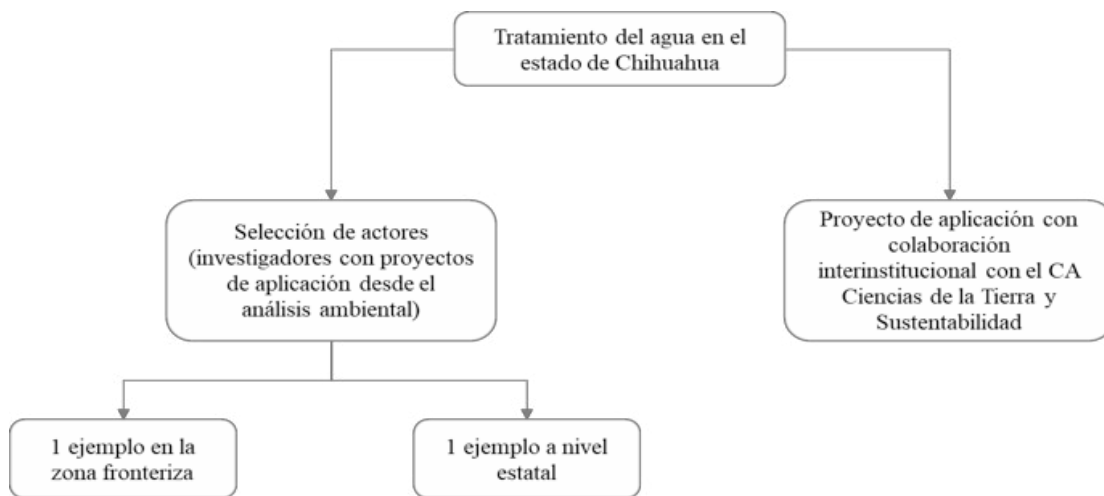


Figura 4. Mecanismo de selección de ejemplos de aplicación del tratamiento de agua en el estado de Chihuahua.
Fuente: elaboración propia.

Con este análisis del estado de Chihuahua, se lograron conjuntar los capítulos del presente Tomo que fueron sometidos a un riguroso trabajo de arbitraje por el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON).

ANÁLISIS DEL ESTADO DE SONORA

Mientras que, en el caso del estado de Sonora, el CAIP 036 Tratamiento de Aguas y Tecnologías Alternas del Instituto Tecnológico de Sonora, que cuenta con una gran trayectoria en sistemas de tratamiento de agua, potabilización y diseños de procesos de Desalinización de aguas marinas y salobres, se dio a la tarea de reunir diversos trabajos de aplicación para el tratamiento de agua, así como la búsqueda de investigadores que trabajaran el análisis de la situación hídrica del estado desde una perspectiva social.

La situación hídrica del estado de Sonora se da por dos elementos principales, el primero es el almacenamiento de agua a través del sistema de presas hídricas, y el segundo lo conforman los diversos mantos acuíferos, cuya explotación se realiza a través de sistemas de bombeo mediante pozos de diversas profundidades, según la zona agrícola o ganadera de que se trate (Moreno, González, 2014).

El aprovechamiento de éste recurso en el estado de Sonora es de vital importancia para la producción de alimentos, en los que destaca productos como el trigo, maíz, aceites como soya, ajonjolí, cártamo, así como hortalizas y cítricos. En las zonas de bombeo se cuenta con cultivos de más alta rentabilidad como son la nuez, vid, olivo, etc. (Moreno, Gonzalez, 2014). La ganadería, por otra parte, depende fundamentalmente del agua de lluvia para los pastizales en los agostaderos para mejor aprovechamiento de este recurso, los ganaderos realizan obras como represas para el depósito de estas aguas y su ulterior aprovechamiento, especialmente en la época de estiaje. Se destaca, sin embargo, que la falta de precipitación en el estado, la cual en promedio anual es de 450 mm, muy por debajo de la media nacional., es un factor que limita de manera importante el desarrollo del estado. Otra razón es por la sobreexplotación de mantos acuíferos e intrusión salina que tiene el estado. Esto repercute en la instalación de nuevas empresas en la entidad, donde la premisa primaria y fundamental es que se garantice el suministro en cantidad y calidad. Actualmente se cuenta ya con un proyecto para la desalinización de agua de mar, en la región de Guaymas, cuya instalación se prevé inicie a mediados de diciembre del año 2018 y que daría el suministro de este vital líquido, a las poblaciones de Guaymas y Empalme.

Todo lo anterior en situación de problemática de escasez de agua, tanto para el Estado de Sonora como de Chihuahua, reditúa en la publicación de dos libros que abordan situaciones de conflictos sociales y planteamientos tecnológicos para hacer frente en los 2 estados fronterizos más grandes de México.

En el ámbito social, el agua en estos estados es factor que soporta la creación de innumerables empleos ligados a las actividades agropecuaria, pesquera y acuícola. En cuanto al sistema de tratamiento de aguas residuales, es en general una tarea pendiente en la actualidad, pues solo cuentan con este importante sistema, las principales ciudades de las entidades en mención, como Hermosillo y Ciudad Obregón, Sonora, México.

TOMO I. CHIHUAHUA

Parte I. Problemáticas sociales, ambientales y económicas del recurso hídrico

Esta parte del libro está conformada por cuatro capítulos que abordan problemas a nivel estatal, regional y municipal desde diferentes visiones multidisciplinarias. Los primeros tres capítulos tienen un abordaje desde cada disciplina y es parte de los resultados del proyecto *Geografía del Agua en el Programa de Ordenamiento Territorial*, de El Colegio de Chihuahua, mientras que el cuarto capítulo tiene una visión multidisciplinar y holística de la relación agua-energía-alimentación y es parte de un proyecto *La sustentabilidad de los recursos de agua para la agricultura de riego en una cuenca que enfrenta el cambio climático y diversas demandas en competencia: de la caracterización a las soluciones* en donde participan diversas universidades que están bajo el liderazgo de la Universidad de Texas en El Paso (UTEP), e integran un consorcio de universidades con la Universidad Estatal de Nuevo Mexico (NMSU), la Universidad de Nuevo Mexico (UNM), la Universidad de Texas A&M, Agrilife de El Paso, la Universidad Tecnológica de Michigan (MTU) por parte de los Estados Unidos; la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y la Universidad Agropecuaria Dual “Hermanos Escobar” (UADHE), por parte de México.

El Capítulo I titulado *Revisión de los Tratados entre México y Estados Unidos que han influido en el deterioro del Río Bravo y su paso por las localidades de Ciudad Juárez, El Valle de Juárez y El Paso Texas*, en él, la autora retoma decisiones internacionales que afectaron el cauce, la calidad y la dinámica social que se tenía del Río Bravo, desde la perspectiva mexicana, en especial los efectos sobre la agricultura del Valle de Juárez, con la implementación del Tratado de Libre Comercio que generó un incremento de la industria maquiladora y los Tratados internacionales sobre el Río Bravo como el de 1906, que cambió la distribución del agua y generó la construcción de la Presa del Elefante en Estados Unidos, así como los Tratados de Guadalupe Hidalgo de 1848 y el Tratado del Chamizal, que cambiaron su cauce.

El Capítulo II que tiene por nombre *Revisión del panorama hídrico de los municipios de Coahuatémoc y Delicias, Chihuahua, relacionado al Cambio Climático* aborda las problemáticas del agua para dos municipios considerando 1) la disponibilidad y demanda, 2) la calidad y 3) los riesgos hidrológicos, sobre los que se deben de tener especial interés con las consecuencias del cambio climático, dentro de sus hallazgos para el municipio de Coahuatémoc identificó que se debe de tener una especial atención en el incremento de los periodos de sequía y los cambios de patrones de lluvia, en especial por los tipo de cultivos que generan, por otro lado, se debe de considerar la contaminación de sus fuentes superficiales, en especial la Laguna Bustillos, mientras que en Delicias, se debe de enfocar el cuidado de la calidad del agua de sus fuentes subterráneas y los riesgos por sequías y heladas.

Por su parte en el Capítulo III, titulado *Análisis del Manejo del Agua desde una Perspectiva Económica para los Seis Municipios más Poblados del Estado de Chihuahua*, la autora realiza un análisis de las actividades económicas y efecto sobre el uso del agua de los seis municipios del estado con una población mayor a 50,000 habitantes. Encontrando que el agua es extraída principalmente para uso productivo, siendo en mayor medida la agricultura con casi el 90%. La autora enfatiza en el cambio de paradigma de hacer búsqueda de soluciones a corto plazo, cambiar a estrategias que generen una solución a largo plazo, pensando en lograr un desarrollo sustentable.

Mientras que en el capítulo IV, titulado *Las oportunidades para la sustentabilidad hídrica en las Cuencas de Chihuahua: Estrategias para compensar las demandas socioeconómicas y ambientales ante los retos del cambio climático (Agua-Energía-Alimentación)*, los autores muestran estrategias que deben de ser consideradas para un desarrollo sustentable del recurso hídrico del estado, recalcando la importancia del abordaje holístico desde los enfoques social, ambiental y económico, destacando los retos en los elementos agua, energía y alimentación en el estado, considerando el sector agropecuario como uno de los ejes

principales, en la búsqueda de una sustentabilidad hídrica y energética, así como el aprovechamiento de las que pudieran considerarse ventajas de las particularidades de las cuencas hidrológicas del estado, todo esto aterrizado en una cuenca que además presenta el reto binacional, la llamada cuenca transfronteriza Paso del Norte.

Parte II. Tratamiento y uso sustentable del agua

La segunda parte del libro se compone de dos capítulos con proyectos de aplicación. Uno a nivel local en la zona fronteriza, en Samalayuca Chihuahua, que es parte de la Red de Sustentabilidad Energética de Medioambiente y Sociedad, bajo el liderazgo de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y con la participación de integrantes de las instituciones académicas de El Colegio de Chihuahua, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México. Mientras que el trabajo de análisis a nivel estatal corresponde a una investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de Chihuahua.

En el Capítulo V titulado *Sistemas de nano-filtración para tratamiento de agua salobre con energía solar en Samalayuca, Chihuahua, México*, el equipo multidisciplinario e interinstitucional presenta el diseño de un sistema de tratamiento de agua salobre, para usuarios en el poblado de Samalayuca, Chihuahua, que actualmente cuentan con agua de pozo que contiene niveles altos de salinidad y que por lo tanto no puede ser utilizada ni para consumo humano, riego o doméstico. En este estudio de caso, se presentan los resultados de calidad de agua del lugar, así como el diseño y dimensionamiento del sistema de nanofiltración fotovoltaico.

Para finalizar, en el Capítulo VI que tiene por título *Calidad del agua subterránea en el estado de Chihuahua: retos y logros en la búsqueda de soluciones sustentables para el agua de consumo*, la autora nos presenta un recorrido a partir de 1999 sobre la implementación de plantas de tratamiento de ósmosis inversa para la purificación de agua en más de 320 localidades del estado de Chihuahua, resaltando los problemas de calidad que enfrentan estas localidades, principalmente con contaminación por flúor, arsénico y compuestos como nitratos, sulfatos y sólidos disueltos, entre otros. Reconoce el beneficio que se ha logrado, pero también detecta el trabajo pendiente por hacer, como la atención a comunidades alejadas y el manejo sustentable del agua de rechazo.

TOMO II. SONORA

Parte I. Problemáticas sociales, ambientales y económicas del recurso hídrico

La primera parte de este tomo lo compone el Capítulo I, titulado *Las cuencas de los ríos, una división alternativa del territorio de Sonora*, el cual aborda el impacto ambiental que ha generado la explotación de ríos con fines de ingeniería. Este capítulo busca acercarse a la división por cuencas del estado de Sonora, con el objetivo de conocer las asignaciones de derechos en cada una de ellas. Se enfoca en saber que tanto ha avanzado la división territorial por cuencas en el estado de Sonora, así como la recopilación de información sobre las mismas.

Por su parte en el Capítulo II titulado *Descarga de aguas residuales en la Bahía de Lobos: Impactos ambientales y socio-económicos*, los autores tratan los principales riesgos ambientales a causa de las aguas residuales en la Bahía de Lobos. Se maneja información que data de los años 90 sobre la evaluación de la calidad de agua residual que se descarga en la Bahía de Lobos, la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales en Ciudad Obregón en 1997 y una evaluación actual de las condiciones de descarga en aguas residuales en el Valle del Yaqui.

Parte II. Tratamiento y uso sustentable del agua

La segunda parte del tomo, la cual abarca medidas y proyectos de aplicación para mejorar la calidad del agua o para tener un uso eficiente de la misma, se compone de los tres capítulos siguientes:

En el Capítulo III que tiene por título *Alternativa de tratamiento terciario de aguas ácidas de minas utilizando microalgas*, los autores hablan acerca de los millones de toneladas que se generan de residuos sólidos y líquidos a causa de la extracción de metales, en el cual México se encuentra en los primeros lugares, y sus consecuencias en las poblaciones próximas a las minas, en la flora y en la fauna del Estado de Sonora. Se propone el uso de microalgas para el tratamiento de estas aguas ácidas, que a través de pruebas experimentales resultaron ser efectivas en la remoción de contaminantes.

Mientras que en el Capítulo IV titulado *Quitosano como alternativa para eliminar contaminantes acuosos*, los autores comparten la alternativa de remover contaminantes en los principales cuerpos de agua en Sonora con el uso de quitosano, el cual se propone como un sustituto del carbón activado en el proceso de adsorción. Se busca aprovechar los residuos que se generan de cáscara de camarón debido a la gran producción acuícola de este, habiendo comprobado su eficacia en la remoción de contaminantes como metales pesados y colorantes.

Por su parte los autores del Capítulo V titulado *Preparación, caracterización y evaluación de membranas de nanofiltración, modificadas con nanopartículas de plata y extracto de chiltepín para su aplicación en desalación de agua salobre*, nos comentan que la nanofiltración se muestra más accesible en cuanto a la inversión que la ósmosis inversa, que ésta última es el método mayormente usado en la actualidad como alternativa para la escasez de agua. Se busca un mayor rendimiento en las membranas con la adición de nanomateriales.

En esta gama de capítulos de los dos tomos, los autores participantes fueron por institución académica:

Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON): Germán Eduardo Dévora Isiordia, Jesús Álvarez Sánchez, Reyna Guadalupe Sánchez Duarte, Ma. Araceli Correa Murrieta, María del Rosario Martínez Macías, Pablo Gortáres Moroyoqui, Ruth Gabriela Ulloa Mercado, Denisse Serrano Palacios, Luis Alonso Leyva Soto, Edna Rosalba Meza Escalante, Ana María Rentería Mexía y Lourdes Mariana Díaz Tenorio.

Colegio de Sonora (COLSON): Nicolás Pineda Pablos

El Colegio de Chihuahua (El Colech): Esmeralda Cervantes Rendón, Sarahi Sánchez León, Gabriela Montano Armendáriz y Luis Ernesto Cervera Gómez.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ): Alfredo Granados Olivas, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Arturo Soto Ontiveros, Sergio Saúl Solís, Hugo Luis Rojas Villalobos, Adrián Vázquez Gálvez, María Elena Torres Olave, Luis Carlos Bravo Peña y Oscar Ibáñez.

University of Texas at El Paso (UTEP): Josiah M. Heyman y William L. Hargrove

Michigan Tech University (MTU): Shuping Sheng

International Boundary and Water Commission (IBWC): Ed Drusina

Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH): María del Socorro Espino Valdés y Adán Pinales Munguía

Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM): Antonio Rodríguez Martínez, Alejandra Santamaría Islas, Rosenberg J. Romero Domínguez y Jesús Cerezo Román.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA): Ulises Dehesa Carrasco.

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM): Jonathan Ibarra Bahena.

Estos dos tomos con un total de cuatro partes, descritas brevemente en los párrafos anteriores, brindan un análisis sobre el recurso hídrico de dos estados desérticos de México, con un conjunto de visiones con diversos ángulos sobre una problemática que han enfrentado Chihuahua y Sonora, y que como tal es un eje central a considerar con los efectos del cambio climático, en donde ya no es suficiente solamente la perspectiva técnica de una solución para problemas de calidad de agua o sobreexplotación de acuíferos, sino que los factores ambientales, sociales y económicos tienen un peso mayor para el desarrollo de diagnósticos y proyectos que busquen la sustentabilidad, considerando la mitigación y adaptación ante estos cambios.

En estos capítulos, los autores desde su experiencia, brindan herramientas, avances y estrategias de abordaje multi e interdisciplinaria para tomadores de decisiones, investigadores, estudiantes e interesados en el recurso hídrico en zonas semiáridas, con actividad agrícola y problemáticas sociales que van desde las dinámicas por el uso compartido de aguas transfronterizas, el acceso a agua de calidad para los pobladores y el consumo de agua por actividades agropecuarias y minería, desde la demanda de agua y el tratamiento y manejo de la misma después de su uso.

Referencias

- CONAGUA (2018a). Subdirección General Técnica. Sistema Nacional de Información del agua. Condición de Acuíferos (estatal). Consultado en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&n=estatal>
- CONAGUA (2018b). Subdirección General Técnica. Sistema Nacional de Información del agua. Acuíferos estatal (Sonora). Consultado en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&n=estatal>
- CONAGUA (2018c). Subdirección General Técnica. Sistema Nacional de Información del agua. Acuíferos estatal (Chihuahua). Consultado en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&n=estatal>
- Rivas, I. (2015). Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México (agua superficial). En Arreguín, F.I., López, M., Rodríguez, O. y Montero, M.J. (coord.), Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del agua, pp. 89-99.
- Samaniego, M.A. (2012). Cuencas internacionales y usos sociales del agua. Formación de espacios de cooperación y conflicto: norte de México y oeste de Estados Unidos. *Secuencia*, 83, pp. 145-177.
- Sebastian Moreno, Alma González. (2014). Hay poca agua en Sonora: Conagua. 20 de noviembre de 2018, de El Imparcial Sitio web: <http://intrabecc.cocef.org/programs/intranetnotasperiodico/uploadedFiles/haypocaaguaensonoraaaconaguaa.pdf>

The background of the page features a pattern of irregular, light-brown stone tiles with dark grey grout. In the bottom right corner, the pattern transitions into a blue, wavy texture representing water.

PARTE I.

PROBLEMÁTICAS SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICAS DEL RECURSO HÍDRICO

Revisión de los Tratados entre México y Estados Unidos que han influido en el deterioro del Río Bravo y su paso por las localidades de Ciudad Juárez, El Valle de Juárez y El Paso Texas.

Gabriela Montano Armendáriz¹

Resumen

El Río Bravo es el límite territorial entre México y Estados Unidos, más allá de ser un límite geográfico es también un elemento de suma importancia para la agricultura y patrimonio de la sociedad de ambos países, en el presente capítulo se tiene como objetivo analizar las decisiones que han sido un detonante para las transformaciones del Río Bravo y como lo han afectado en relación a las comunidades de Ciudad Juárez, El Valle de Juárez y El Paso Texas. El presente análisis fue realizado por medio de artículos científicos, libros, datos hemerográficos, convenciones y tratados que competen al Río Bravo.

Palabras clave:

Río Bravo, tratados, límite territorial, Juárez, El Valle de Juárez, El Paso Texas, deterioro, distribución de agua.

¹Doctorante del programa de Investigación e Investigador Asistente de El Colegio de Chihuahua. 656 (6)39-03-97, gmontano@colech.edu.mx

Introducción

El Río Bravo tiene un origen pluvio-glacial ya que está formado por las lluvias y el deshielo, nace en las montañas Rocosas o Rocallosas (Ceniceros & Escobar, 1999), a 4,000 m cerca del paralelo 38° N dentro del estado de Colorado, pasa por Nuevo México y cerca de Santa Fé, por Albuquerque, El Paso y Ciudad Juárez (Tamayo, 1976), (Ver imagen 1). Nombrado también Río Grande debido a que su medida era de 3mil 059 kilómetros desde su origen en las montañas (Linares, 14 de mayo del 2000), nombre con el que lo bautizó Álvar Núñez Cabeza de Vaca en 1530 por su gran corriente de agua (Martínez, 2005). (Ver Figura 1).

La Organización de los Estados Americanos (OEA,2018), señala que el Río Bravo es el quinto río mas grande de Norteamérica y el cuarto mas grande del mundo, con una cuenca que abarca cinco estados mexicanos siendo Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango. Ha sido parte de hechos históricos que han marcado al territorio nacional mexicano, en primer momento descrito como el Río Grande por los conquistadores del territorio norteño, en un segundo con el Tratado de Guadalupe Hidalgo (1848) y en un tercero con la Revolución Mexicana ya que el río fue un lugar de apoyo por parte de los civiles norteamericanos hacia los miembros del campamento de rebeldes maderistas en 1910.

El Río Bravo más allá de ser el factor que define un límite territorial, es un elemento importante para la agricultura y el patrimonio de la sociedad en el recorrido de su cauce, que para el presente capítulo se hará mención en relación a las comunidades de Ciudad Juárez, El Valle de Juárez y El Paso Texas. Cabe mencionar que el objetivo de este capítulo es identificar los detonantes de las transformaciones del Río Bravo y como lo han afectado.



Figura 1. Río Grande between Ciudad Juárez and El Paso, 1929.
Fuente: El Paso History Alliance, Courtesy of John Mottinger.

El Río Bravo: Una revisión de decisiones

Los procesos de transformación del Río Bravo han sido debido a la toma de decisiones relacionadas a los límites territoriales, a volúmenes de entrega de agua y al incremento económico como El Tratado de Guadalupe Hidalgo (1848), El Tratado de 1906, El Tratado para solucionar el problema del Chamizal (1963) y El Tratado de Libre Comercio entre México, Estados Unidos y Canadá (1994) el cual esta ligado a el establecimiento de la industria maquiladora.

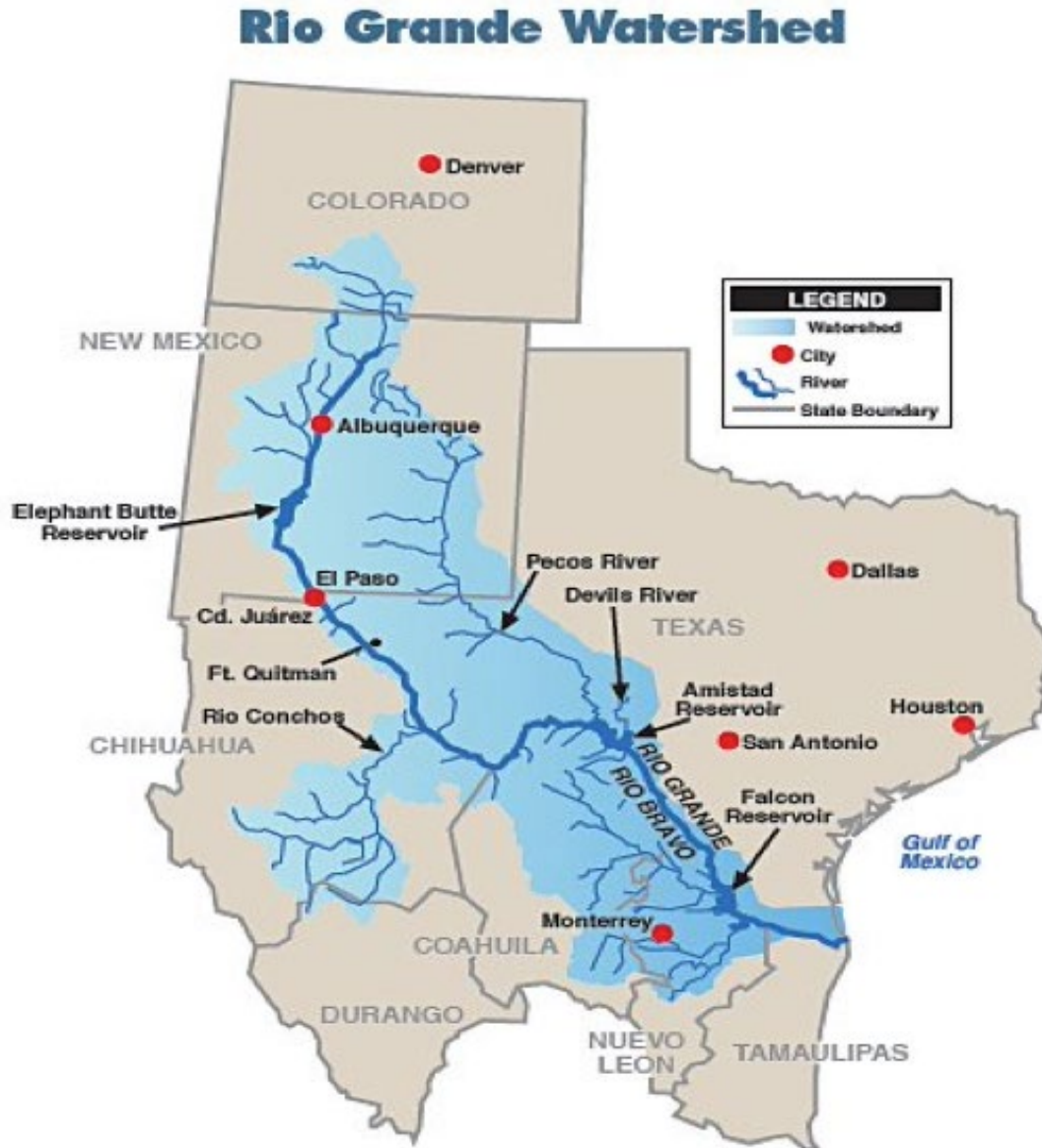


Figura 2. Cuenca del Rio Grande

Fuente: imagen obtenida de la página de Texas Commission on Environmental Quality www.tceq.texas.gov/publications/sfr/tceq-biennial-report/index85/chapter2wateravailability

El Tratado de Guadalupe Hidalgo firmado el 2 de febrero de 1848, con el que se establece que el límite internacional entre México y Estados Unidos sería marcado por el cauce del Río Grande (Bravo)², los límites marcados en el Tratado de Guadalupe tenían una serie de errores de ubicación, el mapa fue realizado por John Disturnell en 1847, una vez que detectaron los errores en el primer mapa realizaron el Tratado de la Mesilla firmado el 30 de diciembre de 1853, delimitando 3 mil 141 kilómetros de largo, la frontera al sur de Nuevo México, la línea del río Gila y a lo largo del río Colorado, perdiendo más de 100 mil kilómetros cuadrados de Sonora y Chihuahua, en 1891 y 1896 la Comisión Internacional de Límites realizó una exploración realizando nuevos mapas, pero hasta 1963 se aclararon los problemas de límites con el Tratado del Chamizal (Derbez, 2012).

En 1906 se firmó el Tratado de Límites y Aguas en el que se acordó que Estados Unidos de América entregaría a México 74 millones de metros cúbicos (60,000 acres pies) de agua anualmente mediante la Acequia Madre, entonces cantidad suficiente para la región (González, 2002, p. 122; Convención entre los estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América para la equitativa distribución de las aguas del Río Grande, CILA, p.1).



Figura 3. Ubicación de la presa del Elefante y caballo.

Fuente: COCEF, 2003. http://server.cocef.org/aproyectos/ExcomElephantButte2003_05esp.htm

La función de las presas de agua es almacenar agua para formar distritos de riego en las regiones donde no llueve en gran cantidad (Ceniceros & Escobar, 1999), como en la región del cauce del Río Bravo, con la finalidad de hacer cumplir esta función el Congreso de los Estados Unidos autorizó la construcción de la Presa del Elefante (Elephant Butte), misma que para entonces fue la segunda mayor obra que contenía agua en el mundo después de la presa egipcia de Asuán (Castañeda, 2016). Unos años después, el 19 de octubre de 1916 en El Paso Morning Times aparece una frase: “Triunfo del hombre sobre las fuerzas de la naturaleza” y en la nota del día siguiente puntualizaban que con el apoyo de la presa se podrían cultivar más de 200,000 acres de tierra, enfatizan que esto se lograba debido a la “captura y domesticación de un río hasta entonces caprichoso” (Long, 2016).

La construcción de la Presa del Elefante llevó bonanza al “Río Grande Valley” el cual comprende los territorios de El Paso, Las Cruces, New Mexico y Fabens. La siembra estaba compuesta por alfalfa, trigo, avena, cebada, centeno, maíz, espárragos, frijoles, repollo, cebolla, patatas dulces, chile, tomate, peras,

²En el Tratado de paz, amistad, límites y arreglo definitivo entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América (1848, p. 3-4) aparece señalada la delimitación territorial.

manzanas, durazno y melón (El Paso Chamber of Commerce, 1910). La implementación de la Presa del Elefante fue buena para algunos, pero con el paso del tiempo ha ido obstaculizando el desarrollo del Río Bravo y la producción del Valle de Juárez, para 1979 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos recibía constantes demandas de agua para satisfacer los riegos del Valle de Juárez por lo cual se abrieron nuevos pozos logrando 175 pozos, ya que anteriormente los cultivos dependían del agua proveniente del Tratado Internacional de Límites y Aguas de 1906, que para 1979 ya era insuficiente y limitaba la producción de 19 ejidos. (El Fronterizo, 1978; Uno más uno, 1979; El Fronterizo, 1979). Para el año siguiente el Tratado de Aguas continuaba sin ser revisado y con la misma dotación de 74 millones de metros cúbicos (El Fronterizo, 1980). La cuota era insuficiente ya que solo cubre 7 mil hectáreas siendo la superficie territorial de 25 mil hectáreas (Uno más uno, 1981).

No obstante, cabe señalar que la Presa del Elefante fue parte del tratado de 1906 en el artículo I, con la finalidad de apoyar a la distribución cuyo objetivo era el de generar energía pero durante su construcción no se cimentaron las instalaciones para dicha actividad por lo que tiempo después como apoyo para controlar inundaciones, regular el río y generar energía se construyó la Presa hidroeléctrica de El Caballo de 1936 a 1938 (Samaniego, 2012 & Convención entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América para la equitativa distribución de las aguas del río Grande, 1906). Dicha construcción fue parte del proyecto de riego Río Grande durante los primeros 100 días del New Deal estadounidense (The Living The New Deal, 2018), ambas presas son de los factores principales que han ocasionado que el cauce del Río Bravo en la región de Juárez y el Valle de Juárez haya disminuido drásticamente su cauce.

Otra de las modificaciones que sufrió el Río Bravo fue la modificación de su cauce realizada por medio de la “Convención entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América para la solución del problema del Chamizal” el 30 de junio de 1962, mediante el cual se establece que el límite entre ambos países será:

[...] Al sur de la línea media del nuevo cauce y al norte del cauce actual del Río Bravo quedaría una porción de 333.260 hectáreas compuesta por 148.115 hectáreas en la zona del Chamizal, 78.170 hectáreas en la parte sur del Corte de Córdoba y 106.975 hectáreas al este del Corte. Al norte de la línea media del nuevo cauce, quedaría una porción de 78.170 hectáreas que actualmente es la parte norte del Corte de Córdoba [...]

El nuevo cauce del Río Bravo, estaría revestido de concreto con mayor protección contra inundaciones y sobre todo un cauce estable el cual estaría operado y manejado por ambos gobiernos, otra de las ventajas del cauce revestido es que será un límite internacional estable con mayor control sanitario y eficaz así como su contribución al embellecimiento de Ciudad Juárez y El Paso (Convención entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América para la solución del problema del Chamizal, 17 de julio 1963, p.7). Actualmente algunas de las especificaciones marcadas en dicha acta no cumplen su objetivo como la parte del cauce estable y el control sanitario eficaz. (Ver Figuras 4, 5 y 6).



Figura 4. Río Bravo

Fuente: fotografía tomada por el autor, El Colegio de Chihuahua, miércoles 31 de octubre del 2018. Anteriormente del lado derecho se encontraba la ASARCO (30°25'17.7" N 106°31'31.8"W).



Figura 5. Río Bravo- Puente Negro

Fuente: fotografía tomada por el autor, El Colegio de Chihuahua, miércoles 31 de octubre del 2018. (Mercurio 8203, Bellavista, 32310, Cd. Juárez, Chihuahua, México).



Figura 6. Río Bravo- Cuatro siglos

Fuente: fotografía tomada por el autor, El Colegio de Chihuahua, miércoles 31 de octubre del 2018.

En 1965 se inauguró el primer parque industrial en Ciudad Juárez, presentando un incremento de maquiladoras con el transcurso de los años, ver Tabla 1.

Tabla 1. Incremento de las maquiladoras en Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Año	Plantas
1970	22
1974	89
1987	252
2004	317
2016	321

Para 1989 el Río Bravo ya era considerado uno de los ríos más contaminados de Centro y Norteamérica debido a las 800 industrias maquiladoras que se encontraban establecidas a lo largo de toda la franja fronteriza (El Herald de Chihuahua, 1989). Mientras que en el área de Juárez se localizaban 350 maquiladoras de las cuales medios de su producción generan contaminación que afecta al aire y suelo debido a los procesos de elaboración de productos así como generando riesgos en la salud a causa de las sustancias químicas que se utilizaban, para dichas fechas ya se consideraba que los trabajadores mexicanos y quienes estaban a cargo de dichas empresas no contaban con la capacitación para el

tratamiento adecuado de los contaminantes que generaban, ya que las aguas las vertían directamente al Río Bravo sin ningún tratamiento de limpieza por lo que afectaba a las especies de animales y peces de la región (El Herald de Chihuahua, 1989).

Para 1993, el total de descargas estaba señalado con 241 mil 920 litros diarios entre el desecho industrial y domestico con sustancias como grasas, aceites, alcoholes y metales tóxicos (Villagrana, 1993). Con el Tratado de Libre Comercio pactado entre México, Estados Unidos y Canadá en 1994, se esperaba también un incremento de la contaminación de la región y se mostro en el agua del rio Bravo, aun cuando al inicio del tratado se estableció que entre ambos países se iba a trabajar para contrarrestar los efectos de la contaminación causadas por el incremento de la industria maquiladora cuestión que no fue suficiente y para 1998 en el área fronteriza de 3,200 kilómetros se encontraban instaladas alrededor de 4,010 maquiladoras (El Diario,1998).

Después de haber transcurrido diez años del establecimiento de la industria maquiladora en Juárez y de que no se tomaran las medidas necesarias o mejor dicho suficientes para contrarrestar la contaminación ambiental, los ambientalistas, especialistas y habitantes de la localidad se manifestaron públicamente para hacer notar contaminación localizada en el Valle de Juárez y por la situación de desatención ante la contaminación y sequía que persistía en el Río Bravo, así como el poco interés gubernamental de ambos países ya que no se tomaban acciones (Delgado, 2001; Galán, 2001 & Figueroa, 1995). Para el 2005, el Río Bravo se encontraba en la lista de los ríos más amenazados del mundo (Muñiz, et. al., 2005).

Conclusiones

El deterioro del Río Bravo inició desde el establecimiento de la Presa del Elefante (1906) y de El Caballo (1936), estas fueron el factor principal de la disminucion excesiva de su volumen ya que aceleraron el declive de la agricultura de El Valle de Juárez, en la actualidad la Asociación de Agricultores consta solo de 13 productores.

Es de suma importancia que se analicen los tratados que involucran a el Río Bravo ya que los acuerdos que establecieron entonces ya no son vigentes, como el caso del Tratado de 1906 en el que la cantidad de agua que proporciona es insuficiente agregando que por el establecimiento de las dos presas y la sequía que se presenta en la región, cuando se libera el volumen de agua establecido en el Tratado no llega a su destino a causa de la sequedad del río.

Gran parte del deterioro actual del Río Bravo también esta relacionado con el crecimiento acelerado de la industria maquiladora en dos momentos; el primero fue con la creación del primer parque industrial y el segundo con las prestaciones que se ofrecieron a travez del Tratado de Libre Comercio (TLC), mismo que en vez de generar bonanza y competitividad para los comerciantes nacionales solo generó desventajas y perdidas económicas. Como parte del TLC se estableció el compromiso de contrarrestar la contaminación emitida, pero esta última parte no se cumplió. Los hechos mencionados son factores importantes en el deterioro del Río Bravo debido al tratamiento inadecuado de los residuos que genera la industria maquiladora.

Finalmente cabe señalar que en las desiciones que se mencionaron influyeron más en los intereses inmediatos del sector político y económico pero se aprecia una visión a largo plazo de estas desiciones ya que solo se puede apreciar el deterioro del recurso natural, así como la importancia que es establecer una comunicación con los ambientalistas y la sociedad en general para las desiciones que conciernen al patrimonio de la localidad.

Agradecimientos

Al proyecto “Geografía del Agua en el Ordenamiento Territorial del Estado de Chihuahua” proyecto aprobado por la Convocatoria de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2017 PRODEP-SES-SEP,

realizado del 16 de junio de 2017 al 15 de junio del 2018, dicha investigación fue realizada por miembros del Cuerpo Académico Ciencias de la Tierra y Sustentabilidad perteneciente a El Colegio de Chihuahua en Ciudad Juárez. Y a la Red Temática de Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad (Red SUMAS) No. de Proyecto CONACYT 281101, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por su apoyo con la gestión y disponibilidad para el uso de la base de datos INPRO la cual fue esencial para dicha investigación.

Referencias

- Aboites, L. (1994). Breve Historia de Chihuahua. México: FCE, pp. 168-169.
- Caballo Dam, Truth or Consequences New Mexico. Consultado en: <https://livingnewdeal.org/projects/caballo-dam-truth-consequences-nm/>
- Castañeda, E. (2016, octubre 20). Un río en el olvido. El Diario de Juárez, p.8A.
- Ceniceros, E. & Escobar, A. (1999). Geografía General. México: Mc Graw Hill, pp. 186-188.
- Convención entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América para la equitativa distribución de las aguas del Río Grande de 1906, Comisión Internacional de Límites y Aguas (2018). Consultado en: <http://www.cila.gob.mx/tyc/1906.pdf>
- Convención entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América para la solución del problema del Chamizal. (17 de julio, 1963). Acta 214-B, pp. 7.
- Coronado, M. (2016, junio 6). Tiene Juárez las mayores maquilas. El Diario de Juárez http://diario.mx/Economia/2016-06-05_4d492080/tiene-juarez-las-mayores-maquilas/
- Delgado, C. (2001, mayo 19). Demandan revivir río Bravo, protestarán activistas de coalición binacional por apatía de gobierno ante la contaminación. Norte de Ciudad Juárez.
- Derbez, E. (2012). El mapa Disturnell de 1847. Actas: Revista de Historia de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 9, pp. 38-45.
- El Paso Chamber of Commerce (1910). El Paso: the story of a city.
- Figuroa, C. (1995, diciembre 20). Podría secarse el Río Bravo por la inflación, en 1997. La Jornada.
- Galán, J. (2001, mayo 20). En 10 años tiraron más de 8 toneladas de residuos tóxicos en la franja fronteriza maquiladoras, un riesgo para el medio ambiente, al menos 90% de las fabricas no cuentan con depósitos para desechos contaminantes. La Jornada.
- González, M. (2002). Breve historia de Ciudad Juárez y su región. México: Ediciones y gráficos Eón.
- Linares, G. (2000, mayo 14). Languidece el Bravo, Rio seco, luego de ocho años consecutivos de sequía, el rio bravo se encuentra virtualmente seco en su trayecto de 500 kilómetros de extensión entre ciudad Juarez a Ojinaga, donde el Conchos vuelve a alimentar su torrente, advierten expertos. El Diario.
- Long, T. (2016, octubre 11). 1916: Elephant Butte Dam dedicated 100 years ago. El Paso Times.
- Martínez, T. (2005). El agua y cultura en la frontera norte: México-USA. La cuenca del río Grande-Río Bravo. Cuicuilco, 12 (53), México, pp. 11-35.
- Muñiz, J.; Salas, J. & Turner, Ch. (2005). Restauración del Río Bravo/Río Grande en el Valle de Juárez: Un análisis. Cultura Científica y Tecnológica (CULCyT), México, 2(8), pp. 16-21.
- Organización de los Estados Americanos (OEA). (s/a). Marco regional para el Uso Sostenible del Río Bravo 01/10/2018, de Organización de los Estados Americanos sitio web: http://www.oas.org/dsd/waterresources/projects/riobravo_esp.asp
- s/a. (1978, enero 13). El Fronterizo.
- s/a. (1979, marzo 29). El Fronterizo.
- s/a. (1980, abril 3). El Fronterizo.
- s/a. (1979, marzo 20). Uno más uno.
- s/a. (1981, febrero 22). Uno más uno.
- s/a. (1989, junio 19). El Rio Bravo, de los más contaminados de Centro América y Norteamérica. El Heraldo de Chihuahua.
- s/a. (1998, octubre 11). Acrecienta TLC daños al medio ambiente a 5 años de que funcionarios de México y EU, prometieron reducir a la contaminación a lo largo de la línea fronteriza, los desechos tóxicos lastimaron. El Diario de Juárez.

- Samaniego, M. (2012). Cuencas internacionales y usos sociales del agua. Formación de espacios de cooperación y conflicto: norte de México y oeste de Estados Unidos. *Secuencia*, 83, pp.145-166.
- Simental, G. (2004, septiembre 2). Urge competitividad para maquiladoras, inicia Tomás Mena campaña por la presidencia de AMAC. *El Diario de Juárez*.
- Tamayo, J. (1976). *Geografía moderna de México*. México: Trillas, pp. 118-119.
- Tratado de paz, amistad, límites y arreglo definitivo entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América de 1848, Comisión Internacional de Límites y Aguas (2018). Consultado en: <http://www.cila.gob.mx/tyc/1848.pdf>
- Villagrana, L. (1993, septiembre 27). Congestionan drenaje, grasa y basura química, se descargan 240 mil litros diariamente. Norte de Ciudad Juárez.

Revisión del panorama hídrico de los municipios de Cuauhtémoc y Delicias, Chihuahua, relacionado al Cambio Climático.

Esmeralda Cervantes Rendón³

Resumen

Los municipios de Cuauhtémoc y Delicias del estado de Chihuahua, cuentan con actividades agrícolas con un alto consumo de agua superficial y subterránea, y que como consecuencia del Cambio Climático, se podría incrementar su vulnerabilidad hídrica, por lo cual este capítulo tiene como objetivo determinar los problemas que requieren una mayor atención relacionados a la disponibilidad y demanda de agua, su calidad y los riesgos de desastres naturales relacionados al recurso hídrico del estado de Chihuahua, en los municipios de Cuauhtémoc y Delicias. En base al análisis de publicaciones oficiales y académicas. En ambos municipios se encontró que los riesgos de disponibilidad se relacionan con la sobreexplotación de los acuíferos y la disminución de los niveles de agua superficial por las sequías, mientras que en cuestión de calidad de agua, en ambos municipios se tienen problemas de contaminantes con arsénico, cromo, nitratos y coliformes fecales, en el caso de Cuauhtémoc, principalmente en la laguna Bustillos y en Delicias, en su acuífero y en algunas secciones del Río San Pedro, por su parte, en riesgos naturales, se han presentado principalmente eventos relacionados a temperaturas extremas bajas, como heladas, nevadas y olas de frío, así como sequías, con mayor afectación en la agricultura de temporal.

Palabras clave: Vulnerabilidad hídrica, Cambio climático, evaluación hídrica

³Profesora Investigadora de El Colegio de Chihuahua
(656) 639-0397 ext. 307 ecervantes@colech.edu.mx

Introducción

En el Estado de Chihuahua, México, como en otras regiones del mundo se enfrentan desafíos relacionados con el agua, que tienen consecuencias en la relación ambiente, sociedad y economía, y uno de ellos, es el consumo de agua por las actividades agrícolas. Por ello en el Programa Mundial de las Naciones Unidas de la Evaluación de los Recursos Hídricos (2018), enfatiza la importancia de primero evaluar: 1) la demanda y disponibilidad, 2) la calidad del agua y 3) los riesgos de desastres naturales hídricos, para con ello plantear propuestas de solución que logren llevar a un desarrollo sustentable de acuerdo con los diferentes escenarios futuros que se plantean debido al Cambio Climático (WWAP, 2018).

Por su parte, México se ha comprometido a enfrentar los retos del Cambio Climático por medio de diversas legislaciones como La Ley de Cambio Climático, el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 y en cuanto a sus estados, Chihuahua ha sido uno de los pioneros en elaborar su Programa Estatal de Cambio Climático en apoyo con los compromisos adquiridos a nivel internacional dentro del Tratado de París, sin embargo, la implementación y diagnóstico de las diversas situaciones de los estados ha avanzado en un nivel más lento, de acuerdo a los Resultados y recomendaciones de la evaluación del Programa de Cambio Climático 2014-2018 (DOF 11/12/2017), en donde especifican que no se ha logrado integrar las acciones del programa con la información difundida, las acciones de los gobiernos y los compromisos internacionales.

En relación con los efectos en el agua, de acuerdo con los escenarios planteados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), pronostica que el incremento de la temperatura para algunas zonas del norte y noroeste de México podrá ser de hasta 5°C (Montero y Pérez, 2008 citado en Martínez y Patiño, 2012). Que, en este caso, ocasionará una presión en los sistemas hídricos, provocando una reducción en la disponibilidad de agua, una disminución de la precipitación anual, pero con eventos de lluvias más intensas (Martínez y Patiño, 2012). Por ejemplo, en la cuenca del río Conchos se calculó una disminución del escurrimiento de 28% para el 2100, en un escenario tipo A1B, afectando directamente los distritos de riego y los compromisos establecidos en el Tratado de Distribución de Aguas de 1944 (Rivas y Montero, 2013).

El estado de Chihuahua es el de mayor extensión territorial, ocupando el 12.6% del territorio nacional, en cuanto a las actividades económicas, el PIB agroindustrial y agropecuario fueron del orden del 10.8% del estatal en 2016 y la producción agroindustrial fue el 33% de la producción manufacturera para septiembre de 2017, mientras que 1.38 hectáreas son destinadas para uso agrícola, además representa el primer lugar nacional en la producción de pistache, cereza, manzana, trigo forrajero, algodón hueso, nuez, avena grano, maíz amarillo, avena forrajera, chile verde, orégano, cacahuete y cebolla (Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico, 2017).

Dentro de los municipios con una mayor actividad agrícola, el de Cuauhtémoc y Delicias cuentan con una población mayor a los 50,000 habitantes, su mayor proporción de consumo de agua está relacionado a la actividad agropecuaria y se han realizado investigaciones sobre la calidad del agua de sus fuentes superficiales y subterráneas, además de estar clasificados con una vulnerabilidad hídrica global muy alta para el municipio de Delicias y Media para Cuauhtémoc (Figura 1). En cuanto a valor de producción para el año agrícola 2016, estos dos municipios representaron el 12.24% del estado de Chihuahua (SIAP, 2018).



Figura 1. Mapa de vulnerabilidad hídrica global del estado de Chihuahua.
 Fuente: adaptación para el estado de Chihuahua del Mapa de Vulnerabilidad Hídrica Global del Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Rivas Acosta, I. (2015). Cap.4 Efectos del Cambio Climático en el recurso hídrico de México (agua superficial), pp. 97.

Sin embargo, aun cuando estos dos municipios son de los mas importantes en cuanto a su producción agrícola y su porcentaje de consumo de agua está relacionado directamente a esta actividad, no se tiene un panorama sobre los tres factores involucrados para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación ante los diferentes escenarios de Cambio Climático, ya que los estudios que se han realizado consideran problemas puntuales y en ninguno de ellos relacionan la disponibilidad, la calidad y los riesgos hidrometeorológicos del recurso hídrico respecto a la actividad agrícola en los municipios de Delicias y Cuauhtémoc.

Por lo antes mencionado, este capítulo tiene como objetivo determinar los problemas que requieren una mayor atención respecto a: 1) la disponibilidad y demanda de agua, 2) su calidad y 3) los riesgos de desastres naturales relacionados al recurso hídrico de los municipios de Cuauhtémoc y Delicias, Chihuahua, con el fin de generar un panorama que pueda ser utilizado como base en el diseño de estrategias de mitigación y adaptación en las actividades agrícolas de estos dos municipios.

Demanda y disponibilidad

Para identificar la demanda y disponibilidad en estos dos municipios, se realizó un análisis de los resultados del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), en donde se identificaron los títulos otorgados y su volumen concesionado, además se tomaron los datos proporcionados por el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la CONAGUA.

CUAUHTÉMOC

El municipio de Cuauhtémoc se encuentra sobre la región hidrológica RH34 Cuencas Cerradas del Norte (Casas Grandes), en la cuenca Laguna Bustillos y de los Mexicanos, al noroeste de la ciudad de Cuauhtémoc se encuentra la Laguna Bustillos, así como lagunas intermitentes como los Mexicanos,

Honda y los Pastores (INEGI,2003). El 96.4 % de las concesiones de agua superficial de la región, son para uso agrícola (Tabla 1). El municipio también se abastece de agua del acuífero Cuauhtémoc, clave 0850 que se encuentra en la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo, para el 2013 tenía niveles de profundidad que van de los 60 a 200 metros, para este mismo año presentó una evolución negativa del nivel estático de entre 2.0 y 3.3 metros por año, teniendo el mayor abatimiento en las zonas con pozos agrícolas (DOF 06/07/2015).

Tabla 1. Demanda y disponibilidad en los acuíferos y municipios de Cuauhtémoc y Delicias, Chihuahua.

Municipio	Nombre	Volumen concesionado REPDA	Disponibilidad	Extracción	Recarga media	
		(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	
Cuauhtémoc	Acuífero	Cuauhtémoc*	310.9	0	497.9	299.4
	Demanda municipio	Uso	Cantidad de títulos	Volumen superficial (hm ³ /años)	Volumen subterráneo (hm ³ /año)	Total Volumen
		AGRICOLA	2272	26.62	250.21	276.83
		PECUARIO	27	0.66	0.02	0.68
		INDUSTRIAL	24	0.00	26.62	26.62
		OTROS**	1644	0.33	39.32	39.65
TOTAL	3967	27.60	316.17	343.78		
Municipio	Nombre	Volumen concesionado REPDA	Disponibilidad	Extracción	Recarga media	
Delicias	Acuífero	Meoqui-Delicias*	381.8	0	329.2	211.2
	Demanda municipio	Uso	Cantidad de títulos	Volumen superficial (hm ³ /años)	Volumen subterráneo (hm ³ /año)	Total
		AGRICOLA	331	230.86	103.57	334.42
		PECUARIO	10	0.00	0.03	0.03
		INDUSTRIAL	12	0.00	13.84	13.84
		OTROS**	364	0.00	25.17	25.17
TOTAL	717	230.86	142.60	373.46		

Fuente: elaboración propia con información del Registro Público de Derechos de Agua (<http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>)

*La información de los acuíferos fue obtenida del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). CONAGUA (2018). Subdirección General Técnica. Consultado en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&n=estatal>

**Otros incluye: Diferentes usos, doméstico, otros, público urbano y servicios

El acuífero de Cuauhtémoc está clasificado por la CONAGUA como sobreexplotado, ya que presenta un volumen de extracción de 497.9 hm³ y una recarga del orden de 299.4 hm³ (CONAGUA, 2018). De acuerdo con la Tabla 1, se observa que de la extracción del acuífero el 63.5% es para el municipio de Cuauhtémoc, del cual el mayor volumen es para uso agrícola (79.14% de los 316.17 hm³ del volumen subterráneo), a pesar de que el acuífero ya no presenta disponibilidad, las actividades agrícolas son las que más repercuten en su consumo y que han llevado a la sobreexplotación de este.

DELICIAS

Por su parte, el municipio de Delicias se encuentra en la Región Hidrológica RH24 Bravo-Conchos, siendo la región hidrológica más importante del estado, en ella, también se encuentra la principal corriente superficial, que es el Río Conchos (Jiménez-González, 2008). El municipio se encuentra sobre la cuenca Río San Pedro en el Distrito de Riego 005 Delicias, que también utiliza agua de la Presa Francisco I. Madero (las Vírgenes), ubicada en el municipio de Rosales, con una capacidad de 348.99 Mm³, se abastece del Río San Pedro, y la presa La Boquilla ubicada en el municipio de San Francisco de Conchos de 2903.36 Mm³, con un uso para el riego y generación de energía eléctrica (INEGI, 2003). Por otro lado, esta cuenca es parte de los Acuerdos Internacionales entre México-Estados Unidos, para la distribución de agua, en específico el Tratado de Distribución de Aguas 1944⁴, que establece que México debe de proporcionar anualmente aproximadamente 432 Mm³, provenientes del Río Conchos.

En cuanto a fuentes de agua subterránea, el municipio utiliza la proveniente del acuífero Meoqui-Delicias clave 0831, corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo (DOF, 19/08/2015). Este acuífero Meoqui-Delicias, también se encuentra en estado de sobreexplotación con una extracción de 329.2 hm³ y una recarga de 211.2 hm³, lo que genera un déficit de 118 hm³ (CONAGUA, 2018). En lo que respecta al municipio de Delicias, representa el 43.3% de la extracción del acuífero, mientras que, del total del municipio, las destinadas para uso agrícola son el 72.6%, en este caso, también se puede relacionar directamente la sobreexplotación del acuífero a esta actividad (Tabla1). En este municipio se tiene un mayor porcentaje de concesiones de agua superficial (230.86 hm³/año) que subterránea (142.60 hm³/año) y el 100% del uso de agua superficial es agrícola, lo que evidencia la importancia de los efectos que pudieran tener evento como las sequías en la disponibilidad del agua.

Calidad del agua

Para este apartado, se realizó una revisión bibliográfica de las publicaciones relacionadas al agua en los municipios de Delicias y Cuauhtémoc. Se tomaron como base los documentos hospedados en la Biblioteca Virtual Ambiental del Estado de Chihuahua (BVA)⁵ que tocan el tema de contaminación ambiental, desde la problemática, hasta propuestas de solución o tratamiento, además se realizaron búsquedas en Google Académico, con los términos “agua Chihuahua”, “Water Chihuahua”, y la misma búsqueda por municipios “agua Delicias, Chihuahua”, “agua Cuauhtémoc, Chihuahua”, en los principales repositorios que contienen publicaciones de América Latina: Publisher of Open Access Journal, Scielo México, mdpi y Redalyc. Se utilizaron documentos de Acceso Abierto, debido a que el análisis es en base a la información que cualquier investigador, estudiante o activista social, pudiera tener acceso para generar una conclusión de la situación ambiental que ha sido estudiada en relación con el agua. Los documentos seleccionados fueron del tipo de artículos académicos, informes técnicos, libros, capítulos

⁴Tratado entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el Gobierno de los Estados Unidos de América de las aguas internacionales de los Ríos Colorado, Tijuana y Bravo, desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México. Artículo 4, inciso B-c

⁵Colección digital de Acceso Abierto que recupera documentos sobre temas ambientales del estado de Chihuahua y de sus alrededores, desde diferentes repositorios y buscadores. Se encuentra disponible desde la siguiente dirección: <http://bva.colech.edu.mx/xmlui>

de libros, memorias de congresos, tesis de licenciatura y posgrado y presentaciones en congresos. Los años de publicación fueron del 2000 al 2016. Se recuperaron 44 documentos que cumplieron con los criterios establecidos, 18 del municipio de Cuauhtémoc y 26 del municipio de Delicias.

Los documentos encontrados abordan los temas de calidad, abastecimiento, tecnificación, sequía y uso sustentable del agua (Figura 2), aun cuando la cantidad de publicaciones del municipio de Delicias es más alta, al revisar los años de publicación, se encuentra que la mayor cantidad son del periodo de 2006 a 2009, mientras que, en el municipio de Cuauhtémoc, la mayor cantidad de publicaciones son a partir del 2013. En el caso de Cuauhtémoc, el mayor interés es por los temas de abastecimiento y uso sustentable del agua, mientras que en Delicias están relacionados a calidad y tecnificación en los sistemas de riego (Figura 2).

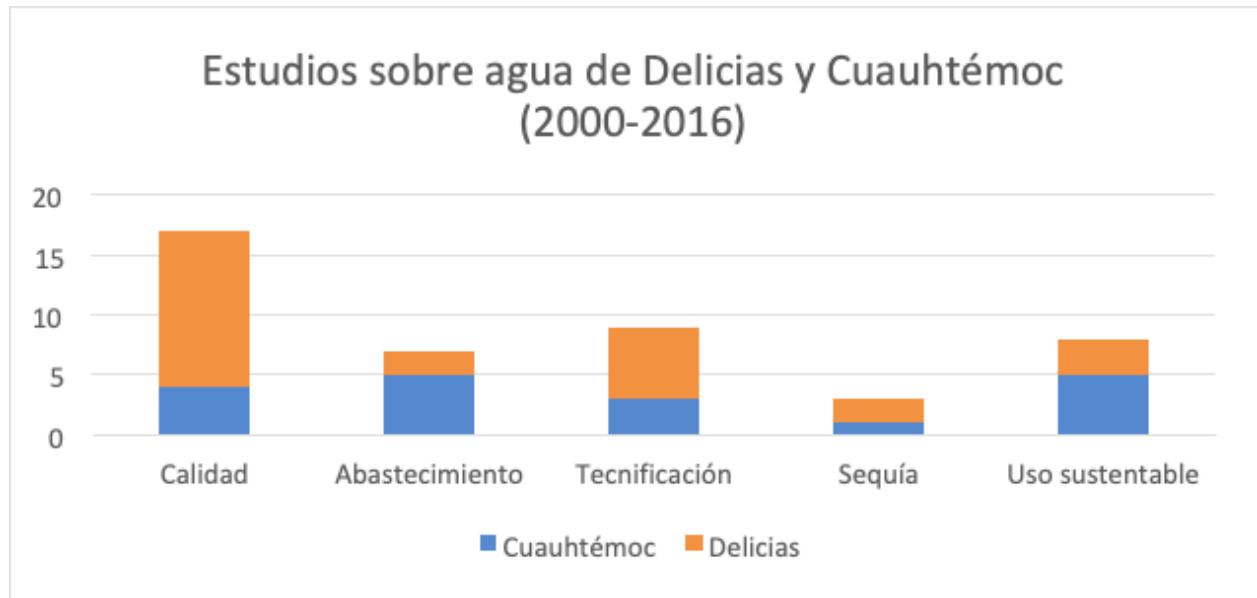


Figura 2. Clasificación temática de las publicaciones sobre agua de los municipios de Delicias y Cuauhtémoc. Fuente: elaboración propia.

Al identificar los contaminantes estudiados en las publicaciones se observa que los que presentan una mayor preocupación en ambos municipios son el arsénico, metales pesados, nitratos y coliformes fecales (Tabla 2), tanto los derivados por actividades humanas como por las condiciones naturales de la región.

CUAUHTÉMOC

Los problemas de contaminación se han identificado principalmente sobre las fuentes superficiales, con un mayor énfasis en la Laguna Bustillos. En el 2005, se realizó un análisis en donde se presentó la concentración más alta de Arsénico de 0.255 mg/L cerca de la ciudad de Anáhuac, en una zona de descargas de una planta de celulosa, así como metales pesados que pudieran afectar a la fauna del lugar y coliformes fecales con efectos en la población que utilice la laguna como actividad recreativa (Rubio et al, 2005).

Contaminante	Límite Máximo Permissible (mg/L) (NOM-127-SSA1-1994 (modificada en 2000))	Cauhtémoc			Delicias		
		Concentraciones	Lugar	Referencia	Concentraciones	Lugar	Referencia
Arsénico	0,05 (con disminución gradual de 0,045 en 2001; 0,040 en 2002; 0,035 en 2003; 0,030 en 2004 y 0,025 a partir de 2005)	As (15.7±1.7 mg k-1, Campos Menonitas)	Suelo de los márgenes de la Laguna Bustillos	(Quintana et al, 2014)	0.015 mg/L-0.071 mg/L (47% >0.025)	Acuífero Meoqui-Delicias (municipio de Delicias)	(Espino et al, 2009)
		0.255 mg/L (concentración máxima de 8 muestras)	Laguna Bustillos (Anáhuac)	(Rubio et al, 2005)	0.070-0.130 50% >0.05 mg/L	Río San Pedro (tramo Rosales-Delicias)	(Gutiérrez et al, 2008a)
Metales pesados	NOM-147-semarnat/SSA1-2004 (mg kg-1). As (22), Cd (37) y Cr (280). (en suelo) Cd (0.005 mg/L), Cu (2.0 mg/L), Cr (0.05 mg/L), Fe (0.3 mg/L) (en agua)	B (19.3±2.2 mg k-1, Anáhuac); Cd (1.2±0.23 mg k-1, Anáhuac); y Cr (46.15±2.5mg k-1, Cauhtémoc)	Suelo de los márgenes de la Laguna Bustillos	(Quintana et al, 2014)	Cd y Cu <LMP, Cr (0.07 mg/L-0.2 mg/L (variación mensual)	Río San Pedro (tramo Rosales-Delicias)	(Gutiérrez et al, 2008a)
		Cu (0.977 mg/L), Cr (0.631 mg/L), Fe (249.7 mg/L) (concentración máxima)	Laguna Bustillos	(Rubio et al, 2005)		Acuífero Meoqui-Delicias (municipio de Delicias)	(Espino et al, 2007)
Nitratos (como N)	10,00 mg/L	50-380 mg/L	Laguna Bustillos y de los Mexicanos	(Amado et al, 2016)	50% >10.00 mg/L (20 de 40 muestras)		
Coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml	23-460x10 ³ NMP/100 ml	Laguna Bustillos	(Rubio et al, 2005)			
		2400 NMP/100 ml	Laguna Bustillos	(Amado et al, 2016)	34-2400 NMP	Río San Pedro (tramo Rosales-Delicias)	(Gutiérrez et al, 2008b)

Fuente: elaboración propia.

En esta región se han identificado concentraciones de Arsénico en agua subterránea, tanto en los municipios aledaños de Julimes, Rosales y Meoqui, mismos que comprenden el Distrito de Riego 005 Delicias. En específico en el municipio de Delicias, se detectaron concentraciones mayores a 0.025 mg/L en el 47% de pozos muestreados en el 2006, con un valor máximo de 0.071 mg/L, atribuyéndose principalmente a las condiciones naturales de la región (Espino et al, 2009). Por otro lado, en el Río San Pedro, a la altura entre Rosales y Delicias, se detectaron concentraciones que van de los 0.07 a 0.130 mg/L de Arsénico, todas por encima del límite permitido para consumo humano, incluso en algunos puntos sobrepasando el nivel de 0.1 mg/L, que es el límite permitido por la normatividad mexicana para uso agrícola, por lo que no es recomendable para actividades recreativas y en algunos puntos, tampoco para uso agrícola (Gutiérrez et al, 2008a). En este mismo río, identificaron que los niveles de cadmio y cobre se encontraban por debajo del Límite Máximo Permitido en la normatividad mexicana (NOM-127-SSA-1994), para consumo humano, a diferencia del cromo, que en todas las muestras supero los 0.05 mg/L, establecidos en esta misma normatividad, llegando en algunos meses hasta los 0.2 mg/L, aunque los pobladores de las comunidades rurales cercanas a este río, no consumen su agua, si tienen contacto con la misma, ya que la utilizan para bañarse y el riego de sus cultivos (Gutiérrez et al, 2008a).

En esta misma altura de Rosales y Delicias en el Río San Pedro, detectaron coliformes fecales con valores de los 34 a 1400 NMP/100 mL, siendo las concentraciones más altas en temporadas de lluvias, Gutiérrez (2008b) lo relaciona al posible arrastre de material fecal de animales domésticos y silvestres, por lo que el río no es apto para actividades recreativas (Gutiérrez et al, 2008b).

Por otro lado, también se detectó la presencia de nitrógeno en el acuífero Meoqui-Delicias, en el 50% de muestras del municipio de Delicias, tuvieron concentraciones mayores a los 10 mg/L, de acuerdo con el estudio realizado por Espino (2007) y colaboradores, estas concentraciones se pueden relacionar a los lixiviados de las actividades agrícolas y ganaderas, así como en las zonas rurales a fugas de fosas sépticas y alcantarillado (Espino et al., 2007).

Riesgos por desastres naturales

Para los riesgos se reconocen los desastres naturales, que en este caso pudieran afectar la agricultura de la región. Para ello, se utilizó la base de datos DesInventar⁶ que fue desarrollada por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), dicha base de datos contiene un recuento de notas hemerográficas relacionadas a desastres naturales con escalas temporales y espaciales (Peña y Rosales, 2014). Los tipos de eventos buscados fueron aquellos que han sido históricamente recurrentes en la región, como son granizadas, heladas, inundación, lluvias, nevadas, olas de calor y sequía, por el periodo de 1970 a 2013 que es el máximo con el que cuenta la base de datos, además se identificó si tuvo un efecto en el sector agropecuario.

En cuanto a eventos climáticos se encontró que el municipio de Cuauhtémoc ha sufrido una mayor cantidad que el municipio de Delicias, siendo los principales las nevadas y las heladas, sin embargo, si revisamos lo que ha afectado a la agricultura, ha sido en mayor medida las sequías. En cuestión de muertos, las heladas, las nevadas y las ondas frías son las que más han afectado. Por su parte, en el caso de Delicias, las nevadas han ocasionado una mayor cantidad de muertos, seguidos de las heladas y las ondas frías, pero han afectado más a la agricultura las granizadas, inundaciones, nevadas y sequías. En ambos municipios, se identifica, que los eventos climáticos relacionados con las bajas temperaturas son los que mayor recurrencia presentan y mayor efecto han tenido tanto para la vida de las personas como para el sector agropecuario, seguido de la sequía que también ha incidido en esta actividad (Figura 3a), aunque se han registrado olas de calor, en ambos municipios en el caso de Cuauhtémoc han disminuido debido a la siembra de árboles de manzana, mientras que en Delicias si ha presentado un incremento relacionado al efecto de isla de calor que provocan las ciudades (SEDATU, 2014).

Al analizar los eventos por año, para el municipio de Cuauhtémoc y compararlos con el porcentaje de siniestralidad de los cultivos del mismo municipio, se observa que han tenido un mayor impacto en los de tipo temporal, viéndose afectados cuando se tienen eventos de sequía, pero también de nevadas y heladas (Figura 3b y c), aunque la siniestralidad en los cultivos de riego es menor en porcentaje, se identifica que han sido afectados por ondas frías.

En el caso de Delicias las sequías han afectado la disponibilidad ya que han ocasionado la disminución de los cauces de los ríos y los niveles en las presas, principalmente a la sequía extrema que se sufrió durante los años de 1993-2003 (Olvera-Salgado et al, 2014).

⁶De acuerdo con la información de sitio oficial "A partir de 1994 se empieza a construir un marco conceptual y metodológico común por parte de grupos de investigadores, académicos y actores institucionales, agrupados en la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), que concibieron un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base en datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina. Esta concepción, metodología y herramienta de software desarrolladas se denominan Sistema de Inventario de Desastres. DesInventar." Información obtenida de: <https://www.desinventar.org/es/>

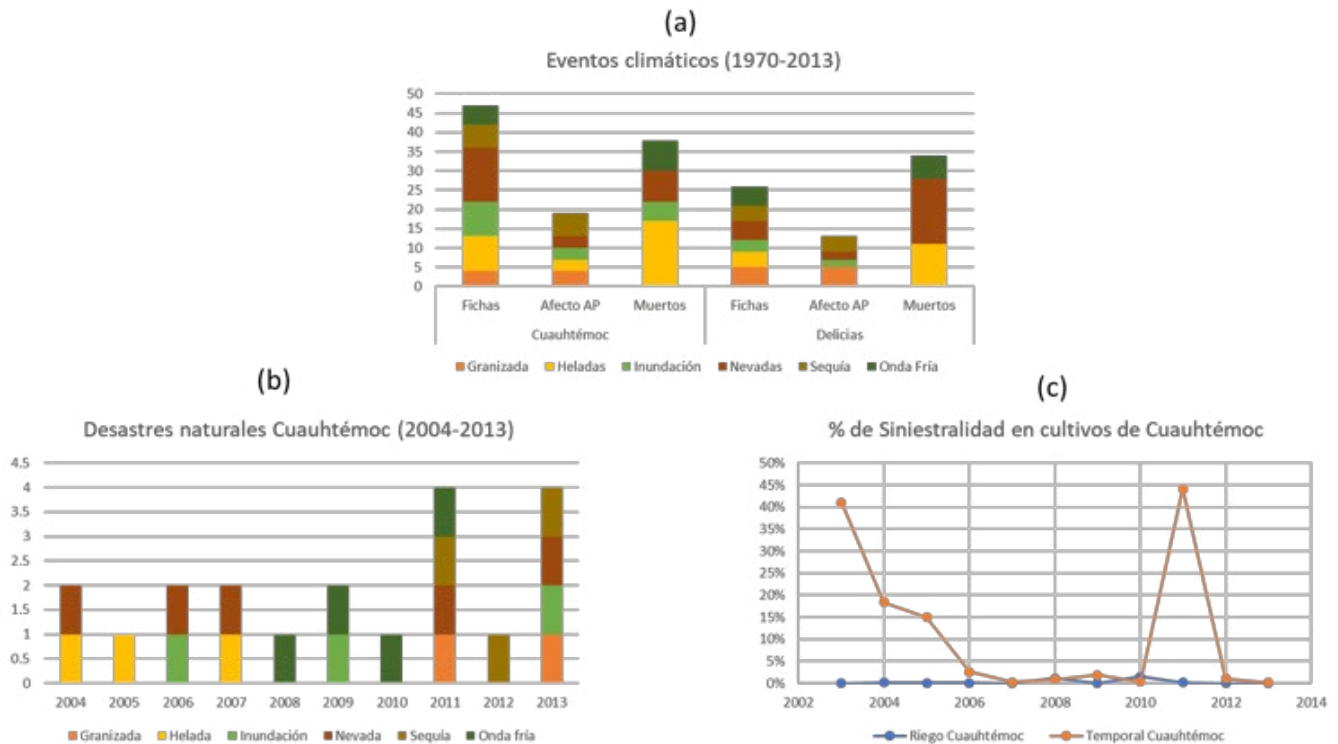


Figura 3. Resultados del análisis hemerográfico producto de la base de datos DesInventar sobre eventos climáticos extremos en los municipios de Cuauhtémoc y Delicias, Chihuahua.

Fuente: elaboración propia con información de Base de datos DesInventar: <https://www.desinventar.org/es/desinventar.html>. Fichas: Número de registros del evento climático, Afecto AP: si hay registro de efectos en el sector agropecuario, Muertos: Cantidad de muertos registrados por el evento climático. Para el % de Siniestralidad con información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Otro punto importante para ser considerado es que las condiciones de cambio de temperatura afectan también la generación de plagas que para poder ser controladas es necesario un mayor uso de insecticidas lo que incrementa los costos de producción y la contaminación del agua y suelo (Ramírez et al, 2011).

Relación de las problemáticas con su vulnerabilidad hídrica

Considerando la identificación de las problemáticas desde los tres aspectos principales, los municipios de Delicias y Cuauhtémoc, no solamente deben de diseñar estrategias de adaptación al Cambio Climático, sino también establecer estrategias de mitigación, relacionadas directamente al uso eficiente del agua en el riego, estrategias de recuperación de agua y una correcta gestión del recurso, mientras que para calidad es necesario el tratamiento de la misma para no seguir contaminando los cuerpos de agua, así como también propuestas de remediación de los sitios que ya se identifican contaminados (Tabla 3).

Tabla 3. Relación de las condiciones hídricas con la vulnerabilidad en los municipios de Cuauhtémoc y Delicias, Chihuahua.

	Cuauhtémoc		Delicias		Vulnerabilidad hídrica*
	Problema	Posible causa	Problema	Posible causa	
Disponibilidad y demanda	Acuífero sobreexplotado y con abatimiento. Agua superficial principalmente para uso agrícola.	Actividad agrícola y en menor grado industrial.	Cuenca del Río Conchos, importante. Distribución de aguas para EE.UU. por el Tratado de Distribución de Aguas de 1944. Acuífero sobreexplotado. El uso del agua superficial es agrícola.	Actividad agrícola y en menor grado industrial.	Se calculó un decremento del escurrimiento superficial de hasta el 28% para el 2100 para el Río Conchos y un nivel de vulnerabilidad muy alta. Al bajar el nivel de las corrientes superficiales, serán necesarios utilizar con mayor intensidad las subterráneas, pero en estos dos municipios sus acuíferos ya se encuentran sobreexplotados.
Calidad	Contaminación de la laguna Bustillos por arsénico, cromo, nitratos y coliformes fecales.	Arsénico: industrial y agrícola. Cromo: industrial, nitratos: industrial y menor grado agrícola, coliformes fecales: aguas residuales urbanas	Contaminación del acuífero por arsénico y nitratos. contaminación del río san pedro (tramo rosales-delicias) por arsénico, cromo y coliformes fecales.	Acuífero naturales. Nitratos: actividades agropecuarias y fugas de fosas sépticas y alcantarillado. Río San Pedro Coliformes fecales: arrastre de material fecal de animal doméstico y silvestre.	En el análisis de vulnerabilidad, el índice de riesgo por calidad del agua en el estado de Chihuahua es de los más altos para todos los escenarios presentados, relacionado al incremento de la temperatura.
Riesgos de desastres naturales	Con efecto en el sector agropecuario: nevadas, heladas e inundación y con un mayor efecto las sequías.	Condiciones climáticas.	Con efecto en el sector agropecuario: granizadas, inundación, nevadas y con un mayor efecto las sequías.	Condiciones climáticas	Mayor incremento de las sequías en intensidad y tiempo, menor precipitación, pero con eventos de lluvias intensas.

Fuente: elaboración propia.

*Información del Atlas de Vulnerabilidad hídrica de México ante el Cambio Climático Felipe I. Arreguín Cortés, Mario López Pérez, Olivia Rodríguez López y Martín José Montero Martínez, (coor.) Jiutepec, Mor: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, © 2015.

Mientras que, respecto a los riesgos de desastres naturales, en el caso de Delicias, es primordial la identificación de las sequías y el pensar en cultivos más resistentes a estos periodos, mientras que en Cuauhtémoc el diseño de medidas de acción ante eventos climáticos extremos, tanto para la población en general como para los cultivos.

Por otro lado, el Programa Estatal de Cambio Climático de Chihuahua se enfoca en políticas de mitigación para el estado que es la primera etapa y aunque se consideró el sector agropecuario, entre otros temas hablan del manejo de nutrientes y agua: mejoras tecnológicas para aumentar la eficiencia, no se han publicado las siguientes etapas en donde se deben de diseñar las estrategias de adaptación que es uno de los puntos que hace más vulnerable al estado de Chihuahua, su baja capacidad de adaptación ante los escenarios de Cambio Climático (Arreguín et al, 2015).

Conclusiones

El Cambio Climático ya es una realidad, lo que marca la importancia del diseño de estrategias para la adaptación y mitigación, pero estos diseños cada vez necesitan de un análisis que considere varios

factores y no solamente un problema en específico, como se identifica en lo presentado en este capítulo que aun cuando se presentan los temas por separado, los tres factores están relacionados y si se desea trabajar el recurso hídrico, para lograr mejores resultados es necesario considerar tanto el abastecimiento, calidad y los desastres naturales de una región.

Por otro lado, también se visualiza la importancia de la concientización y conocimiento de cada uno de los actores involucrado, desde el sector gobierno, la academia, la sociedad y la industria, ya que para el diseño de una estrategia que considere estos tres factores es necesario también la participación y apropiación de la estrategia de cada involucrado y el acceso a recurso financiero.

Agradecimientos

Al proyecto “Geografía del Agua en el Ordenamiento Territorial del Estado de Chihuahua” proyecto aprobado por la Convocatoria de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2017 PRODEP-SES-SEP, realizado del 16 de junio de 2017 al 15 de junio del 2018, por el CA Colech 01 Ciencias de la Tierra y Sustentabilidad de El Colegio de Chihuahua.

Referencias

- Amado, J.P., Pérez, P. Ramírez, O. y Alarcón, J. J. (2016). Análisis de la calidad de agua en las lagunas de Bustillos y de los Mexicanos (Chihuahua, México). *Papeles de Geografía*, 62, pp. 107-118. DOI: 10.6018/geografia/2016/255811
- Arreguín, F.I., López, M., Rodríguez, O. y Montero, M.J.(2015). Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pp. 148. Recuperado de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/atlas-2016/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- Camacho, L.M., Gutiérrez, M., Alarcón, M.T., Villalba, M. L. y Deng, S. (2011). Occurrence and treatment of arsenic in groundwater and soil in northern Mexico and southwestern USA. *Chemosphere*, 83 (3), pp. 211-225. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.12.067
- CONAGUA (2018). Volumen de acuíferos Chihuahua. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Consultado el día 4 de octubre de 2018: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&n=estatal> (DOF (11/12/2017). RESULTADOS y recomendaciones de la evaluación del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018.
- DOF (06/07/2015). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Cuauhtémoc, clave 0805, en el Estado de Chihuahua, Región Hidrológico Administrativa Río Bravo.
- DOF (06/07/2015). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Cuauhtémoc, clave 0805, en el Estado de Chihuahua, Región Hidrológico Administrativa Río Bravo.
- Espino, M.S., Rubio, H.O. y Navarro, C.J. (2007). Nitrate pollution in the Delicias-Meoqui aquifer of Chihuahua, Mexico. *WIT Transactions on Biomedicine and Health*, 11, pp. 189-196. DOI: 10.2495/EHR070201
- Espino, M.S., Barrera, Y., Herrera, E. (2009). Presencia de arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua*. 3 (1). pp. 8-18
- Gutiérrez, R., Rubio, H., Quintana, R., Ortega, J.A. Y Gutiérrez, M. (2008a). Heavy metals in water of San Pedro River in Chihuahua, Mexico and its potential health risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5 (2), pp. 91-98.
- Gutiérrez, L.R., Quintana, R., Rubio, H., Ortega, J. y Pinedo, C. (2008b). Índice de calidad del agua en la cuenca baja del Río San Pedro, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2), pp. 108-115
- INEGI (2003). Síntesis de información geográfica del estado de Chihuahua. México.
- Jiménez-González, G. (2008). El Valle de Delicias en la Cuenca del Río Conchos. *Boletín del archivo histórico del agua*. 13 (38), pp. 27-35
- Martínez, P.F. y Patiño, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3 (1), pp. 5-20

- Montero, M.J. y Pérez, J.L. (2008). Regionalización de proyecciones de precipitación y temperatura en superficie aplicando el método REA para México. En Martínez P.F. y Aguilar, A. (ed.), Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Vol. II. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp. 118
- Olvera-Salgado, M.D., Bahena-Delgado, G., Alpuche-Garcés, O. y García-Matías, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo*, 18 (35), pp. 23-36. DOI: 10.11144/Javeriana.AyD18-35.trea
- Peña del Valle, A.E. y Rosales, G. (2014). Una aproximación a la Capacidad de Adaptación en la Ciudad de México ante Amenazas Climáticas y Pequeños Desastres. En Ospina, J.E.; Gay, C. y Conde, A.C. *Historia del Clima de la Ciudad de México: Efectos Observados y Perspectivas*. México: Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México en colaboración con la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, pp. 117-142.
- Quintana, R., Soto, G., Rubio, H., Espinoza, J., Holguín, C. y Camarillo, J. (2014). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y contenidos de metales en sedimentos de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, 12, pp. 37-45. Recuperado de <http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/Documents/ciencias%20de%20la%20frontera/Ciencia%20en%20la%20Frontera%20Vol%20XII,%20No.%201%20ok.pdf>
- Ramírez, M.R., Ruiz, J.A., Medina, G., Jacobo, J.L., Parra, R.A., Ávila, M.R. y Amado, J.O. (2011). Perspectivas del Sistema de producción de manzano en Chihuahua, ante el Cambio Climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2 (1), pp. 265-279.
- Rivas, I. y Montero (2013). Downscaling technique to estimate hydrologic vulnerability to climate change: an application to the Conchos River Basin, Mexico. *Journal of Water and Climate Change*, 4 (4), pp. 440-453. DOI: 10.2166/wcc.2013.037
- Rubio, H., Saucedo, R.A., Lara, C.R., Wood, K. y Jiménez, J. (2005). Water quality in the Laguna Bustillos of Chihuahua, Mexico. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 80, pp. 155-160. DOI: 10.2495/WRM050161
- Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico (2017). *Prontuario Estadístico*. Centro de Información Económica y Social. Chihuahua, México, pp. 52.
- SEDATU (2014a). *Atlas de riesgos naturales del municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Diciembre de 2014, pp. 169.
- SEDATU (2014b). *Atlas de riesgos naturales del municipio de Delicias, Chihuahua*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Diciembre de 2014, pp. 165.
- SIAP (2018) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Búsqueda realizada en el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la Producción Agrícola del estado de Chihuahua por Distritos 2016. Consultado el 29 de mayo de 2018. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) /ONU-Agua (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua*, París, UNESCO.

Análisis del Manejo del Agua desde una Perspectiva Económica para los Seis Municipios más Poblados del Estado de Chihuahua.

Sarahí Sánchez León⁷

Resumen

Chihuahua es el Estado más extenso del país, en el cual gran parte de la población se encuentra concentrada en seis municipios: Juárez, Chihuahua, Cuauhtémoc, Parral, Delicias y Nuevo Casas Grandes, aunado a esto, es una región árida y semiárida donde las lluvias son irregulares y/o escasas, por lo que es necesario hacer eficiente el acceso y el manejo del agua, así como su uso.

En estos municipios, el agua tiene uso industrial, doméstico, ganadero y agrícola; y con una oferta del recurso escasa, se debe planificar su uso con una visión a largo plazo, debido a su importancia para el desarrollo de la región y para aminorar los impactos sociales como la pobreza.

Es la preocupación por el uso y abastecimiento del recurso que diferentes disciplinas lo ha estudiado, entre ellas se encuentra la economía, con la encomienda de analizar al recurso como un bien escaso y por lo tanto con el objetivo de buscar propuestas para su conservación, su distribución adecuada para evitar conflictos sociales, pobreza y fomentar el conocimiento económico.

Para el caso de Chihuahua y sus seis municipios más poblados, es indispensable conocer la forma en la cual es utilizado el recurso, que acciones se han tomado para evitar su mal uso y lograr que en el largo plazo el recurso sea sostenible y sustentable.

Palabras claves: agua, sectores productivos, Chihuahua.

⁷Doctora en ciencias Económicas. Profesora- Investigadora de El Colegio de Chihuahua

Introducción

Para el paradigma neoclásico el agua fue considerada como un recurso natural renovable e ilimitado el cual no tuvo la atención que se presenta en los análisis clásicos⁸. Pero, durante la década de los 70 se retomó la importancia de los recursos naturales en el discurso teórico debido a la crisis energética; de lo cual se desarrollan dos líneas dedicadas al estudio de los problemas ambientales: la economía ambiental y la ecológica, las cuales retoman al agua como un recurso limitado, escaso y con un costo de oportunidad. El agua es un recurso que permite el desarrollo de la sociedad en el largo plazo, contribuye a la distribución equitativa, a la justicia social y contrarresta la pobreza. Hinrichsen et al. (1998) relaciona la gestión del agua con el desarrollo económico, argumentando que el desarrollo sostenible⁹ es incongruente con una mala gestión de los recursos escasos.

Así como es importante conocer la forma en que se distribuye el recurso, también se debe analizar el acceso al agua en cantidad y en calidad, los cuales deben ser idóneos¹⁰ para que funcionen como factores de impulso para el desarrollo socioeconómico de cualquier población. Pero la falta del recurso afecta al progreso social; por lo que es necesaria una buena gestión de los recursos hídricos para fomentar el desarrollo, lo contrario podría detonar conflictos sociales.

Conforme la población aumenta, también aumentan las necesidades a cubrir y entre ellas se encuentra el abastecimiento de agua. Dentro del estado de Chihuahua existen municipios donde el crecimiento de la población y de los asentamientos no han sido totalmente previstos, por lo que no cuentan con todos los servicios; eso incluye al recurso hídrico.

Otros factores a considerar, para evitar conflictos sociales y económicos, entre ellos el desarrollo de la pobreza y el descontento social, son la correcta administración, inversión y planeación en el manejo de los acuíferos, así como la mejora en las redes de distribución, abastecimiento y uso.

Lo anterior implica cambios en la forma de hacer política, es dejar atrás el pensamiento cortoplacista y planear para el mediano y largo plazo, medidas que son necesarias, aunque costosas en un inicio, y es por ello que en diferentes regiones del país el gobierno se ve en la disyuntiva entre la intervención total del Estado u optar por la privatización del recurso, medida que no ha mostrado ser eficiente para abastecer a la población del recurso al 100%.

Una medida que se ha tomado para arreglar el problema de la escasez del recurso en el corto plazo ha sido la importación del recurso de otros acuíferos; pero en el mediano y largo plazo provoca escasez tanto en el lugar de recepción como el de origen, debido a que es una medida no sustentable¹¹; por ejemplo, para suministrar del recurso a la ciudad de Chihuahua, en el 2014 se importó el recurso del Río Conchos y de la Cuenca Cerrada, del primero se extrajo 102.1 hm³/año y la recarga fue de tan sólo 56.6 hm³/año y del segundo se extrajo 90.3 hm³/año, mientras tenía una recarga de 62.4 hm³/año, lo que muestra déficit en los dos acuíferos (Conagua, 2015).

⁸Un ejemplo es la paradoja del agua y los diamantes o paradoja del valor, la cual expresa que, aunque el agua es mas útil que los diamantes, estos tienen un precio más alto en el mercado. (Smith A., 1776)

⁹El desarrollo sostenible según el Informe de Brundtlan, ONU 1987, consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades. Este concepto implica un proceso en el tiempo y espacio, el cual va de la mano de la eficiencia, por lo que es eficaz y se relaciona con el desarrollo económico debido a que se formula bajo un contexto económico.

¹⁰Conagua (2008) indica que la calidad del agua depende de la existencia de tres parámetros fisicoquímicos y biológicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) es excelente si $DBO5 \leq 3$, es de buena calidad si $3 < DBO5 \leq 6$ y es aceptable si $6 < DBO5 \leq 30$; Demanda Química de Oxígeno (DQO) es excelente si $DQO \leq 10$, es de buena calidad si $10 < DQO \leq 20$ y es aceptable si $20 < DQO \leq 40$; por último, Sólidos Suspendidos Totales (SST) es excelente si $SST \leq 25$, de buena calidad si $25 < SST \leq 75$ y aceptable si $75 < SST \leq 150$. La OMS establece una norma de 20 litros/persona/día como cantidad básica para satisfacer requisitos personales básicos e higiene.

¹¹Medida sustentable: se refiere a una práctica o acción que permite que un recurso se puede mantener en el tiempo por sí mismo, sin ayuda exterior y sin que se comprometan los recursos existentes.

En el año 2015, el investigador Wang expone dos propuestas para mejorar el uso del agua, las cuales al ser analizadas muestran ser opuestas y su éxito o fracaso depende de la sociedad; la primera implica aumentar el costo del agua para que la población cuide el uso del mismo y la segunda se refiere al subsidio, en lugar de cobrar más se cobraría menos si se usa eficientemente.

La primera medida puede afectar a la población, ya que ahora pagaría más por el servicio y, aun así, eso no garantiza que la población cuide su uso; y con la segunda medida se podría dar un ahorro al verse beneficiados y por lo tanto se conservaría el recurso.

La experiencia indica que socialmente funcionan más los incentivos económicos que los castigos, ya que los primeros al proporcionar un beneficio impulsan a la población a usar de una forma más eficiente el recurso.

Una propuesta, que parece viable en el Estado de Chihuahua, es el uso de tecnología para la desalinización, debido a que en diferentes zonas del Estado se encuentran grandes reservas de agua salobre en el subsuelo, pero, esta medida al igual que la importación de agua, proporciona una salida a corto plazo, y en el largo plazo daría pie al uso del agua que se encuentra en capas más profundas y se seguirá con la explotación del recurso, lo que muestra ser una solución no eficiente.

La opción viable es la inversión en tecnología que promueva la recarga, se reduzca la extracción, mejore la distribución y logre un reuso eficiente del recurso, opción complicada debido a que los beneficios de estas medidas se observarán en el largo plazo.

Una acción necesaria es la recarga los acuíferos existentes y que disminuya la extracción que existe en el Estado y asegurar la futura oferta del agua en la región; se debe impulsar el uso de tecnología que ayude a recargar los mantos por medio del agua de lluvia, se debe invertir en formular planes sustentables del manejo, operación y uso de este recurso, todo ello debido a que la dotación de éste implica bienestar social y económico.

I. Agua y Economía

En la literatura existen diferentes formas de concebir al recurso hídrico, una de ellas es mostrar al agua como un bien libre, no económico y gratuito (Olmeda, 2006); pero ha sido el crecimiento acelerado de la población y sus necesidades, el desarrollo económico y el incremento del uso del agua en diferentes procesos productivos lo que ha provocado escasez del recurso en algunas regiones y que ya no sea contemplado como un bien libre.

La escasez de recursos y en este caso del agua, es lo que lleva a científicos de diferentes áreas a analizar lo que está ocurriendo con el medio ambiente, un ejemplo claro es la economía ambiental y la economía ecológica, la primera se basa en ideas neoclásicas, donde los recursos naturales se consideran renovables o cuasi renovables y se les llama capital natural, y la segunda es un modelo interdisciplinario e integral en el cual se analiza el sistema natural como interacción de otros subsistemas, entre ellos el económico. Aunque se han buscado diferentes formas de cuantificar el recurso y de colocarle un precio, esta acción requiere de un análisis más profundo, debido a que es un bien con cualidades muy diferentes a la de los demás y prácticamente el establecimiento de su precio depende directamente de su demanda y para qué se destina; teniendo en cuenta que debe existir una relación positiva entre la cantidad de agua existente en las regiones y su crecimiento económico.

Lo que es claro, es la importancia de medir la situación del recurso hídrico para planificar, monitorear y gestionar su aplicación. Una forma de hacerlo es por medio del Índice de Pobreza del Agua, desarrollado en el Centro de Ecología e Hidrología (CEH) en Wallingford, Reino Unido en el año 2002. Fue desarrollado por Peter Lawrence, Jeremy Meigh y Caroline Sullivan (2002) con el propósito de medir de forma interdisciplinaria la relación entre el bienestar de los hogares y la disponibilidad del agua e indica el grado de cómo la escasez de agua impacta en la población.

Este índice contribuye a la toma de decisiones tanto nacionales como regionales y locales, con el fin

de determinar las necesidades prioritarias para la intervención en lo referente al recurso natural. Se puede aplicar a diferentes escalas y contextos (no sólo a economías desarrolladas), por ejemplo; a nivel internacional se encuentran estudios realizados por Lawrence et al. (2003), a nivel regional se encuentra Heidecke (2006) y local a Sullivan (2002).

El índice de Pobreza del Agua resulta de la suma de cinco componentes: recursos, acceso, capacidad, uso y medioambiente. Y a cada componente se evalúa en una escala de 0 a 100. El valor final de IPA se considera con mejor condición hídrica si está más cercano a 100 y valores cercanos a 0 muestran la peor situación hídrica y tienen diferentes rangos; Sullivan en el 2002 mostró una clasificación con rangos para los países latinoamericanos, e indicó que México se encuentra en el rango comprendido entre 56 y 61.9 puntos, lo que indica que el país tiene un índice medio, por lo que no se considera con pobreza hídrica, pero cuenta con problemas en el abastecimiento del recurso y la falta de higiene.

El Índice de Disponibilidad de agua (WAI) de Meigh et al (1999) tomó en su modelo a GWAVA (Evaluación de la Disponibilidad Global de Agua) donde la variabilidad temporal (mensual) de la disponibilidad de agua es importante. Este indicador se aplica a nivel regional y toma en cuenta las aguas superficiales como subterráneas y compara la cantidad total de la demanda doméstica, industrial y agrícola. Sus rangos se establecen según el mes con el máximo déficit o superávit mínimo respectivamente. El índice se normaliza entre los valores -1 y $+1$ y cuando su valor es cero, la disponibilidad que hay del recurso formada por el agua superficial y subterránea es igual a la demanda por los tres sectores; lo que implica que en ese periodo se encuentra en equilibrio la disponibilidad del recurso, pero cualquier cambio en la cantidad del recurso puede causar un déficit o superávit en el siguiente periodo. La disponibilidad de agua subterránea se estima por la recarga potencial y se calcula a partir del balance de agua superficial mensual, o del rendimiento potencial del acuífero.

Otro índice es el de la Necesidad Humana Básica (Peter Gleick, 1996), el cual mantiene la idea de que el agua es elemento indispensable y fundamental para la vida, es una necesidad humana básica. En este índice, Gleick considera un mínimo de 5 litros diarios por persona como la cantidad promedio necesaria para recuperar la pérdida de fluidos del cuerpo en condiciones normales y con niveles de actividad promedio, también establece un promedio de 15 litros de agua por persona al día como nivel básico recomendable para cubrir la higiene personal, pero dentro de este concepto sólo contempla la actividad de bañarse en tina o regadera; para cocinar ocupa 10 litros por persona al día. Considera 20 litros al día por persona para no tener problemas con el servicio de saneamiento y lo que da un total de 50 litros de agua por persona al día para cubrir las necesidades humanas básicas¹².

El autor establece cierta cantidad de litros por cada servicio y/o uso (para beber, servicios de saneamiento, de higiene y preparación de alimentos) para garantizar el cubrir las necesidades básicas de las personas, resultado de la necesidad de resolver los cuestionamientos sobre los requerimientos básicos de agua (BWRs). Este índice se puede aplicar a países y a regiones, y sus primeras aplicaciones fueron a economías desarrolladas.

Este índice es una muestra de la integración de temas ambientales y la preocupación por el desarrollo económico social y sostenible, es indispensable la asignación eficiente del recurso para realizar proyecciones que ayuden al desarrollo de políticas e infraestructura física.

Por otra parte, el Indicador de Estrés de Agua de Falkenmark (1989), describe la disponibilidad de agua por país. Se basa en la estimación de que una unidad de flujo de 1 millón de metros cúbicos de agua puede apoyar a 2,000 personas en una sociedad con un alto nivel de desarrollo. Este índice cuenta con límites, el límite para que la escasez ocurra irregularmente es de 1,700 m³/habitante/año, por debajo de esa cantidad la escasez de agua se presenta en diferentes niveles de gravedad y por lo tanto es una limitación al desarrollo económico, salud y bienestar, pero, si la capacidad es por debajo de 500 m³/

¹² Esta recomendación fue a raíz de análisis realizados en datos estadísticos de diferentes Organizaciones Internacionales.

habitante/año, el agua es una limitación principal para la vida. Aunque es un indicador muy utilizado, tiene numerosas deficiencias; por ejemplo: la disponibilidad de agua por persona se calcula como un promedio con respecto a la escala espacial y la temporal, no mide la calidad del agua ni da información sobre la capacidad de un país para utilizar los recursos. Pero es importante para analizar la relación que tiene el recurso con el crecimiento demográfico y económico.

Con respecto a los modelos de crecimiento, es la Organización de las Naciones Unidas la que ha fomentado este tipo de estudios, argumentando que el agua es fuente de empleo y de crecimiento económico. En la edición 2016 del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, titulado “Agua y empleo”, se plantea el cambio hacia una economía más verde en la cual, el agua tiene un papel central, y muestra que la mitad de los 1,500 millones de trabajadores del planeta están empleados en ocho de los sectores más dependientes del agua, por lo que se comprueba la relación entre el nivel económico, ambiental y social.

A través de la historia, a la economía y en particular al sistema capitalista se le ha visto como un sistema depredador, al cual sólo le interesa obtener beneficios y se persigue el crecimiento económico; pero eso es parte de un proceso, las evidencias muestran que una vez que las economías alcanzan un punto de estabilidad (crecimiento económico), el segundo paso es preocuparse por la calidad ambiental debido a que ahora se cuentan con los recursos para ocuparse del entorno, lo que es un dilema pero se aplica a la realidad.

II. ¿Qué pasa en el Estado de Chihuahua y cuáles son las condiciones de los seis municipios más poblados?

Para el Estado de Chihuahua es importante tener en cuenta la relación entre ecología y la morfología del paisaje, debido a que cuenta con un clima árido o semiárido y un terreno poco homogéneo, también registra merma de recarga de los mantos, exceso en la extracción del recurso, deforestación de la región, crecimiento demográfico y uso desmedido en proyectos de desarrollo urbano e industrial no planificados (Programa Sectorial 2011-2016).

El Estado de Chihuahua es un territorio representativo de tierras secas a nivel nacional, con características socio ambientales de zonas áridas, por lo que es importante realizar estudios a esta región y aún más a los municipios más poblados del Estado para visualizar la importancia del recurso hídrico para el desarrollo de los mismos.

En el 2015, la población total en el Estado de Chihuahua fue de 3,556,574 habitantes y ocupó el tercer lugar entre los Estados con menor densidad poblacional, sólo 14 hab/s por km² (el país en promedio tiene una densidad de 61 hab/s por km²); y de ese total, cerca del 64% se encontraba concentrada en dos municipios: Juárez con el 39.11% (1,391,180 hab/s) y Chihuahua con el 24.69% de la población (878,062 hab/s) (INEGI, 2015). A estos municipios les siguen otros cuatro, considerados de tamaño mediano por su población (población >60,000 hab/s): Cuauhtémoc con 168,482 hab/s, abarcando el 4.73% del total, Delicias con el 4.16% con un total de 148,045 hab/s, Hidalgo del Parral con el 3.1% o 109,510 hab/s y Nuevo Casas Grandes con 63,412 hab/s lo que representa el 1.8% del total (INEGI, 2015).

Donde existe una mayor población, también es mayor la demanda del recurso hídrico, y aplicando lo expresado por Gibbons (1986), en Chihuahua, el agua principalmente se utiliza de forma “outstream”, es decir, que se extrae para ser usada en sectores productivos como la agricultura, industria y servicios, así como para abastecimiento humano. En el Programa Sectorial 2011-2016, se reporta que en el Estado de Chihuahua el uso de agua se destina a la actividad agrícola con el 89.8% ¹³, para el uso doméstico es de 9.7% y para la actividad industrial el 0.5%. Como se observa, es el sector agrícola el que consume

¹³ En la Teoría Económica se contempla la idea de que las economías menos desarrolladas ocupan una mayor cantidad de agua en el sector primario que en el secundario y terciario.

una mayor proporción de agua y la mayoría es por riego debido a las condiciones climatológicas (pocas lluvias) y a que los principales cultivos requieren de una gran cantidad del recurso, como son algodón, nogales, alfalfa, cebolla, chile verde, maíz, avena y manzanos.

Como se menciona, los cultivos anteriores son reconocidos por la gran cantidad de agua que requieren. Los reportes de SAGARPA (2015) indican que los nogales necesitan aproximadamente 60 litros (L) de agua por nuez o 2600 L/kg y en el Estado hay aproximadamente 688.22 km² con este cultivo, el algodón requiere de 11,000 L/kg, el maíz 271 L/kg, alfalfa 1500 L/kg, manzanas 950 L/kg e indica que cerca del 40% del recurso se desperdicia debido a la baja eficiencia de conducción y aplicación. A pesar de lo anterior, los cultivos tradicionales no son alternativa para los frutales, debido a que estos últimos son económicamente más viables.

Aunado a esas condiciones, es sorprendente que el 78% de la población (comprendida por los seis municipios más poblados), el 90% de la industria (establecida principalmente en Juárez y Chihuahua) y el 55% de la superficie agrícola (comprende a los seis municipios) están asentados en la región árida del Estado, lo que complica el ahorro en el uso del recurso (Junta Municipal de Agua y Saneamiento, 2015). Y para abastecer la demanda del recurso, el Estado cuenta con 5 regiones hidrológicas (aprovechamientos de aguas superficiales): Río Bravo, Mapimí, Cuencas cerradas del Norte, Vertientes del Noroeste y Pacífico Sur y 61 acuíferos de los cuales once se encuentran en veda por sobreexplotación. Del volumen total de agua que se emplea en el Estado, el 60% proviene de fuentes subterráneas y el 40% restante de agua superficial (Conagua, 2015).

La Junta Municipal de Aguas (2015) reportó que la cobertura estatal del servicio de agua potable es del 93.5%, la de alcantarillado sanitario es de 87.8% y la de tratamiento de agua es de 71%, todas mayores al promedio nacional.

En el 2015, Conagua informó que los acuíferos en el Estado de Chihuahua se habían degradado tanto en cantidad como en calidad durante los últimos años, factores importantes para evitar conflictos sociales, llegando a operar con un déficit de hasta el 197% (Conagua, 2015). Uno de los acuíferos más dañados es el de Cuauhtémoc, el cual es uno de los más sobreexplotados a pesar de que ya no cuenta con volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, su déficit es de 11,505,972 m³ al año (Conagua, 2015).

Con respecto al municipio de Cuauhtémoc, éste cuenta con el 4.73% de la población estatal y su extensión es del 1.2% del Estado. En el 2015, la población económicamente activa (PEA) era aproximadamente de 85,000 personas y contaba con una tasa de desocupación del 2.7%, que es mucho menor al porcentaje Estatal, que era de 3.8% (IMSS, 2017). Económicamente hablando, el municipio aportó del 2005 al 2015, aproximadamente \$17,005 mdp al Producto Interno Bruto (PIB) estatal, 4.2% del total estatal (SIAP, 2015), siendo la actividad agrícola - fruticultura, el principal sector productivo; en general se cultivan productos como el maíz de grano 42%, manzana 41%, avena 8% y frijol 4%, según su valor de producción. Y como se mencionó, estos cultivos requieren de una gran cantidad de agua por lo que en el 2014 el municipio gastó 65.325 millones de pesos en este recurso que incluye el agua proporcionada por el Estado y la comprada a particulares.

En este municipio, también se producen lácteos, en el 2015 se produjo alrededor de 308,217 toneladas con un valor monetario de \$1,989 mdp, representando el 32% de la producción de leche del Estado, entre los productos se encuentran yogures, cremas y quesos (SAGARPA, 2015). Además de tener una demanda del recurso para agricultura y ganadería, también el turismo demanda el servicio, debido a que el municipio atrae visitantes por sus características socio-culturales, el cual tuvo un incremento del 46% entre los años 2010 y 2016 (Informe de Gobierno, 2010-2016).

Al municipio de Cuauhtémoc le sigue el municipio de Delicias en importancia respecto al sector primario. Es uno de los municipios con mayor densidad poblacional, cuenta con 441 hab/km², lo que se puede traducir en una demanda mayor de agua por km².

Y con respecto a la producción agrícola, en el 2015, en el municipio los cultivos principales son chile verde 31%, alfalfa 20%, nuez 17%, cebolla 15% y maíz forrajero 4%, los cuales reportaron un total de

valor de producción de 1,331,654,261 pesos, con aproximadamente 171.93km² de superficie cosechada, lo que representa el 51% de la superficie del municipio, por lo que esta actividad usa aproximadamente el 90 % de agua de la región (SIAP, 2015).

Para abastecer las actividades productivas, el municipio gastó en el 2014 un total de 38.619 millones de pesos en el pago del recurso hídrico, además cuenta con 20 plantas purificadoras de agua que contribuyen al reúso del agua (INAFED, 2015).

Nuevo Casas Grandes es el tercero en importancia según la producción agrícola; este municipio aporta el 23% del valor de la producción agrícola del total estatal (SIAP, 2015). Y los principales cultivos son maíz en grano 28%, chile verde 18%, algodón en hueso 11% y nuez 10% según su valor de producción, pero en total el valor de la producción agrícola del municipio fue de 889.15 M\$.

Para cubrir las necesidades del recurso hídrico, el municipio gastó en el 2014 16.174 mdp en la compra de agua al Estado y a particulares y además de la agricultura, otro sector que consumió una gran cantidad del recurso fue el industrial (41.8%) (INAFED, 2015)

En el 2015, Nuevo Casas Grandes contó con 203.04 km² de cultivo y la extensión del municipio es de 2,071.8 km², lo que significa que la producción agrícola ocupó 9.8% de la extensión total del municipio. Con respecto a la población, en el municipio había 63, 412 habs de los cuales el 7% están registrados como jornaleros o peones (SNIM, 2015).

Hidalgo del Parral muestra un cambio en su base productiva y en el uso del recurso hídrico. Sus principales actividades se reparten entre la agricultura, ganadería y, la comercialización y servicios. La agricultura y ganadería en el 2014 consumieron cerca del 37% del agua del municipio, con cultivos como alfalfa 26%, nuez 23%, cebolla 21%, cebollín 6% y hortalizas 5%. La producción total en valores fue de 26.01 M\$, la cual ocupó 7.26 km², que es el 0.42% del total municipal. En el 2015, el municipio gastó 16.174 millones de pesos (INAFED, 2015) en la adquisición del recurso hídrico, lo que representó el 0.88% del consumo total estatal.

Con respecto a los dos municipios más poblados; Juárez y Chihuahua, son casos en los cuales el recurso hídrico es utilizado principalmente para la industria, turismo y servicio doméstico. Juárez, abarca el 1.44% del territorio, de los seis municipios es el segundo con mayor extensión y en el 2015 contaba con 340 habs/km² (IMIP, 2015), cantidad mucho mayor a la densidad del Estado e incluso a la del País.

El Bolsón del Huevo y de la Mesilla son los acuíferos que proveen de agua a la región de Juárez. El Bolsón del Huevo tiene 214 pozos profundos, pero se encuentra en sobreexplotación desde hace años, el Bolsón de la Mesilla cuenta con 23 pozos profundos y de estas fuentes, la distribución del recurso es aproximadamente el 99% a uso urbano y 1% a doméstico, en promedio, por habitante los juarenses consumen 334 litros al día¹⁴, con una cobertura del servicio del 96% (JMAS, 2013).

El municipio de Juárez, el más poblado e industrializado, en el 2014 contaba con 31,056 unidades económicas (32% del total estatal) y con 1,391,180 habitantes (39.11% del total estatal). El municipio registró un consumo de agua¹⁵ de 1,046.878 millones de pesos, lo que representa el 57.24% del total estatal, y su principal destino fue a la industria manufacturera y al comercio. Con respecto a la actividad agrícola, en Juárez se utiliza un total de 34.09 km² para cultivos, de los cuales los más importantes según su valor de producción son nuez 46%, calabacita 11%, algodón de hueso 10% y alfalfa 10%, productos que requieren de una gran cantidad del recurso hídrico (SIAP, 2015).

Por su parte, el municipio de Chihuahua es el segundo con mayor población, ocupando en el 2015 el 28.70% del total de la población estatal. El municipio consume 493.587 millones de pesos de agua, lo que representa el 26.99% del total estatal. Dentro de su actividad económica, la industria manufacturera

¹⁴ Este promedio de consumo es engañoso debido a que se cuantifica el agua consumida por los sectores productivos y el doméstico.

¹⁵ INEGI: Consumo de agua. Es el importe por el consumo de agua suministrada por la red municipal o por pipas, ya sea para el consumo humano o empleada en el proceso productivo.

consume 209.685 millones de pesos y la segunda actividad que más consume es la minería con 59.608 millones de pesos. Lo que coincide con la importancia de la industria en el municipio, produce el 32.28% del total estatal. A pesar de que la agricultura sólo consume 0.009 millones de pesos produce el 12% del total estatal; y dentro de sus principales cultivos, en el 2015, según su valor de producción fueron nuez 50%, alfalfa 18%, tomate rojo 7%, maíz de grano 6% y algodón de hueso 4%, en este municipio se cosechan aproximadamente 33 cultivos (SIAP, 2015), lo que lo hace el municipio con una mayor diversidad de cultivos, pero su producción se concentra en sólo uno, la nuez. En total, en el municipio se tienen 140.86 km² de superficie cosechada, lo que representa el 1.53% de la superficie municipal.

En general, los seis municipios más poblados del Estado concentran las actividades productivas del Estado y por lo tanto, la población, lo que conlleva a un aumento en la demanda del recurso hídrico; situación que es complicada para la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS), debido a que en el 2015 reportó que sus tarifas no habían aumentado desde el 2011, indicando que el Estado de Chihuahua cuenta con las tarifas más bajas del país (por litro y por m³) y aun así, sólo logra recuperar el cobro del 43% del agua que extrae de mantos superficiales y subterráneos.

Las tarifas de consumo de agua que la JMAS muestra en el 2015, indican que, en Chihuahua Capital el precio del agua es de \$6.05/m³ para consumo doméstico, de \$6.30/m³ para uso industrial y de \$5.78/m³ para uso comercial, mientras que para edificios públicos y escuelas públicas es de \$6.87/m³. Las tarifas para Cuauhtémoc son de \$4.32/m³ para uso doméstico, para uso comercial de \$4.75/m³, para uso industrial de \$4.75/m³ y para escuelas públicas y edificios públicos era de \$4.06/m³. En Nuevo Casas Grandes se cobra \$6.30/m³ para cualquier uso (uso doméstico, uso comercial, uso industrial y para escuelas públicas y edificios públicos). En el caso de Juárez, para uso doméstico el precio es de \$6.65/m³, para uso comercial de \$6.37/m³, para uso industrial \$7.07/m³ y para escuelas públicas y edificios públicos es de \$6.51/m³. Para Hidalgo del Parral, en uso doméstico el precio es de \$6.25/m³, para uso comercial de \$7.51/m³, para uso industrial \$9.4/m³ y para escuelas públicas y edificios públicos es de \$6.3/m³; por último, para Delicias en uso doméstico el precio es de \$5.12/m³, para uso comercial de \$8.68/m³, para uso industrial \$10.77/m³ y para escuelas públicas y edificios públicos es de \$1.15/m³.

Teniendo en cuenta las condiciones geográficas y climáticas del Estado, y el precio del servicio eléctrico; lo que JMAS cobra por el suministro del recurso parece ser poco para lograr que la recuperación que se tiene con las cuotas cubra su oferta. En la práctica, el gobierno suele apoyar por medio de subsidios a los lugares con menor desarrollo económico y con mayor industrialización; lo que se aplica al Estado de Chihuahua para no detener el avance industrial y productivo de la región.

III. Consideraciones finales

El Estado de Chihuahua muestra problemas con la concentración de la población, lo cual refleja una situación compleja para abastecer a la población del recurso hídrico y conduce a la toma de decisiones que no siempre son las más viables, por ejemplo, la necesidad de exportar el recurso de otros lugares, lo que ocurrió en el 2014 en el municipio de Chihuahua.

A pesar de los diferentes estudios empíricos que se han realizado a nivel regional, las soluciones que se han dado a la escasez de agua son con mira cortoplacista, lo cual no permite llegar a la sustentabilidad del recurso y entrar en la dinámica del desarrollo sostenible, e incluso algunos proyectos no han tenido los resultados esperados por la falta de seguimiento y su abandono al paso del tiempo, como las plantas tratadoras de agua y las fugas en la red de distribución (JMAS, 2015).

Es necesario que en el estado de Chihuahua se aplique alguna medida que contribuya al cuidado del recurso para su conservación para el largo plazo, y que no afecte a la producción que caracteriza a la región, por ejemplo los cultivos de nuez, manzana, algodón, alfalfa, entre otros; los cuales requieren de una gran cantidad de agua.

Las condiciones climatológicas hacen difícil la adquisición del recurso para la siembra y para la recarga

de los mantos, lo que muestra que se debe invertir en tecnología que contribuya a recargar los mantos subterráneos de la región, pero ello parece difícil si se observan las tarifas que la Junta de Aguas y Saneamiento cobra por el recurso, las cuales según la JMAS se encuentran dentro de las más bajas del país.

Al contar con producción en diferentes sectores productivos, hacen que el Estado de Chihuahua y sobre todo los seis municipios más poblados tengan importancia relativa en el país. Son la industria y la agricultura dos actividades que demandan (además de la población) una gran cantidad del recurso; y al mismo tiempo no se puede reducir la oferta porque la región depende de estas actividades económicas. Se requiere crear un plan a largo plazo que contribuya a la recuperación de los mantos acuíferos y salgan de la clasificación de explotación o sobreexplotación, lo que permita contar con este recurso por más tiempo y se pueda mantener la oferta que las principales actividades económicas demandan, así como la demandada por los hogares.

Referencias

- CONAGUA (2008), Estadísticas del agua en México. Gobierno Federal. SEMARNAT
- CONAGUA (2015), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Meoqui-Delicias, Estado de Chihuahua.
- CONAGUA (2015), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Parral-Valle del Verano, Estado de Chihuahua
- CONAGUA (2015), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chihuahua - Sacramento, Estado de Chihuahua.
- CONAGUA (2015), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuauhtémoc, Estado de Chihuahua.
- CONAGUA (2015), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Juárez, Estado de Chihuahua.
- CONAGUA (2015), Actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero Casas Grandes, Estado de Chihuahua.
- Falkenmark, M (1989). The Massive Water Scarcity Now Threatening Africa: Why Isn't It Being Addressed? *Ambio*, 18, pp.112-118.
- Gibbons, D. (1986). *The Economic Value of Water*. Johns Hopkins University Press. Washington D.C.
- Gleick, Peter (1996). Basic Water Requirements for Human Activities: meeting basic needs. *Water International*, no. 21. Oakland, California, Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, 1996.
- Heidecke, C. (2006). Development and Evaluation of a Regional Water Poverty Index for Benin. *International Food Policy Research Institute*.
- Hinrichsen et al. (1998). Soluciones para un mundo con escasez de agua. Population information program, The Johns Hopkins School of Public Health. EUA.
- IMIP (2015) Radiografía Socioeconómica del municipio de Juárez 2014 - 2015.
- IMSS (2017). Datos oficiales sobre trabajo en el Estado de Chihuahua.
- INEGI (2014). Censos Económicos 2014
- INEGI (2015). Encuesta Intercensal 2015
- INEGI (2017). Directorio Estadístico Nacional sobre Unidades Económicas (DENUE), 2017
- INAFED (2015). Información por municipio, enciclopedia de los municipios. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08021a.html>
- Indicadores e índices para el manejo del recurso del agua (2017). http://environ.chemeng.ntua.gr/WSM/Newsletters/Issue4/Indicators_Appendix.htm
- Informe de Gobierno (2010-2016), Medio Ambiente y Sustentabilidad, César Duarte.
- Informe de Brundtland, ONU, 1987. Nuestro futuro común.
- Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP) (2016), "El Agua y el Empleo" <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2016-water-and-jobs/>
- Junta Municipal de Aguas y Saneamiento (JMAS), Reportes 2013 y 2015, Chihuahua, México.

Lawrence, P., Meigh y Sullivan (2002). The Water Poverty Index: An International Comparison. Keele Economics Research Papers, October 2002.

Lawrence, et al. (2003). The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. Natural Resources Forum, 2003.

Meigh, R, McKenzie, A, y Sene K. (1999). A Grid-Based Approach to Water Scarcity Estimates for Eastern and Southern Africa. WaterResources Management no. 13, pp. 85-115.

Olmeda, Miguel (2006). El agua y su análisis desde la perspectiva económica: una aplicación para el crecimiento económico. VIII reunión de Economía Mundial. Alicante.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2003), Domestic Water Quantity, service Level and Health. www.who.int

Programa Sectorial 2011-2016, Gobierno del Estado de Chihuahua - JCAS. El Agua de Chihuahua.

SAGARPA (2015). <https://sagarpa.gob.mx/siap/catalogos>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2015) <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Smith, Adam (1776), Investigación de la Naturaleza y causas de la Riqueza de las Naciones.

SNIM (2015), <http://snim.rami.gob.mx/>

Sullivan, Caroline (2002). Calculating a Water Poverty Index. World Development Vol.30, No. 7, pp. 1195-1210.

Las oportunidades para la sustentabilidad hídrica en las Cuencas de Chihuahua: Estrategias para compensar las demandas socioeconómicas y ambientales ante los retos del cambio climático (Agua-Energía-Alimentación).

Alfredo Granados Olivas¹, Luis Carlos Alatorre Cejudo², Josiah M. Heyman³, Arturo Soto Ontiveros⁴, Adán Pinales Munguía⁵, Sergio Saúl Solís⁶, Hugo Luis Rojas Villalobos⁷, Adrián Vázquez Gálvez⁸, María Elena Torres Olave⁹; Luis Carlos Bravo Peña¹⁰; Óscar Ibañez¹¹, William L. Hargrove¹², Alex Meyer¹³, Shuping Sheng¹⁴.

¹Rector de la UADHE/Profesor-Investigador del IIT en UACJ; ²Profesor del Programa de Geoinformática de la UACJ Extensión Cuauhtémoc; ³Director del Centro de Estudios Fronterizos e Interamericanos (Center for Interamerican and Border Studies) de la UTEP; ⁴Estudiante del Doctorado en Estudios Urbanos del IADA-UACJ; ⁵Profesor de la Escuela de Ingeniería de la UACH; ⁶Profesor-Investigador del IIT-UACJ; ⁷Profesor del Programa de Geoinformática de la UACJ Extensión Cuauhtémoc; ⁸Jefe del Laboratorio de Climatología del IIT-UACJ; ⁹Profesora del Programa de Geoinformática de la UACJ Extensión Cuauhtémoc; ¹⁰Profesor del Programa de Geoinformática de la UACJ Extensión Cuauhtémoc; ¹¹Presidente de la Junta Central de Agua y Saneamiento y Profesor-Investigador en el IIT-UACJ; ¹²Director del Centro para la Administración de Recursos Ambientales (Center for Environmental Resource Management) de la UTEP; ¹³Profesor de la Michigan Tech University; ¹⁴Director de Agri-Life Texas A&M.

Resumen

La sustentabilidad hídrica en las cuencas transfronterizas de la región Paso del Norte (PdN) (Chihuahua-Texas-Nuevo México), enfrenta retos importantes por efecto del cambio climático. La “sequía hídrica” del Río Bravo en esta región, es palpable en función de que las escorrentías producto del deshielo de la cabecera de la cuenca en las Montañas Rocallosas del Estado de Colorado, en los Estados Unidos, son cada vez menos (la Presa del Elefante, principal obra hidráulica de almacenamiento en la región binacional, se encuentra actualmente cercana al 10 % de su capacidad), debido a la escasa precipitación en forma de nieve. En este trabajo, se presentan estrategias para la gobernanza del agua, tanto superficial como subterránea, en la región PdN haciendo énfasis en programas y proyectos de empoderamiento social vía las alternativas de redefinición de las estrategias del nuevo Plan Nacional Hidráulico 2019-2024. Se revisan conceptos y propuestas para mover la agenda de la disponibilidad de agua en base a la sustentabilidad hídrica por medio del empoderamiento social organizado, capacitado e informado. Se concluye con la propuesta de revisión al ejemplo del proyecto binacional holístico que se desarrolla actualmente en la región PdN, como plataforma de un ejercicio ordenado para la formación de cuadros especializados en la temática de sustentabilidad hídrica y para la formulación de una conciencia social informada que le permita, a los usuarios de la cuenca, tomar acciones para la prevención de la escasez de agua en la región transfronteriza del PdN.

Palabras Clave: Sustentabilidad Hídrica; Gobernanza del Agua; Cuencas Socialmente Responsables; Sequía y Agricultura; Tecnificación de Irrigación.

Introducción

A nivel mundial, la humanidad presenta retos considerables para alcanzar los estándares internacionales de calidad de vida, en donde el agua, la energía y la alimentación jugaran un factor importante para lograr la salud pública y la protección al medio ambiente. Chihuahua tiene la oportunidad de ser líder en México en estos tres rubros que pueden ofrecer una alternativa para el desarrollo rural sustentable con responsabilidad social en las comunidades en el estado. Es conocido que, ante los embates del cambio climático, los impactos meteorológicos en la entidad están siendo cada vez más frecuentes. Las sequías son recurrentes incrementando su intensidad hasta lo que se conoce como sequía hidrológica la cual tiene consecuencias devastadoras para los ecosistemas. Por otro lado, se presentan precipitaciones puntuales extremas generando riesgos hidrometeorológicos que exponen a las poblaciones a peligros que llegan hasta la pérdida de vidas humanas. De igual forma, los cambios extremos de temperatura de la entidad generan retos y problemáticas específicas de este fenómeno climatológico, lo que dispara las muertes de vidas humanas en comunidades vulnerables. En este sentido, la disponibilidad de agua para el desarrollo económico del país y en particular en el estado de Chihuahua, representa una oportunidad que requiere de atención específica.

En este capítulo, estaremos abordando la temática desde la perspectiva de una aproximación holística a los temas de Agua, Energía y Alimentación, tratando de identificar y describir la problemática, social, ambiental y económica que se vive en las cuencas hídricas del estado de Chihuahua. Adicionalmente, estaremos exponiendo las experiencias vividas a la fecha, en un proyecto binacional en la Región Paso del Norte (Chihuahua-Texas-Nuevo México) que actualmente se está llevando a cabo con una agenda de investigación aplicada diseñada durante un periodo del 2016 al 2020 (<https://water.cybershare.utep.edu/swim/home>), y que aborda perfectamente la temática de esta sección en el libro. Es importante destacar que la aproximación a estas problemáticas se plantea como “un todo” la cual tiene ramificaciones transversales que impactan entre sí la dependencia entre estos tres factores (agua-energía-alimentación), lo que permite poder tener aspiración a lograr la sustentabilidad ambiental en las cuencas hídricas de la región transfronteriza del Paso del Norte y en general en el Estado de Chihuahua.

Agua

Chihuahua tiene la particularidad de ubicar en su territorio el mayor número de regiones hidrológicas con variada diversidad en el país. Contamos por un lado con las cabeceras de cuencas de las sierras de Chihuahua que son generadoras de agua a escala macro cuenca, incluso son consideradas como “exportadoras” de agua hacia Sonora, Sinaloa, Durango dentro del territorio nacional, y a Texas en los Estados Unidos. En estos “nacimientos de agua” de cabecera de cuenca, se presentan las mayores precipitaciones pluviales en el estado (promedio 750-850 mm/ anuales) generando potenciales ecosistemas benéficos para estrategias de sustentabilidad hídrica. Por otro lado, se cuenta con grandes extensiones de tierra con ambientes específicos para el tránsito de escorrentías superficiales en donde se presentan los principales ríos de la entidad. A estos sistemas riparianos, se les integran diversos y productivos acuíferos de diversas constituciones litológicas con condiciones geohidrológicas variadas y de estratos de paquetes sedimentarios con potencial. Estas zonas de terrazas son consideradas como de transición entre las serranías y los valles en la entidad y es en donde se localizan los distritos de riego agrícola más productivos en la entidad. Adicionalmente en estos territorios, contrario a lo que oficialmente se plantea, se cuenta con grandes reservas de agua subterránea a diversas profundidades (300 m+) que permiten la explotación del vital líquido todavía con buenas calidades químicas que pudieran ser utilizados para las otras actividades económicas y de desarrollo en la entidad.

Es importante destacar las escalas de las oportunidades hídricas en el estado. Desde una perspectiva de cuenca hidrológica, las cuencas del estado son importantes y su capacidad de captación está en función de sus propiedades fisiográficas, los tipos de usos del suelo que tenga y las intensidades de precipitación que se presenten en dichos territorios. Para el caso particular de las oportunidades hídricas en las cuencas del estado de Chihuahua, la propuesta de este análisis se define en dos territorios y escalas específicos. En principio, las capacidades de captación de agua en los territorios rurales son de primordial importancia pues es aquí en estas áreas en donde se presentan las mayores oportunidades de sustentabilidad hídrica debido a sus capacidades de captación y almacenamiento y control de escorrentías. Por el otro lado, en lo que se refiere a la escala local, el concepto de hidrología urbana es una innovación a la percepción de las oportunidades de captación de agua de lluvia en las ciudades aprovechando la infraestructura impermeable que tienen las mismas. Considerando que las ciudades por lo general se ven como “expulsoras” de agua superficial por efecto de las escorrentías y falta de infraestructura de captación, en este trabajo lo vemos como una gran oportunidad de aprovechamiento para solventar en parte, los déficits que se presentan por las diversas demandas en el sistema. Por ejemplo, en las ciudades se generan potenciales espacios de recarga a los acuíferos y se diseñan áreas y “corredores de vida” en los trayectos de las escorrentías que se tienen por la propia presencia de cauces artificiales generados por las vialidades consideradas como parte de la infraestructura urbana en las ciudades, las que usualmente se convierten en un problema de inundaciones y riesgo. Estos territorios se visualizan como áreas de oportunidad para el desarrollo comunitario en las diversas ciudades en la entidad cuando se rompen paradigmas y se generan visiones distintas como lo pudiera ser la generación de infraestructura verde (IV), lo que se está promoviendo ya en diferentes instancias de gobierno y con apoyos internacionales de agencias interesadas en estas visiones holísticas del manejo hídrico en las ciudades.

Por otro lado, es importante destacar que, para lograr un plan de desarrollo rural sustentable en el estado de Chihuahua, el sector hídrico es el eje toral para lograr una propuesta de gobierno exitosa. En un entorno en donde el 82% del agua concesionada en el país está destinada a la producción agropecuaria la cual maneja una eficiencia en su aplicación por debajo del 45%, lo que se visualiza como condición adversa para el éxito de un programa de gobierno comprometido con el desarrollo rural equilibrado y socialmente holístico requiere de un paradigma diferente en donde las estrategias de ahorro en la producción agropecuaria deberá ser centrada en la inversión a fondo perdido para implementar tecnologías de riego de alta eficiencia pegado con programas de capacitación continua a los productores del sector primario.

Esto es importante identificarlo pues es ahí en donde se tiene una excelente oportunidad de recuperación del recurso agua para diversas actividades. Por ejemplo, si logramos incrementar el porcentaje de uso eficiente del agua en la agricultura, pasando del 45% de eficiencia que se genera con riego tradicional de agua rodada (agua en los surcos), y podamos buscar incrementar a un 90% de eficiencia con un riego presurizado por goteo, entonces este volumen de “disponibilidad” se pudiera utilizar en otros usos, por ejemplo, el doméstico/industrial en las ciudades. La gestión administrativa para una aplicación de medidas sustentables deberá entonces gestionar en las oficinas centrales responsable de la aplicación de los programas de uso eficiente del agua en la agricultura (SAGARPA y CNA), las que deberán implementar programas de apoyo a fondo perdido para el uso eficiente del agua en el sector agropecuario. En el largo plazo, será más caro no implementar en el sector rural un programa de riego agrícola presurizado que pudieran incrementar la productividad, reduciendo el consumo de agua y energía y preservar el medio ambiente, no hacerlo implicaría un riesgo ambiental, económico y social pues es conocido que la infraestructura hidroagrícola tiene serios problemas de sostenimiento, lo que implica un compromiso social relevante para la sustentabilidad del sector agropecuario en la entidad, generando un reto para la administración pública responsable de su continuidad y sustentabilidad.

Aún más importante, para resolver integralmente los retos en el sector primario, adicionalmente se requiere de un programa de eficiencia electromecánica de la infraestructura hidroagrícola en pozos de bombeo profundo. Los problemas de costo de la energía eléctrica para el bombeo de pozos profundos de agua subterránea para riego agrícola son bien conocidos por los productores en donde se torna imposible el pago del consumo de energía eléctrica por sus altos costos y la baja eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo. Por ejemplo, se conoce que las eficiencias electromecánicas de la infraestructura hidroagrícola de bombeo trabajan en general, aproximadamente en el 42%, lo que significa un desperdicio enorme de energía y un alto riesgo para el productor pues se presentan cobros impagables de energía eléctrica al estar bombeando a mayores profundidades y con equipo obsoleto. El compromiso de las dependencias de gobierno responsables de las aplicaciones de las medidas sustentables necesarias para avanzar en la agenda del reto de la sustentabilidad hídrica ante los retos del cambio climático y la gobernanza en la entidad, deberá enfocarse en el cambio de estos equipos obsoletos bajo la premisa de un compromiso de parte de los productores en donde no amplíen sus áreas de riego y en donde se deberán hacer pruebas de bombeo para calcular los volúmenes de explotación conforme al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), esto permitirá un rediseño del equipo de bombeo para lograr al menos un 85% de eficiencia en el consumo de energía y que las diversas cuencas en donde se encuentran los Distritos de Riego (DR) y las Unidades de Producción Rural (UPR's) sean consideradas como parte del esquema de cuencas sustentables que puedan ser beneficiadas con la compra de energía renovable que oferte el gobierno federal bajo los nuevos esquemas de la reforma energética del país. Esto es, la energía que consuman los productores deberá ser de fuentes renovables disponible en la red de distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y que es generada en diversos lugares del país dentro de los territorios agropecuarios, o incluso dentro de las mismas cuencas del Estado de Chihuahua, la cual deberá de ser de menor costo y con un nuevo esquema de subsidios para el sector. Esto permitirá la integración de una visión holística para que el productor agropecuario se beneficie de las ventajas competitivas de su entorno en donde existen grandes potenciales de energía renovables.

“Cuencas Hidrológicas + Hidrología Urbana + Sociedad = Sustentabilidad Hídrica”

Energía

Chihuahua es una potencia en energía renovable. Con el potencial reconocido a nivel mundial de energía solar, eólica, y geotérmica que tiene Chihuahua, se ha identificado al estado en un viable generador de energías renovables a nivel internacional. Aunado a estos potenciales reconocidos, el de la biomasa y

el hídrico son también alternativas regionales viables para la implementación de un plan de desarrollo rural sustentable en donde la generación de energía sea parte de sus atractivos de inversión económica. Siendo los territorios del estado eminentemente agrícolas y ganaderos, es ahí en donde los potenciales para energías renovables existen pues son las grandes extensiones de tierra las que dan las características particulares para desarrollar infraestructura para la generación de energías renovables en el Estado. Por otro lado, en la parte noreste del estado, se identifica al gas lutita como una potencial fuente de “energía limpia”, lo que erróneamente y de manera “insistente” se quiere promover como una fuente de energía renovable lo que no es, dado que la mal llamada energía limpia del fracking es altamente contaminante. El fracking, como ya se ha comentado, no es una fuente de energía renovable, y esta científicamente documentado que es una actividad altamente invasiva y de grandes impactos ecológicos y ambientales principalmente en lo que refiere a los recursos hídricos subterráneos, y ha sido restringido por diversos países en el mundo, sin embargo, con el potencial geológico de Chihuahua para esta actividad, en donde el noroeste del estado tiene viabilidad para este tipo de combustible no renovable, se ha comprometido ya al Estado con las reformas energéticas que ha promovido el actual gobierno federal, en donde con la explotación de este hidrocarburo a través de estas técnicas invasivas se esperan grandes proyectos de este tipo para el Estado, lo que consideramos un gran error debido a que deteriorara las condiciones ambientales de los territorios estatales desplazando comunidades e impactando y comprometiendo los recursos de agua subterránea y superficial en el estado. En este sentido, la contrapropuesta de este escrito recae en la apuesta para que el estado de Chihuahua promueva masivamente, a nivel industrial y doméstico, el aprovechamiento al máximo del potencial de estas fuentes inagotables de energía renovables que tiene el estado (solar, eólica, geotécnica, de biomasa, y las pocas de potencial hídrico) cuidando el bienestar de las comunidades, el beneficio de las sociedades y la protección al medio ambiente para que coordinadamente sociedad, academia, sector privado y gobierno, generen iniciativas favorables para el desarrollo económico regional utilizando estos potenciales y haciendo convenios y compromisos con inversionistas que actualmente están desarrollando parques de energías renovables en todo el país. Siendo Chihuahua una potencia en energías renovables, deberemos de desarrollar programas de trabajo que atiendan estas iniciativas y vincularlos al sistema productivo del país sin descuidar los beneficios a nivel local promoviendo acciones para que a nivel doméstico se puedan aprovechar estas fuentes de energías renovables para beneficio de la sociedad chihuahuense.

Las acciones requeridas para la sustentabilidad energética en el estado están enfocadas de gran manera en la capacidad de organización social que se pueda lograr en los diversos territorios en donde se tienen los potenciales de las diversas fuentes de energías renovables. En principio, se requiere un programa para la identificación geográfica de fuentes renovables a escala estatal con énfasis puntual en las comunidades; para que posteriormente, se puedan implementar programas de conciliación para la participación social de la riqueza energética de Chihuahua. Estos dos programas que tienen la necesidad de ir a la par se deberán implementar para potenciar al máximo las posibilidades del estado en lo referente a la producción de energía renovable en donde el factor social para la capacidad organizacional de las comunidades rurales y sus potenciales beneficios económicos puedan ser distribuidos entre los participantes con una visión socialmente responsable de las riquezas energéticas del Estado. En este sentido es importante reconocer, como se ha mencionado en párrafos anteriores, que los mayores potenciales para la generación de energías renovables en la entidad se encuentran en el sector rural pues es ahí en donde se visualizan las mayores capacidades. De tal forma que es justo reconocer y distribuir esta riqueza entre la sociedad y entrar en mercados de economía sustentable, lo que a su vez, atrae la atención de las comunidad internacional pues los compromisos corporativos internacionales buscan este tipo de programas, según se ha manifestado ya en el pleno de las conclusiones de la COP21 celebrada a finales del 2015 en donde se visualizan las oportunidades de los mercados emergentes de inversionistas de la industria de energías renovables.

Energías Renovables+ Sociedad Organizada+ Gobierno con Visión = Sustentabilidad Energética

Alimentación

La población mundial se estima que rebasara los 9 mil millones antes del 2040. Esto implica una gran presión para los ecosistemas y para la disponibilidad de suelo y agua que será destinada para la producción de alimentos. Chihuahua requiere de un plan de acción para la producción de alimentos que incluya estrategias de producción agropecuaria en las diversas regiones agroecológicas del Estado; pero, que además incluya el romper paradigmas de la producción de alimentos a escala extensiva y empiece a explorar alternativas de agricultura urbana y de producción de alimentos orgánicos. En el caso particular de los territorios agropecuarios en el estado, la gran diversidad de climas, tipos de suelos y disponibilidad de agua en las microcuencas, dan una oportunidad excelente para reactivar el sector productivo del estado buscando el equilibrio entre la disponibilidad de los recursos naturales y el ejercicio de las prácticas sustentables para la producción agropecuaria. Bajo el concepto filosófico de “los límites del crecimiento”, el estado puede fácilmente aportar un gran porcentaje de las demandas de alimentos que se requieren para las poblaciones que habitan en la región, e inclusive con posibilidad de exportar excedentes.

Es importante reconocer y diferenciar entre las diversas necesidades que el mercado de los productos agropecuarios tiene, los cuales dictan las políticas de inversión para la producción de alimentos. Por un lado, se tiene la producción agropecuaria extensiva de exportación que tiene un enorme potencial económico en donde en los últimos años el Producto Interno Bruto (PIB) del país ha sido beneficiado por el concepto de exportaciones de productos agropecuarios con un significativo incremento cercano al 8%, aun por encima de las divisas generadas por la exportación del petróleo y las divisas que envían los mexicanos en el extranjero a nuestro país. Este sistema de producción agropecuaria es importante seguirlo manteniendo, apoyando y ampliarlo conforme a la implementación de proyectos de inversión que motiven e incentiven la producción agropecuaria. Para esto se deberá implementar un programa para la consolidación de la producción agropecuaria de exportación donde se incentive la aplicación y transferencia de tecnología y la inyección de inversiones de programas de gobierno que tendrán que ser gestionados en las instancias correspondientes responsables de estas áreas de las exportaciones agropecuarias (SAGARPA, ASERCA). A esta producción de productos agropecuarios se deberán adherir programas que den valor agregado, que permita generar insumos adicionales y la generación de riqueza, así como la certificación de inocuidad de los productos agropecuarios generados en la entidad para que puedan ser comercializados a nivel internacional con las debidas certificaciones que demanda el sector de los mercados internacionales.

Por otro lado, se deberá cuidar la condición de pobreza en las comunidades (rurales y urbanas) en donde se de garantía de la reducción de la pobreza y el hambre en las comunidades aisladas en los diversos territorios de la entidad. Para esto se deberán implementar programas de agricultura urbana y producción de alimentos de traspatio. Este tipo de programas permitirán a los habitantes de las comunidades rurales y urbanas localizadas en sectores que se localizan en los polígonos de pobreza definidos por la SEDESOL para el estado de Chihuahua. Es ahí en donde se deberán implementar de manera intensiva estos programas que permitan lograr a estas comunidades acciones de producción alimentaria que logren mitigar y reducir el hambre y se generen excedentes que puedan ser comercializados en las mismas comunidades como una fuente de ingreso adicional al recibido por sus diversas fuentes de empleo. Este tipo de programas se ha implementado ya con éxito en diversos países de Latinoamérica y son certificados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), lo que traería beneficios adicionales para México a nivel internacional, pudiendo ser el estado de Chihuahua un referente mundial.

Bajo este contexto, para lograr un programa agroalimentario actualizado, viable e innovador para generar acciones favorables para el Desarrollo Rural Sustentable (DRS) del estado de Chihuahua, es necesario romper paradigmas y con cambio de estrategias se podrán generar innovaciones y acciones positivas en la dinámica del crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y la justicia social para las comunidades.

No se pueden separar estos tres grandes temas (ambiente-economía-sociedad) sin afectar la viabilidad de un programa innovador que permitirá dinámicas favorables entorno al desarrollo rural sustentable y la sustentabilidad hídrica del estado.

Con la propuesta que se presenta en este escrito, se está retando al sistema con un programa viable que pudiera tener un impacto relevante y que presentaría la oportunidad para un desarrollo rural sustentable y que tiene como prioridad a la sociedad rural del estado pero que atiende a la vez a las comunidades más vulnerables en los círculos de pobreza de las ciudades en el estado de Chihuahua y que pudiera ser repetible en otros estados de la república.

Estudios binacionales a escala local para la sustentabilidad hídrica en el sector agropecuario

En los últimos 100 años, la Región Paso del Norte en donde se encuentra el inicio del Río Bravo en la parte mexicana, conocido como Rio Grande en los Estados Unidos, ha sido la principal fuente de agua para la agricultura de regadío en la región. Debido a los recientes periodos de sequía cada vez más frecuentes y severos, y las crecientes y diversas demandas, el Río Bravo ya no satisface las necesidades regionales de agua. Esta presión en la demanda por el recurso de agua superficial en la región, lleva a una mayor extracción de aguas subterráneas y a la disminución de los niveles freáticos en el acuífero transfronterizo del Bolsón del Hueco, principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad y la zona agrícola del Distrito de Riego 009-Valle de Juárez (DR009-VJ).

Recientemente, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en ingles) aprobó con un fondo federal, los estudios para evaluar la disponibilidad del recurso en la región transfronteriza del Paso del Norte. El estudio está diseñado para un periodo de tiempo del 2015 al 2020 y se identifica en su registro ante el USDA como “La sustentabilidad de los recursos de agua para la agricultura de riego en una cuenca que enfrenta el cambio climático y diversas demandas en competencia: de la caracterización a las soluciones”. El núcleo de investigación está integrado por especialistas en la temática de diversas universidades que están bajo el liderazgo de la Universidad de Texas en El Paso (UTEP), e integran un consorcio de universidades con la Universidad Estatal de Nuevo Mexico (NMSU), la Universidad de Nuevo Mexico (UNM), la Universidad de Texas A&M, Agrilife de El Paso, la Universidad Tecnológica de Michigan (MTU) por parte de los Estados Unidos; la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y la Universidad Agropecuaria Dual “Hermanos Escobar” (UADHE), por parte de México. El área geográfica del estudio de este trabajo de investigación comprende entre la Presa del Elefante hasta la región de Fort Quitman cercano a la intersección del Río Conchos de Chihuahua en la frontera entre México y los Estados Unidos, (Figura 1).

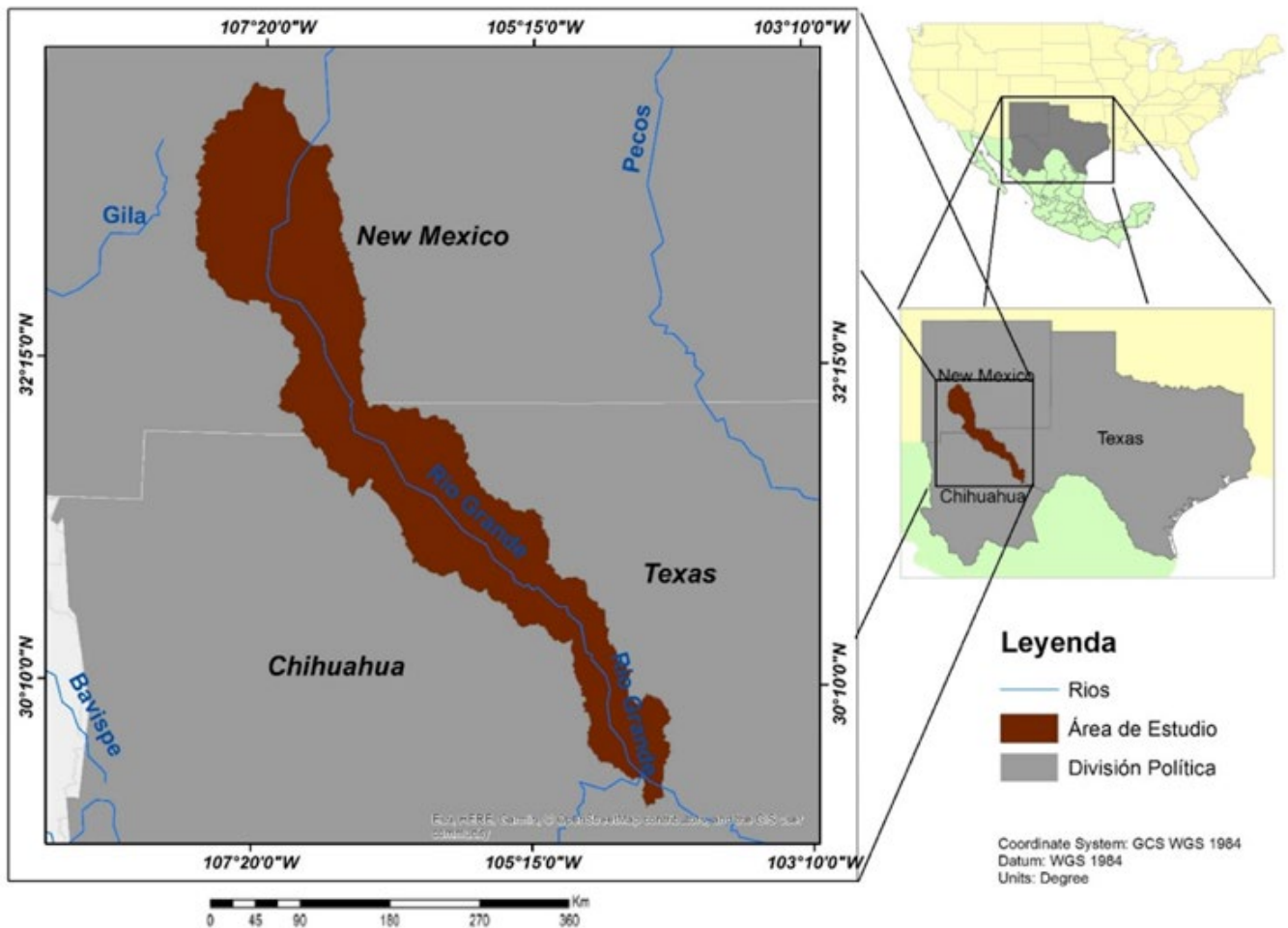


Figura 1. Localización del área de estudio Región Paso del Norte

Fuente: elaboración propia con base de datos proyecto binacional USDA, (Hargrove et al., 2015).

El antecedente motivador de dicha investigación se centra en diversos factores que rigen la filosofía del trabajo colegiado entre estas instituciones. Por un lado, se tiene una gran competencia por el recurso agua en la región y se identifica como una demanda en incremento. Esto es, la región PdN va aumentando en sus demandas por el recurso agua para los diversos sectores y la disponibilidad se tiene comprometida, según se establece en dicho estudio. Se tiene establecido un modelo “cubeta” en donde las tres principales fuentes de agua disponible para las actividades económicas en la región se localizan en el agua superficial del Río Bravo/Grande que es monitoreado hidrológicamente por una serie de estaciones hidrométricas localizadas estratégicamente en diversos puntos del río para registrar los caudales de flujo disponibles; y por dos fuentes de agua subterránea que se estima son de considerables potenciales en su extensión tridimensional, pero que puntalmente en las zonas urbanizadas (ejemplo Ciudad Juárez, Chihuahua; El Paso, Texas; y Las Cruces, Nuevo Mexico), se encuentra estresado generando conos de abatimiento puntual en estas ciudades, (Figura 2).

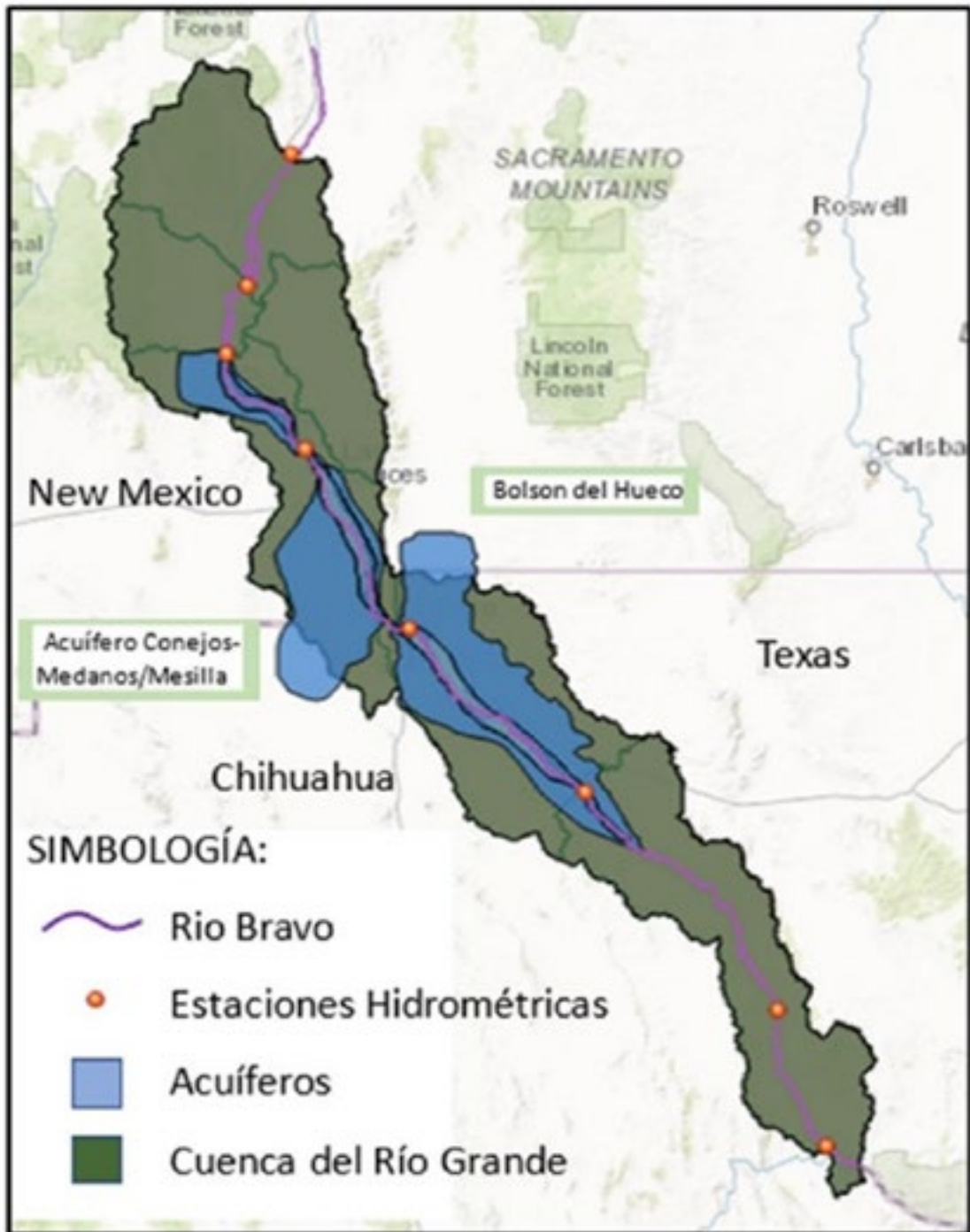


Figura 2. Localización geográfica de los acuíferos en la Región Paso del Norte (PdN).
 Fuente: elaboración propia con base de datos del proyecto binacional USDA, (Hargrove et al., 2015).

Por otro lado, se diseñó la aproximación de este modelo “cubeta” en base a un balance hídrico de la región en donde se está calculando la disponibilidad en base a modelos matemáticos de agua superficial y subterránea (SWAT y Mod Flow, respectivamente). Por ejemplo, en el diagrama esquemático de la Figura 3, se puede observar un diagrama de flujo que presenta las diversas demandas y fuentes disponibles en este territorio. Los flujos que presenta la estructura sistemática del “mapa del agua” en la región demuestran que relativamente existen pocas fuentes “aportantes” en la región, y se identifican los gastos de entrada al sistema (Q_{ent}) iniciando para lo que comprende el estudio en las presas de la cuenca transfronteriza siendo la principal la Presa del Elefante en donde actualmente a la fecha de esta publicación, esta presa se encuentra cerca del 10% de su capacidad máxima, (WaterdataforTexas, 2019).

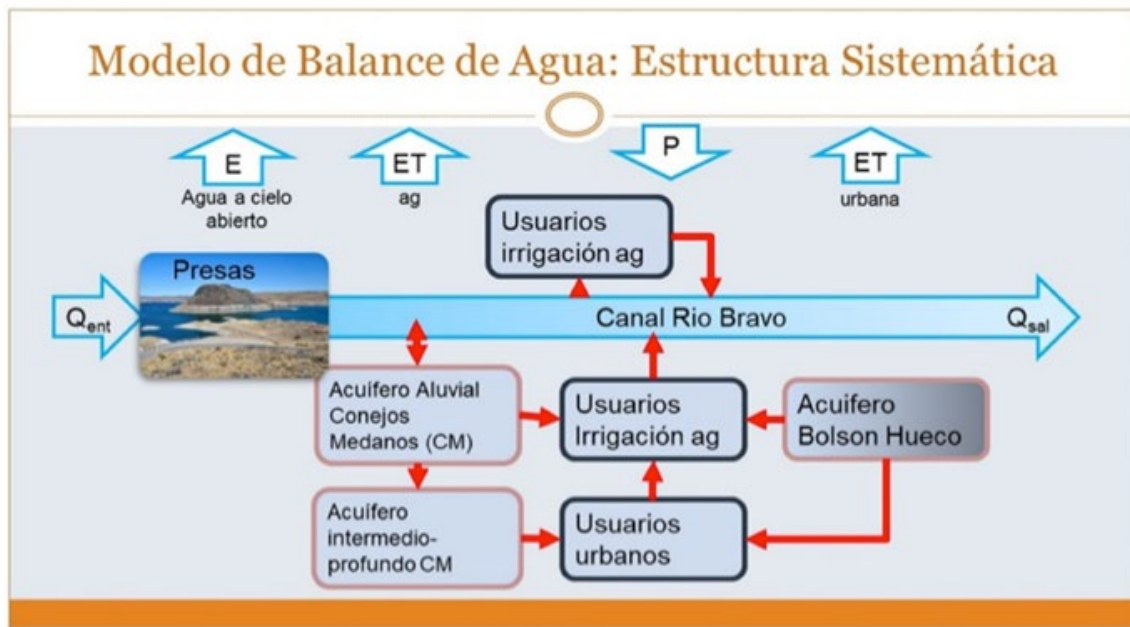


Figura 3. Estructura sistemática del balance hídrico en la cuenca transfronteriza del PdN: Gasto de entrada (Q_{ent}); Gasto de salida (Q_{sal}); Evaporación de cuerpos de agua (E); Evapotranspiración de la agricultura (ETag); Precipitación (P); Evapotranspiración del área urbana (ETurbana).
Fuente: elaboración propia con base de datos del proyecto binacional USDA, (Hargrove et al., 2015).

La imagen de la presa en la Figura 3 muestra la capacidad en 25% en el 2017 cuando se tomó la fotografía. Se identifican en la misma Figura 3 dos fuentes principales de agua subterránea (Bolsón del Hueco y Bolsón de Conejos-Médanos (Mesilla en EU)) en donde en este segundo caso se divide el acuífero en dos segmentos, intermedio y profundo, como principales fuentes de agua potable para usos domésticos y agrícolas. Adicionalmente, un clima cambiante e incierto en donde las sequías prolongadas y los extremos eventos de precipitación generan condiciones adversas para la administración adecuada del recurso, son características predominantes por el efecto del cambio climático en donde la evapotranspiración, la evaporación y la precipitación han manifestado tendencias negativas para la disponibilidad de agua. Esto es, los modelos ambientales estimados para la región, predicen en sus diversos escenarios, una mayor temperatura con una menor precipitación en escenarios de gran crecimiento poblacional, lo que se pudiera interpretar como “la tormenta perfecta” para la disponibilidad de agua en la región. Por otro lado, el incremento poblacional (usuarios agrícolas vs. usuarios urbanos) y las diversas actividades económicas marcan patrones crecientes que establecen la necesidad de definir usos del agua económicamente sustentables, lo que en su defecto son factores determinantes para la necesidad de identificar propuestas del manejo adecuado del recurso agua en la región. Finalmente, uno de los temas más controversiales y que dirigen una de las líneas de conducción más importantes en la investigación,

radica en el continuo debate referente al cambio climático y a las apropiadas acciones políticas adecuadas para la mitigación de la sequía y los fenómenos meteorológicos vinculados al cambio climático en la región.

En este sentido, la pregunta rectora de esta investigación se centra en definir ¿Cómo podremos administrar el agua para que los tres principales sectores de usuarios: la agricultura, el sector urbano/industrial, y el medio ambiente, puedan asegurar un futuro sustentable en la cuenca binacional del Río Bravo? Lo que se busca en esta investigación es identificar los retos y amenazas que tiene la región con respecto a la disponibilidad del recurso ante diversas demandas y los efectos del cambio climático.

De tal forma que en este proyecto binacional se busca la transversalidad en donde se incluye la investigación, la extensión y la educación y se plantearon los siguientes objetivos: 1) modelar el cambio climático a medio y largo plazo; 2) mejorar e integrar los modelos de hidrología existentes, para incluir entradas de deshielo de las cabeceras de la cuenca, las interacciones superficie-subsuelo y la dinámica de la calidad del agua; 3) reclutar un grupo robusto de partes interesadas, representando el rango de intereses en la cuenca, y obtener su participación efectiva en actividades de modelado y reuniones de reflexión / síntesis con las partes interesadas en el proyecto; 4) desarrollar un modelo de sistemas dinámico espacialmente explícito con una interfaz frontal de variables y productos que pueda usarse en reuniones participativas de partes interesadas a través de un sistema interactivo en línea; 5) con las partes interesadas, identificar y formular tecnologías y políticas que potencialmente puedan: a) aumentar los suministros de agua disponibles para la agricultura; b) optimizar las asignaciones de agua entre las demandas competitivas; y c) mejorar la eficiencia del uso del agua, la conservación y los impactos ambientales; 6) diseminar tecnologías agrícolas seleccionadas a través de métodos tradicionales de extensión y campañas de divulgación; y 7) fortalecer nuestra capacidad para habilitar a los nuevos profesionales especializados en el tema del agua. A la fecha y después de una serie de actividades de investigación y talleres con usuarios del recurso, durante los años 2015 al 2018 (tres años de avances en el proyecto), se han identificado una serie de preocupaciones y preguntas que dichos usuarios han planteado al grupo de investigadores universitarios que integran el consorcio del proyecto. Se identifican cuatro grandes preguntas que se han planteado como preocupación básica: 1.- ¿Cómo sobrellevaremos al efecto de sequías prolongadas en la región?; 2.- ¿Cómo podremos en la región binacional compensar entre la urbanización planeada, el cambio en el uso del suelo, y la dispersión urbana que generan las zonas conurbadas?; 3.- ¿Cómo podremos resolver la salinización del agua superficial y subterránea en la región?; y finalmente, ¿Qué se requiere para obtener una mayor conservación del recurso agua?

Dentro de las principales preocupaciones de los diversos usuarios del sistema, se han identificado algunas que sobresalen con mayor frecuencia entre los encuestados y participantes del proyecto. Por ejemplo, las poblaciones en la cuenca binacional están preocupados por los siguientes conceptos que estiman pudieran poner en riesgo la sustentabilidad de la cuenca: Cantidad, calidad, sustentabilidad, clima, acceso, escases, sequía, eficiencia, conservación, suministro, litigación, equidad, investigación, educación, entre otros temas, (Figura 4).



Figura 4. Principales preocupaciones de los usuarios de la cuenca hídrica en la región del PdN.
Fuente: elaboración propia con base de datos del proyecto binacional USDA (Hargrove et al., 2015).

En este sentido y buscando responder a estos cuestionamientos, se sabe que, este tramo de la cuenca localizado en la Región Paso del Norte es un sistema manejado con altas demandas competitivas y en donde a lo que corresponde a la sección mexicana del estudio, existe una red de canales de riego para el desvío de agua para la agricultura que integra lo que se conoce en México como el Distrito de Riego 009- Valle de Juárez. Durante los últimos 100 años, la zona intermedia del Río Bravo/Río Grande ha sido la principal fuente de agua para la agricultura de riego en la región, incluyendo el sur de Nuevo México, el Oeste de Texas y el norte de Chihuahua en México, lo que comprende la Región Paso del Norte. Sin embargo, debido a períodos extendidos de sequía cada vez más frecuentes y severos, y aunado a las diversas demandas que presenta actualmente la región, las aguas superficiales del Río Bravo ya no satisfacen las necesidades regionales de agua, lo que lleva a una mayor extracción de aguas subterráneas y al deterioro de los niveles freáticos en los acuíferos regionales. Los acuíferos relevantes en el área del proyecto se muestran en la Figura 2, en donde las principales fuentes de agua de buena calidad son los Bolsones de Conejos-Médanos/Mesilla y del Hueco, que representan "depósitos fósiles" con poca o ninguna recarga.

Nuestra meta en esta investigación es utilizar una aproximación en base a modelos para hacer frente a estos cuestionamientos básicos que centran la preocupación de nuestros usuarios de la cuenca. Los modelos pretenden evaluar escenarios futuros para implementar mejoras en el manejo, administración, uso de tecnologías y la aplicación de políticas de explotación de los recursos disponibles de agua en la región. La aproximación de los modelos propuestos tiene dos dimensiones: Dimensiones Técnicas (DT) y Dimensiones Humanas/Sociales (DHS). En el caso de las DT, se concentra el esfuerzo en principio, en un ejercicio de "balance hídrico de disponibilidad" que como ya se ha mencionado, hemos denominado como un "modelo cubeta" (bucket model). Este "modelo cubeta" realiza una simulación del balance de disponibilidad hídrica en base a un modelo de optimización de disponibilidad. Esto es, el modelo de balance de disponibilidad de agua es en sí, una simulación de la cantidad de agua en "circulación" dentro del sistema.

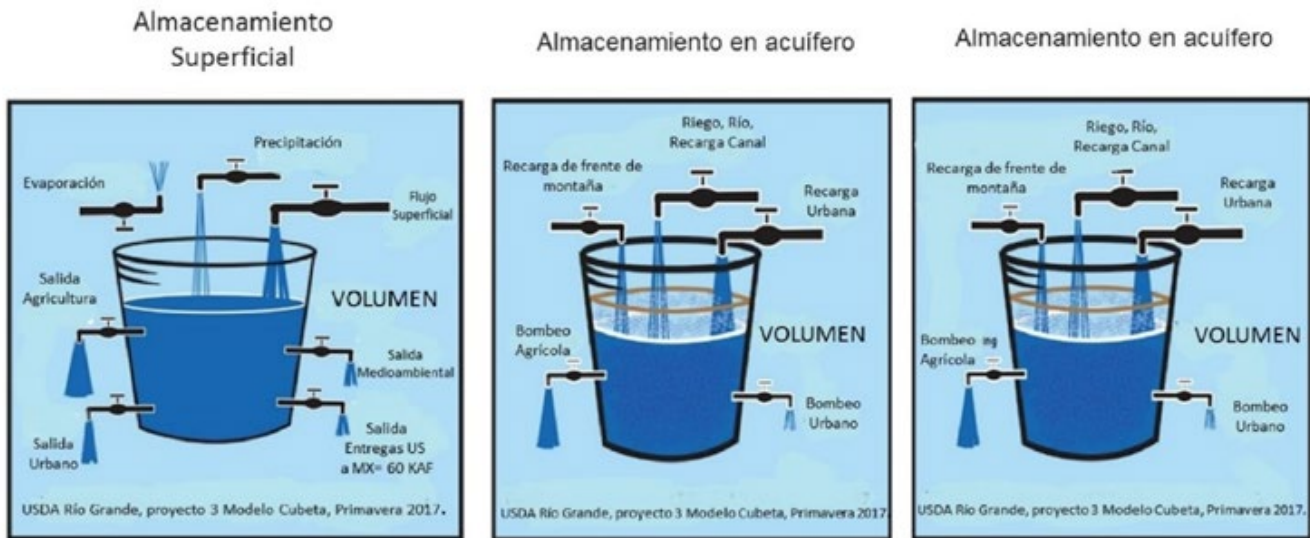


Figura 5. La propuesta del “modelo cubeta” y sus diversas fuentes para la estimación del balance hídrico en la cuenca PdN.

Fuente: elaboración propia con base de datos proyecto binacional USDA, (Hargrove et al., 2015).

Esto permite “visualizar” los flujos de agua en circulación dentro de la cuenca de estudio basado en información binacional de usos del agua por diversos sectores. En lo que respecta a las DHS, los modelos de las DT están “acoplados” a una interfase gráfica en una plataforma en línea identificada como SWIM (Sustainable Waterthrough Integrating Modeling) que refiere a las estrategias integradas en una herramienta de plataforma en línea en donde se encuentra el acervo de información modelado que permite la visualización de los modelos hidrológicos y de planeación sustentable (<https://water.cybershare.utep.edu/swim/home/es>) Esta herramienta permite a los usuarios de ambos países interactuar con SWIM en ambos idiomas (español e inglés) en donde pueden observar los resultados de los modelajes que ellos mismos propongan con base en la información capturada en el sistema, lo que les permite realizar “escenarios” y puedan “simular” los diversos riesgos hidrológicos en la región. En este sentido, la plataforma permite “sensibilizar” a los usuarios al “modelar” las condiciones hidrológicas en el sistema, generando conciencia ambiental.

Conclusiones

Se necesita lograr la sustentabilidad en las cuencas hidrológicas para poder tener una visión integral y holística en donde las poblaciones que habitan las diversas regiones en el Estado de Chihuahua logren una mejor calidad de vida y un futuro próspero conservando el recurso agua y haciendo uso de este de una manera ordenada.

Se plantea un sistema integral que logre considerar tres grandes rubros para la sustentabilidad: agua, energía y alimentación. Con estas áreas satisfechas y organizadas en las cuencas del estado de Chihuahua, se podrá consolidar un plan de mejora de la calidad de vida de las comunidades y una garantía en la salud pública de sus poblaciones. A estas propuestas que la aportación de la investigación aplicada provee respetando la máxima de “la objetividad de la ciencia antes que el interés de lo político”, los gobiernos deberán de lograr las inversiones necesarias par generar una inercia favorable para que, buscando la sustentabilidad hídrica de las cuencas se busque establecer un proceso de aplicación disciplinar endonde la agenda incluya: monitoreo continuo, transferencia de tecnología en la estimación de caudales y disponibilidades en las cuencas, educación y transferencia de información a las comunidades, acciones

de conservación de las cabeceras de las cuencas para la recarga de acuíferos, compromisos de los usuarios con la filosofía de “los límites del crecimiento” en donde los ecosistemas y sus potenciales dicten las políticas del desarrollo, entre otros factores importantes para la sustentabilidad hídrica de los sistemas de cuenca.

Por otro lado, se reviso las generalidades del proyecto en desarrollo del USDA en donde se están realizando los inventarios de disponibilidad en la cuenca transfronteriza del Paso del Norte. Este estudio esta demostrando que las voluntades y disposiciones de las partes permiten evaluar y medir los balances hídricos con certidumbre y que, dada su naturaleza binacional, México y los Estados Unidos están compartiendo información técnica valiosa para poder monitorear la disponibilidad hídrica en el sistema. Esto pudiera ser una primera aproximación para generar políticas binacionales de conservación sustentadas en la validación científica que otorgan investigaciones colegidas y holísticas como la que se presentó en este capítulo, y que se ha identificado binacionalmente como una historia de éxito, en donde las partes respetan sus respectivas políticas de explotación de los recursos y apuestan a la diplomacia internacional para la sustentabilidad hídrica de la cuenca transfronteriza de la región Paso del Norte (PdN).

Agradecimientos

“Este material se basa en el trabajo que es apoyado por el Instituto Nacional de la Alimentación y la Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (NIFA-USDA por sus siglas en inglés), bajo el fondo de soporte número 2015-68007-23130”

“Cualquier opinión, descubrimiento, conclusión, o recomendaciones expresadas en esta publicación son responsabilidad exclusiva del autor (es) y no necesariamente reflejan la visión del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Referencias

- CNA, 2018. Estadísticas del Agua en México. Edición 2018. Comisión Nacional del Agua. (www.gob.mx/conagua).
- CNA, 2009. ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA ACUÍFERO (0801) ASCENSION ESTADO DE CHIHUAHUA. Comisión Nacional del Agua; Subdirección General Técnica; Gerencia de Aguas Subterráneas; Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 28 DE AGOSTO DE 2009
- Gallastegui Zulaica, M.^a Carmen, 2011. LOS LÍMITES AL CRECIMIENTO, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA INNOVACIÓN. ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura Vol. 187 - 752 noviembre-diciembre (2011) 1159-1169 ISSN: 0210-1963 doi: 10.3989/arb.2011.752n6011 Granados-Olivas, Alfredo, Chris Eastoe, Luis Carlos Alatorre-Cejudo, David Adams, Yolande L. Serra, Víctor Hugo Esquivel-Ceballos, Felipe Adrián Vázquez-Gálvez, Maria Elena Giner, 2016. Runoff Modeling to Inform Policy Regarding Development of Green Infrastructure for Flood Risk Management and Groundwater Recharge Augmentation along an Urban Subcatchment, Ciudad Juarez, Mexico. Issue No. 157. December, 2016. Journal of Contemporary Water Research and Education A publication of the Universities Council on Water Resources UCOWR. ISSN 1936-7031
- Hargrove, L. William; Joseph M. Heyman; Deana D. Pennington; Zhuping Sheng; Frank Ward; Shane Walker; Girisha Ganjegunte; Alfredo Granados-Olivas; Alex Mayer; Dave Gutzler; Ali Mirchi, 2015. Project Narrative Proposal for Sustainable water resources for irrigated agriculture in a desert river basin facing climate change and competing demands: From characterization to solutions. USDA, 2015-2020. Internal document UTEP.
- Ibáñez Hernández, Oscar Fidencio, 2017. La geopolítica de la Reforma Energética. En Energías Renovables. La Reforma Energética del Siglo XXI. Konrad Adenauer Stiftung Editor. Fundación Konrad Adenauer. Sinergia por el Medio Ambiente. Págs. 195-206.

- INEGI, 2018. PRODUCTO INTERNO BRUTO DE MÉXICO DURANTE EL SEGUNDO TRIMESTRE DE 2018. (Cifras desestacionalizadas). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2018. http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/pib_pconst/pib_pconst2018_08.pdf. Fecha de Consulta: Marzo, 2019.
- Organización de las Naciones Unidas, 2019. <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/> Fecha de consulta: Marzo, 2019.
- Perry Chris, Pasquale Steduto, Richard. G. Allen, Charles M. Burt, 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management* Volume 96, Issue 11, November 2009, Pages 1517-1524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>
- Pulido-Madrigal, L.; Simuta-Champo, R.; González-Meraz, J.; Saucedo, H., 2012.
- PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE EN CONDICIONES DE SOBREEXPLOTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA. *Terra Latinoamericana*, vol. 30, núm. 4, 2012, pp. 303-313. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México
- Toledo, Alejandro, (2002). El agua en México y el Mundo. *Gaceta Ecológica*. Núm. 64. Pag 9 a 18. dialnet.unirioja.es
- Water Data for Texas, (2019). <https://waterdatafortexas.org/reservoirs/individual/elephant-butte>. Fecha de Consulta: Marzo, 2019.

The background features a pattern of irregular, light-brown stone tiles with dark, thin grout lines. In the bottom right corner, the pattern transitions into a blue, wavy texture representing water.

PARTE II.

TRATAMIENTO Y USO SUSTENTABLE DEL AGUA

Capítulo V.

Sistema de nano-filtración para tratamiento de agua salobre con energía solar en Samalayuca, Chihuahua, México.

*Alejandra Santamaría Islas¹⁶, Ulises Dehesa Carrasco¹⁷,
Rosenberg J. Romero Domínguez¹⁸, Esmeralda Cervantes
Rendón¹⁹, Jonathan Ibarra Bahena²⁰, Luis Ernesto Cervera
Gómez⁴, Jesús Cerezo Román³ y Antonio Rodríguez
Martínez³*

¹⁶Maestría en Sustentabilidad Energética, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

¹⁷Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

¹⁸Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

¹⁹El Colegio de Chihuahua

²⁰Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

La localidad de Samalayuca, Chihuahua, se caracteriza por ser una región árida y extremosa con un clima seco templado y una precipitación media anual de 257 mm. Su única fuente de agua es el acuífero “Samalayuca”, que en algunas zonas excede los límites permisibles en las normas existentes, comprometiendo su viabilidad para irrigación agrícola y para consumo humano. Aunado a esto, para algunos habitantes de esta localidad, el acceso al agua es por medio de camiones cisterna, lo que da cuenta del problema de disponibilidad hídrica local. En la actualidad, los sistemas de tratamiento de agua salobre con energías renovables pueden ayudar a aumentar la disponibilidad hídrica en zonas alejadas de la red eléctrica o hidráulica. La Ósmosis Inversa de baja presión (OIBP) o Nano Filtración (NF), es una alternativa para tratamiento de agua salobre mediante tecnología de membrana impulsada con fuentes de energías limpias, como la solar fotovoltaica. En este trabajo, se dimensiona un sistema de desalinización por NF/OIBP a partir de los datos de calidad de agua de un pozo ubicado en el rancho Dos Amigos, en las coordenadas x: 03611049, y: 3475986 (coordenadas en UTM), región 13 del acuífero “Samalayuca”, situado en la localidad del mismo nombre, en el municipio de Juárez. Se describen las ventajas y la factibilidad del sistema propuesto sobre otros sistemas de membranas para la desalinización de agua salobre. La pertinencia del trabajo, se sustenta en la necesidad de ofrecer alternativas para abastecer agua potable a localidades con características de calidad hídrica como la de Samalayuca, además de plantear las ventajas geográficas de una región para el diseño de un sistema sustentable, considerando la disponibilidad de las energías renovables, en particular, la energía solar. Los resultados demuestran que se requiere de una unidad de NF/OIBP con cuatro membranas de poliamida con una superficie total equivalente de 32 m², que tiene una capacidad nominal de permeado de 12 L/min, a partir de un caudal de alimentación de 60 L/min. El sistema fotovoltaico calculado, está compuesto por 6 módulos de silicio policristalino con una potencia nominal de 240 W.

Palabras clave: Sistema de nanofiltración; desalinización del agua; Samalayuca, Chihuahua; energía solar

Introducción

Recursos hídricos

Históricamente, los recursos hídricos han determinado la localización de los asentamientos humanos. Alfie (2005), indica que, si existe una corriente superficial, algún manantial o laguna, se puede asociar o pensar en la posibilidad de un desarrollo urbano o rural. Por consiguiente, el desarrollo de diversas actividades (como son la industria, la producción ganadera y agrícola, entre otras) que ayudan al sustento del ser humano (Dévora et al., 2013).

Es evidente que el agua es el recurso clave para el crecimiento y el progreso de cualquier sociedad en desarrollo. Sin embargo, factores como el aumento de la población, el incremento de las zonas urbanas, la falta de consciencia en el uso de este recurso, la contaminación y el deterioro del mismo, etc., nos sitúan en un punto en donde la escasez y la contaminación de aguas superficiales y de mantos acuíferos, se presentan como algunos de los mayores retos del siglo XXI (Alfie, 2005).

Actualmente, México presenta desigualdad en el acceso y la distribución del agua, además de serios problemas con la cantidad y sobre todo la calidad de ésta, debido principalmente al crecimiento demográfico y al proceso de urbanización en las últimas décadas. Derivado de lo anterior, la presión sobre la disposición de los recursos naturales ha aumentado de manera vertiginosa, en especial en los recursos hídricos, pues su uso y manejo no han sido los apropiados para satisfacer las necesidades básicas de la población, generando una problemática social, tecnológica, económica y ambiental, que limitan el desarrollo socioeconómico del país (Perevochtchikova, 2010).

De acuerdo con la CONAGUA (2011), son cuatro regiones las que presentan un nivel muy alto de vulnerabilidad a los problemas de desertificación y sequía. Dentro de estas regiones se encuentra la cuenca del Río Conchos en el árido estado de Chihuahua, la región hidrológica más importante del norte de México, con una precipitación anual de 363 mm. Debido a sus características geográficas y climatológicas se convierte en una zona de especial atención, dado que presenta altos niveles de vulnerabilidad por las frecuentes sequías, lo que dificulta el abastecimiento del 92% de sus necesidades, pues dependen especialmente del agua subterránea para alcanzar este porcentaje.

Caso de estudio

En el estado de Chihuahua se encuentra la localidad de Samalayuca, está ubicada en la parte norte de la región desértica, a 52 kilómetros al sur de Ciudad Juárez (Figura 1). Este lugar es considerado como uno de los ecosistemas más importantes de este estado, con especies de flora y fauna endémicas de esta región (IMIP, 2010), fue declarada como Área Natural Protegida Médanos de Samalayuca, el 5 de junio de 2009. Cuenta con tres especies de flora silvestre y 28 especímenes de fauna que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Esta zona se caracteriza por ser árida y extremosa, con un clima seco y muy seco templado, con presencia de lluvias en verano y una precipitación media anual de 257 mm. Las lluvias generalmente ocurren en los meses de julio, agosto y septiembre, por lo que en tan solo 3 meses se obtiene 58.9% de la precipitación media anual, es por ello que los escurrimientos superficiales son temporales y sólo ocurren donde la precipitación es suficiente (CONAGUA, 2015).



Figura 1. Ubicación de Samalayuca, Chihuahua

Fuente: www.google.com.mx/maps

La región hidrológica donde se encuentra Samalayuca pertenece a una de las cinco subregiones tributarias de las Cuencas Cerradas del Norte y una subregión de la Cuenca de Arroyo El Carrizo, su única fuente de agua es subterránea y corresponde al acuífero “Samalayuca” clave 0810 (CONAGUA, 2015). La mayor parte de su agua, es extraída para uso agrícola, industrial y público urbano. De acuerdo con los datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), el acuífero cuenta con 116 títulos para un volumen de aprovechamiento subterráneo de 21.8 hm³/año, del cual el 35.06% corresponde a uso agrícola; el 64.66% industrial y el 0.22% para público urbano (Tabla 1).

Tabla 1. Concesiones de aprovechamiento para el acuífero Samalayuca 0810

Uso	Cantidad de títulos	Volumen aprovechamientos subterráneos (m ³ /año)	% Volumen concesionado
Agrícola	92	7,633,517.00	35.06%
Industrial	4	14,080,200.00	64.66%
Pecuario	1	5,475.00	0.03%
Público urbano	18	47,250.00	0.22%
Servicios	1	8,000.00	0.04%
Total	116	21,774,442.00	

Fuente: elaboración propia con información del Registro Público de Derechos de Agua (<http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>).

Hasta el momento no se ha creado ninguna infraestructura hidráulica para aprovechar las aguas superficiales. La explotación del acuífero se realiza en forma individual o familiar para el sector agrícola, dado que no existe un distrito de riego definido (CONAGUA, 2015).

Además de la desigualdad en el acceso y el abastecimiento de agua en el estado de Chihuahua y en particular en la localidad de Samalayuca, se suma un problema que debe ser atendido a la par; el agua subterránea que circula en la zona de estudio varía entre baja y alta concentración salina. En los pozos con mayor profundidad es posible encontrar agua

sulfatada sódica mientras que, el agua sulfatada cálcica predomina en los pozos menos profundos (CONAGUA, 2002), por lo que, de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, no es apta para consumo humano, por ello es importante el tratamiento del influente mediante procesos de desalinización, para que pueda ser utilizada dentro de los hogares o en la agricultura.

La propuesta de un sistema de tratamiento es para un pozo ubicado en el rancho Dos Amigos, cerca del poblado de Samalayuca, en el municipio de Juárez, en las coordenadas x: 03611049, y: 3475986 (coordenadas en UTM), región 13N. Este pozo se encuentra justo en la zona de acumulación de flujo, drenado por la cuenca Dos Amigos. El agua de este pozo es utilizada actualmente para limpieza en un comercio local, ya que, por su calidad, no puede ser usada directamente para consumo humano, animal, ni para riego. Los habitantes del lugar adquieren agua por medio de un camión cisterna, para el consumo dentro de su vivienda, lo que se traduce en un problema que impacta de manera negativa en la economía, el desarrollo local, en el medio ambiente y especialmente, en el acceso equitativo de este recurso.

Cabe mencionar que la ubicación geográfica de Samalayuca, es un factor determinante que incide en la calidad del agua, principalmente por los altos niveles de salinidad que presenta. En ésta y en otras regiones áridas del norte de México, la evaporación es doce veces mayor a la precipitación, lo que provoca un alto grado de evapotranspiración y un acumulamiento de sales en la superficie del suelo (Granados et al., 2017). Así mismo, en época de lluvias, el escurrimiento natural propicia el depósito

de sedimentos con sales, y en periodo de estiaje, el agua restante se evapora, quedando la salinidad de ésta en el subsuelo, la cual se va incrementando gradualmente al transcurrir cada ciclo. Por lo tanto, la combinación de un drenaje ineficiente, aunado a una radiación solar intensa, convierten a este lugar en un páramo (Flores et al., 2015).

Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de las evidentes dificultades hídricas, la zona de estudio presenta un alto potencial para la instalación de sistemas solares. De acuerdo con el mapa de irradiación directa normal del National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos de Norteamérica, la zona de estudio cuenta con una irradiación promedio de 7.8 kWh/m²/d (NREL, 2018), considerada de las más altas a nivel nacional. Por lo cual, específicamente el estado de Chihuahua, refleja un enorme potencial para la utilización de energía solar fotovoltaica (Pérez et al., 2011). En este contexto, la obtención de agua potable a partir de un sistema de tratamiento de agua con un sistema fotovoltaico, se convierte en una alternativa para los habitantes de esta localidad.

Sistema de nanofiltración

Si bien existen diferentes procesos o tratamientos para la desalinización de agua (Figura 2), Dévora, González y Ruíz (2013), indican que pueden diferenciarse por costos, calidad de agua, producto, impactos ambientales y consumo energético. Estos procesos a su vez se pueden clasificar de manera general en dos categorías; por membrana tales como la ósmosis inversa (OI), ultra filtración (UF), electrodiálisis (ED), nanofiltración (NF); y mediante sistemas térmicos, tales como: destilación múltiple etapa (MED), destilación flash múltiple etapa (MSF) y destilación solar (DS).

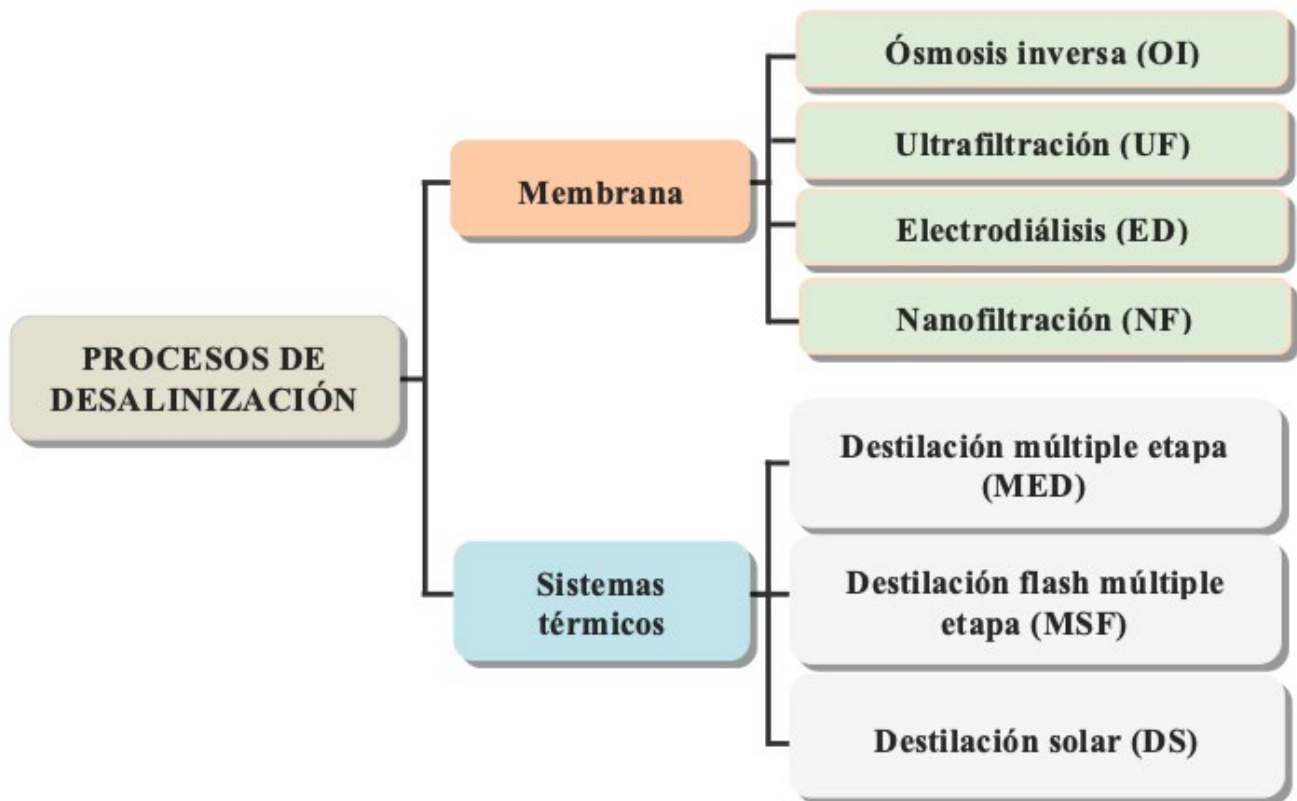


Figura 2. Clasificación de los procesos de desalinización de agua
Fuente: elaboración propia con información extraída de Dévora et al. (2013).

Dévora et al. (2013), mencionan que la ósmosis inversa es la tecnología que presenta mejor relación costo-beneficio en términos de producción de agua desalinizada. Por tal motivo, de las 13,000 plantas instaladas hasta el 2013; 50% correspondía a ósmosis inversa (OI) y 33% a nanofiltración (NF), y el resto, a las demás tecnologías disponibles.

De esta manera, diversos autores concuerdan en que gracias a la calidad de agua permeada (agua producto), a su considerable tasa de recuperación, así como a la facilidad en las capacidades de manejo y de instalación en áreas alejadas, la tecnología de membrana se utiliza cada vez con mayor frecuencia, en diversas partes del mundo (Zularisam et al., 2006; Madaeni y Eslamifard, 2010; Koo et al., 2013).

A nivel mundial, las instalaciones de NF han demostrado factibilidad (Van der Bruggen y Vandecasteele, 2003). La selección de esta tecnología sobre otras, dependerá de varios factores, tales como los requisitos de pretratamiento, la capacidad de instalación para el tratamiento, los objetivos del proyecto y, sobre todo, considerado el punto más importante, la calidad del agua a tratar (Shahmansouri y Bellona, 2015).

Nanofiltración u osmosis inversa fotovoltaica (NF/OIBP-FV)

En diversos trabajos se ha observado la factibilidad de la nanofiltración con energía fotovoltaica (NF/OIBP-FV), como sistema de tratamiento en zonas remotas o aisladas de la red hidráulica o eléctrica para proporcionar agua de calidad para irrigación agrícola y consumo humano (Zarzo et al., 2013; Dehesa et al., 2016).

En países como Israel, España, Estados Unidos de Norteamérica y los Emiratos Árabes Unidos, han optado de manera significativa por la instalación de tecnología por membrana para desalinizar el agua y utilizarla en la agricultura (Dehesa et al., 2016).

La NF/OIBP funciona con presiones más bajas y consume menos energía, respecto al ósmosis inversa convencional, por lo tanto, el diseño y la construcción de estos sistemas son más sencillos. Específicamente, se convierten en instalaciones a pequeña escala, en donde la energía utilizada puede ser producida a través de paneles fotovoltaicos, aprovechando la radiación solar en zonas remotas (Richards y Schäfer, 2003).

En ese contexto, las aplicaciones de la NF/OIBP-FV presentan un incremento considerable, en particular, para la obtención de agua potable, donde el consumo humano es prioritario. Por ello, las características de este sistema combinado, lo convierten en una alternativa con menores costos de operación y de inversión.

Sin embargo, es conveniente realizar diversos estudios en la zona donde se pretende implementar, con la intención de optimizar el tratamiento, es decir, remover las sustancias específicas que demeritan la calidad del agua para irrigación agrícola y consumo humano (Werner y Schäfer, 2007; Flores et al., 2015).

Un punto de suma importancia para un sistema NF/OIBP-FV, es la realización de un reporte sobre la energía específica y la productividad. Por tal motivo, para poder implementar un sistema NF/OIBP-FV, es necesario partir de un estudio que incluya lo siguiente (Flores et al., 2015):

- Un análisis de la calidad del agua disponible en la zona. Derivado de éste, es posible proponer un diseño utilizando el sistema NF/OIBP-FV, considerando: distribución, operación y mantenimiento.
- La viabilidad, la cual se determina con base en la eficiencia para la remoción de partículas ajenas al agua a diferentes irradiaciones; a partir de esto se evalúa la energía específica requerida y la productividad dependiendo de la irradiación.
- Un cálculo de la operatividad del sistema por parte de usuarios potenciales de la tecnología.

Resultados

Análisis de calidad del agua

El resultado de un análisis del agua potable disponible en Samalayuca (Tabla 2), presentó un alto contenido de sulfatos (2,480 mg/L), cloruros (865 mg/L), sodio (826 mg/L) y de zinc (359 mg/L), lo cual compromete su viabilidad para riego y para consumo humano.

En este sentido, de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, se establece que los niveles de sulfatos contenidos en el agua, no deben rebasar los 400 mg/L. Para el caso de los límites

permisibles de cloruro y sodio, señala que deben estar por debajo de los 250 y 200 mg/L, respectivamente, y para el zinc, el valor permisible de este metal pesado en el agua, es de 5 mg/L. Si las concentraciones rebasan estos niveles, pueden conferir al agua un sabor perceptible y ya no puede ser considerada apta para el consumo humano.

Con base en lo anterior, para reducir las altas concentraciones de sodio, cloruros, sulfatos y zinc, es necesario utilizar métodos especiales. En varios estudios, la NF/OIBP ha sido utilizada para la remoción de metales pesados (Caviedes et al., 2015). Liu, Li, Wang y Jiao (2013), llevaron a cabo la remoción de cadmio y zinc, a partir de un proceso de NF/OIBP, obteniendo una eficiencia de remoción de 95.5 y 98%, respectivamente. Por lo tanto, concluyeron que la NF/OIBP es un método eficaz para la eliminación de iones de metales pesados en el agua.

Tabla 2. Resultados de análisis realizados a una muestra de agua potable disponible

Parámetro (mg/L)	Muestra P17-153	LP* (mg/L)
Sulfatos	2,480	400
Cloruros	865	250
Sodio	826	200
Zinc	359	5
Arsénico	< 0.005	0.005
Fierro	0.21	0.30
Cobre	0.055	2
Manganeso	< 0.050	0.15
pH	7.53	6.5-8.5
Nitratos	3.39	10
Fósforo Total	< 2.45	No aplica
Potasio	< 4.80	No aplica

NOTA: *Límites permisibles de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

Fuente: elaboración propia con datos de "Informe de resultados. Colegio de Chihuahua" Laboratorio Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

En cuanto a la reducción de sulfatos, Flores et al. (2015), utilizaron la NF/OIBP a baja presión, por considerarla una técnica apta para la remoción de iones divalentes (sulfatos), así como para la reducción de concentración de sólidos disueltos totales (SDT), donde se obtuvo una eficiencia de remoción de sulfatos de 98.21% y 75.15% de SDT. Además, la operación de este método, demostró ser viable en la productividad de agua permeada.

Fatehizadeh, Taheri, Amin y Mahdavi (2018), exponen una eficiencia de remoción para sodio y potasio de 74.1 y 93.5%, respectivamente, con base en sus resultados, reconocen a la NF/OIBP como un método eficiente y sobre todo de bajo costo para la eliminación de sodio y potasio en agua salobre.

Finalmente, para tratar el efluente de una mina de fosfato, Al-Zoubi y Al-Thyabat (2012), determinaron una eficiencia de retención de 61 a 69% para el cloruro, casi el 100% para el sulfato y 83% para los SDT. Por último, indican que con el tratamiento de NF, el efluente tratado adquiere una calidad similar a la del agua que ingresa al proceso, de esta manera surge la posibilidad de reutilizar el agua.

Diseño de un sistema de desalinización

CSMPRO, es un software de diseño de sistema de membrana, cuyo propósito, es ayudar a generar una proyección precisa de cómo diseñar el sistema NF/OI, de una forma más óptima, utilizando los productos que ofrece CSM. Este software ayuda a predecir el tipo de elemento de NF/OI que mejor se adapte a las

condiciones del agua a tratar (alimentación), así como, a indicar el pretratamiento o pretratamientos que se requieran, para que, de esta manera, se obtenga un diseño de sistema más óptimo para el tratamiento de agua (CSM, 2009).

Específicamente, para el caso de estudio de Samalayuca, de acuerdo a los resultados del análisis de calidad del agua, se seleccionan las membranas tipo RE4040-BLN (Brackish-Low por sus siglas en inglés) a baja presión. Los valores de salida de la simulación para este caso de estudio, se muestran en la Figura 3.

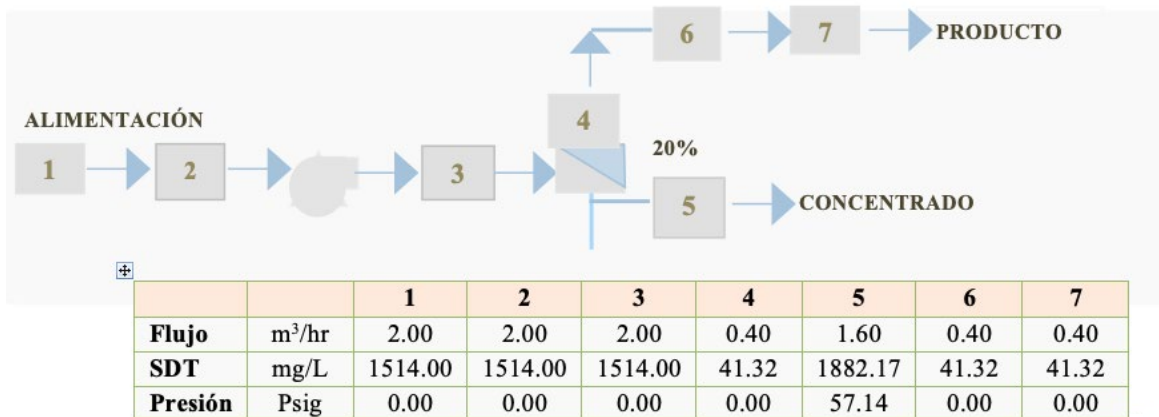
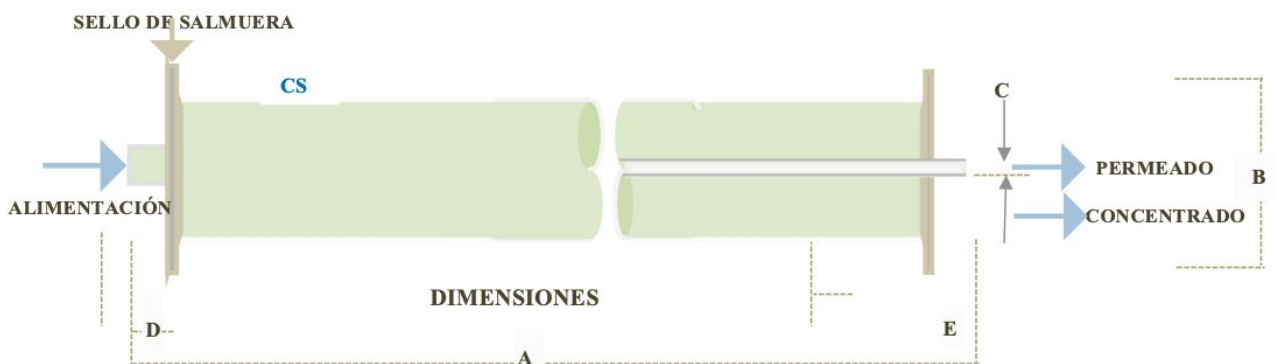


Figura 3. Simulación con las membranas seleccionadas.

Fuente: imagen modificada a partir de la simulación del sistema de tratamiento de agua, con datos de calidad del agua de un pozo situado en Samalayuca, Chihuahua. Utilizando el software CSMPRO v5.01

Las características de la membrana seleccionada son (Figura 4):

- Rango de Flujo de Permeado = 4-6 m³/d
- Porcentaje Nominal de Rechazo de sales = 99.20%
- Área efectiva de Membrana 32 m²
- Presión de Operación < 150 PSIO
- Flujo máximo de operación = 68 L/min



Número de Modo	A	B	C	D	E	Número de Pieza	
						Interconector	Sello de salmuera
RE4040-BLN	40.0 pulg (1016mm)	4.0 pulg (102 mm)	0.75 pulg (19.1 mm)	1.05 pulg (26.7 mm)	1.05 pulg (26.7 mm)	40000305	40000306

Figura 4. Dimensiones de la membrana

Fuente: imagen modificada del catálogo de productos y características técnicas de la empresa CSM.

Diseño y dimensionamiento del sistema NF/OIBP para el caso de estudio

La unidad de NF/OIBP está compuesta por cuatro membranas de poliamida con una superficie equivalente de 32 m². Funciona con una capacidad nominal de permeado de 12 L/min con una alimentación de 60 L/min, manteniendo una relación 1:5 de permeado respecto a la alimentación.

El sistema de PV-B consiste en una planta fotovoltaica con una potencia promedio de 1.92 kW, compuesta por 6 módulos de silicio policristalino con una potencia nominal de 240 W Cada módulo suministra energía a una bomba centrífuga sumergible de corriente directa, modelo SQFlex 16 SQF-10 sin banco de baterías.

Se propone una estructura metálica que servirá como soporte de las membranas, la cual, se fabricará a partir de aluminio estructural prefabricado de 1" de espesor. El diseño propuesto permite ubicar las membranas en una posición vertical con la salida del rechazo en la parte inferior y la salida del agua producto en la parte lateral. Las membranas están ubicadas al interior de la estructura y se sujetan mediante abrazaderas y tornillos a las paredes interiores de la estructura. Una imagen del diseño del sistema con cuatro membranas se muestra en la Figura 5.

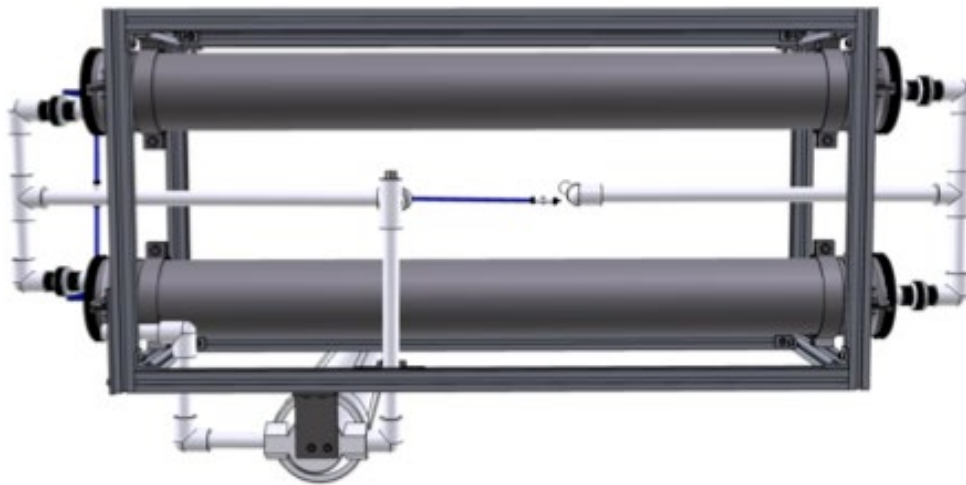


Figura 5. Sistema de cuatro membranas con detalle del filtro para el influente.

Fuente: elaboración propia por parte de los técnicos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua con ayuda de Claudio-Gómez O. G., (2018).

Resultados experimentales previos para el dimensionamiento del sistema en Samalayuca

Estos estudios anteceden el diseño propuesto para Samalayuca, los resultados se evaluaron con las características que se muestran en la Tabla 3, donde se observó una reducción considerable en las cantidades de sólidos disueltos totales (SDT). Esta medición se realizó para garantizar en todo momento, que la concentración permanezca con una desviación máxima de + 10mg/L, respecto al valor promedio. Para validar estos datos, las muestras fueron enviadas a los laboratorios de calidad del agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), para su análisis. A partir de los resultados obtenidos en estos experimentos, se espera que el sistema propuesto disminuya las altas concentraciones de sodio, sulfatos, cloruros y zinc hasta las permitidas por la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 3. Resultados experimentales previos

No. Muestra	Muestra	pH	CE($\mu\text{S/cm}$)	SDT(mg/L)	T($^{\circ}\text{C}$)
1	Alimentación	8.45	2,120	1,070	26.2
2	Permeado	8.38	36	18	25.5
3	Rechazo	8.42	2470	1246	26.2

Fuente: (Claudio-Gómez, 2018).

Efectos de la radiación solar

Las pruebas se realizaron bajo condiciones de cielo despejado el día 8 de diciembre de 2017. Debido a la latitud del lugar, época del año y efectos de humedad atmosférica, la máxima radiación registrada fue de 735.2 W/m^2 . Durante las pruebas experimentales, el voltaje de alimentación fotovoltaico promedio fue de 327.1 volts. En la Figura 6, se presenta el comportamiento de la radiación respecto a la corriente que demanda el sistema. La dependencia se observa casi lineal. La Figura 6, muestra la dependencia de la potencia requerida por el sistema respecto a la radiación solar incidente (Claudio-Gómez, 2018).

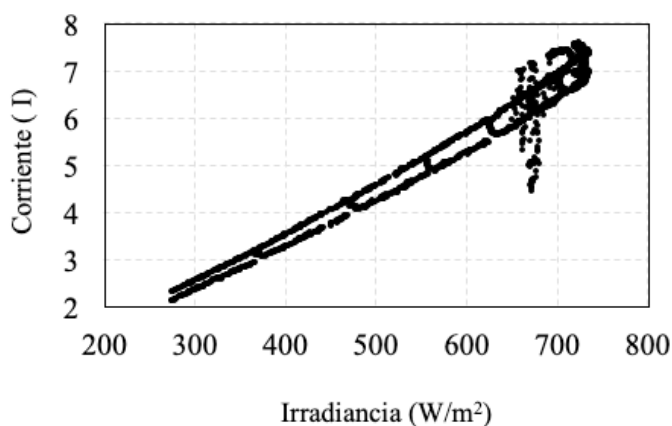


Figura 6. Comportamiento de la radiación respecto a la corriente que demanda el sistema

Fuente: (Claudio-Gómez, 2018).

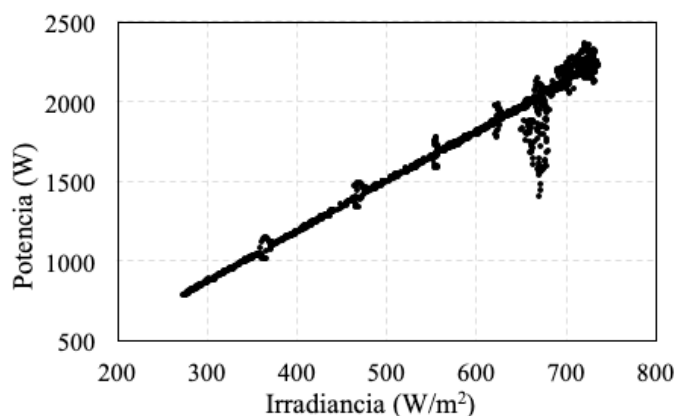


Figura 7. Dependencia de la potencia requerida por el sistema respecto a la radiación solar incidente.

Fuente: (Claudio-Gómez, 2018).

Conclusiones

En el presente trabajo se propone un sistema de NF/OIBP para la desalinización de agua salobre, energizado por paneles fotovoltaicos. El sistema propuesto se dimensionó a partir de las condiciones de calidad del agua presente en el pozo ubicado en las coordenadas x: 03611049, y: 3475986 (coordenadas en UTM), región 13N, situado en la localidad de Samalayuca, municipio de Juárez, en el estado de Chihuahua. De acuerdo a los resultados, el sistema de NF/OIBP debe contar con cuatro membranas de poliamida con una superficie total equivalente de 32 m², para una capacidad nominal de permeado de 12 L/min y un caudal de alimentación de 60 L/min. En los resultados del prototipo diseñado y evaluado se observó que, para presiones bajas los valores de SDT fueron próximos a 18 mg/L. Los resultados para las condiciones experimentales diseñadas para el caso de estudio con el sistema NF/OIBP, muestran una eficiencia de remoción de 98.3%.

Las membranas que utilizan los sistemas NF no evitan en su totalidad el flujo de la sal. Los compuestos monovalentes presentes en la mezcla logran pasar a través de la membrana con diferentes tasas de transferencias de permeado y sal, respectivamente. Sin embargo, el hecho de que el permeado y la sal tengan diferentes tasas de transferencia de masa, a través de una membrana, ocurre que, a bajas presiones la conductividad en el permeado sea ligeramente mayor y a presiones mayores la conductividad sea menor.

Con base en los datos meteorológicos históricos de radiación solar, Samalayuca, cuenta con el recurso solar suficiente para la dependencia de la potencia requerida por el sistema respecto a la radiación solar incidente. La zona de estudio presentó un alto potencial para la instalación de sistemas fotovoltaicos, con una gran incidencia solar, considerada como una de las más altas a nivel nacional. Por lo cual, el sistema fotovoltaico calculado para el sistema propuesto de NF/OIBP, está compuesto por 6 módulos de silicio policristalino con una potencia nominal de 240 W.

Por todo lo anterior, la NF/OIBP-FV, es una opción viable para tratar el agua salobre que se extrae en Samalayuca, que, en ciertas zonas, presentó altos contenidos de sulfatos, cloruros, sodio y zinc. En este orden de ideas, consideramos que con esta tecnología es posible proporcionar agua de calidad a los habitantes para irrigación agrícola, así como para consumo humano. Lo cual, se puede traducir en un nicho de oportunidades, al habilitar tierras hoy abandonadas o con altos grados de deterioro.

Debido al bajo requerimiento de presión hidráulica de la NF/OIBP-FV, Samalayuca cuenta con el recurso solar necesario para suministrar la energía requerida en la operatividad de los equipos, específicamente de la bomba, sin recurrir a la red eléctrica convencional, cualidad que generaría una optimización energética en el sistema. Por tal motivo, la NF/OIBP-FV tiene el potencial de contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la disminución del calentamiento global.

Finalmente, el diseño del prototipo y las evaluaciones con las condiciones del caso de estudio, cumplen con las necesidades de los usuarios y, proponen una alternativa tecnológica actualizada, para los sistemas de desalinización de agua que involucran el uso de energías renovables, con lo que se contribuirá a una mejora ambiental, económica y social, es decir, a un escenario sustentable.

Agradecimientos

Todos los autores agradecen a la Red Temática Conacyt de Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad (Red SUMAS), número de proyecto 293876, por el apoyo en la investigación.

Los autores agradecen al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y al proyecto 879 de Problema Nacionales.

Jonathan Ibarra Bahena agradece al proyecto CIC 2018 por el apoyo económico recibido.

Referencias

- Alfie Cohen, M. (2005). El agua en la Frontera de México-Estados Unidos: Reto político-ambiental. *Espacio Abierto*. 14 (2).
- Al-Zoubi, H. & Althyabat, S. (2012). Treatment of a Jordanian phosphate mine wastewater by hybrid dissolved air flotation and nanofiltration. *Mine Water and the Environment*, 31, pp. 214-224.
- Caviedes-Rubio, D. I., Muñoz-Calderón, R. A., Perdomo-Gualtero, A., Rodríguez-Acosta D. & Sandoval-Rojas I. J. (2015). Treatments for removal of heavy metals commonly found in industrial wastewater. A review. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), pp. 73-90.
- Claudio-Gómez O. G. (2018). Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable. (Tesis de Maestría). Centro de investigaciones en óptica. León, Guanajuato. pp. 53-54.
- CONAGUA. (2002). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Samalayuca, Estado de Chihuahua. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103571/DR_0810.pdf
- CONAGUA. (2011). Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/sequiasB.pdf>
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Samalayuca (0810) Estado de Chihuahua. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103571/DR_0810.pdf
- CONAGUA. (2017). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>.
- CSM (2009). Customer Satisfaction Membranes. Design Software. Recuperado de: <http://www.csmfilter.com/csm/03result/Software.asp>
- Dehesa-Carrasco, U., Ramírez-Luna, J. J., Calderón-Mólgora, C., Villalobos-Hernández, R. S., & Flores-Prieto, J. J. (2016). Experimental evaluation of a low pressure desalination system (NF-PV), without battery support, for application in sustainable agriculture in rural areas. *Water Science & Technology: Water Supply*. pp. 1-9.
- Dévora-Isiordia, G., González-Enríquez, R., & Ruíz-Cruz, S. (2013). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV (3), pp. 27-46.
- Fatehizadeh, A., Taheri, E., Amin, M. M. & Mahdavi, M. (2018). Sodium and potassium removal from brackish water by nanofiltration membrane: Single and binary salt mixture. *Desalination and water treatment*, 103, 65-71.
- Flores-Prieto, J.J., Ramírez-Luna, J.J., Calderón-Mólgora, C., Delgado-Quezada, E., & Morales-García, A. de J. (2015). Tratamiento de agua salobre mediante nanofiltración solar a baja presión para irrigación. *Tecnología y Ciencia del Agua*, vol. VI, (6), pp. 5-17.
- Granados-Olivas, A., Soto-Ontiveros, A. & García-Vásquez, A. C. (2017). Agua del Valle de Juárez: caso localidad de Praxedis. En Cervantes-Rendón, C. (Coord.), *El Valle de Juárez: Su historia, economía y ambiente para el uso de energía fotovoltaica* (pp.37-79). Ciudad Juárez, México: El Colegio de Chihuahua.
- IMIP (Instituto Municipal de Investigación y Planeación). (2010). Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Municipio de Juárez. Recuperado de: <http://www.imip.org.mx/imagenes/proyectos/planes/pdfs/POET.pdf>
- Koo, C.H., Mohammad, A.W., Suja, F., & Meor Talib, M.Z. (2013). Comparison of nanofiltration and reverse osmosis membranes performance subject to crossflow velocity effect during filtration of humic acids. *Proceedings of the 13th international Conference on Environmental Science and Technology*.
- Liu, S., Li, Z., Wang, C. & Jiao, A. (2013). Enhancing both removal efficiency and permeate flux by potassium sodium tartrate (PST) in a nanofiltration process for the treatment of wastewater containing cadmium and zinc. *Separation and Purification Technology*, 116, pp. 131-136.
- Madaeni, S. S. & Eslamifard, M. R. (2010). Recycle unit wastewater treatment in petrochemical complex using reverse osmosis process. *Journal of hazardous materials*, 174 (1-3), pp. 404-409.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, "Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

- NREL (2018). National Solar Radiation Database (NSRDB). Direct Normal Irradiation. Consultado en: <https://nsrdb.nrel.gov/nsrdb-viewer>
- Perevotchkikova, M. (2010). La problemática del agua: revisión de la situación actual desde una perspectiva ambiental. En Lezama, J. & Graizbord, B. (Coords.) Los grandes problemas de México (pp.61-104): CDMX, México: Colegio de México.
- Pérez-Blanco, R. E., Rodarte-Dávila, J., Paz-Gutiérrez, J. C., & Canales-Valdiviezo. (2011). Estudio de la incidencia solar en la región de Ciudad Juárez para caracterizar el potencial solar-energético. En Domínguez-Ruvalcaba, L. (Coord.), Recolección de energía eólica y solar para uso emergente. (pp. 11). Ciudad Juárez, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Richards, S. B. & Schäfer I. A. (2003). Photovoltaic-powered desalination for remote Australian communities. *Renewable energy*, 28, pp. 2013-2022.
- Shahmansouri, A. y Bellona, C. (2015). Nanofiltration technology in water treatment and reuse: applications and costs. *Water Science & Technology*, 71 (3), pp. 209-219.
- Van der Bruggen, B. & Vandecasteele, C. (2003). Removal of pollutants from Surface water. *Environmental Pollution*, 122, pp. 435-455.
- Werner, M., & Schäfer, A. I. (2007). Social aspects of a communities. *Desalination*, 203, pp. 375-393.
- Zarzo, D., Campos, E. & Terrero, P. (2013). Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalination and Water Treatment*, pp. 53-66.
- Zularisam, A. W., Ismail, A.F. y Salim, R. (2006). Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment- a review. *Desalination*, 194 (1-3), pp. 211-231

Calidad del agua subterránea en el estado de Chihuahua: retos y logros en la búsqueda de soluciones sustentables para el agua de consumo.

María Socorro Espino Valdés¹

Resumen

En el estado de Chihuahua el agua subterránea es el principal recurso para el abastecimiento público, así como para usos industriales y el riego agrícola. En los últimos años la mayoría de los acuíferos existentes en el estado han sido sometidos a sobreexplotación a causa de los continuos incrementos en la demanda de agua asociados al crecimiento de las poblaciones.

Los efectos de la sobreexplotación se han manifestado en los descensos de los niveles freáticos, con consecuencias directas en altos costos de extracción y el deterioro en la calidad del agua. Dicho deterioro se ha manifestado por la presencia en cantidades anómalas de algunos constituyentes del agua que tienen importancia para la salud y/o la aceptación del agua por los consumidores. Entre éstos se encuentran el arsénico, flúor, sulfatos, nitratos y otros, cuya presencia en altas concentraciones limitan su uso para el consumo humano. La autoridad estatal responsable del suministro de agua potable a las poblaciones (Junta Central de Agua y Saneamiento) ha enfrentado la problemática de calidad del agua subterránea en varias localidades del estado de Chihuahua instalando sistemas de tratamiento en base a procesos de ósmosis inversa, los cuales son operados por los habitantes de las comunidades afectadas, bajo la supervisión del personal técnico del citado organismo.

Los sistemas instalados y operados en más de 320 localidades chihuahuenses a lo largo de casi dos décadas han venido a resolver el problema de consumo de agua con constituyentes problemáticos como el arsénico y el flúor, elementos típicos en las regiones áridas y, particularmente, donde los volúmenes de extracción del agua subterránea superan a los de recarga natural.

Palabras clave: agua subterránea, arsénico, flúor, plantas desmineralizadoras

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua

1. Introducción

1.1 El agua en las zonas desérticas

Las aguas subterráneas constituyen un recurso invaluable, especialmente en las regiones áridas y semiáridas, en las cuales los recursos hídricos superficiales son mínimos o prácticamente inexistentes. De acuerdo con Richley et al. (2015) aproximadamente el 35 % de la población mundial se abastece con agua proveniente de los acuíferos.

La explotación racional de las aguas subterráneas ha sido siempre un elemento clave en el desarrollo económico de las poblaciones. Sin embargo, la extracción de agua de un acuífero en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación ocasiona la sobreexplotación del mismo, ocasionando en determinados casos, problemas ambientales que favorecen los procesos de desertificación (Pulido, 2001). De acuerdo con Auge (2007) la disminución en el volumen de agua subterránea viene acompañada de una densa cantidad de sustancias contaminantes que afectan el agua, suelo y aire.

1.2 Problemática del agua en Chihuahua

En el estado de Chihuahua el agua subterránea es el principal recurso para el abastecimiento público, así como para usos industriales y el riego agrícola. Sin embargo, de los 61 acuíferos que existen en el estado, 30 se encuentran sin disponibilidad para nuevas concesiones (DOF, 2018) debido a que presentan condiciones de sobreexplotación.

Desde fechas anteriores se han venido observando diversos problemas relacionados con la calidad del agua para abastecimiento en varias poblaciones del estado de Chihuahua. La presencia de ciertos constituyentes en concentraciones superiores a las establecidos en la normatividad para agua potable limita su uso para el consumo humano, especialmente cuando se trata de parámetros con posibles efectos en la salud. Entre los constituyentes de este tipo se encuentra el arsénico, cuya presencia en altas concentraciones en las aguas subterráneas se ve favorecida por las condiciones áridas o semiáridas como resultado de altas tasas de evaporación y meteorización (Smedley & Kinniburgh, 2001).

El arsénico se encuentra de manera natural en el medio ambiente, pero actividades humanas han contribuido a incrementar su concentración tanto en agua, como en suelos y aire. Hoy en día se ha reconocido que la exposición al arsénico conduce a la carcinogénesis, siendo el agua potable una ruta importante, y posiblemente la dominante, como vía de exposición en el ser humano (Domínguez, 2013). Según Lillo (2007), el arsénico es responsable de ocasionar diversas afecciones como alteraciones de la piel con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastro-intestinal, sistema circulatorio y acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones. Su comprobada carcinogenicidad ocasiona daños en el sistema nervioso central de carácter irreversible, cáncer de vejiga y riñones, al igual que deformaciones congénitas.

De igual importancia que el arsénico es el caso del flúor, el cual se encuentra disuelto en el agua en forma de fluoruros. También produce efectos significativos en los seres humanos a través del consumo de agua potable, ya que, al ser ingerido en altas concentraciones, es responsable de la fluorosis dental, fluorosis ósea y otros efectos adversos.

Las altas concentraciones de flúor frecuentemente se encuentran asociadas a la presencia de hidrotermalismo, como resultado de la actividad volcánica, misma que existe o ha existido en grandes áreas del planeta. Ayoop y Gupta (2006) estiman que aproximadamente 200 millones de personas están destinadas a presentar fluorosis. China e India son los países con mayor problema de fluorosis, con un estimado de 60 millones de afectados entre ambas naciones.

La fluorosis dental inicia en la etapa de desarrollo de los dientes y se caracteriza por la presencia de manchas blancas, opacas o amarillas. La fluorosis ósea se manifiesta mediante deformaciones severas en columna y extremidades superiores e inferiores. Esta condición lleva al flúor a ser considerado como responsable de una problemática de salud a nivel mundial (CFDW, 2006).

2. Alternativas tecnológicas para enfrentar los problemas de calidad del agua

Existen diversas tecnologías disponibles para la remoción de contaminantes a nivel molecular, tales como los compuestos de arsénico y flúor, al igual que otros constituyentes del agua que se encuentran en forma disuelta. Algunas de las más conocidas son la adsorción con alúmina activada, el intercambio iónico, la electrodiálisis, la ultrafiltración y la ósmosis inversa, entre otras.

En el caso del estado de Chihuahua la alternativa seleccionada para resolver el problema del agua con altos contenidos de arsénico, flúor y otros tipos de contaminantes indeseables fue el empleo de sistemas operados mediante el proceso de ósmosis inversa.

2.1 Proceso de ósmosis inversa

Consiste en una tecnología a base de membranas que ha resultado ser muy eficiente para la purificación del agua. El proceso es altamente confiable, simple y de gran utilización en la actualidad (Manchanda & Kumar, 2017). Se basa en la aplicación de presión al agua con alto contenido salino, de manera que se obliga a las moléculas de agua a pasar a través de membranas semipermeables, reteniendo en otra sección del sistema a las partículas de mayor tamaño. La presión aplicada debe ser suficiente para vencer la presión osmótica del líquido, de ahí el nombre de la técnica. Al flujo de agua con impurezas se le conoce como rechazo o salmuera. El volumen del rechazo equivale a aproximadamente al 50% del volumen original, por lo que las concentraciones de los materiales disueltos en él prácticamente se duplican.

2.2 Instalación y operación de la primera planta de ósmosis inversa en el estado

La problemática de calidad del agua subterránea en Chihuahua se hizo presente una vez que fueron detectadas grandes cantidades de sulfatos, sodio, dureza, flúor y arsénico en varias comunidades enclavadas en las áreas desérticas y semidesérticas del estado. Ante tal situación, en el organismo operador de agua (Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua, o JCAS) se tomó la decisión de llevar a efecto el tratamiento del agua que sería destinada al consumo directo, mediante algún método que resultase técnica y económicamente factible para proporcionar agua de buena calidad a la población.

La primera acción, a manera de prueba piloto, se llevó a cabo en el año 1999 en la localidad denominada Leyes de Reforma, en el municipio de Camargo. El objetivo fue tratar el agua subterránea destinada para el consumo de la población, misma que había sido caracterizada con grandes concentraciones de sólidos disueltos (1,136 mg/L), sulfatos (548 mg/L), cloruros (248 mg/L), arsénico (0.085 mg/L) y flúor (4.1 mg/L) entre otros parámetros (JCAS, 1999).

Se seleccionó un sistema consistente de varios procesos en serie para el tratamiento de un determinado caudal de agua subterránea que pudiera abastecer a la comunidad local con un volumen suficiente para cubrir sus necesidades diarias de agua para consumo y elaboración de alimentos. La primera etapa consistió en un sistema de filtros de arena y carbón para remover sólidos suspendidos, seguido de un sistema de resinas de intercambio iónico para eliminar la dureza del agua; posteriormente, la implementación de membranas de ósmosis inversa para remoción de los demás iones disueltos causantes de la mala calidad del agua.

Al agua desmineralizada se aplicó la dosis requerida de cloro para asegurar el poder residual desinfectante, antes de ser almacenado para su posterior entrega a la comunidad. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo de las etapas que integran el proceso descrito.

Los resultados de la calidad del agua de entrada y salida del sistema piloto de desmineralización mostraron eficiencias entre 97 % y 99 %, dando como resultado un agua con calidad en cumplimiento de la norma de agua potable (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994). Los costos de operación fueron muy bajos, dado que el volumen de agua tratado es muy pequeño en comparación con el caudal total de extracción de la fuente de agua original.

2.3 Instalación de otras plantas

Ante los exitosos resultados de la operación de la primera planta desalinizadora, en el año 2001 se programó la instalación de 30 plantas con capacidad de 5,000 litros diarios. Se seleccionaron algunas comunidades rurales del municipio de Meoqui, en donde la principal problemática detectada en la mayoría de las fuentes de agua subterránea fue el flúor con algunos valores superiores a 8 mg/L y, en algunos casos, también el arsénico. La continuación del programa se efectuó en el 2002, al instalar otras 17 plantas desalinizadoras distribuidas principalmente en Delicias, Camargo, Belisario Domínguez y San Francisco de Conchos. En el año 2003 se instalaron 40 plantas más, entre las que destacan 8 comunidades del municipio de Julimes, cuya agua subterránea destinada a consumo humano presentó concentraciones muy altas de arsénico y/o flúor. Entre ellas se cuentan también plantas instaladas en los municipios de Saucillo, La Cruz, así como en la comunidad de Anapra del Valle de Juárez. En el CUADRO 1 se muestran varios resultados de la operación de algunas de las plantas existentes para este año (JCAS, 2003). En la Figura 1 se pueden observar algunos resultados sobresalientes de remoción de arsénico, flúor, sodio y conductividad eléctrica analizados en el año 2003 en 5 comunidades: El Progreso, Meoqui; Col. 10 de Mayo, Meoqui; San José, Julimes; La Esperanza, Julimes y Armendáriz, Delicias.

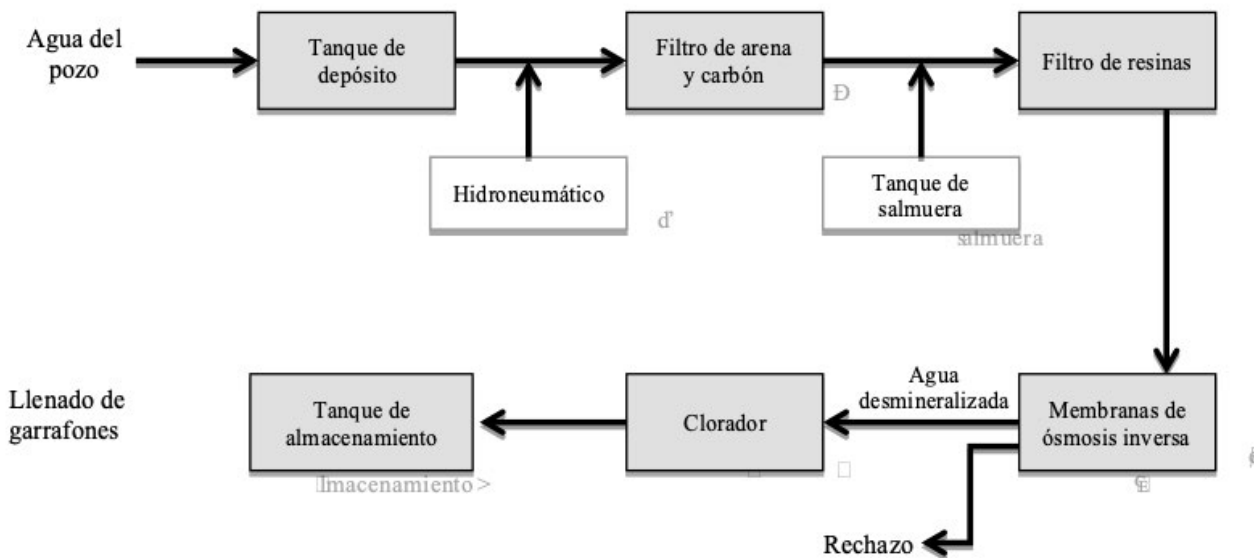


Figura 1. Diagrama del proceso de desmineralización.
Fuente: elaboración propia.

Entre los años 2004 y 2011 la Junta Central de Agua y Saneamiento instaló 256 plantas más, dando un total de 327 plantas distribuidas en 46 municipios, con alrededor de 517,000 personas beneficiadas (CUADRO 2).

En la Gráfica 2 se aprecia el comportamiento de la planta de la localidad de San José, en el municipio de Julimes, para los años 2003 y 2018.

Tabla 1. Resultados parciales del agua de entrada y salida de algunas plantas desmineralizadoras instaladas en el estado de Chihuahua (JCAS, 2003)

LOCALIDAD	MUNICIPIO	PUNTO DE MUESTREO	PARÁMETRO*					
			Arsénico	Fluoruros	Conduc. Eléctrica	Sulfatos	Dureza	Sodio
		(LMP)**	(0.025)	(1.50)	-	(400)	(500)	(200)
Col. Armendáriz	Delicias	Entrada	0.121	2.89	1161	170.0	73.7	354.0
		Salida	N.D.	< 0.2	14	< 10	< 2	3.0
Col. 10 de Mayo	Meoqui	Entrada	0.394	5.03	1550	364.0	59.0	437.0
		Salida	0.001	< 0.20	45	< 10	< 2	12.0
Col. El Progreso	Meoqui	Entrada	0.404	6.27	944	132.0	46.6	288.0
		Salida	N.D.	< 0.20	15	< 10	< 2	3.0
Col. Esperanza	Julimes	Entrada	0.150	3.52	1652	490.0	206.4	365.0
		Salida	0.003	0.25	87	17.0	6.3	19.0
Col. Nuevo Loreto	Meoqui	Entrada	0.012	1.65	1840	640.0	359.7	359.0
		Salida	N.D.	< 0.2	29	< 10	< 2	6.0
Col. 86-4 (Ejido Diez)	Delicias	Entrada	0.016	2.92	671	148.0	118.7	170.0
		Salida	N.D.	< 0.2	38	< 10	7.3	9.0
Col. Vicente Guerrero	Delicias	Entrada	0.011	1.13	1483	680.0	534.0	292.0
		Salida	N.D.	< 0.2	29	< 10	6.6	7.0
El Ranchito	Meoqui	Entrada	0.029	1.72	961	320.0	184.4	184.0
		Salida	N.D.	< 0.20	53	< 10	4.4	11.0
El Torreón	Meoqui	Entrada	0.029	1.86	1443	584.0	304.7	252.0
		Salida	N.D.	0.20	26	< 10	5.3	4.0
Estación Consuelo	Meoqui	Entrada	0.056	1.95	732	145.0	91.2	167.0
		Salida	N.D.	< 0.20	10	< 10	< 2	3.0
Felipe Ángeles	Meoqui	Entrada	0.098	3.14	971	290.0	143.6	225.0
		Salida	0.001	< 0.20	50	< 10	8.7	11.0
Las Carolinas	Meoqui	Entrada	0.031	1.14	831	152.0	189.9	134.0
		Salida	N.D.	< 0.20	41	< 10	< 2	12.0
Las Puentes	Meoqui	Entrada	0.046	2.46	811	162.0	190.5	152.0
		Salida	N.D.	< 0.20	41	< 10	6.8	6.0
Lázaro Cárdenas	Meoqui	Entrada	0.021	1.77	740	118.0	160.0	127.0
		Salida	ND	< 0.2	20	< 10	< 2	6.0
Lomas del Consuelo	Meoqui	Entrada	0.038	1.64	1484	496.0	266.8	311.0
		Salida	N.D.	< 0.20	37	< 10	2.9	9.0
Loreto	Meoqui	Entrada	0.064	3.27	922	384.0	244.6	219.0
		Salida	N.D.	< 0.20	29	< 10	5.8	7.0
Los García	Meoqui	Entrada	0.070	3.04	1441	260.0	271.6	358.0
		Salida	N.D.	< 0.20	33	< 10	< 2	7.0
Nuevo San Lucas	Meoqui	Entrada	0.011	1.39	726	96.0	205.7	106.0
		Salida	0.001	0.34	233	18.0	26.1	53.0
Potrero del Llano	Meoqui	Entrada	0.141	3.38	1303	170.0	64.5	345.0
		Salida	N.D.	0.20	19	< 10	2.4	6.0

* Unidades en mg/l, excepto en Conductividad Eléctrica (mS/cm)

** LMP = Límite Máximo Permisible (Mod. NOM-127-SSA1-1994)

N.D. = No Detectado

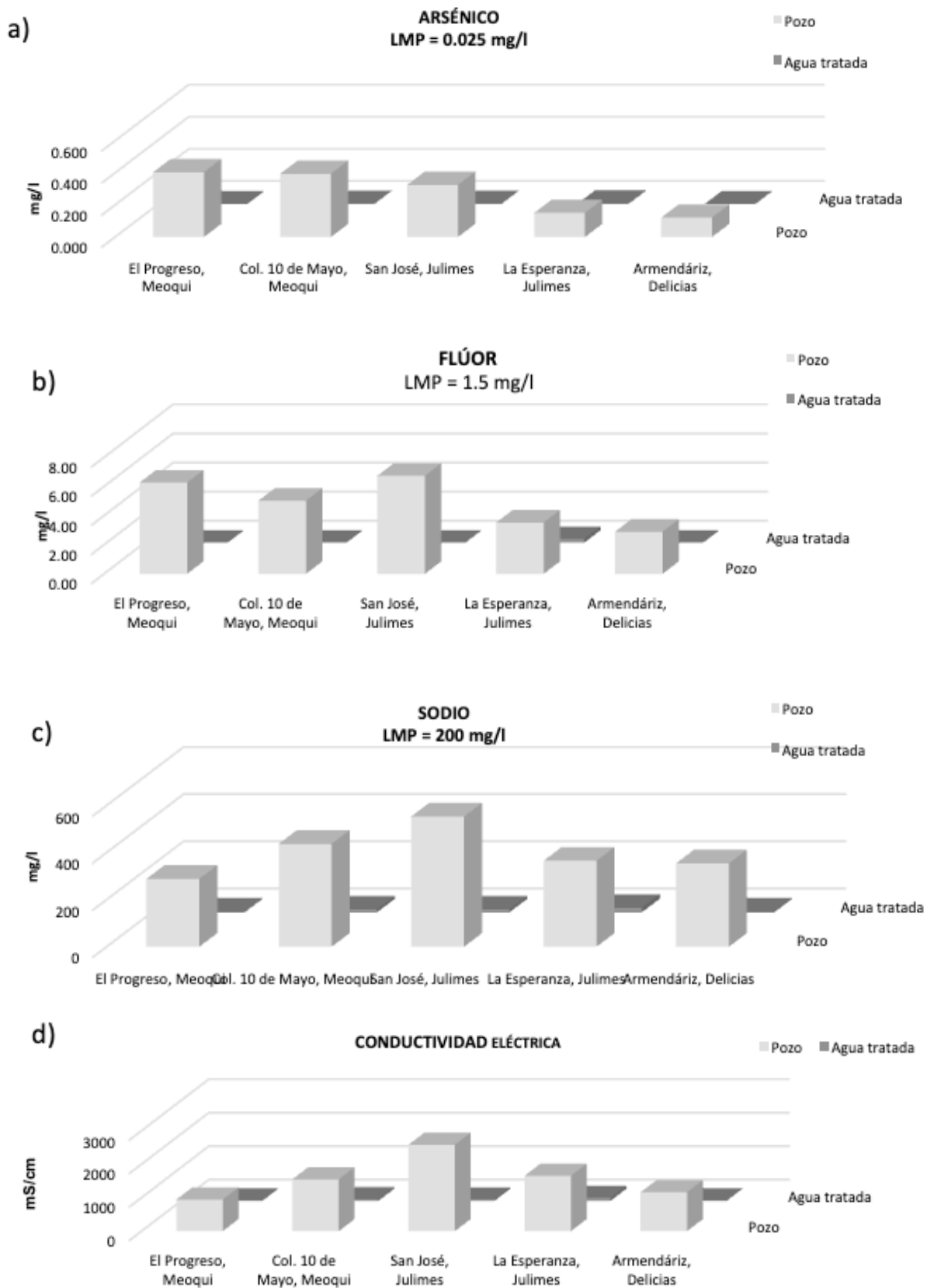


Figura 2. Comparación de resultados de: a) arsénico, b) flúor, c) sodio y d) conductividad eléctrica en el agua del pozo y el agua tratada de 5 plantas desmineralizadoras (JCAS, 2003).

Tabla 2. Resumen de plantas desmineralizadoras de agua subterránea instaladas en el estado de Chihuahua (JCAS, 2011)

MUNICIPIO	No. de plantas	Habitantes beneficiados
Ahumada	15	14,237
Aldama	13	31,728
Allende	4	1,955
Aquiles Serdán	1	1,973
Ascensión	7	17,769
Bachíniva	1	1,012
Balleza	1	2,450
Buenaventura	9	16,489
Camargo	23	76,978
Casas Grandes	6	4,677
Coronado	3	402
Coyame	4	572
La Cruz	9	3,263
Cuauhtémoc	9	17,519
Cusihuirachi	1	*
Chihuahua	1	1,541
Delicias	17	35,649
Dr. Belisario Domínguez	6	1,529
Galeana	5	3,645
Gran Morelos	2	797
Guadalupe D. B.	6	8,641
Guerrero	1	126
Hidalgo del Parral	5	28,078
Ignacio Zaragoza	2	394
Janos	1	389
Jiménez	19	32,198
Juárez	6	54,552
Julimes	11	4,334
López	2	2,161
Manuel Benavides	2	949
Meoqui	30	17,095
Moris	2	379
Namiquipa	15	6,214
Nonoava	2	1,498
Nuevo Casas Grandes	7	56,533
Ojinaga	12	20,566
Praxedes G. Guerrero	9	8,277
Riva Palacio	5	635
Rosales	11	6,680
Rosario	5	866
San Fco. de Borja	2	2,824
San Fco. de Conchos	5	2,149
Satevó	5	1,308
Saucillo	19	19,556
El Tule	4	1,495
Valle Zaragoza	2	177
* Fuera de operación		

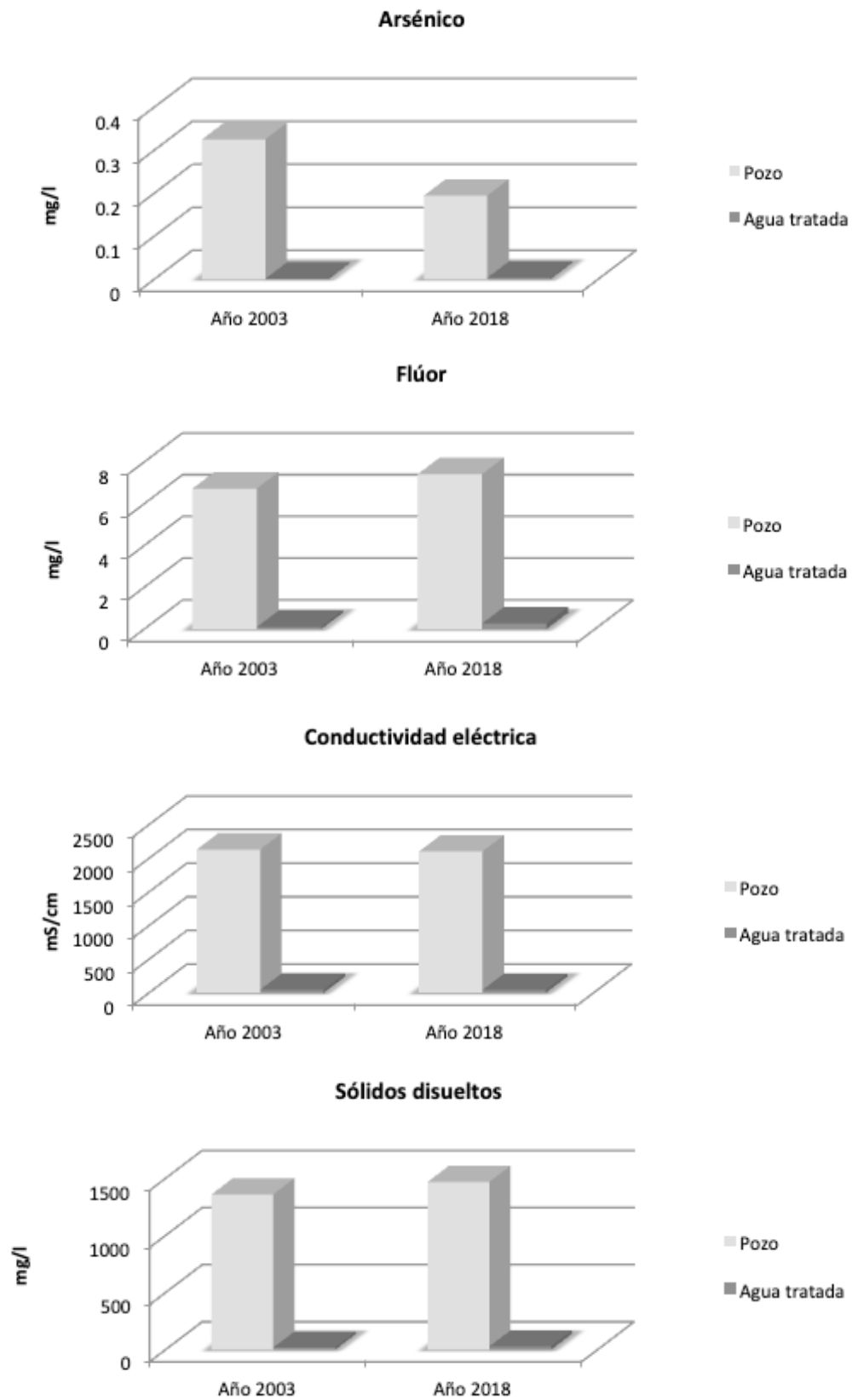


Figura 3. Remoción de a) arsénico, b) flúor, c) conductividad eléctrica y d) sólidos disueltos en el sistema de tratamiento de la localidad de San José, Julimes, en los años 2003 y 2018. Fuentes: JCAS (2003) y Hernández (2019)

2.4 Volumen, calidad y destino del agua de rechazo

Con frecuencia se ha considerado como un gran inconveniente de los sistemas de desmineralización por ósmosis inversa al probable destino del agua de rechazo, argumentado que ésta contiene altas concentraciones de materiales indeseables, cuyo destino final tiene repercusiones en detrimento del medio ambiente circundante, ya sea el suelo o algún cuerpo receptor de agua. Con el fin de emitir un comentario objetivo al respecto se realizó el análisis que se presenta a continuación, el cual permite aclarar dicha interrogante.

Tomando como base una comunidad de 700 habitantes y una dotación de agua potable de 250 l/hab-día, se calcula un consumo equivalente a 175,000 litros diarios con una supuesta concentración alta de arsénico de 0.150 mg/L. Este volumen de agua potable corresponde a aproximadamente 130,000 litros diarios de aguas negras que son descargadas al sistema de alcantarillado sanitario. Suponiendo que la concentración de arsénico en el agua de descarga es similar a la del agua original del pozo (0.150 mg/L), el equivalente en masa diaria de As sería de 19,500 mg/d.

Para una población de tal tamaño la operación de una planta desmineralizadora por ósmosis inversa de 5,000 l/d permitiría otorgar un volumen diario aproximado de 7 litros por persona de agua de primera calidad, con una concentración de arsénico aproximada de 0.001mg/L. De acuerdo con los criterios técnicos típicos de operación de estas plantas, el volumen de rechazo descargado por la planta sería 2,500 l/d, con una concentración de arsénico de 0.30 mg/L. Este resultado deriva de un simple balance de masa en mg/d para este elemento entre lo que entra y sale de la planta en términos de caudales de agua y concentraciones de As. Dado lo anterior, la masa resultante de arsénico en el rechazo sería de 750 mg/d, los cuales, sumados a los 19,500 mg/d de dicho elemento que se transportan en el sistema de colección de aguas negras, y divididos entre el gasto total de descarga (132,500 l/d) nos arroja una concentración de 0.152 mg/L de arsénico. Este valor es apenas ligeramente superior a la concentración del agua residual sin tratamiento, con lo que se demuestra la mínima afectación que el volumen diario del rechazo tendría en el caudal de agua de descarga hacia un cuerpo receptor o a una planta de tratamiento. Por otra parte, en el supuesto caso de que dicho caudal fuese utilizado para el riego agrícola, dicha concentración de As cumple con los lineamientos para uso en riego agrícola de la NOM-001-ECOL-1996, que corresponden a 0.2 mg/L de arsénico como valor promedio mensual y 0.4 mg/L como valor promedio diari

2.5 Retos pendientes

No obstante, las acciones realizadas para evitar riesgos a la salud por ingesta de arsénico y/o flúor a más 500,000 habitantes del estado, existen pequeñas comunidades con difícil acceso a las plantas de tratamiento, por lo que requieren contar con un proceso de eliminación de elementos indeseables en el agua que sea económico, eficiente y de fácil operación.

Por otra parte, dado que gran parte de las localidades donde se presenta el problema de mala calidad del agua son áreas agrícolas, existe la incertidumbre de si la presencia de arsénico y otros elementos en el agua de riego pueden contribuir a trasladar el problema de dichos elementos a través de la cadena agua-suelo-cultivo. Este tema ha sido abordado en pocos estudios como el de Domínguez (2013), sin embargo, se requieren otras investigaciones enfocadas a la determinación de la fuente de los constituyentes indeseables, su movilización y su posterior transporte, a fin de evaluar si su presencia en el agua subterránea representa actualmente un impacto negativo en la actividad agrícola.

Conclusiones

La instalación y operación de los sistemas de ósmosis inversa en más de 300 localidades del estado de Chihuahua ha resultado ser una alternativa eficiente para resolver el problema de mala calidad del agua subterránea destinada al consumo de más de 500,000 habitantes.

Los resultados obtenidos con dichos sistemas han demostrado que el agua no sólo cumple con la

normatividad para el agua potable establecidos en nuestro país, sino que también quedan dentro de los estándares de calidad definidos a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud) y otros países (Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos, o EPA).

Aunque esta medida ha venido a resolver en gran parte el problema de calidad del agua subterránea en pequeñas comunidades del estado de Chihuahua, existen otros retos por resolver, entre los que se incluyen la disposición de los residuos de los procesos de una manera amigable con el medio ambiente, dentro del mayor marco de sustentabilidad posible.

Referencias

- Auge, M. (2007). AGUA FUENTE DE VIDA. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina
- Ayoop, S. y A. K. Gupta (2006). Fluoride in Drinking Water: A Review on the Status and Stress Effects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 36, pp. 433-487.
- CFDW (2006). Committee on Fluoride in Drinking Water, National Research Council. National Academic of Sciences. Fluoride in Drinking Water a Scientific Review of EPA's Standards. National Academies Press. <http://www.nap.edu/catalog/11571.html>
- DOF (2018). Diario Oficial de la Federación. Acuerdo por el cual se actualiza la disponibilidad de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las Regiones Hidrológico-Administrativas que se indican. 04 de enero de 2018.
- Domínguez, F. A. (2013). Evaluación de sitio en cultivos de alfalfa en relación a la presencia de arsénico en el agua subterránea de Julimes, Chih. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, UACH. Chihuahua. México.
- Hernández, C. (2019). Desalinización de agua con alto contenido de arsénico mediante un sistema de destilación solar. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, UACH. Chihuahua. México
- JCAS (1999). Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua. Archivo de Calidad del Agua del Departamento de Calidad del Agua.
- JCAS (2003). Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua. Programa: Monitoreo y Análisis de Calidad del Agua en las Localidades Emplazadas en el Acuífero Jiménez-Camargo y Delicias-Meoqui. Chihuahua, Chih.
- JCAS (2011). Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua. Archivo de Calidad del Agua del Departamento de Calidad del Agua.
- Lillo, J. (2007). Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en aguas. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Universidad Rey Juan Carlos, Tulipan s/n 28933 Mostoles (Madrid), España. Curso online.
- Manchanda, H. and M. Kumar (2017). Study of Water Desalination Techniques and a Review on Active Solar Distillation Methods. Department of Mechanical Engineering, Guru Jambheshwar University of Science and Technology, Hisar, Haryana 125001, India; Published online 11 June 2017 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI 10.1002/ep.12657a
- Modificación a la NOM-127-SSA1-1994. (2000). Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de la Salud. México D.F. Publicada en el DOF. 20 de octubre de 2000.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. (1996) Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Pulido B., A. (2001). Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible. Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería (España) <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2138050.pdf>
- Richley, A. S., B. F. Thomas, M. H. Lo, J. T. Reager, J. S. Famiglietti, K. Voss, S. Swenson, and M. Rodell (2015). Quantifying renewable groundwater stress with GRACE, *Water Resour. Res.* 51, 5217-5238, doi:10.1002/2015WR017349.
- Smedley P. L. y Kinniburgh D. G. (2001). Chapter 1- Source and behaviour of arsenic in natural waters. En: United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenic3/en/



La obra “Problemáticas del agua y medidas sustentables en estados desérticos de México, Chihuahua” se terminó de editar el 30 de septiembre de 2019 en el Instituto Tecnológico de Sonora, en Ciudad Obregón, Sonora, México.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio www.itson.mx en la sección Editorial ITSON

Los estados de Sonora y Chihuahua comparten problemáticas relacionadas con el agua, y que en base a los diferentes escenarios de cambio climático estos problemas podrían incrementarse, por ello en este tomo correspondiente al estado de Chihuahua se presenta un panorama sobre la situación hídrica del estado desde las perspectivas económicas, ambientales y sociales con ejemplos de proyectos que se han desarrollado en el estado para el tratamiento del agua.

Dr. Germán Eduardo Dévora Isiordia, es Ingeniero Químico, con Posdoctorado en la Universidad de Arizona, USA. Especialista en tratamiento de aguas y Procesos de Desalinización por sistemas térmicos y de membranas. Su trabajo se centra principalmente en el diseño y puesta en marcha de procesos para brindar agua de calidad, además del tratamiento y acondicionamiento de aguas de desecho según normatividad vigente para el sector industrial, agrícola, pecuario y de consumo humano. Acopla a los procesos que diseña el uso de energías renovables. De esta manera contribuye al control del cambio climático. Por otra parte, brinda justicia social al desarrollar proyectos de investigación para comunidades costeras alejadas del suministro de agua potable y energía eléctrica. Suministra agua de calidad con el empleo de energía solar y materiales cambio de fase.



Dra. Esmeralda Cervantes Rendón, es Química Industrial, con Doctorado en Investigación por El Colegio de Chihuahua. Se especializa en la investigación de temas socioambientales relacionados a problemáticas de agua, energía y cambio climático, por medio del análisis bibliométrico y cuantitativo con un enfoque interdisciplinario en colaboración con redes temáticas y otros cuerpos académicos, buscando además un diálogo entre la sociedad y la academia a través de eventos con acceso a la población interesada. Con ello contribuye al diagnóstico de problemáticas ambientales considerando factores sociales. Por otro lado, desde el 2007 coordina la Biblioteca Virtual Ambiental del Estado de Chihuahua con información de acceso abierto, disminuyendo la brecha digital entre la población del estado de Chihuahua.

