

Agua subterránea en Norteamérica, un caso de estudio: riesgo de contaminación y uso de los manantiales en San Simón Almolongo, Oaxaca, México¹

Underground Water in North America, a Case Study:
The Risk of Contamination and the Use of Springs
In San Simón Almolongo, Oaxaca, Mexico

ABISAÍ ARAGÓN CRUZ*

JOSÉ RUDIER LÓPEZ HERNÁNDEZ**

OMAR ÁVILA FLORES***

RESUMEN

Los países que integran la región de Norteamérica enfrentan dificultades hídricas relacionadas con la salubridad del agua, donde las comunidades rurales y poblaciones indígenas son las más afectadas por esta problemática. El diverso uso que se da a las fuentes de abastecimiento complejiza el escenario, pues la utilización de agua contaminada afecta considerablemente el acceso y disposición suficiente, aceptable y asequible. Bajo este escenario, en la investigación se identificó el uso y el riesgo de contaminación de manantiales en San Simón Almolongo, Oaxaca, México. Los principales resultados indican que la utilización predominante del recurso es para consumo humano y actividades de agricultura; además, existen factores potenciales de contaminación como el uso de fertilizantes y la presencia de viviendas habitadas sin drenaje, por lo que es necesario fortalecer los sistemas de gestión e instituciones para el manejo adecuado del recurso.

Palabras clave: agua subterránea, saneamiento, contaminación, manantiales.

ABSTRACT

The countries of North America are facing water sanitation difficulties, which have affected rural communities and indigenous populations the most. The different uses of water sources complicate things more, since the use of contaminated water considerably affects the access and availability of sufficient, acceptable, affordable water. In this scenario, the research project

¹ Para la realización del estudio “Geolocalización, calidad del agua y gestión comunitaria de los acuíferos, San Simón Almolongo, Oaxaca”, agradecemos a las autoridades municipales, comités de agua potable y habitantes del municipio de San Simón Almolongo, Oaxaca, por compartir su conocimiento sobre la gestión comunitaria del agua; sin su apoyo, esta investigación no hubiese sido posible. También, agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento, a través del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación.

* Instituto de Estudios Municipales, Universidad de la Sierra Sur, <abisai.aragon.cruz@gmail.com>.

** Instituto de Estudios Municipales, Universidad de la Sierra Sur, <jrudierlhdz@gmail.com>.

*** Instituto de Estudios Municipales, Universidad de la Sierra Sur, <aformar_1@hotmail.com>.

identified the use and risk of contamination of springs in San Simón Almolongo, Oaxaca, Mexico. The main results indicate that the water is predominantly used for human consumption and agriculture, and that potential factors of contamination exist, such as the use of fertilizers and housing without proper drainage. This makes it necessary to strengthen management systems and institutions to properly handle the water.

Key words: underground water, sanitation, contamination, springs.

INTRODUCCIÓN

En los primeros meses del año 2021, diversos portales de noticias periodísticas en México enfatizaron la problemática de la escasez del agua, principalmente en las ciudades y zonas metropolitanas. El reporte del diario *Animal Político* (2021) evidenció un déficit del recurso en los hogares, situación que se ha agravado por la demanda del líquido en la emergencia sanitaria por COVID-19. *El Universal* (Jiménez, 2021) y *El Economista* (Ayala Espinosa, 2021) documentaron el desabasto de agua potable en la Ciudad de México y las implicaciones que tendría para los habitantes la autorización de nuevos desarrollos inmobiliarios. Por su parte, el periódico *Milenio* (Barajas, 2021) evidenció la problemática de escasez en la zona urbana de Guadalajara, lo que obligó a implementar un sistema de tandeo en la repartición del recurso entre los habitantes y a hacer la declaratoria de emergencia, lo que también fue confirmado por la revista *Proceso* (Reza, 2021). A nivel nacional, el periódico *La Jornada* (Carbajal, 2021) mostró que el estrés hídrico también afecta a la producción agrícola, lo cual genera pérdidas económicas.

Lo anterior se da en un contexto global donde el agua subterránea representa el 0.6 por ciento del recurso disponible en el planeta; gran parte del volumen (el 97.2 por ciento) proviene de los océanos y en menor medida existe una reserva en los glaciares, lagos, ríos, entre otras fuentes de abastecimiento (Guerrero Legarreta, 2006).

El recurso hídrico, al ser mayormente de composición salada, dificulta su uso directo. La cantidad de agua dulce disponible para el aprovechamiento humano es mínima, y además se encuentra distribuida de forma desigual; por ejemplo, el continente americano (integrado por Norteamérica, Centroamérica, el Caribe y Sudamérica) concentra la mayor disponibilidad, que representa casi un 47 por ciento del total de agua renovable a nivel mundial; pero es en Norteamérica (7 890 km³/año) y de manera particular en Sudamérica (12030 km³/año) donde se encuentra un importante volumen del recurso (Agua para las Américas, 2003; Guerrero Legarreta, 2006).

Esta distribución natural, así como el tamaño de la población, las actividades económicas, la gestión o algunos otros factores ocasionan que regiones, países o al

interior de éstos persistan problemas de acceso y repartición; mientras unos tienen abundancia, otros padecen de severa escasez (Agua para las Américas, 2003; Carabias *et al.*, 2005). México, Estados Unidos y Canadá son algunos de los países que enfrentan problemas y desafíos hídricos estratégicos. En el primer caso, el agua se encuentra distribuida físicamente de manera heterogénea en el territorio nacional. En la zona norte, centro y noroeste, que agrupan el 56 por ciento de los municipios y alcaldías, existe una relativa baja disponibilidad, con 149 544 hm³/año de agua renovable; mientras que en el sureste se acentúa una mayor abundancia, con 302 041 hm³/año. Esto implica dos escenarios distintos: el uso eficiente, conservación, reuso; y la protección contra inundaciones, la gestión del drenaje para la producción agrícola, y la operación de la infraestructura hidroeléctrica (Carabias *et al.*, 2005; Conagua, 2018a).

En Estados Unidos, la situación hídrica también es preocupante, pues el balance general indica un grado de escasez respecto a la demanda. A pesar de su desarrollo económico, enfrenta dificultades similares a las otras regiones de Norteamérica. La disponibilidad y existencia del recurso depende de la magnitud y tiempo de precipitación que varían conforme el tipo de clima: se encuentran las zonas relativamente húmedas (al este), donde hay inundaciones moderadas o severas y, por otra parte, se ubican las zonas secas al oeste (Vaux Jr., 2012).

En este contexto, Canadá, a pesar de una aparente abundancia del recurso, enfrenta serios problemas de consumo per cápita, el cual sólo es menor al de Estados Unidos, pero es el doble de los países europeos. Existe una amenaza de disponibilidad, principalmente de las aguas subterráneas, situación que se agrava con la distribución espacial poco equitativa del recurso hídrico superficial (Hipel *et al.*, 2012).

Hasta ahora, se ha descrito la dificultad de disponibilidad del recurso hídrico en los países de Norteamérica, que también enfrentan problemáticas de salubridad del agua subterránea, situación que se explica enseguida, no sin antes aclarar que su análisis se fundamenta en los principios ecosistémicos y de integralidad de los sistemas complejos, precisamente en el marco teórico. Seguido de ello, se describe la contaminación del recurso hídrico en Norteamérica y finalmente se enuncia el caso de estudio de San Simón Almolongo, municipio del estado de Oaxaca, México.

SISTEMAS COMPLEJOS EN LA GESTIÓN DEL AGUA

El desarrollo de la sociedad humana por sí mismo se vincula con el ambiente y el recurso natural del agua, e históricamente se han reconocido problemáticas ambientales que se han abordado desde diversas perspectivas y disciplinas, particularmente las situaciones asociadas al acceso, control y uso del agua. Los debates en cuanto al recurso

hídrico son diversos, y van desde la producción comercial hasta los servicios domésticos, englobando numerosas etiquetas como la contaminación y la conservación. Esto ha demandado nuevas formas de pensamiento científico distinto al analítico en términos de complejidad, es decir, un pensamiento sistémico que tiene como principio el reconocer que los ambientes situacionales son abiertos (Mojica *et al.*, 2016; Martínez y Esparza, 2020). Sin embargo, no todos los problemas ambientales deben abordarse desde este enfoque; únicamente las unidades de análisis indivisibles que funcionan como una totalidad (Castañares, 2009).

En la gestión de recursos naturales, de manera específica el agua, los sistemas complejos reconocen la relación entre las unidades físicas de producción y usuarios que interactúan entre sí, manifestando su heterogeneidad e interdependencia de los componentes que son inseparables (Martínez y Esparza, 2020; García cit. en Mojica *et al.*, 2016).

En estos términos, la gestión del agua requiere un enfoque estratégico, integral y sustentable que no solamente considere los aspectos físicos o naturales del recurso, sino también los acuerdos entre los diversos actores. Sin embargo, cuando se estudian sistemas complejos es poco probable analizar todos los elementos que los componen y ocuparse de manera significativa de una infinidad de variables (Santacruz, 2012). Bajo esta perspectiva, la investigación abarca las condiciones biofísicas y socioeconómicas, de forma precisa el riesgo de contaminación del agua subterránea y su tipo de uso. Se plantea un primer acercamiento a la gestión integrada, como un sistema complejo limitado al sistema natural y humano.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN NORTEAMÉRICA

Las comunidades rurales y poblaciones indígenas son las zonas más desfavorecidas y vulnerables por la carencia del servicio de agua potable y políticas de saneamiento. De manera particular, la contaminación del recurso sigue siendo una problemática que aún enfrentan los países en el siglo XXI; el agua poco salubre no sólo afecta la vida humana, sino también a los ecosistemas acuáticos alterando el ciclo hidrológico, apuntando a un escenario de déficit hídrico (Agua para las Américas, 2003; Martínez, 2019; Guerrero Legarreta, 2006).

Aunque desde la década de los sesenta del siglo pasado, en el continente americano existen grandes avances para el acceso al agua potable y saneamiento, aún son limitados. El uso de agroquímicos y el vertido de aguas residuales urbanas e industriales no tratadas han afectado el estado de calidad del recurso hídrico superficial y subterráneo. La utilización creciente de productos químicos para la agricultura y el escaso

tratamiento del agua residual han contaminado ríos, lagunas, lagos y acuíferos a través de escorrentías y filtraciones, comprometiendo el abasto de agua potable no sólo para los centros urbanos, sino también para las comunidades rurales (Agua para las Américas, 2003).

En México, se estableció una política de calidad del agua que tiene sus antecedentes en 1970 en el Plan Nacional Hidráulico, cuando se efectuaron los primeros estudios para determinar las causas del deterioro del recurso superficial y subterráneo en zonas específicas, pero no fue hasta 1988 con la publicación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente cuando el tema de la contaminación del agua se vuelve prioritario en la política pública ambiental (Domínguez, 2019). A pesar de los avances institucionales e incorporación de la vigilancia de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMA), la incidencia de enfermedades (de origen hídrico) que se asocian a la contaminación del agua aún persiste, y afectan en mayor magnitud a estados como Oaxaca, que de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en 1998 se reportaron 54 muertes por cada 100 000 habitantes (Carabias *et al.*, 2005). En 2011 esta problemática pudo haber afectado significativamente a la población infantil (menores de cinco años); las tasas de mortalidad en Oaxaca fueron de las más altas en el país con 16.7 decesos por cada 100 000 habitantes (Semarnat, 2015). En 2020, los estados de Chiapas y Oaxaca, con 35.9 y 13.0 respectivamente, siguieron reportando la mayor tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas en menores de cinco años, en comparación a la media nacional de 6.7 (Salud, 2019).

La morbilidad en México atribuible a la enfermedades de origen hídrico (EOH) durante el periodo 2000 hasta 2014 ha disminuido, pues han pasado de 7 100 000 casos (tasa de 7 068 casos por cada 100 000 habitantes) a 5 500 000 casos (tasa de 4 663 casos por cada 100 000 habitantes) lo cual, en parte, ha sido gracias a las acciones e intervenciones de programas públicos de salud, el incremento de la cobertura de agua potable, alcantarillado y saneamiento (Conagua, 2018b; Semarnat, 2015). Sin embargo, hasta 2014 el 85.4 por ciento de la población total de Oaxaca contaba con acceso a fuentes de agua mejorada, una de las cifras más bajas a nivel nacional comparada con las entidades de mayor acceso, que fueron Aguascalientes y la Ciudad de México con el 99 por ciento y el 98.5 por ciento, respectivamente (Semarnat, 2015).

El monitoreo de la calidad de las aguas se encuentra distribuido de forma desigual en el territorio mexicano y no todos los sitios de vigilancia miden los mismos contaminantes; los tres indicadores más utilizados son la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5) para medir la materia orgánica biodegradable; la demanda química de oxígeno (DQO), que mide la materia orgánica ocasionada por descargas de agua residuales industriales; y los sólidos suspendidos totales (SST), que tienen su

origen en las aguas residuales y la erosión del suelo (Sina, 2022). La existencia de diversos parámetros y métodos de evaluación impide conocer el estado ecológico del recurso hídrico. Esto no significa desconocer el trabajo que ha realizado la RNMCA desde el 2002, año en que se constituye. En el 2017 se contaba con 5028 sitios de monitoreo, de los cuales un 21.7 por ciento son de áreas subterráneas que se concentran en las regiones hidrológicas administrativas (RHA): Cuencas Centrales del Norte (doscientos treinta y uno sitios) y Lerma Santiago Pacífico (ciento sesenta y nueve sitios), en comparación con las regiones Pacífico Sur y Golfo Centro, que reportaron la menor cantidad de sitios monitoreados con dieciséis y veintiún sitios, respectivamente (Conagua, 2021c). Es imprescindible señalar que, debido a la limitada infraestructura y recursos humanos, es poco probable medir la calidad de todos los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos identificados a nivel nacional (Carabias *et al.*, 2005; Conagua, 2018b; Domínguez, 2019).

Ante esto, han surgido otras formas de monitoreo físico-químico, biológico y visual que efectúan de manera independiente la sociedad civil, la academia y la industria. A pesar de su importancia, en muchas ocasiones, la información que resulta de estas iniciativas no forma parte de la política hídrica del país, lo que permitiría tener un mayor conocimiento de la condición ambiental del recurso hídrico, o bien ser insumo para el establecimiento de estrategias gubernamentales (Domínguez, 2019).

Por su parte, también en Estados Unidos la contaminación del agua pone en amenaza su sustentabilidad, en mayor medida, el agua subterránea. Esta situación ha sido provocada principalmente por la intrusión del agua salada y la interacción que sucede entre la superficie de la tierra, los acuíferos y el recurso subterráneo o superficial. Las descargas de aguas residuales de la industria, el sector agrícola o ganadero han causado externalidades negativas por el desecho excesivo de agentes químicos, lo que se agrava en puntos no controlados por el sector público. Estados Unidos enfrenta numerosas problemáticas y retos en materia hídrica; uno de ellos, que requiere atención, está vinculado con su sistema de tratamiento y distribución. A pesar del abastecimiento de agua confiable y saludable, el país afronta nuevas fuentes potenciales de inoculación (Vaux Jr., 2012). Con el objetivo de disminuir esta problemática, la legislación federal comprende la Ley de Agua Limpia (*Clean Water Act*), que establece la prohibición de la descarga de sustancias contaminantes o bien el cumplimiento de las normas nacionales. La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) tiene un rol imprescindible para la supervisión y aplicación de la ley; sin embargo, carece de un programa específico para la atención de la calidad de mantos subterráneos. No obstante, tiene responsabilidades en cuanto al artículo IV del Tratado sobre Aguas Fronterizas de 1909 en materia de calidad del agua, en coordinación con el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos (CCA, 2001).

En materia legislativa, los estados de ese país generalmente rigen la asignación del recurso hídrico, y cumplen un papel sumamente importante en la garantía de la calidad del agua (control y reducción), puesto que tienen la tarea de implementar programas ambientales; función otorgada en mayor medida a partir de la década de los setenta. A pesar de ello, en los estados existe una diferenciación de la capacidad fiscal, política y de gestión para la protección ambiental (CCA, 2001).

Por otro lado, algunos de los problemas hídricos regionales estratégicos en Canadá se vinculan directamente con el territorio estadounidense, por ejemplo, la cuenca del río Rojo de Manitoba y Dakota del Norte, así como el que las corrientes y lagos de la capital Winnipeg (provincia de Manitoba) se ven amenazados por las descargas residuales, producto de las actividades agrícolas e industriales de Estados Unidos. La calidad del agua se ha visto mermada, lo cual ha generado conflictos ambientales que no han sido resueltos satisfactoriamente, pero que han dado la pauta para el establecimiento de acuerdos para minimizar los impactos negativos (Hipel *et al.*, 2012). En este sentido, la Ley sobre Agua de Canadá, aprobada en 1970, menciona en su apartado I “Manejo integral de los recursos acuíferos” la posibilidad de establecer cooperación intergubernamental entre la autoridad federal y las provincias para el manejo integral del recurso del agua subterránea, lo cual también se considera en el apartado II “Gestión de la calidad del agua” de la citada ley, siempre y cuando la calidad del recurso en áreas específicas se convierta en preocupación nacional, y en los casos de no establecer acuerdos en áreas interjurisdiccionales con la o las provincias, la federación puede tomar decisiones unilaterales. Para el tema de la contaminación, la Ley Canadiense de Protección Ambiental (*Canadian Environmental Protection Act*, CEPA) no está orientada de modo específico al manejo del agua subterránea, pero sí regula las descargas de sustancias tóxicas y peligrosas (CCA, 2001).

CASO DE ESTUDIO: SAN SIMÓN ALMOLONGAS, OAXACA, MÉXICO

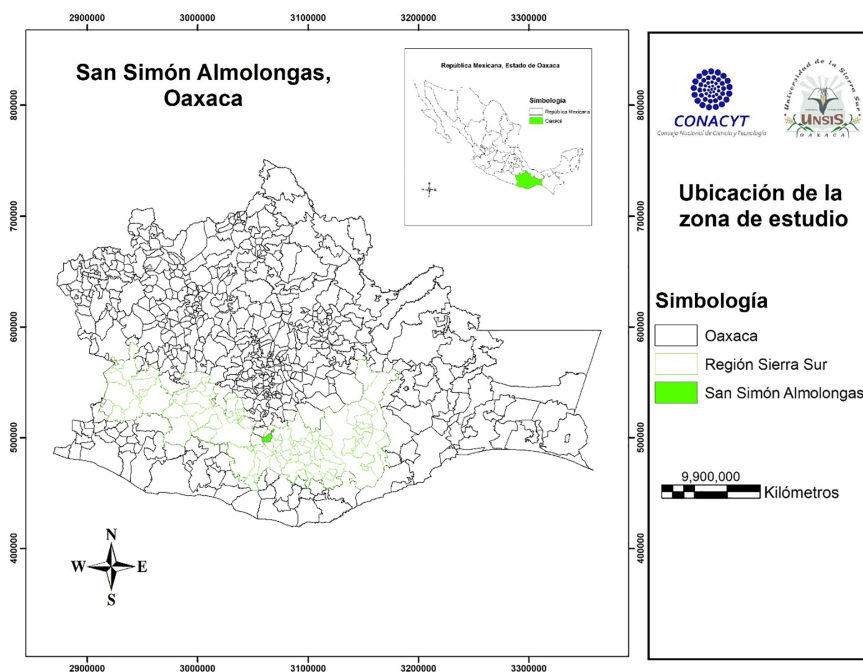
En el estado de Oaxaca existen problemas de contaminación del agua. De las ocho regiones hidrológicas que la componen, cuyos nombres son Costa Chica-Río Verde, Papaloapan, Tehuantepec, Costa de Oaxaca (Puerto Ángel), Costa de Chiapas, Coatzacoalcos, Balsas y Grijalva-Usumacinta, las primeras tres tienen un grado de contaminación alto y las últimas dos un grado medio. Más del 50 por ciento presentan esta situación que, principalmente se debe a la descarga de aguas residuales industriales y municipales (López y González cit. en Aragón *et al.*, 2019).

Este escenario se dificulta en los municipios rurales e indígenas de la entidad federativa, donde las capacidades institucionales, técnicas y operativas son limitadas

para garantizar el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. La provisión de agua potable entubada es insuficiente a pesar de que, en muchas ocasiones, se cuenta con abundantes fuentes de abastecimiento, siendo que la disponibilidad no garantiza su acceso (Aragón y Bravo, 2021).

En el caso de San Simón Almolongas, ubicado en la Sierra Sur del estado de Oaxaca (véase el mapa 1), estas dificultades se han atendido de una forma aceptable mediante la organización administrativa y operativa de los comités de agua potable que operan en los cinco barrios de la zona de estudio: Barrio Centro, La Soledad, San Guillermo, San Pedro y Oriente (Aragón *et al.*, 2019).

Mapa 1
LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN SIMÓN ALMOLONGAS



Fuente: Elaborado por el C.A. Ciudades, Territorios y Sustentabilidad, con base en el Marco Geoestadístico Nacional, 2020.

Sin embargo, un área por estudiar –ante una aparente abundancia del recurso– es la que implica la medición de la calidad e identificación de sus diversos usos dado que,

en la parte alta del municipio, se encuentran manantiales que reciben nombres como La Sinaguana, La Pilita, Ojo de Agua, Sinaguela, Sinayuta, Ocote y Hornitos (Inafed, 2010).

El monitoreo de la calidad del recurso en San Simón Almolongas es limitado. Hasta 2017, en la cuenca de río Verde, donde se ubica el área de estudio, sólo se han monitoreado cinco sitios, y ninguno de ellos pertenece al municipio. Se carece de análisis cuantitativos de calidad del agua que permitan conocer las características químicas, físicas y biológicas del recurso (Conagua cit. en Aragón *et al.*, 2019). La población ha experimentado escasez y contaminación de sus fuentes de abastecimiento. La utilización del líquido ha sido insuficiente, consecuencia de la restringida red de infraestructura adecuada para su captación y acopio (Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016, citado en Aragón *et al.*, 2019).

Dadas las particularidades del caso de estudio, la investigación determina el uso y riesgo de contaminación de los principales manantiales del municipio. Conocer esta información constituirá la mejora de la gestión comunitaria del agua que, si bien es aceptable en el rubro de distribución por el establecimiento de obligaciones y sanciones que tiene la comunidad, aún es necesario conformar instituciones (formales e informales) que garanticen el saneamiento del agua conforme sus diversos usos.

Materiales y métodos

La investigación se estructuró en tres etapas. La primera de ellas se desarrolló durante los meses de enero y febrero de 2021, que consistió en georreferenciar, mediante recorridos de campo y sistemas de información geográfica, manantiales identificados por los habitantes de la comunidad destinados al uso agrícola y doméstico (Iturbide, 2014). Dada la inexistencia de un servicio de agua administrado por una entidad pública u operador privado, se localizaron únicamente los suministros de agua comunitarios, los que gestiona la población abastecida, y se simbolizó así la unidad primaria de muestreo. Para evitar el riesgo de considerar una sola fuente de abastecimiento que no pueda ser representativa, se tomó en cuenta que el agua del subsuelo geolocalizada abasteciera por lo menos a uno de los cinco barrios de la zona de estudio: Barrio Centro, La Soledad, San Guillermo, San Pedro u Oriente.

Con el propósito de conocer las coordenadas geográficas de los sitios, se utilizó un sistema de posicionamiento por satélite, en particular un GPS diferencial para determinar los puntos x , y , z con precisión milimétrica, considerando levantamiento de puntos estáticos. La calidad del dato espacial recolectado se aseguró tomando en cuenta la exactitud de la posición y de los atributos, la consistencia lógica y topológica, calidad temporal y su procedencia (Castellanos, 2017).

De forma paralela al levantamiento de los datos en formato vectorial (puntos), en una segunda etapa, para determinar el riesgo de contaminación, se realizó la observación directa de las fuentes de abastecimiento (manantiales) conforme a los criterios de evaluaciones rápidas de la calidad del agua promovidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual consiste en un diagnóstico conformado por diez *ítems dicotómicos* (sí / no). La información recabada consideró diez factores de riesgo: 1 si la fuente está desprotegida o no; 2 si el muro protector presenta algún daño; 3 si el muro de contención está dañado; 4 si el agua inunda el área de recolección; 5 existencia o no de una cerca protectora; 6 si los animales tienen acceso a diez metros del manantial; 7 existencia o no de una letrina colina arriba o a treinta metros de la fuente; 8 si se acumula el agua superficial colina arriba de la fuente; 9 si existe o no una zanja de desvío; 10 si existe alguna otra fuente de contaminación observable colina arriba. Los valores oscilan entre 0 (respuesta negativa) y 1 puntos (respuesta positiva), lo que significa que entre mayor número de respuestas positivas mayor es el riesgo de contaminación. Dependiendo del registro, puede alcanzarse una puntuación máxima de 10. De acuerdo con la ponderación establecida en el instrumento de medición, puntajes entre 9 y 10 se consideran un riesgo muy alto; entre 6 y 8, alto; entre 3 y 5, medio, y de 0 a 2, bajo.

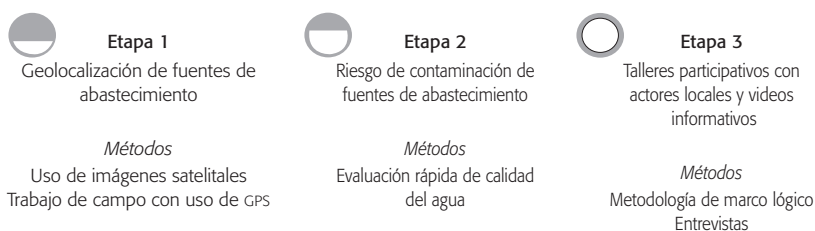
En el diagnóstico se consideran factores de riesgo directos e indirectos; los primeros refieren a fuentes potenciales de materiales fecales que puedan representar un peligro para el suministro del agua, mientras que los indirectos son aquellos elementos que facilitan la contaminación, por ejemplo, un cercado inadecuado de la fuente de abastecimiento, zonas de agricultura donde se utilicen productos químicos, entre otros (OMS y UNICEF, 2003). Las técnicas de observación directa no requirieron equipos de trabajo altamente sofisticados (recurso material); sin embargo, deben ser complementarias, y no mutuamente excluyentes del análisis químico y microbiológico de muestras de agua. A pesar de ello, son útiles para identificar variables que afectarán la calidad de los suministros de agua e identificar posibles riesgos de contaminación, dando razones de los valores obtenidos (OMS y UNICEF, 2003).

En la tercera etapa del proyecto, que se desarrolló durante los meses de marzo y abril del año 2021 para determinar el uso de los manantiales, se utilizó la metodología de marco lógico (SHCP, 2017). El procedimiento para obtener los datos fue el siguiente: en primer lugar, se consultó información documental; posterior a ello, se seleccionó, mediante un muestreo intencional y saturación de datos, a los actores locales para la realización de entrevistas semiestructuradas. Se tuvo la participación de los presidentes de los comités de agua potable de los barrios Centro, La Soledad, San Guillermo, San Pedro y Oriente, así como de los propietarios de las regidurías de Hacienda, Obras, Educación, Salud, Ecología y la Sindicatura Municipal. El objetivo

de aplicar las entrevistas fue establecer un diálogo con las organizaciones de base comunitaria y crear un vínculo de confianza y cooperación para una ayuda mutua en la investigación, además de conocer el uso, acceso y distribución del agua. Con los resultados obtenidos se comprendió el manejo del recurso hídrico en el municipio.

En un tercer momento, se establecieron sesiones participativas con los presidentes y suplentes de los comités de agua potable de los cinco barrios con la finalidad de explicar los avances en cada una de las etapas del proyecto de investigación. También se identificó la población beneficiada por el suministro del recurso. De forma complementaria se realizaron dos talleres participativos con el presidente municipal, cinco concejales, presidentes de los comités de agua potable de los cinco barrios y sus suplentes. El objetivo fue establecer una comunicación constante explicativa del uso y gestión del agua desde la perspectiva de los actores locales. Los asistentes identificaron la necesidad a satisfacer, la magnitud del problema y la delimitación de la población afectada.

Figura 1
SÍNTESIS METODOLÓGICA



Fuente: Elaboración propia.

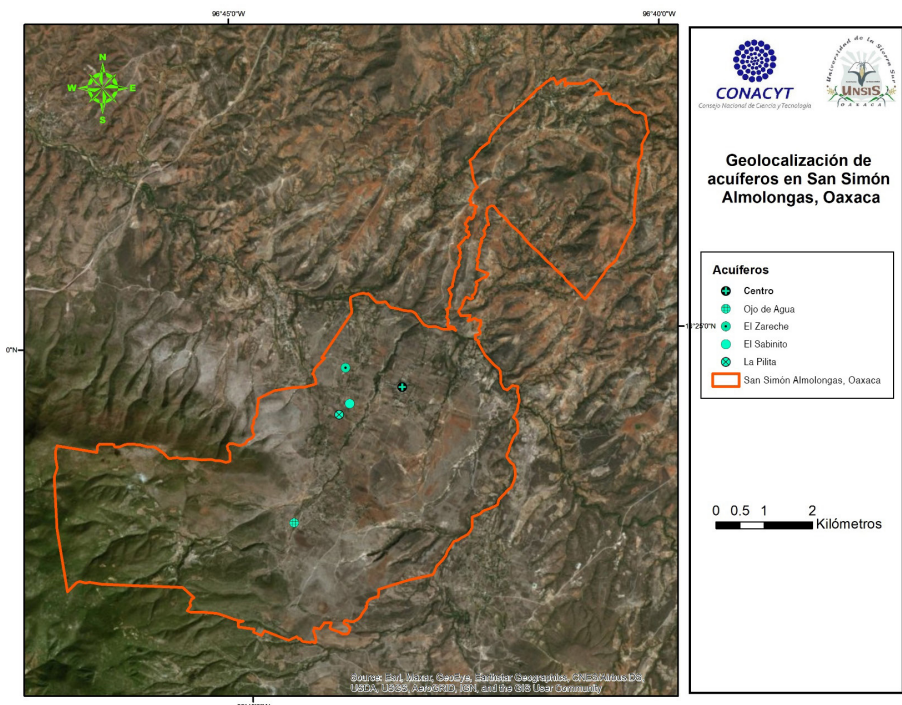
La colaboración con los actores participantes en la tercera etapa del proyecto estuvo limitada, en parte, por el incremento de contagios provocados por el virus SARS-Cov-2 en el municipio. Ante esto, en algunos días del mes de febrero las autoridades municipales no permitieron el ingreso a personas ajenas, con el propósito de disminuir la propagación del COVID-19. A manera de alternativa por la situación de la pandemia, se elaboraron una serie de videos informativos sobre el cuidado e importancia del recurso hídrico, donde se presentaba un diagnóstico de la situación del agua (los materiales y métodos utilizados en el proyecto de investigación pueden representarse gráficamente en la figura 1). En cada etapa se consideró generar información útil para fortalecer o mejorar el uso, acceso y distribución del agua en la comunidad de estudio, garantizando su aprovechamiento sustentable y justo. La inclusión e integración entre saberes y prácticas fue un eje transversal; la participación comunitaria

fue imprescindible, donde la problemática y necesidades fueron estudiadas en colaboración con los participantes e involucrados en el proyecto.

Resultados

En la primera etapa de geolocalización de fuentes de abastecimiento fue posible identificar cinco manantiales. Se desarrolló un mapa temático con ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG) e imágenes satelitales, donde se ubicaron las coordenadas obtenidas en el trabajo de campo. Las fuentes de abastecimiento identificadas fueron Ojo de Agua, El Zareche, El Sabinito, La Pilita y Centro, cuyos nombres son otorgados por los propios habitantes de la comunidad (véase el mapa 2).

Mapa 2
GEOLOCALIZACIÓN DE LOS MANANTIALES



Fuente: Elaborado por el C.A. Ciudades, Territorios y Sustentabilidad, con base en el Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, 2020.

son más propensas a contaminarse o bien que presentan mayores factores de riesgo. Durante la observación fue posible identificar que, en todos los casos, existe presencia de viviendas (asentamientos humanos) o actividad agrícola muy cercana. De igual manera, se observó que las fuentes de abastecimiento se encuentran desprotegidas o no cuenta con una zanja de desvío (véase el cuadro 1).

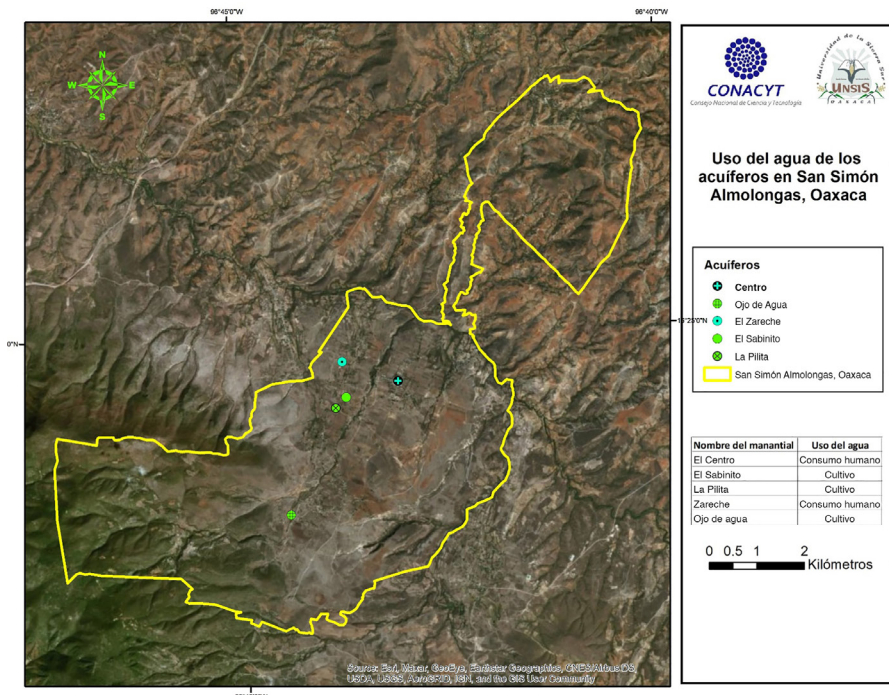
Cuadro 1 FACTORES DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN EN LOS MANANTIALES					
Factor de riesgo de contaminación	Manantial Ojo de Agua	Manantial El Zareche	Manantial El Sabinito	Manantial La Pilita	Manantial Centro
1	(1) sí	(0) no	(1) sí	(0) no	(1) sí
2	(0) no	(0) no	(1) sí	(0) no	(0) no
3	(0) no	(0) no	(0) no	(0) no	(0) no
4	(0) no	(0) no	(0) no	(0) no	(0) no
5	(1) sí	(0) no	(1) sí	(0) no	(0) no
6	(1) sí	(0) no	(1) sí	(0) no	(0) no
7	(1) sí	(0) no	(0) no	(1) sí	(1) sí
8	(0) no	(0) no	(0) no	(0) no	(0) no
9	(1) sí	(1) sí	(1) sí	(0) no	(1) sí
10	(1) sí	(1) sí	(1) sí	(1) sí	(1) sí
Puntaje	6	2	6	2	4
Riesgo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Medio
<p>Nota: La información recabada consideró diez factores de riesgo: 1) si la fuente está desprotegida o no; 2) si el muro protector presenta algún daño; 3) si el muro de contención está dañado; 4) si el agua inunda el área de recolección; 5) existencia o no de una cerca protectora; 6) si los animales tienen acceso a diez metros del manantial; 7) existencia o no de una letrina colina arriba o a treinta metros de la fuente; 8) si se acumula el agua superficial colina arriba de la fuente; 9) si existe o no una zanja de desvío; 10) si existe alguna otra fuente de contaminación observable colina arriba.</p> <p>Fuente: Elaboración propia.</p>					

Durante el trabajo de campo (2021), la propia autoridad municipal mencionó que no han existido análisis químicos ni microbiológicos que determinen la calidad del agua. Ante esto fue posible determinar el grado de riesgo de contaminación de las aguas del subsuelo identificadas.

En la última etapa del proyecto, se determinó el uso de los manantiales para la satisfacción de los quehaceres cotidianos o actividad primaria de los habitantes. También fue posible identificar el total de población beneficiada con el recurso, el número

de usuarios y la frecuencia del servicio. Se encontró que, de los cinco manantiales, dos son utilizados para consumo humano y los demás para cultivos agrícolas, principalmente de maíz (véase el mapa 4). Para el caso de la fuente denominada El Centro, el recurso provee de forma diaria a los barrios Oriente y Centro, con un total de ciento cinco tomas domiciliarias, abasteciendo a setecientos cuarenta y siete habitantes. El Sabinito y La Pilita benefician al barrio La Soledad cada tercer día, con una población de trescientos sesenta y seis personas y un total de ciento cincuenta tomas domiciliarias. Por su parte, el sitio denominado El Zareche abastece diariamente al barrio de San Guillermo, que cuenta con una población de doscientos treinta y siete habitantes y sesenta y cinco tomas domiciliarias. La fuente de Ojo de Agua provee del recurso cada doce días al barrio de San Pedro, que cuenta con seiscientos siete habitantes y un total de doscientas ochenta y nueve tomas (véase el mapa 5).

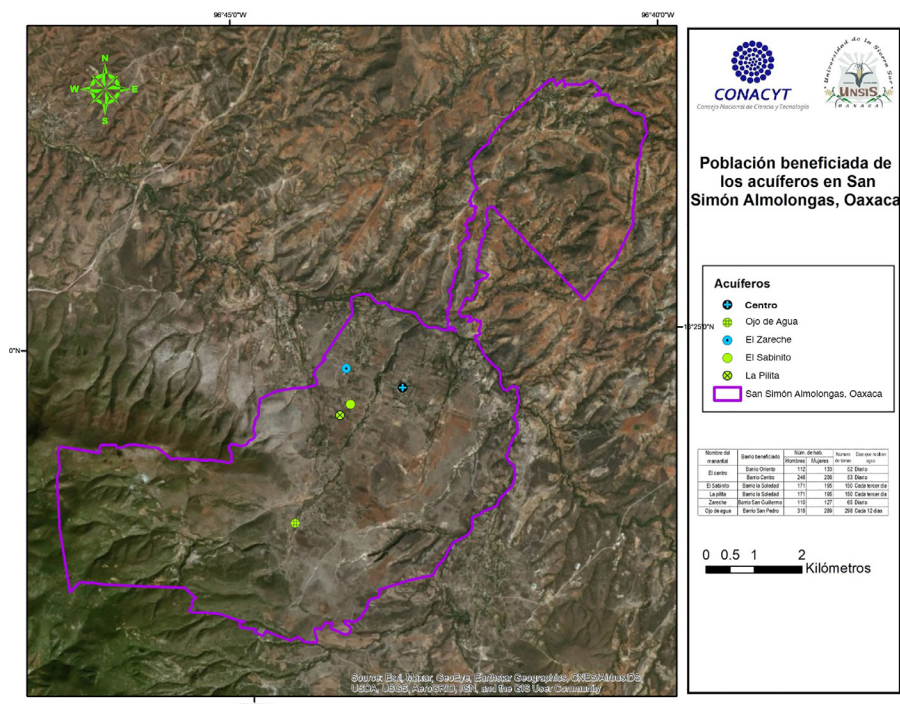
Mapa 4
USO DEL AGUA DE LOS MANANTIALES



Fuente: Elaborado por el C. A. Ciudades, Territorios y Sustentabilidad, con base en el Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, 2020.

Mapa 5

POBLACIÓN BENEFICIADA POR LOS MANANTIALES Y PERIODICIDAD DEL RECURSO



Fuente: Elaborado por el C.A. Ciudades, Territorios y Sustentabilidad, con base en el Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, 2020.

En el municipio de San Simón Almolongas, el volumen extraído proviene principalmente del agua superficial y en menor medida del agua subterránea; sin embargo, este tipo de fuentes son de utilidad para las actividades de subsistencia o producción en municipios o localidades pequeñas. A pesar de tener un número de habitantes menor en comparación con los centros urbanos, la utilización del recurso hídrico sin una gestión y manejo adecuado podría provocar un déficit, pues se considera un recurso vital para los seres vivos.

En el municipio, la distribución y el acceso al recurso se realizan conforme a los deberes operativos de los usuarios, administrativos y estructura orgánica de los comités de agua potable (Aragón *et al.*, 2019).

A manera de síntesis, en el proyecto fue posible identificar puntos de agua subterráneos que abastecen a la comunidad para actividades agrícolas, domésticas y de consumo humano. De la misma forma, se determinaron los riesgos de contaminación identificando los factores o elementos que los hacen más propensos. Las entrevistas

y los talleres participativos fueron de utilidad para saber sobre los manantiales, sus diversos usos y la población beneficiada. Asimismo, fue posible relacionar los datos conforme a la organización de los comités en cada uno de los barrios del municipio. Con la información obtenida es posible que la autoridad municipal, en conjunto con la comunidad, establezcan acciones concretas para disminuir conflictos y fortalecer los mecanismos de gestión y manejo del recurso hídrico.

DISCUSIÓN

En México, para fines administrativos, el agua subterránea se ha dividido en seiscientos cincuenta y tres acuíferos, de los cuales doscientos setenta y cinco (el 42 por ciento) presentan un déficit negativo en la disponibilidad media anual conforme la norma oficial mexicana NOM-011-Conagua-2015 (Conagua, 2021a). Gran parte de esta problemática se concentra en entidades federativas del norte del país y en la Ciudad de México. Hasta el año 2017, las regiones hidrológicas administrativas con el mayor número de acuíferos sobreexplotados en proporción al número que poseen fueron la península de Baja California (I), Noroeste (II), Río Bravo (VI), Cuencas centrales del Norte (VII) y Valle de México (XIII), que al agruparlas pertenecen a la región norte, centro y noroeste de México (Conagua, 2018b). De 2015 a 2018 hubo un incremento de acuíferos que han pasado a esta condición (Conagua, 2021b).

Los cinco manantiales georreferenciados en el proyecto de investigación durante la primera etapa se ubican en el acuífero denominado Miahuatlán, cuya DMA (disponibilidad media anual) es positiva con un valor de $5.15 \text{ hm}^3/\text{año}$, que de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua se clasifica como zona de disponibilidad 3, lo que significa que el recurso puede sustraerse para diversos usos, sin poner en riesgo el equilibrio ecosistémico.

A diferencia de México, en Estados Unidos la disponibilidad del agua subterránea representa el 23 por ciento, y ninguna región carece completamente de dicho recurso. La cantidad almacenada constituye un recurso adicional (temporal) en caso de sequías; tiende a estar fácilmente disponible. Esto no significa que la sobreexplotación esté ausente, pues se da en las diversas regiones, como a lo largo de la planicie costera del Atlántico, en el oeste central de la Florida, el litoral del Golfo, las Altas Planicies y el interior del Noroeste Pacífico. La demanda y el uso ha rebasado la recarga natural de los acuíferos, y han disminuido los niveles freáticos que a largo plazo provocan que las extracciones disminuyan, lo cual afecta a los usuarios (Alley, Reilly y Franks cit. en Vaux Jr., 2012). La sobreexplotación ha traído consigo otras problemáticas en Estados Unidos: por una parte, se acelera la tasa de extracción del

agua superficial a expensas de la recarga de los acuíferos, el hundimiento de las tierras es más frecuente en zonas pobladas y la calidad del agua subterránea disminuye considerablemente (Alley, Reilly y Franks cit. en Vaux Jr., 2012).

En Canadá, el escenario no es muy distinto, a pesar de la gran cantidad de lagos que posee la región y la aparente abundancia de aguas superficiales. Cerca del 30 por ciento de la población se abastece del recurso hídrico del subsuelo y más del 80 por ciento de las zonas rurales dependen de su suministro (*Environment Canada* cit. en Hipel *et al.*, 2012). A diferencia de otros países, en el territorio canadiense la sobreexplotación ha sido más de índole local que de escala nacional; sin embargo, son diversas las variables que pueden ser un detonante para agravar la situación, por ejemplo, el incremento poblacional, la intensificación de la agricultura, la explotación de hidrocarburos, entre otros (CCA cit. en Hipel *et al.*, 2012).

En cuanto a la dependencia del recurso subterráneo, existe una diferenciación entre las regiones canadienses, que va desde el 23 por ciento hasta el 100 por ciento, y su importancia es enorme en algunos territorios. Se han documentado casos de acuíferos que están bajo una presión considerable debido al uso de la fuente de abastecimiento, lo cual tiene como consecuencia bajos niveles de disponibilidad. Sin embargo, se han establecido medidas paliativas de las externalidades (Hipel *et al.*, 2012).

En una segunda etapa del proyecto, conforme a los factores observados, fue posible determinar el grado de riesgo de contaminación de los manantiales georreferenciados en el municipio de San Simón Almolongas, coadyuvando a los estudios de calidad del agua que son limitados en México. De acuerdo con información de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2021b), sólo once sitios de la región hidrológica Pacífico Sur han sido analizados, ninguno de ellos perteneciente al acuífero de Miahuatlán, ni tampoco al municipio de estudio. De los sitios monitoreados según la semaforización de la Conagua (2021b), que indica el nivel de contaminación conforme los contaminantes presentes, seis se consideran puntos rojos, dos amarillos y tres de color verde.

La situación descrita en el territorio estadounidense es parcialmente similar, pues la salud del agua subterránea por los desechos tóxicos es una preocupación nacional, pues amenazan la calidad del recurso, lo cual se agrava con la sobreexplotación descrita en la región. El extraer agua de buena calidad en la superficie da paso a la contaminación por intrusión salina. Otro riesgo potencial de degradación son las áreas de riego excesivo, pues el uso inadecuado de residuos químicos puede afectar considerablemente el agua del subsuelo. Lo mismo sucede con las actividades ganaderas y desechos de residuos tóxicos no controlados, que son fuentes potenciales de contaminación (Vaux Jr., 2012).

Los recursos hídricos en Canadá también presentan algunas similitudes; sin embargo, se dispone de poca información en cuanto a las características de los acuíferos. Se

han documentado problemas de contaminación industrial y agrícola en zonas de importancia regional, lo cual se convierte en situaciones de peligro para la salud pública que generan costos por asumir la reparación de los daños. Los riesgos potenciales para las aguas subterráneas están asociados a los contaminantes emergentes, por lo que se ha optado por el uso de tecnologías para disminuir sus impactos (Hipel *et al.*, 2012).

En el proyecto también fue posible identificar el uso que los habitantes han dado a los manantiales para la satisfacción de sus quehaceres cotidianos o actividades primarias. También se identificó el total de población beneficiada por los manantiales, el número de usuarios y la frecuencia del servicio. Esta información coincide con el uso del agua a nivel nacional en México, donde hasta 2017 según la Conagua (2018b), el recurso es mayormente utilizado para actividades agrícolas y de abastecimiento público (incluye el uso doméstico), con un 76 por ciento y un 14.3 por ciento, respectivamente.

Esto contrasta con lo que sucede en Estados Unidos y Canadá, donde el mayor uso ocurre en el sector industrial, con un 46.1 por ciento y un 68.6 por ciento, respectivamente, y en menor medida para el abastecimiento público. Esto hace que se encuentren dentro de los primeros veinte países con mayor extracción de agua a nivel mundial, con un grado de presión sobre los recursos hídricos catalogado como bajo o sin estrés (Conagua, 2011).

De acuerdo con el análisis comparativo es posible identificar que, en cuanto a la disponibilidad, riesgo de contaminación y uso del agua subterránea, existen similitudes y diferencias en los países de Norteamérica. En México, Estados Unidos y Canadá la disponibilidad del recurso es aceptable; sin embargo, aún persiste la problemática. Algunas regiones son más propensas a la sobreexplotación, escenario que se acentúa en zonas rurales. La contaminación del agua no es ajena a ninguno de los tres países; se comparte que los estudios de calidad son limitados, pues no permiten observar la magnitud de la situación a escala nacional. El uso del agua es diferenciado en México con respecto a los demás países de la región; dadas sus condiciones socioeconómicas, en nuestro país se utiliza mayormente en actividades agrícolas, y no industriales como sí sucede en Estados Unidos y Canadá.

La generación de confianza, la participación comunitaria, cooperación, acción colectiva y el marco jurídico son áreas de oportunidad para fortalecer la gestión y manejo de las fuentes de abastecimiento en la región, que se adecúan a cada contexto, considerando que el agua subterránea presenta factores que incrementan los riesgos de contaminación. Se debe buscar la oportunidad de preservar y cuidar el agua con el objetivo de satisfacer las necesidades de abastecimiento para la población, sin la necesidad de sobreexplotar las fuentes subterráneas.

CONCLUSIONES

Las problemáticas relacionadas con el recurso hídrico no sólo se refieren al aspecto físico cuantificable, sino también a la dimensión social; se ha convertido en un asunto complejo, donde convergen las variables biofísicas y socioeconómicas. Bajo esta premisa, la investigación se limitó a contribuir a la gestión comunitaria y a los estudios de la calidad del agua mediante la geolocalización, el uso y riesgo de contaminación de los manantiales.

Con los resultados obtenidos y la información difundida a los propios habitantes de la comunidad, de manera general, se pueden establecer las siguientes conclusiones. Primero, las autoridades del municipio y los habitantes de San Simón Almolongas, al tener una representación geográfica de los manantiales, podrán fortalecer la gestión del recurso garantizando el acceso, disposición suficiente y asequible para los usuarios, conforme los fines de su utilización y la población beneficiaria.

Segundo, es sabido que los estudios de la calidad del agua son escasos. A pesar de que existen fuentes de abastecimiento en la región de la Sierra Sur de Oaxaca, la calidad del recurso hídrico tiene un fuerte impacto en las actividades de producción y, por consiguiente, en el nivel de vida de las comunidades. Por ello, el realizar un primer diagnóstico de contaminación, a largo plazo permitirá mejorar el saneamiento de agua para consumo, uso doméstico y agrícola.

En síntesis, los resultados indican un efecto positivo a nivel comunitario. Al tener una referencia espacial y efectuar una valoración de las causas de contaminación, es posible fortalecer o mejorar el uso, acceso y distribución del agua en la comunidad o zona de estudio para garantizar su aprovechamiento sustentable y justo, e incluso se tiene la oportunidad de prever riesgos. A la vez, es importante mencionar que las instituciones locales son fundamentales en la conservación de los recursos naturales y, en este caso, la creación de un reglamento interno sobre el uso y conservación del recurso hídrico a nivel comunitario sería fundamental. La participación representa un medio para garantizar un aprovechamiento sustentable del recurso hídrico; utilizarlo de forma inadecuada es una causa de su deterioro; inclusive da apertura a la generación de conflictos socioambientales, tensiones de acceso y control del recurso.

Por último, la investigación abona al cumplimiento de la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible, específicamente al Objetivo 6: Agua y saneamiento, ya que se geolocalizaron los principales manantiales del municipio de San Simón Almolongas, Oaxaca, así como la disposición y distribución del recurso hídrico para los habitantes de la zona de estudio. El trabajo queda abierto a futuras investigaciones, fundamentalmente al análisis de la calidad del agua de los manantiales en estudio

y en las comunidades rurales e indígenas, donde persisten complicaciones para garantizar el acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal, doméstico y uso agrícola.

FUENTES

AGUA PARA LAS AMÉRICAS EN EL SIGLO XXI (FORO)

- 2003 “Situación de los recursos hídricos y su gestión en el continente americano”, en Cristóbal Jáquez, coord., *Agua para las Américas en el siglo XXI*, México, Conagua/El Colegio de México, pp. 25-57.

ANIMAL POLÍTICO

- 2021 “Reducción en presas y demanda por pandemia genera sequía: Conagua”, abril, en <<https://www.animalpolitico.com/2021/04/agua-sequia-demanda-pandemia-conagua/>>, consultada el 14 de abril de 2021.

ARAGÓN CRUZ, ABISAÍ y ROCÍO GUADALUPE BRAVO SALAZAR

- 2021 “El impacto del régimen de propiedad privada y comunal para la gestión hídrica: un análisis comparativo”, *Revista IGLOM Investigaciones en Gobiernos Locales*, no. 1, pp. 72-86.

ARAGÓN CRUZ, ABISAÍ, GLORIA STELLA RAMÍREZ OSPITA y OSCAR JESSE ROJAS ORTIZ

- 2019 “Gestión comunitaria del agua: acceso y distribución en el municipio de San Simón Almolongo, Oaxaca”, en Teresita Huerta, coord., *500 años del municipio en México. Perspectivas multidisciplinarias*, México, Universidad de Guanajuato, pp. 434-454.

AYALA ESPINOSA, CAMILA

- 2021 “Gobierno de CdMx alista plan de distribución de pipas ante escasez de agua”, marzo, en <<https://www.eleconomista.com.mx/estados/Gobierno-de-CDMX-alista-plan-de-distribucion-de-pipas-ante-escasez-de-agua-20210314-0018.html>>, consultada el 14 de marzo de 2021.

BARAJAS, DIANA

- 2021 “Continuará escasez de agua a pesar de Acuaférico”, abril, en <<https://www.milenio.com/politica/comunidad/jalisco-continuara-escasez-de-agua-a-pegar-de-acuaferico>>, consultada el 30 de abril de 2021.

CARABIAS LILLO, JULIA ET AL.

- 2005 *Agua, medio ambiente y sociedad*, México, UNAM/El Colegio de México/Fundación Gonzalo Río Arronte.

CARBAJAL, BRAULIO

- 2021 “Escasez de agua limitará producción agrícola en 2021”, enero, en <<https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/06/economia/escasez-de-agua-limitara-produccion-agricola-en-2021/>>, consultada el 06 de enero de 2021.

CASTAÑARES MADDOX, ERIC JOHN

- 2009 *Sistemas complejos y gestión ambiental: el caso del Corredor Biológico Mesoamericano México*, México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CASTELLANOS FAJARDO, LUIS ALEJANDRO

- 2017 “Pre-procesamiento de datos vectoriales. Diplomado en Análisis de Información Geoespacial”, en <<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/>>, consultada el 15 de enero de 2021.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)

- 2021a “Estadísticas sobre los acuíferos”, diciembre, en <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html>, consultada el 10 de octubre de 2021.
- 2021b “Calidad del agua en México”, marzo, en <<https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>>, consultada el 14 de abril de 2021.
- 2021c “Diagnóstico del agua subterránea”, junio, en <<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&o=0&n=regional>>, consultada el 28 de marzo de 2022.
- 2020 “Disponibilidad por acuíferos”, septiembre, en <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html>, consultada el 10 de agosto de 2021.
- 2018a “Atlas del agua en México”, enero, en <<http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>>, consultada el 12 de julio de 2021.
- 2018b “Estadísticas del agua en México”, enero, en <<http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>>, consultada el 13 julio de 2021.
- 2011 “Agua en el mundo”, *Estadísticas del agua en México*, México, Semarnat, pp. 114-126.

COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL (CCA)

- 2001 *Informe sobre el manejo de aguas interiores fronterizas y transfronterizas en América del Norte*, Éditions Yvon Blais, Montreal, en <<http://www.cec.org/files/documents/publications/1803-north-american-environmental-law-and-policy-volume-7-es.pdf>>.

DOMÍNGUEZ SERRANO, JUDITH

- 2019 *La política del agua en México*, México, El Colegio de México.

GUERRERO LEGARRETA, MANUEL

- 2006 *El agua*, México, Fondo de Cultura Económica (FCE)/Secretaría de Educación Pública/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

HIPEL, KEITH, ANDREW D. MIALI y DANIEL W. SMITH

- 2012 “Los recursos hídricos en Canadá”, en Blanca Jiménez Cisneros y José Galicia Tundisi, coords., *Diagnóstico del agua en las Américas*, México, Foro Consultivo Científico y Tecnológico A.C., pp. 113-156.

INSTITUTO NACIONAL PARA EL FEDERALISMO Y EL DESARROLLO MUNICIPAL (INAFED)

- 2010 “Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México”, enero, en <<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/index.html>>, consultada el 15 de julio de 2021.

ITURBIDE ARGÜELLES, ROSARIO

- 2014 *Suelos y acuíferos contaminados. Evaluación y limpieza*, México, Trillas.

JIMÉNEZ, REBECA

- 2021 “Habitantes de Naucalpan y Atizapán, preocupados por escasez de agua”, abril, en <<https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/habitantes-de-naucalpan-y-atizapan-preocupados-por-escasez-de-agua>>, consultada el 15 de mayo de 2021.

MARTÍNEZ LAGUNES, RICARDO

- 2019 “Los cuatro futuros del agua en México y su monitoreo”, en Boris Graizbord y Jesús Arroyo Alejandro, coords., *Agua, el futuro ineludible*, México, Universidad de Guadalajara/El Colegio de México/Profmex World/Juan Pablos, pp. 35-47.

MARTÍNEZ ROMERO, EDUARDO y LIGIA GUADALUPE ESPARZA OLGUÍN

- 2020 “Teorías de sistemas complejos: marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental”, *Intersticios Sociales*, no. 21, pp. 373-397.

MOJICA ZÁRATE, HÉCTOR TECUMSHÉ, CARLOS CRISTÓBAL MARTÍNEZ MARTÍNEZ
y MARÍA ELENA PERDOMO LÓPEZ

- 2016 “Enfoque sostenible-complejo para la gestión integrada de territorios áridos con orientación agroproductiva en México”, *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 8, no. 2, pp. 202-209.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) Y FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA LA INFANCIA (UNITED NATIONS INTERNATIONAL CHILDREN’S EMERGENCY FUND, UNICEF)

- 2003 “Evaluación rápida de la calidad del agua potable. Manual práctico”, en <<https://xdoc.mx/documents/evaluacion-rapida-de-la-calidad-del-agua-potable-manual-practico-5e60105ae474b>>, consultada el 13 de diciembre de 2020.

REZA, GLORIA

- 2021 “Jalisco, ante una inminente declaratoria de emergencia por falta de agua”, abril, en <<https://www.proceso.com.mx/nacional/estados/2021/4/20/jalisco-ante-una-inminente-declaratoria-de-emergencia-por-falta-de-agua-262363.html>>, consultada el 20 de abril de 2021.

SANTACRUZ DE LEÓN, GERMÁN

- 2012 *El espejismo de la gestión de los recursos hídricos superficiales por cuenca hidrográfica. El caso del río Valles. La Huasteca, México*, México, El Colegio de San Luis.

SECRETARÍA DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO (SHCP)

- 2017 “Metodología del marco lógico y Matriz de indicadores de resultados”, Diplomado “Presupuesto basado en resultados”, módulo 3, México, UNAM.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT)

- 2015 “Informe de medio ambiente. Agua”, en <<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap6.html#tema2>>, consultada el 25 de febrero de 2022.

SECRETARÍA DE SALUD (SALUD)

- 2019 “Indicadores de resultados de los sistemas de salud”, marzo, en <<https://www.gob.mx/salud/documentos/indicadores-de-resultado-de-los-sistemas-de-salud>>, consultada el 13 de julio de 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DEL AGUA (SINA)

- 2022 “Calidad del agua”, febrero, en <<https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6>>, consultada el 25 de febrero de 2022.

VAUX JR., HENRY

- 2012 “Los recursos hídricos de los Estados Unidos y su administración”, en Blanca Jiménez Cisneros y José Galicia Tundisi, coords., *Diagnóstico del agua en las Américas*, México, Foro Consultivo Científico y Tecnológico A.C., pp. 267-279.