

## ***Caracterización y ciclo hidrosocial regional en los Altos Norte de Jalisco***

### EL SEMIÁRIDO DE LOS ALTOS DE JALISCO

La aproximación y análisis del semiárido de los Altos de Jalisco inicia con una contextualización regional que ayude a comprender y organizar la información disponible desde la perspectiva del ciclo hidrosocial a partir de tres componentes: a) flujos de agua, b) tecnología e infraestructuras y c) aspectos sociales e institucionales. El río Lagos destaca por ser el principal afluente en la zona de estudio y es el referente en torno al cual se genera la mayor cantidad de información sobre el agua, procesos socioambientales, dinámicas socioeconómicas y poblacionales y políticas ante la degradación ambiental que serán analizadas a lo largo de esta segunda parte del libro.

La región de los Altos de Jalisco se ubica en el centro occidente de México, al extremo sur del altiplano, una zona climática semiárida que se prolonga desde ahí hasta Estados Unidos. El análisis de este capítulo se enfoca en los municipios de Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos, los cuales, junto con los municipios de Encarnación de Díaz, Unión de San Antonio, San Julián, San Miguel el Alto y Jalostotitlán, comparten la subcuenca del río Lagos, el tributario más importante del río Verde en el territorio del estado de Jalisco (véanse las figuras 5.1 y 5.2). Es una región semiárida, con sequías y heladas recurrentes, de noches frías, días calurosos y altas temperaturas en el verano; también se distingue por una fuerte identidad sociocultural y de tradición productiva ganadera.

La vocación económica de este lugar destaca a escala nacional por su liderazgo y alta tecnificación del sector agropecuario para la producción especializada de bovino, cerdo y pollo, lo cual se traduce en una producción diversa de lácteos, huevo y cárnicos que se destinan a mercados nacionales e internacionales de 80 países (Gobierno del Estado de Jalisco).

co, 2018). No obstante, debido a la intensidad productiva y a que se ubica en un área de transición climática (entre semiárido y subhúmedo seco), esta es la zona más vulnerable de Jalisco ante los impactos que provoca el cambio climático<sup>1</sup> (Semadet, 2018c).

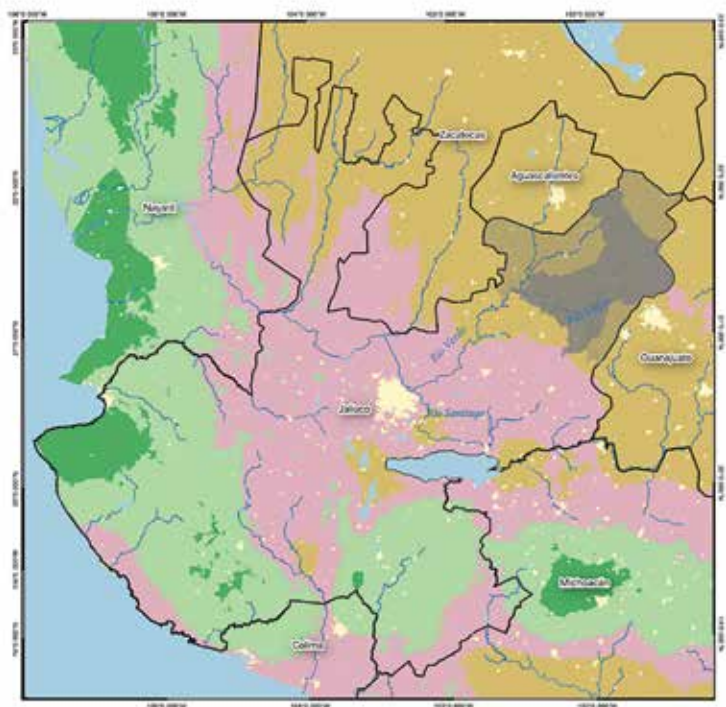
Las principales ciudades medias de Jalisco también se encuentran en esta zona vulnerable. Décadas atrás, las proyecciones oficiales esperaban una disminución constante de la población a partir de 1995 y, por ende, una reducción en la demanda de agua. Al parecer, esas proyecciones demográficas influyeron en la toma de decisiones para definir, entre otras cosas, decretos de distribución regional del agua en favor de las ciudades de Guadalajara y León que no han detenido su crecimiento (Ochoa-García et al., 2014).

El factor poblacional influyó en la planeación regional del estado, y en los años noventa la Comisión Nacional del Agua (Conagua) realizó estudios técnicos para determinar la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Verde, a fin de establecer reservas de volúmenes de agua disponible para Jalisco y Guanajuato “con el propósito de hacer frente a las crecientes demandas para usos doméstico y público urbano [...] El aprovechamiento de los volúmenes anuales que se reserven, se podrá realizar conforme se requiera, siempre y cuando exista disponibilidad y no se afecten derechos de terceros” (Semarnat, 1995). De ahí resultó un decreto que declara la reserva de las aguas nacionales superficiales en la cuenca del río Verde solo para usos doméstico y público urbano por un volumen anual máximo de 504,576 millones de metros cúbicos (Hm<sup>3</sup>) (Semarnat, 1995). El problema fue que este decreto omitió las necesidades de la región alteña en cuanto a usos de agua vigentes y futuros para los usos agrícola, pecuario y urbano.

El artículo 5 de este decreto especifica que, de los volúmenes reservados y con el objeto de regular la explotación de las aguas en periodos de escasez, la Conagua no otorgará concesiones o asignaciones de las aguas del río Verde para usos distintos al doméstico y público urbano (Semarnat, 1995). Después, por iniciativa del entonces gobernador de

1 En la tercera parte de este libro se analizan y modelan con detalle las variables climáticas del área de estudio.

**FIGURA 5.1 ZONAS HÍDRICAS DEL OCCIDENTE DE MÉXICO**



0 25 50 75 100 km

Proyección: UTM  
 Zona: 13N  
 Elipsoide: GRS80  
 Datum: WGS84  
 Escala: 1:2,500,000



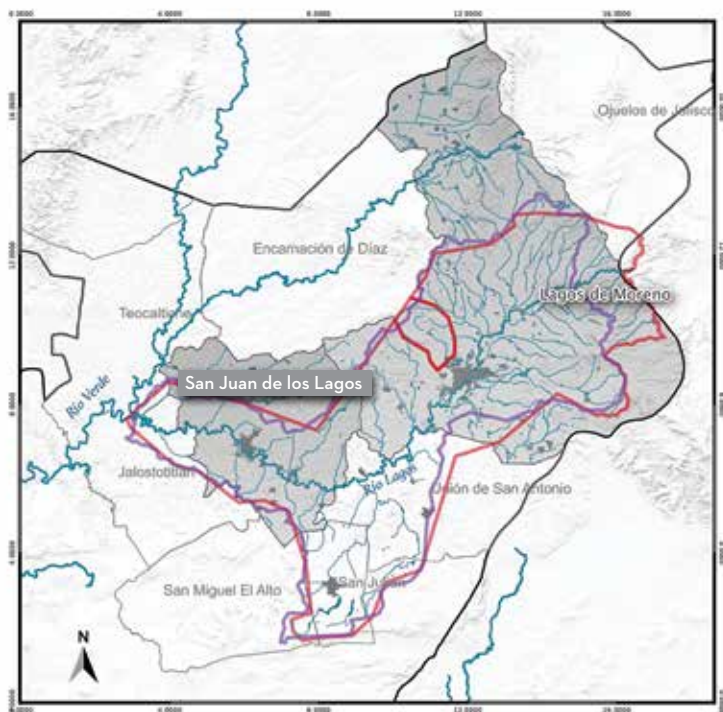
Límites estatales basado en Gobierno del Estado de Jalisco, 2012

**Zonas hídricas**

- Húmeda
- Subhúmeda húmeda
- Subhúmeda seca
- Semiárida
- Área de estudio
- Región Altos Norte
- Cuerpos de agua
- Localidades urbanas
- Ríos

Fuente: elaboración propia con datos vectoriales de IIEG (2013).

**FIGURA 5.2 ÁREA DE ESTUDIO**






0 5 10 15 20 km

Proyección: UTM  
Zona: 13N  
Elipsoide: GRS80  
Datum: WGS84  
Escala: 1:700,000



Fuente:  
Límites estatales basado en Gobierno del Estado de Jalisco, 2012  
Conagua 2018 basado en DOF 7 julio 2016  
Conagua 2018 basado en DOF 4 enero 2018

- |  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  Corrientes de agua |  Cuenca Río Lagos |  Acuíferos Lagos de Moreno y El Muerto |  San Juan de los Lagos y Lagos de Moreno |
|  Ríos principales   |  Localidades      |  Cuerpos de agua                       |  Límite municipal                        |
|  |  |   |  Límite estatal                         |

Jalisco, en 1997 se modificó ese decreto incluyendo un volumen destinado al uso pecuario “para favorecer principalmente a los productores ganaderos de los municipios ubicados en la cuenca del río Verde, a efecto de fomentar la producción de cárnicos y fortalecer su exportación” (Semarnat, 1997).

Las decisiones gubernamentales en materia de distribución y trasvases de agua parecen estar basadas solamente en información técnica (imprecisa y a escala regional), sin participación de los usuarios locales de agua y sin el consenso de poblaciones que pueden ser afectadas por ese tipo de decisiones o de infraestructuras hidráulicas. Algo así sucedió con el megaproyecto de presa y acueducto El Zapotillo, que se describe en el capítulo IV de este libro. Ochoa-García (2015) distingue dos formas de gestionar el agua en los Altos de Jalisco, considerando el costo socioambiental y la violación de derechos humanos:

Por un lado, están los actores externos que intervienen en la región a través de iniciativas, instrumentos de planeación y regulación, infraestructura y orientación de presupuestos. Por otro lado, están los usuarios de aguas para los distintos usos y necesidades, quienes, en la práctica, con base en sus capacidades y con legítimo derecho, buscan conseguir el agua que necesitan actualmente y a futuro. La infraestructura hidráulica, que se cuenta por miles (de aprovechamientos e infraestructuras) y está en manos de los usuarios de la región, se halla íntimamente relacionada con la construcción del espacio productivo, con la consolidación de la economía regional y con el bienestar de sus poblaciones y habitantes.

La elaboración de planes, programas, proyectos, información básica, etc., para el manejo o gestión del agua que se generan en los diferentes espacios oficiales y sociales (Conagua, CEAJ, Consejo de Cuenca, Comisiones de Cuenca, Ayuntamientos), adolecen de una visión integral y regional que tenga como punto de partida los problemas de la región alteña; las necesidades y problemáticas a resolver se dirigen principalmente hacia las ciudades de Guadalajara y León, a través de la provisión de agua. Si esta perspectiva se mantiene, la planeación y ejecución de acciones difícilmente se encauzarán hacia la gestión integral sustentable del agua (Ochoa-García et al., 2014: 106).

Al parecer, la planeación del desarrollo regional, así como las decisiones centralizadas para la distribución y usos del agua, se han basado en información incompleta o equivocada: contrario a las estimaciones oficiales, la población y la producción agropecuaria de los Altos ha seguido creciendo y esto ha ejercido una mayor presión sobre el territorio y los bienes naturales de la región, particularmente sobre los ciclos de agua superficial y subterránea, además de la fertilidad y erosión en suelos. Como veremos más adelante, el crecimiento acentuado de la producción pecuaria, la población y la demanda de agua genera más desechos y descargas de aguas residuales que pocas veces son tratados adecuadamente, lo cual está ligado a la contaminación del agua. Así, la presión y el deterioro ambiental atentan contra la sustentabilidad presente y futura. El ciclo hidrosocial regional se ha transformado notablemente:

La dinámica y flujos de agua (superficial y subterránea) se han alterado y, de manera acelerada, se ha reducido la disponibilidad física de agua. La infraestructura para la extracción y aprovechamiento de agua se multiplica (pozos, presas, bordos, acueductos y trasvases), mientras que se mantiene un rezago en la cobertura y calidad de agua para consumo humano y en el control de descargas contaminantes puntuales y difusas.

Obtener nuevos derechos de acceso al agua (concesiones o asignaciones) o conservar los que ya se tienen es cada vez más difícil. Las aguas están en veda, la disponibilidad es menor y el uso público urbano tiene prioridad.

La situación ambiental de esta región se considera frágil debido a las sequías, así como por la sobreextracción y contaminación del agua. La degradación de suelos por cambio de uso, erosión, pérdida de vegetación y de fertilidad aumentan el riesgo de desertificación. De esta manera, los medios de vida rural están en riesgo, especialmente en las pequeñas unidades de producción.

La base de esta perspectiva es que el agua y la sociedad coevolucionan juntos a través del espacio y el tiempo, y conforman un mismo sistema que presenta ciertas variaciones en cada contexto. A continuación, esta perspectiva del ciclo hidrosocial se adaptó para hacer un análisis

de la problemática y de las alternativas emergentes que suceden en los Altos de Jalisco.

## **Principales elementos del ciclo hidrosocial en los Altos de Jalisco**

El modelo de ciclo hidrosocial que aquí se presenta es una adaptación al contexto regional semiárido de los Altos de Jalisco, particularmente de los Altos Norte. El propósito es utilizar este modelo para ordenar y analizar la información pública disponible e identificar la que hace falta para disponer de un modelo o conjunto de información integral que ayude a mejorar la toma de decisiones en la gestión del agua y del territorio.

Esta sección describe el tipo de información pública que se genera y está efectivamente disponible, frente a los vacíos que se necesitarían llenar, para así tener una mejor comprensión de los factores y elementos que intervienen en la gestión del agua. Para construir este modelo, se tomó en cuenta el discurso de los actores locales entrevistados en los municipios de San Juan de los Lagos y Lagos de Moreno, y se revisaron los modelos de ciclo hidrosocial elaborados por Karen Bakker (2000), Erik Swyngedouw (2009), Jamie Linton y Jessica Budds (2014) y Rebecca L. Farnum, Ruth Macdougall y Charlie Thompson (2017). A partir de ahí, se identificaron los principales elementos del modelo adaptado al semiárido de Jalisco y se integraron en el análisis aquí presentado.

La noción de ciclo hidrosocial —otros autores lo denominan ciclo socionatural (García & Mozka, 2022)— reconoce la interacción mutua y en continua evolución que sucede entre el agua y la sociedad. La complejidad del ciclo es determinada, en gran medida, por elementos geofísicos y procesos que intervienen en los flujos de agua (clima, precipitación, geología, vegetación, características de los ecosistemas, etc.); sin embargo, los humanos han desarrollado la capacidad de adaptar el entorno a sus necesidades y ahora los elementos y procesos de la naturaleza han sido intervenidos directa o indirectamente por actividades humanas a través del uso, extracción, desvío, reutilización, almacenamiento, alteración bioquímica o contaminación de los flujos de agua que suceden en los ríos, lagos y acuíferos. Incluso hay intervenciones directas en la atmósfera, así como en los océanos y glaciares, al utilizar, por ejemplo, cañones antigranizo, dispositivos para recolectar

agua atmosférica, desalación de agua marina, embotellado de agua de glaciares, entre otros.

Así, la humanidad interviene de múltiples maneras en el ciclo natural del agua y es capaz de inducir cambios desde la escala local hasta la global, gracias a su capacidad de moverse, adaptarse y cambiar su entorno con apoyo en la ciencia, tecnología, infraestructuras, comunicación rápida, creación de instituciones, marcos legales, ejercicio del poder e incentivos económicos (Savenije, Hoekstra & Van der Zaag, 2014). Por otro lado, la calidad y medios de vida de la gente, la producción, la estabilidad social, el presente y el futuro dependen también de las condiciones del agua en cuanto a su abundancia/escasez, contaminación (natural o inducida), cambios en la precipitación y en el régimen fluvial, ocurrencia de riesgos hidrometeorológicos, entre otros.

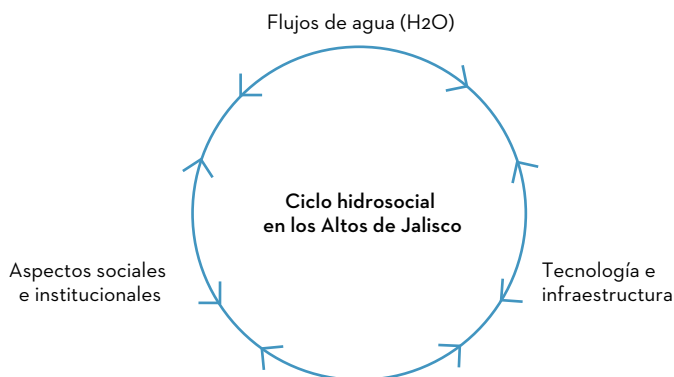
Desde esta perspectiva y para comprender las características de lo que sucede en el ciclo hidrosocial de los Altos de Jalisco, a continuación se distinguen tres grandes componentes interrelacionados:

- Los flujos de agua que ocurren a escala local y regional. Se refiere al H<sub>2</sub>O superficial, subterráneo y atmosférico como parte de un mismo proceso infinito.
- La tecnología, infraestructura y prácticas sociales que se utilizan para interceptar y alterar los flujos de agua. Predominan las intervenciones de interés social que por lo regular tienen implicaciones negativas en los hidroecosistemas y, por ende, tarde o temprano también afecta a las personas.
- Los aspectos sociales, institucionales y normativos que guían las prácticas de gestión y acceso al agua, y que, en ocasiones, también generan situaciones de (in)justicia y (des)igualdad.

Estos tres componentes del ciclo hidrosocial (véase la figura 5.3) se pueden desagregar con más detalle de acuerdo con el contexto —como se ejemplifica en la tabla 5.1— para destacar los elementos más relevantes y la información que hay o no disponible. La combinación de estos elementos configura diferentes mecanismos de acceso al agua que pueden ser legales o ilegales. Por ejemplo, un usuario puede ostentar derechos legales de agua (concesión), pero no cuenta con la infraestructura o re-



**FIGURA 5.3 PRINCIPALES COMPONENTES DEL CICLO HIDROSOCIAL O SOCIONATURAL**



Fuente: elaboración propia, adaptado de Linton y Budds (2014), y Farnum et al. (2017).

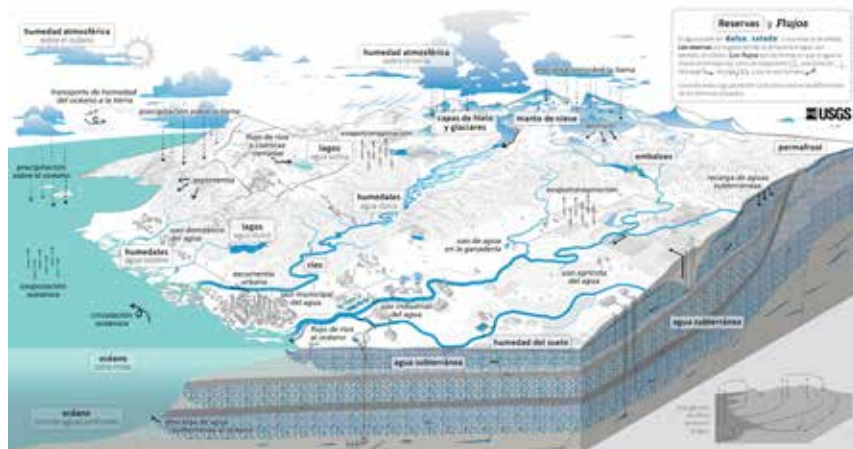
cursos para realizar su aprovechamiento; o en el caso contrario, gracias a la infraestructura puede haber extracciones ilegales de agua que superan sustancialmente el volumen concesionado (cfr. Ochoa-García et al., 2014: 157) o realizan descargas contaminantes a cuerpos de agua.

La figura 5.4 y la tabla 5.1 se presentan como referencias para observar la gran cantidad de elementos que podrían analizarse para construir un modelo del complejo ciclo hidrosocial, el cual ayude a comprender dónde se encuentra el agua en la Tierra y cómo se mueve, reconociendo que el uso del agua por parte de los humanos, el uso del suelo y el cambio climático tienen un impacto en el ciclo del agua (USGS, 2022). En el contexto de los Altos de Jalisco y de los municipios estudiados, hay grandes vacíos de información sobre los diferentes componentes del ciclo hidrosocial. A pesar de ello, en los siguientes apartados se hizo un esfuerzo por coleccionar y ordenar la información que se encontró disponible.

A continuación, se presenta la información encontrada sobre los tres principales componentes del ciclo hidrosocial y sus elementos. Parte de la información fue recolectada en recorridos de campo y entrevistas;<sup>2</sup> para la mayoría de los elementos de interés indicados en la tabla 5.1, la informa-

2 La metodología de investigación, las herramientas utilizadas y los actores entrevistados sobre sistemas gravitacionales de flujo se describen con mayor detalle en el capítulo II.

**FIGURA 5.4 MODELO GENERAL DEL CICLO DEL AGUA (NO INCLUYE ASPECTOS INSTITUCIONALES)**



Fuente: USGS (2022).

ción fue escasa, dispersa, o no se encontró. En las fuentes de información pública, lo más abundante se refiere a aspectos fisiográficos en el ámbito regional, mientras que a escala municipal hay datos demográficos y de producción económica, además de aspectos institucionales. Los siguientes capítulos que conforman esta segunda parte del libro se desarrollaron con la información que fue encontrada.

## SISTEMA DE FLUJOS LOCALES Y REGIONALES DE AGUA

Como se ha señalado en el segundo capítulo de este libro, los estudios y en general el conocimiento sobre flujos gravitacionales de agua subterránea son muy escasos en México, ya que la Conagua favorece el modelo en que el subsuelo se encuentra hidrológicamente dividido en acuíferos cerrados y no en flujos que trascienden los límites hidrológicos definidos oficialmente para cuencas y acuíferos (Carrillo-Rivera et al., 2016).

El argumento central sobre los flujos gravitacionales de agua es que todas las aguas superficiales y subterráneas están conectadas; la dinámica y cambios en una le afecta a la otra, y por ello es necesario conocer los flujos en cuanto a su origen o antigüedad, infiltración, composición (calidad), dirección y descarga (afloramiento en ríos, manantiales o lagos).

**TABLA 5.1 PRINCIPALES ELEMENTOS DEL CICLO HIDROSOCIAL ADAPTADO AL CONTEXTO DE LOS ALTOS DE JALISCO**

Componente: flujos de agua (H <sub>2</sub> O)	Componente: tecnología e infraestructura	Componente: aspectos sociales e institucionales
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de flujos locales y regionales de agua: infiltración, origen y dirección de flujos de agua superficial y subterránea, descarga con afloramiento en ríos, manantiales y lagos.</li> <li>2. Condiciones fisiográficas: geología, hidrografía, formas del relieve, escurrimientos.</li> <li>3. Clima, régimen y cantidad de lluvia: inundaciones, sequías, evaporación, humedad del suelo.</li> <li>4. Disponibilidad y calidad de volúmenes de agua.</li> <li>5. Régimen fluvial, dinámica y cambios en los cuerpos de agua, caudales y almacenamiento en reservorios.</li> <li>6. Agua virtual: productos agropecuarios e industriales (salidas), e insumos para la producción (entradas).</li> <li>7. Cambio climático: variaciones en precipitación, temperatura y evapotranspiración.</li> <li>8. Equilibrio en los ecosistemas terrestres y acuáticos: riqueza en biodiversidad, cobertura vegetal, salud en cuerpos de agua, erosión de suelos y fertilidad.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Intercepción de flujos de agua mediante extracción, almacenamiento, trasvase, consumo y distribución en los diferentes usos del agua (usos consuntivo y no consuntivo): pozos, presas, acueductos, canales, plantas de tratamiento, sistemas de distribución y colectores.</li> <li>2. Contaminación, fugas (pérdidas) y reutilización del agua en los diferentes sectores: agricultura, ganadería, urbano, industria, servicios, hidroelectricidad.</li> <li>3. Ahorro de agua: uso eficiente, tratamiento de descargas y reutilización.</li> <li>4. Eficiencia: costos, energía y mantenimiento en los sistemas e infraestructuras hidráulicas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entidades o instituciones formales para la gestión, atención a demanda, uso y distribución del agua: usuarios colectivos e individuales, organismos auxiliares y gobiernos; considera los intereses y luchas de poder.</li> <li>2. Tamaño o cantidad de población: sectores que utilizan y demandan agua.</li> <li>3. Acceso al agua: derechos y medios materiales, orden de prelación, prácticas, tradiciones, discursos, organización, venta y acaparamiento de derechos de agua.</li> <li>4. Inversión pública y privada por subsector o tipo de uso (flujos de agua y dinero). Modelos de gestión y concesiones.</li> <li>5. Planes hidrológicos y organización territorial: división administrativa para la gestión sectorial del agua y el territorio a diferentes escalas: federal, cuencas, acuíferos y municipios. Acuerdos de distribución entre grandes usuarios rurales y urbanos.</li> <li>6. Desigualdades y calidad del servicio público urbano de agua: inversión, previsión, estrategias de atención a sequías y otros desastres hidrometeorológicos.</li> <li>7. Medios de vida y dinámica de la producción (principalmente ligado a lo agropecuario, actividades de recolección y pesca tradicional).</li> <li>8. Entidades o instituciones sociales emergentes formales e informales, en defensa del agua y el territorio (justicia hídrica). Población de afectados por la imposición de infraestructuras hidráulicas en defensa de sus derechos individuales y colectivos.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia, adaptado de Farnum, Macdougall y Thompson (2017), Linton y Budds (2014), Swyngedouw (2009) y Bakker (2000).

Otro supuesto principal es que los cambios en los regímenes de lluvia (agua atmosférica) y la alteración inadecuada de los flujos de agua podría comprometer las reservas actuales y futuras en detrimento del equilibrio de los ecosistemas y del bienestar social.

Algunas cuencas ubicadas en el centro y la frontera norte del país son quizás las más estudiadas debido a la gran presión e intereses que hay sobre esas aguas, mientras que la mayoría del territorio nacional carece de ese tipo de información (Rabadán–Ramírez, 2019; Carrillo–Rivera et al., 2016; Pañuela–Arévalo & Carrillo–Rivera, 2013; Scott, 2011).

Uno de los retos que enfrentan los dos municipios de nuestra área de estudio frente al modelo de gestión del agua en México, es que el agua superficial se maneja mediante regiones hidrológicas administrativas (RHA), cuyos límites son establecidos por la Conagua, al igual que los acuíferos, y estos límites difieren de los territorios municipales. Sin embargo, el punto de referencia para esta investigación, más allá de la selección de los municipios, tiene que ver con que ambos se asientan en la subcuenca del río Lagos, misma que es tributaria de la cuenca del río Verde, que pertenecen a la RHA Lerma–Santiago–Pacífico. La actual delimitación de cuencas y acuíferos distan mucho de la forma en que suceden los flujos de agua en su conjunto; las aguas subterráneas tienen una dinámica muy diferente a los ríos y aguas superficiales.

Algunos críticos que han cuestionado la metodología con la que trabajan las instituciones gubernamentales señalan que: “Conagua no ha demostrado tener un entendimiento de cómo es que funcionan los flujos del agua subterránea que circulan por el territorio nacional” (Kachadourian et al., 2015: 170). En contraste, la teoría de los sistemas de flujos gravitacionales —mencionada en el capítulo II— está tomando fuerza. Esta teoría propone que en el agua subterránea hay diferentes flujos (locales, intermedios y regionales) y que puede llegar a recorrer muchos kilómetros hasta llegar al punto donde emerge o se extrae a través de un pozo o un manantial.

Es decir, el agua subterránea se mueve de unas zonas a otras dependiendo de la geología del territorio y esta se mantiene en un estado de movimiento permanente (Carrillo–Rivera et al., 2016) sin estar contenida en un acuífero estático. Así, el agua se aprecia en un sistema mucho más complejo que el planteado por la Conagua; por ello, el enfoque de acuí-

feros y cuencas, entendidos como hasta ahora, parece perder significado. Entender cómo funcionan los flujos de agua en un territorio es la clave para avanzar hacia una gestión más adecuada e integral del agua.

De acuerdo con Tóth (1999) y siguiendo la ilustración de la figura 2.5 (consultarla en el capítulo II), se distinguen tres tipos de flujo según la escala o distancia que recorre el agua, lo cual genera diferentes características y dinámicas. De manera adicional a lo explicado en el capítulo II y para efectos del enfoque en nuestra investigación, describimos algunas características complementarias de los tres tipos de flujos subterráneos:

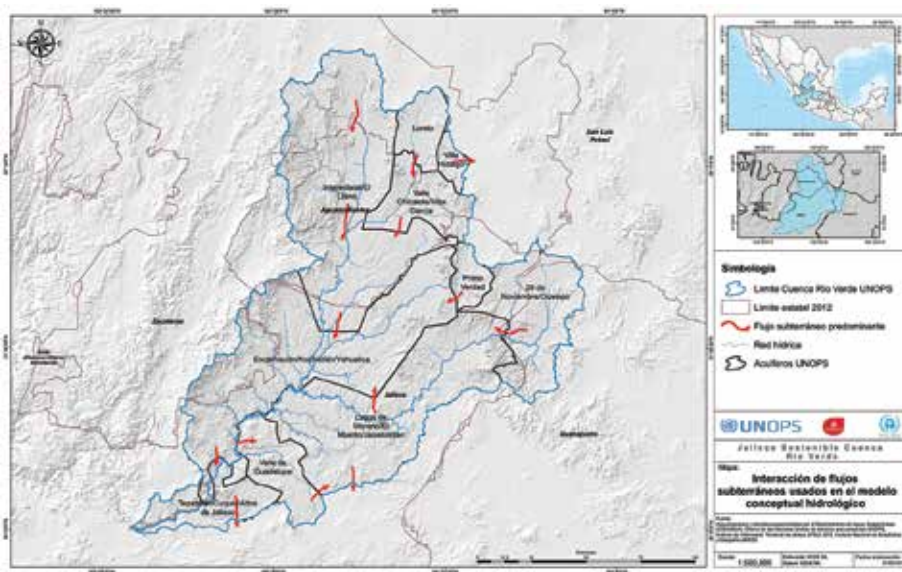
- Flujo local. En este tipo de flujo las zonas de recarga y descarga se encuentran en una corta distancia, el agua se mueve a baja profundidad y tiene pocos minerales disueltos en ella. La temperatura suele ser cercana a la del ambiente y esta suele variar en las diferentes épocas del año. Todo el ciclo de un flujo local se limita a una cuenca, es decir, a una escala pequeña del territorio. Estos flujos de agua son los más aptos para el consumo humano, debido a que tienen pocos minerales disueltos y, en consecuencia, contienen menos minerales tóxicos (Tóth, 1999).
- Flujo intermedio. El recorrido de este tipo de flujo se da en una profundidad más grande que el de un flujo local y el ciclo se da en más de una cuenca, donde el agua permanece más tiempo bajo superficie y recorre más distancias. En consecuencia, este tipo de agua tiene mayores concentraciones de minerales disueltos, mayor contenido de sólidos totales disueltos y, en general, una temperatura más elevada que la de un flujo local (Tóth, 1999). Estos tipos de agua pueden ser problemáticos si contienen minerales tóxicos, que afectan a la población; pero pueden ser un reservorio de agua ante el cambio climático, ya que la evaporación es menor al estar a mayor profundidad.
- Flujo regional. En estos flujos, el agua circula a una profundidad superior que en los flujos locales e intermedios; inician normalmente en los terrenos de mayor altitud y acaban el ciclo en las zonas más bajas, donde se descarga. El agua puede estar durante miles de años desde que entra a la superficie hasta que sale y recorre distancias muy largas. Las características químicas del agua de estos flujos incluyen un alto

contenido en minerales disueltos al estar miles de años en contacto con rocas y minerales y temperaturas altas del agua debido a la profundidad a la que llegan. Es recomendable no usar estas aguas para el consumo humano porque suelen contener muchos minerales disueltos que pueden contener arsénico y flúor, entre otros. En México y en otras partes del mundo donde las aguas subterráneas se están sobrexplotando, las primeras capas de agua subterránea que se consumen suelen ser de ciclos locales y luego intermedios, pero cuando estas se gastan, se pasa a usar agua de flujos regionales que traen problemas muy graves a la salud. Al sobrexplotar las aguas subterráneas también se generan diversos fenómenos físicos que provocan la mezcla de los diferentes tipos de este recurso, ya que se sube de los flujos regionales contaminándolos con pocos minerales y con menos densidad que los que se encuentran arriba (Tóth, 1999).

Como hemos señalado, en los Altos de Jalisco no se han realizado estudios detallados para conocer la dinámica de los flujos de agua que suceden en la región. La única investigación encontrada con este enfoque es relativamente reciente y fue realizada por la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS, por sus siglas en inglés) entre 2015 y 2017 (UNOPS, 2017). Entre los resultados de esta investigación, se ofrecen algunas pistas de cómo se mueven las aguas subterráneas en la cuenca del río Verde y se observa en el estudio que los flujos regionales predominantes no corresponden a los límites de cuenca ni a los acuíferos delimitados por la Conagua (véase la figura 5.5).

De acuerdo con ese estudio de la UNOPS, y aunque no especifica la antigüedad del agua proveniente del subsuelo, aparentemente las aguas de la cuenca del río Lagos están conectadas con las cuencas vecinas del río Grande y El Cuarenta, las cuales corresponden también a los acuíferos Encarnación, El Muerto y Primo de Verdad. La dirección de los flujos en nuestra área de interés (cuenca del río Lagos) suceden en diferentes direcciones: este-oeste, sur-norte y norte-sur, mientras que el flujo del río Lagos tiene una orientación este-oeste para descargar en el cauce del río Verde (véase la figura 5.5). En contraste con los flujos que sigue el agua, la planeación de cuencas y la toma de decisiones se basan en el sentido que sigue el cauce y escurrimiento de los ríos.

**FIGURA 5.5 FLUJOS REGIONALES DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CUENCA DEL RÍO VERDE**



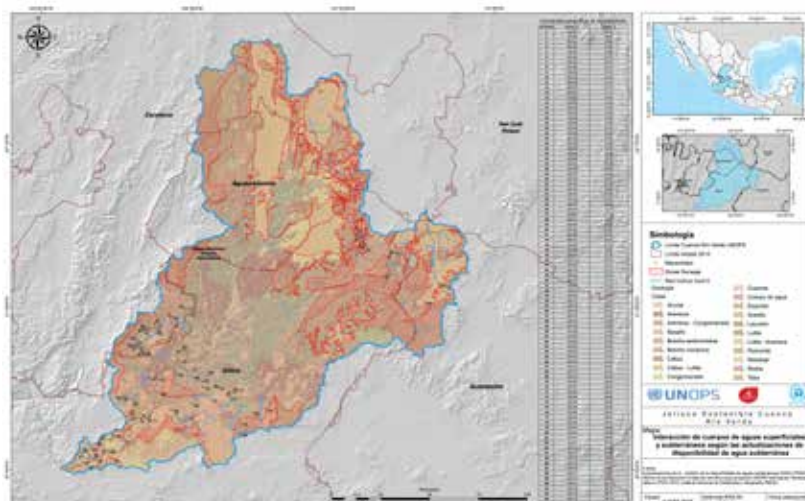
Fuente: UNOPS (2017: 50).

Al tomar en consideración este panorama de interconexión entre las subcuencas y acuíferos de los Altos de Jalisco, parece razonable suponer que los cambios e impactos que suceden en una subcuenca/acuífero también pueden afectar directamente la dinámica de otra. Por ejemplo, la constante disminución en el caudal en el río Lagos podría estar relacionada con la creciente sobreexplotación en el acuífero Encarnación y los cambios de uso de suelo que suceden en la Sierra de Lobos y sus alrededores.

## ORIGEN, INFILTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE FLUJOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Las zonas de recarga son de gran importancia para mantener el equilibrio de los flujos subterráneos, y su catálogo considera parámetros como la permeabilidad y la topografía. Si el suelo de las zonas de recarga se transforma —como ha pasado en los años recientes en nuestra área de estudio debido a cambios de usos del suelo, como urbanización, agricultura in-

**FIGURA 5.6 ZONAS DE RECARGA EN LA CUENCA DEL RÍO VERDE**



Fuente: UNOPS (2017, mapas).

tensiva, ganadería, pérdida de bosque, etc.—, se cambian las propiedades del suelo y puede perder su permeabilidad, imposibilitando la recarga de agua subterránea (UNOPS, 2017). Por ello, la protección de las zonas de recarga es una estrategia necesaria; controlar el cambio de uso de suelo puede impedir que se perjudiquen gravemente las condiciones del agua subterránea (UNOPS, 2017).

En los Altos de Jalisco y en nuestra área de estudio hay zonas de recarga y de descarga. Las zonas de recarga son en general las más altas del territorio, con una vegetación natural primaria y secundaria (Kachadourian et al., 2015). Las zonas de descarga suelen estar a una altura más baja y es donde se encuentran la mayoría de los cuerpos de agua, manantiales y ríos. En la figura 5.6 se muestran las zonas de recarga de la cuenca del río Verde.

A estas zonas llegan flujos subterráneos de diferente origen que nutren acuíferos, manantiales y cuerpos de agua superficial del área. Los cambios que se han dado en las zonas de recarga y la sobreexplotación de los flujos subterráneos afectan negativamente las zonas de descarga, lo cual ha provocado que disminuya la cantidad de agua que nace en los manantiales, los flujos subterráneos y los cuerpos de agua superficiales



(Kachadourian–Marras, Alconada–Magliano, Carrillo–Rivera, Mendoza, Herrerías–Azcue & Silva, 2020).

El conocimiento de los flujos de agua también permite entender lo referente a la calidad del agua, ya que la composición química de esta depende del sustrato geológico, rocas y minerales que disuelve el agua a su paso (Rabadán–Ramírez, 2019). Para entender cómo funcionan los flujos subterráneos, es esencial saber dónde están las zonas de recarga y de descarga. La zona de recarga de un acuífero puede definirse como el lugar donde el agua filtrada alcanza las reservas subterráneas, mientras que la zona de descarga es el sitio donde el agua aflora y representa la fase final de recorrido del flujo subterráneo (Kachadourian et al., 2020).

## CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES

En la zona de estudio se han encontrado niveles preocupantes de elementos tóxicos en las aguas subterráneas de la región, como selenio, arsénico y fluoruros. Desde hace años, la presencia de arsénico es un problema importante en los pozos que abastecen a las poblaciones de 17 municipios alteños. Según Roberto Hurtado–Jiménez y Jorge Gardea–Torresdey (2006), 92% de las muestras recolectadas en 129 pozos de uso público urbano rebasan el nivel máximo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), definido en 10 microgramos por litro de agua.

San Juan de los Lagos es una de las localidades en peor situación al registrar la presencia de arsénico en concentraciones que van de 29.2 hasta 100.3 microgramos por litro, y la temperatura del agua oscila entre los 27.0 y 42.6 °C. En Lagos de Moreno, que se ubica aguas arriba y a una altura topográfica más alta, se registró la presencia de arsénico con valores promedio de 25.2 a 29.6 microgramos por litro (aunque el valor máximo es de 43.3), y temperaturas entre 22.2 y 35.5 °C. (Hurtado–Jiménez & Gardea–Torresdey, 2006). Las altas concentraciones de arsénico amenazan la salud pública y del entorno, y además vulneran los derechos humanos al agua y al saneamiento, a un medioambiente sano y a la salud. Asimismo, al considerar la presencia de arsénico y otros minerales, además de la temperatura del agua, hace suponer que el agua proviene de aguas geotermiales profundas, probablemente flujos regionales de agua subterránea.

Añadido al riesgo para la salud, los contaminantes, junto con otras sustancias peligrosas, pueden introducirse en la cadena alimenticia o trófica a través del regadío de las cosechas y consumo de agua por el ganado, que posteriormente pasan a ser consumidos por la población. Por ello, es importante comenzar a instrumentar controles de calidad del agua y estudios de flujos de agua subterránea en la región. Es importante considerarlo, porque algunos municipios de la zona registran desde años atrás la presencia de diversos contaminantes en sus aguas subterráneas (Hurtado & Gardea, 2004, 2005, 2006, 2007).

Respecto a las aguas superficiales, la mayoría se encuentran contaminadas biológicamente por residuos urbanos, pecuarios y de la agricultura (Castañeda-Villanueva, Flores-López, Alfaro Cuevas-Villanueva, 2018). Los monitoreos de agua que se hacen regularmente por parte de la Conagua reportan bacterias fecales en medianas y altas concentraciones que son perjudiciales para los humanos y el medioambiente (SINA, 2020a). Este desastre medioambiental se debe en gran parte a que los municipios y poblaciones pequeñas no tienen plantas de tratamiento de aguas y a las descargas agropecuarias de los productores.

En los municipios más grandes, como Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos, las plantas de tratamiento de aguas municipales son insuficientes en términos de capacidad y tampoco funcionan como deberían (AN, entrevista, 21 de octubre de 2019; FDS, entrevista, 24 de octubre de 2019; Castañeda-Villanueva et al., 2018). Otra fuente importante de contaminación biológica de las aguas superficiales se relaciona con las actividades ganaderas que no tratan sus aguas y las desechan directa o indirectamente en los ríos y otros cuerpos de agua. Debido a esto, los ríos reciben importantes cantidades de contaminantes, ya que en la región se ubican muchas actividades ganaderas avícolas, porcícolas y lecheras (IEEG, 2018a).

La contaminación de aguas superficiales se ha convertido en foco de enfermedades para humanos y animales, contaminación del aire con malos olores y, sobre todo, diversas conflictividades socioambientales. También hay que indicar que el valor ecológico de estos ríos y cuerpos de agua superficiales ha disminuido significativamente en los últimos años, ya que los ecosistemas están muy deteriorados debido a la contaminación, la desaparición de corrientes de agua en la época seca del año y que, a causa de las presas, la conexión ecológica de los ríos se ha disipado, con

la consecuencia de que los seres vivos no pueden pasar de una parte del río a otra, afectando especialmente a los peces (Cotler & Gutiérrez, 2005).

Las actividades productivas de la región alteña, y en especial en San Juan de los Lagos y Lagos de Moreno, derivaron en la contaminación de sus fuentes de agua, particularmente en las superficiales. La ganadería y el crecimiento urbano ejercen una presión sobre el agua en términos de calidad y cantidad (Casillas-Báez & González-Pérez, 2009), lo cual se complica por ser una región semiárida que de manera natural tiene poca agua. Los ríos de la región se convirtieron en el drenaje de las ciudades alteñas, y estos convergen en el río Verde, que al final termina unido al río Santiago, cerca de la ciudad de Guadalajara. Miguel Angel Casillas-Báez y Cándido González-Pérez (2009) explican que el sector agropecuario en la región alteña ha crecido gracias a que encontraron en el agua subterránea una fuente “inagotable” para la producción; sin embargo, no deja fuera el impacto ecológico que tienen estas presiones sobre el territorio, considerando que las descargas agropecuarias contaminan el suelo y el agua. No obstante, los residuos agropecuarios, en especial las heces fecales o excremento, no siempre resultan en un deterioro ambiental, pues identifican que las excretas de los animales en algunas ocasiones son utilizadas como fertilizantes para productos agrícolas (Casillas-Báez & González-Pérez, 2009: 302).

Castañeda-Villanueva y colaboradores (2018), en la publicación denominada “Diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales en la región de Los Altos Norte de Jalisco, México”, presentan evidencias de que el deterioro ambiental guarda una relación con el manejo inadecuado de los suelos (incluyendo el sobrepastoreo). También reconocen que las descargas sin tratamiento de aguas residuales están teniendo repercusiones sobre la cuenca del río Verde, donde se asientan los Altos de Jalisco.

El río Lagos se ha convertido en una cuenca de descargas contaminantes de las actividades productivas de Lagos de Moreno y de San Juan de los Lagos (Castañeda-Villanueva et al., 2018: 11). Entre los municipios con mayores niveles de contaminación en la región alteña destacan, además de las dos ciudades mencionadas, Unión de San Antonio y San Diego de Alejandría. El análisis que permite llegar a estas conclusiones se realizó durante los años 2014 y 2016 para las variables conductividad eléctrica, cloruros, potencial redox, cantidad de oxígeno disuelto y nitrógeno amo-

niacal. En términos generales, para toda la región de los Altos también se observó una degradación en la calidad del agua superficial entre 2014 y 2016 (Castañeda-Villanueva et al., 2018: 9-10).

El trabajo de Juan Pablo Rojas-Ramírez y Ramiro Vallejo-Rodríguez sobre las actividades ganaderas en Jalisco y el manejo de los residuos que generan, se dirige a escala estatal, pero habla de un sector productivo característico y predominante en términos económicos a escala local. En este texto los autores identifican la carga contaminante de las heces fecales de los animales de granja (bovino, porcino y ave) y sus impactos en los cuerpos de agua receptores de las descargas; además, “los impactos ambientales generados por los aspectos del sector agropecuario en Jalisco tienen una causa de origen local, pero sus efectos tienen repercusiones de tipo global” (Rojas-Ramírez & Vallejo-Rodríguez, 2016: 435).

Estos autores también señalan el uso potencial de las excretas dentro del sector agropecuario: si se les da un tratamiento adecuado, pueden ser un insumo como fertilizante, o bien para producir energía eléctrica a partir de biodigestores; de esta forma se mitigarían los impactos ambientales que tiene la contaminación de cuerpos de agua o de suelo y se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Rojas-Ramírez & Vallejo-Rodríguez, 2016: 432).

La relación que existe entre el agua superficial y subterránea es que esta última es la fuente principal de la región para uso, consumo, abastecimiento y distribución de agua; esto implica incorporarse en la cadena alimenticia, y los alimentos producidos en la región pueden bioacumular diversos compuestos (Hurtado & Gardea, 2006) o bien, desecharlos por las excretas, mismas que se incorporan como contaminación al agua superficial o regresan al subsuelo por infiltración. A partir de estas referencias se puede señalar la necesidad de profundizar en la investigación de calidad del agua, las presiones que derivan en su degradación y las potencialidades que yacen detrás de este problema.

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO LAGOS

Con el fin de dar cuenta del deterioro de la calidad del agua del río Lagos desde una perspectiva química, el equipo de trabajo técnico de esta investigación analizó una base de datos construida a partir de los

**FIGURA 5.7 RANGO DE CALIFICACIÓN SEGÚN CONCENTRACIÓN DE DQO (MG/L) Y COLIFORMES FECALES (NMP/100 ML)**



Fuente: elaboración propia con datos de la Conagua (SINA, 2020a).

resultados publicados por la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua. La información en la base de datos contiene el nombre y localización de las estaciones donde se realizó el muestreo, un dato por año para cada indicador,<sup>3</sup> y la calificación otorgada por la Conagua, según el rango en el que se encuentre el valor de la concentración. Los dos indicadores analizados fueron coliformes fecales y demanda química de oxígeno (DQO), y las calificaciones según los rangos establecidos se presentan en la figura 5.7.

La Conagua, en su sistema de información del agua, publica un único dato (concentración del indicador) por estación y por año. Este dato corresponde a la mediana estadística de las todas las mediciones anuales realizadas. La mediana estadística es una medida de tendencia central que se refiere al valor de en medio o del centro —siempre y cuando se ordenen de menor a mayor—; es decir, la mitad de los datos se encuen-

3 Los indicadores que publica la Conagua en su sistema de información son DQO, demanda biológica de oxígeno (DBO), coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales.

tran por debajo de este valor y la otra mitad por encima. La forma en que se puede interpretar es, por ejemplo, si se tiene un valor de 250 mg/l de DQO (fuertemente contaminada, según el rango de la figura 5.7), quiere decir que todavía 50% de los datos de ese año se encuentran fuertemente contaminados con una concentración mayor.

El análisis se realizó en tres partes para cada indicador: la primera parte presenta los datos agrupados por año en cajas de bigotes (estas gráficas de cajas de bigotes son herramientas estadísticas que permiten contemplar la distribución del total de los datos y la división por cuartiles; la mediana es el cuartil de en medio). De esta forma se puede observar la evolución total del indicador en cuestión.

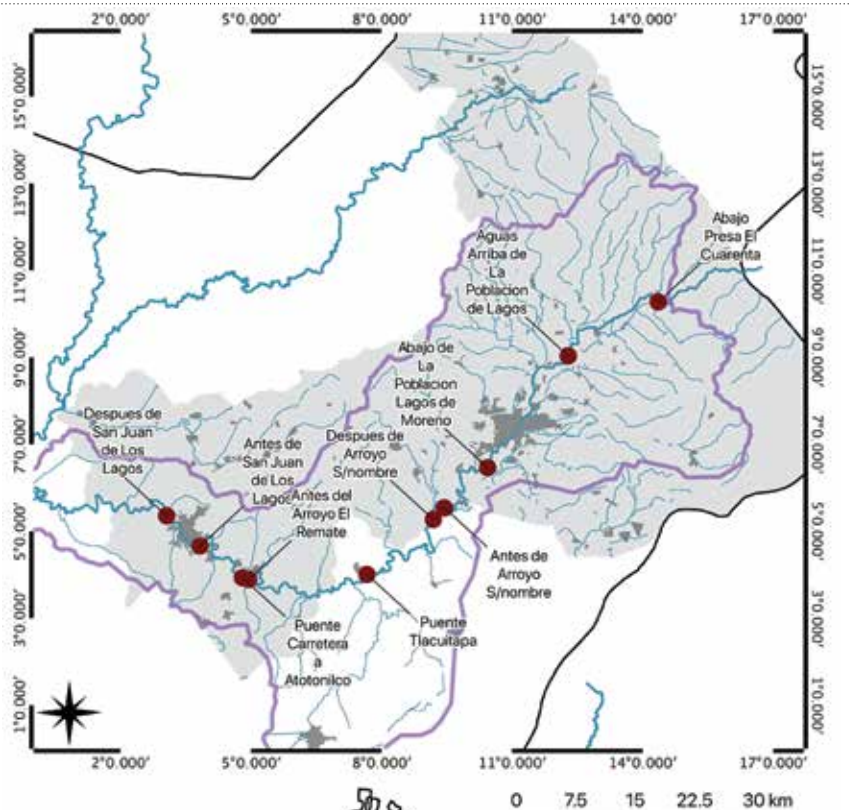
La segunda parte consiste en apreciar, a través de una matriz, la evolución de las calificaciones que, según la figura 5.7, tuvo la mediana estadística por estación y por año. Finalmente, presenta un mapa que muestra de manera proporcional el promedio de todos los datos del periodo por estación, esto con el fin de tener una noción de las zonas más afectadas, según cada indicador. Para ubicar las diez estaciones de monitoreo analizadas se presenta la figura 5.8.

Las coliformes fecales son la evidencia de que un cuerpo de agua es receptor de aguas residuales urbanas o agropecuarias, ya que son bacterias que suelen habitar en los intestinos de las especies de sangre caliente. Aunque las coliformes fecales no son totalmente patógenas, sí contienen subconjuntos que lo son, como *Escherichia coli*, entre otras, por lo que su presencia, en caso de que el agua sea consumida, representa un riesgo potencial para la salud pública (Madigan et al., 2009: 1143).

Por su parte, la DQO es un indicador que da cuenta de la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica y/o inorgánica disuelta en el agua. Las aguas con una DQO elevada vienen principalmente de actividades industrializadas (SINA, 2020a). Es decir, de manera indirecta indica cuánta carga tiene el agua para degradarse. No dice qué es ni qué contiene, pero sí cuando el agua se encuentra contaminada.

Los impactos generales de la contaminación del agua tienen que ver con la emergencia de enfermedades y el deterioro de la salud de los ecosistemas. Sin embargo, la forma en que repercutirán en un territorio dependerá de las condiciones locales y de los tipos de contaminantes. Este análisis es solo una aproximación a la calidad del agua del río La-

**FIGURA 5.8 ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO LAGOS**



Proyección: UTM  
 Zona: 13N  
 Fuente: CONAGUA, 2019

Elabora: Ana Sofía Macías Ascanio

- Corrientes de agua
- Cuenca Río Lagos
- San Juan de los Lagos y Lagos de Moreno
- Localidades
- Ríos principales
- Límite municipal
- Límite estatal

Fuente: elaboración propia con datos vectoriales de la Conagua (SINA, 2020a).

gos, según estos dos indicadores. En un análisis posterior se necesitaría identificar puntualmente el riesgo que representan aquellos compuestos, bacterias o virus que son específicamente perjudiciales y causan enfermedades particulares, su comportamiento, degradación o persistencia en el ambiente.

## COLIFORMES FECALES EN EL RÍO LAGOS

El río Lagos constantemente recibe descargas de aguas negras residuales, y el municipio carece de tratamiento suficiente tanto en la parte urbana como en el sector agropecuario. La cantidad de coliformes fecales en el río Lagos es una evidencia física de que existe una degradación ambiental vinculada con la calidad del agua. El crecimiento agropecuario y urbano constante también se relaciona con un aumento en los residuos que estos sectores generan. Para observar la tendencia temporal de las coliformes fecales en todas las estaciones del río Lagos se muestra la figura 5.9.

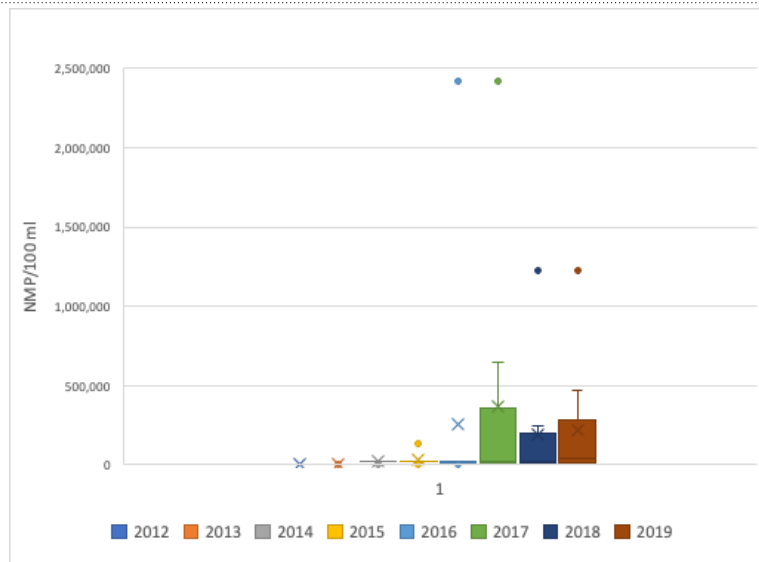
La figura 5.9 muestra para cada año el valor de todas las medianas estadísticas de las 10 estaciones de muestreo en el río Lagos, agrupadas en una caja de bigotes. Con el paso de los años, la mediana estadística de todas las estaciones dentro del río Lagos ha mostrado una tendencia temporal de aumento de coliformes fecales. Los valores más elevados se presentaron durante 2016 y 2017, ambos fueron registrados en la estación que se encuentra después del paso del río por la población de Lagos de Moreno. En 2018 y 2019 los valores que se muestran atípicos también sucedieron después de las cabeceras: en 2018 en San Juan de los Lagos y el siguiente año después de la cabecera de Lagos de Moreno. A partir de 2017 la distribución de datos abarca un mayor rango, lo que quiere decir que la contaminación, según la mediana estadística, ha aumentado desde entonces.

Para observar la evolución temporal, la distribución espacial y las calificaciones cualitativas que otorga la Conagua para cada estación de monitoreo se presenta la tabla 5.2.

Durante el primer año del que se tiene datos (2012), en algunas estaciones la calidad del agua ya se encontraba contaminada; sin embargo, fue el único año del que se tiene registro de una estación que contaba con agua



**FIGURA 5.9 DISTRIBUCIÓN DE COLIFORMES FECALES DE TODAS LAS ESTACIONES DE MONITOREO EN EL RÍO LAGOS, PERIODO 2012-2019**



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Conagua de 2012 a 2019 (SINA, 2020a).

de excelente calidad (Puente Tlacuitapa\*). Desde entonces el aumento de coliformes fecales fue afectando gran parte del río, al grado que para 2019 todas las estaciones se encontraron al menos una vez fuertemente contaminadas.

La estación “Después de Arroyo s/nombre” fue la primera que se contaminó fuertemente. Para 2019 todas las estaciones, al menos una vez, se habían mostrado ya con valores fuertemente contaminados. Es decir, todas las estaciones se han ido deteriorando con el tiempo, aunque existan años en que mejore la calidad aparentemente. En la figura 5.10, se pueden apreciar con mayor detalle las proporciones de las concentraciones de coliformes fecales en el río Lagos.

La figura 5.10 muestra de manera relativamente proporcional las concentraciones promedio para cada punto de muestreo. La primera estación donde se monitorea el agua, en la parte alta de la cuenca, es la que mejor se encuentra en términos de calidad; sin embargo, el promedio de los datos de la estación de todo el periodo de análisis lo califican como

**TABLA 5.2 EVOLUCIÓN DE CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO LAGOS SEGÚN PRESENCIA DE COLIFORMES FECALES EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO 2012-2019**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Abajo presa El cuarenta	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
Aguas arriba de la población de Lagos de moreno	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
Abajo de la población Lagos de Moreno	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
Antes de arroyo, sin nombre	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Después de arroyo, sin nombre	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
Puente Tlacuitapa	Excelente	Aceptable	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada
Antes del arroyo El Remate	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Contaminada	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Puente carretera a Atotonilco	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Contaminada
Antes de San Juan de los Lagos	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
Después de San Juan de los Lagos	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada



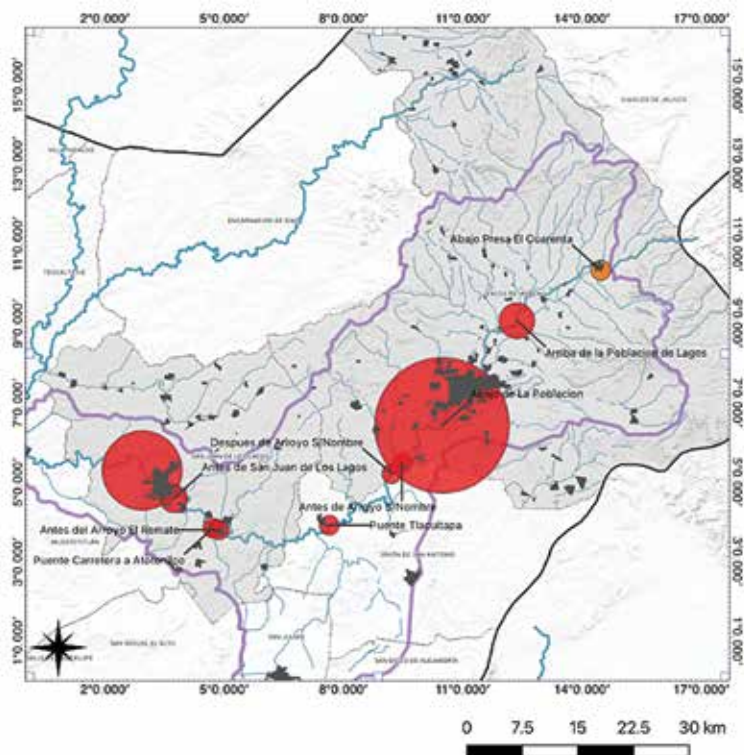
Fuente: elaboración propia con base en datos de la Conagua de 2012 a 2019 (SINA, 2020a).

contaminado, siendo mayor a 1,000 NMP<sup>4</sup>/100 ml; es decir, mayor a lo que establece la norma para descargas a cuerpos de aguas nacionales. Este punto se encuentra justo antes del poblado El Cuarenta y después de la presa que lleva el mismo nombre y que almacena agua principalmente para el sector agropecuario.

Conforme el punto de muestreo se aproxima a las cabeceras municipales, las coliformes fecales aumentan, y una vez que el agua del río las atraviesa se convierten en las zonas más afectadas. Particularmente, las descargas de la cabecera municipal de Lagos de Moreno son, sin duda, las que más deterioran el río Lagos. La concentración tiende a disminuir en las zonas donde existe poca población, sin embargo, no hay que dejar de lado que las aguas en estas zonas se siguen calificando como fuertemente contaminadas. Es decir, aunque prácticamente todo el río

4 NMP = número más probable.

**FIGURA 5.10 COLIFORMES FECALES EN EL RÍO LAGOS 2012-2019**



**Coliformes fecales 2012-2019**

- Contaminada
- Fuertemente contaminada

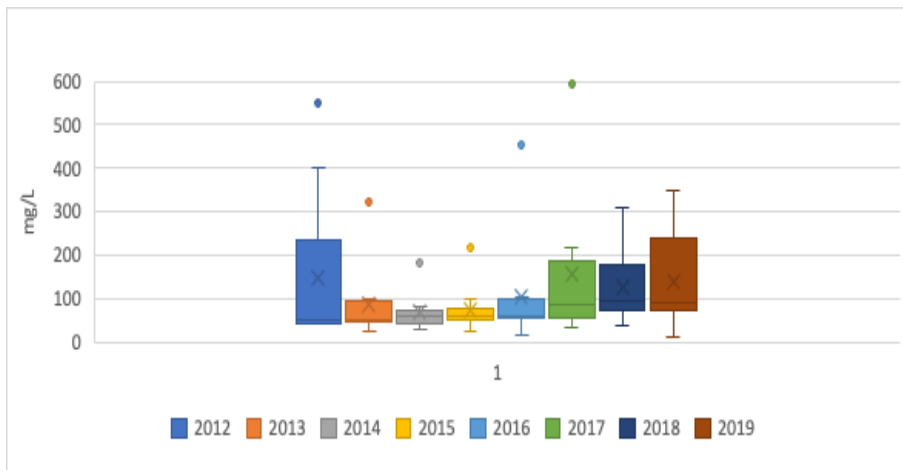
Nota: el tamaño del círculo no es exactamente proporcional a la concentración promedio de cada estación, ya que si esto fuera así, la proporción se saldría del mapa. Pero la hemos hecho relativamente proporcional para que el lector pueda apreciar los fuertes niveles de contaminación de agua debido a los coliformes fecales, según el tamaño de los círculos en rojo.

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Conagua de 2012 a 2019 (SINA, 2020a).

Lagos se encuentre fuertemente contaminado, es después de las zonas urbanas donde se concentran mucho más las coliformes fecales.

Según el análisis espacial y temporal para coliformes fecales, con el paso de los años ha ido aumentando la concentración y las zonas más afectadas están después de las cabeceras municipales de los dos municipios estudiados. Las zonas con menor población son las que menos coliformes fecales contienen, no obstante, todo el cauce del río Lagos se

**FIGURA 5.11 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (MG/L) DE TODAS LAS ESTACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO LAGOS (CONCENTRACIÓN POR AÑO 2012-2019)**



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Conagua de 2012 a 2019 (SINA, 2020a).

encuentra fuertemente contaminado, lo que indica que, aunque en menor proporción en algunas partes, constantemente recibe aguas residuales con materia fecal.

### **Demanda química de oxígeno**

El análisis de la DQO complementa al de coliformes fecales, porque este indicador demuestra la presencia de compuestos más complejos que generalmente se asocian con procesos industriales. Lo primero que se presenta a continuación es la distribución de los datos desde una perspectiva temporal, con el fin de evaluar la tendencia que ha tenido la DQO dentro del río Lagos (véase la figura 5.11).

La gráfica de la figura 5.11 muestra la mediana de las concentraciones de las 10 estaciones del río Lagos, según el año del muestreo. El primer año del que se tienen datos (2012) es uno de los más afectados en términos de calidad. El dato menor para este año fue de 43.7 mg/l; es decir que, según la calificación de la Conagua, en 2012 las medianas estadísticas de todas las estaciones del río Lago se encontraron contaminadas y fuertemente

**TABLA 5.3 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO LAGOS SEGÚN LA DQO, 2012-2019**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Abajo presa El cuarenta	Contaminada	Contaminada	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Buena calidad
Aguas arriba de la población de Lagos	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Fuertemente contaminada
Abajo de la población Lagos de Moreno	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
Antes de arroyo sin nombre	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Después de arroyo sin nombre	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Fuertemente contaminada
Puente Tlacuitapa	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada
Antes del arroyo El Remate	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada
Puente carretera a Atotonilco	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada
Antes de San Juan de los Lagos	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada
Después de San Juan de los Lagos	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Aceptable	Aceptable	Contaminada

	Excelente
	Buena calidad
	Aceptable
	Contaminada
	Fuertemente contaminada
	Sin datos

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Conagua de 2012 a 2019 (SINA, 2020a).

contaminadas. En general, con los valores de los demás años la mayoría de los datos fueron superiores a 40.

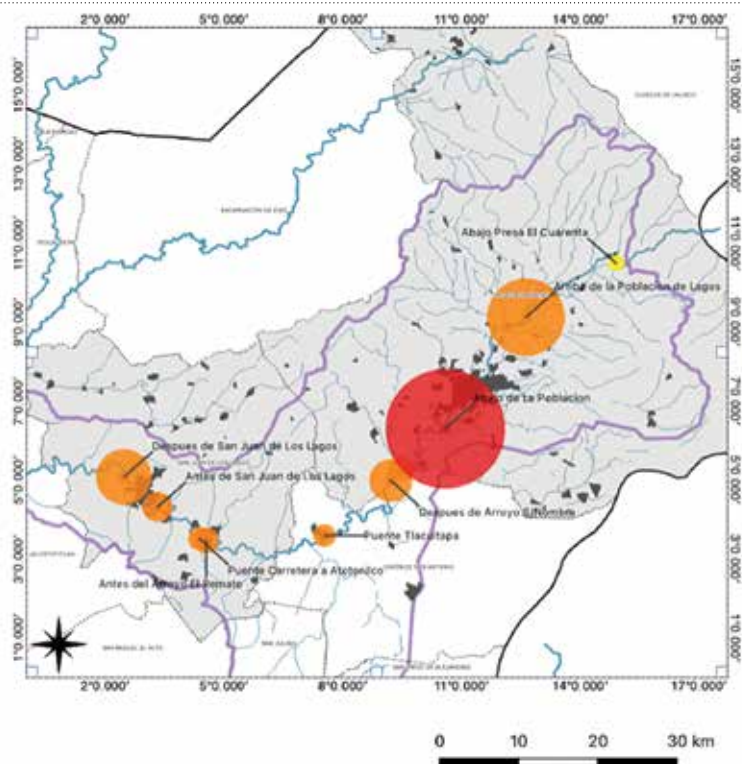
Después de 2012 la calidad del agua en relación con la DQO mejoró, pero para 2017 volvió a aumentar y siguió así hasta 2019. Como se puede observar en la tabla 5.3, de 2012 a 2019 se muestran datos atípicos muy elevados, que se encuentran puntualmente antes o después de la cabecera de Lagos de Moreno.

En relación con la evolución de la calidad del agua, esta tabla permite ver cómo fue la calificación de cada estación año por año. De nueva cuenta, al igual que con las coliformes fecales, la estación ubicada en la parte alta de la cuenca es la que menores índices de DQO presenta, e incluso mejoró su calidad para 2019. La estación más afectada de ese año fue la que se encuentra después de la población de Lagos de Moreno, además de otras tres estaciones fuertemente contaminadas.

Finalmente, se muestra la representación espacial que señala de manera proporcional cuál ha sido la concentración en cada estación de monitoreo, según los datos obtenidos por el equipo técnico de esta investigación.

El mapa de la figura 5.12 muestra la concentración promedio de todas las medianas estadísticas para cada estación de monitoreo. De acuerdo con este promedio, prácticamente todo el río Lagos ha estado contaminado

**FIGURA 5.12 DQO EN EL RÍO LAGOS 2012-2019**



**Demanda química de oxígeno 2012-2019**

- Aceptable
- Contaminada
- Fuertemente contaminada

Nota: el tamaño del círculo no es exactamente proporcional a la concentración promedio de cada estación, ya que si esto fuera así, la proporción se saldría del mapa. Pero la hemos hecho relativamente proporcional para que el lector pueda apreciar los fuertes niveles de contaminación de agua debido a los coliformes fecales, según el tamaño de los círculos en rojo.

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Conagua de 2012 a 2019 (SINA, 2020a).

por la DQO a excepción de la parte alta de la cuenca, después de la presa de El Cuarenta. Las zonas más afectadas se encuentran alrededor de la cabecera municipal de Lagos de Moreno y después de San Juan de los Lagos, lo que indica que la mayor actividad contaminante se concentra alrededor de estas zonas.

Después de analizar la tendencia espacial y temporal de ambos indicadores, se puede concluir que las aguas residuales que se descargan al

río Lagos no cuentan con tratamientos adecuados para la conservación de su buena calidad, y a lo largo de los años los indicadores aumentan su concentración. Las zonas más afectadas se encuentran después de las cabeceras municipales, con una mayor afectación en Lagos de Moreno. Sin embargo, aunque las concentraciones sean mayores cerca de los asentamientos urbanos, todo el río se encuentra contaminado por la DQO y por coliformes fecales.

Con el fin de atender esta problemática, por un lado, se debe abonar más a la comprensión de estos contaminantes para identificar qué hacer desde la fuente de contaminación —a manera de prevención en lugar de remediación— y mejorar los tratamientos a las descargas; por otro lado, se necesita saber con mayor precisión cuáles son los impactos que estos contaminantes tienen sobre la salud del ambiente y de las poblaciones que consumen el agua del río Lagos.

## LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RÍO LAGOS Y EL AGUA SUPERFICIAL

El agua superficial del área de estudio ha sufrido cambios importantes a través de la historia y especialmente en el último siglo. Además del consumo para atender las demandas de la zona, desde hace algunas décadas las aguas superficiales del río Verde y sus afluentes, como el río Lagos, representan reservas programadas para la ciudad de Guadalajara, el corredor industrial alteño y también para la ciudad de León, Guanajuato (véase figura 4.1 del capítulo IV).

En años pasados, en los municipios de Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos se encontraban cuerpos de agua superficial dispersos en el territorio y tanto el río Lagos como otro tipo de corrientes de agua superficiales contenían mucho más volumen que en la actualidad (Castañeda-Villanueva et. al., 2018). Uno de los factores que intervienen en esta reducción es que la presión ejercida por concesiones de agua superficial ha ido en aumento. Lagos de Moreno acumula en concesiones de agua superficial de 42.153 hm<sup>3</sup> anuales, mientras que San Juan de los Lagos acumula 2.418 hm<sup>3</sup> (Conagua, 2018b).

Por esta razón el consumo de agua subterránea ha ido ganando cada vez más terreno, de manera que satisface gran parte de la demanda de

agua para la industria ganadera y el abastecimiento público urbano de los Altos de Jalisco, en un área de condición semidesértica, que implica ciertos periodos de sequías de forma recurrente (Casillas-Báez & González-Pérez, 2009).

Como hemos documentado en el capítulo IV, un ejemplo del modelo de gestión del agua en la región durante las últimas décadas es el megaproyecto de la presa El Zapotillo, impulsado por autoridades estatales y federales. Este megaproyecto, aunque no está ubicado directamente en nuestra área de estudio, afecta y afectará el ciclo hidrológico del agua de toda la región, debido a la magnitud de su impacto. Todas estas políticas hidráulicas y de construcción de presas ha generado que el río Lagos, junto con otros, hayan perdido una gran parte de su flujo de agua superficial, dañando el medioambiente y las comunidades.

En los tiempo coloniales y poscoloniales, el río Lagos se entendía como una barrera natural que solo podía ser atravesada en ciertos puntos donde había puentes, ya que era un río ancho y con una corriente de agua importante. En cambio, hoy en día este río ha perdido una gran parte de su esplendor, su caudal y anchura. Otros ríos han pasado de tener un flujo de agua continuo durante todo el año a tener un flujo de agua solo en la temporada de lluvias. Es evidente que el agua superficial de la zona ha sufrido un descenso importante, debido en gran parte al cambio y transformación del territorio producido por las actividades humanas (Semadet, 2020).

## CLIMA, PRECIPITACIÓN, FISIOGRAFÍA Y SEQUÍAS EN LAGOS DE MORENO Y SAN JUAN DE LOS LAGOS

Lagos de Moreno es un municipio con una superficie muy extensa (2,797 km<sup>2</sup>), y los distintos usos del suelo son un indicador eficaz para entender las actividades económicas y del campo en el municipio. El 42.2% tiene un uso de suelo como pastizal, el siguiente uso del suelo más extenso es el de agricultura con 26.7%, el tercero son los bosques con 21.3% y el cuarto es la selva con 6.9% (IEEG, 2019a).

El clima predominante en la región es semiárido templado, con una temperatura media anual de 15.1 °C, una temperatura máxima promedio de 28.5 °C y mínima promedio de 5.4 °C. La precipitación media anual es de 665 mm (que se consideran lluvias escasas por lo regular y lluvias



suficientes en ciertos periodos en que se alcanza el máximo). Las lluvias se concentran en verano y otoño (IEEG, 2019a).

En Lagos de Moreno, el tipo de roca riolita que predomina en el subsuelo (36.2%) se caracteriza por rocas ígneas extrusivas ácidas de origen volcánico: la arenisca conglomerada (15.1%), la aluvial (18.5%) y la extrusiva ácida (15%), aunque también son rocas que conforman la corteza terrestre correspondiente a la superficie de este municipio (IEEG, 2018a). Esta corteza pertenece a los periodos Terciario y Cuaternario y se encuentra en dos provincias geológicas: Mesa del Centro (Eje Volcánico) y Eje Neovolcánico (Secretaría General de Gobierno, s. f.).

Hacen falta estudios detallados para determinar el nivel de infiltración de agua en este tipo de rocas. Lo que se necesitaría es medir las fracturas que pueden producirse, su apertura y longitud, sobre todo en las rocas volcánicas más duras, pues mientras más apertura y longitud de profundidad, permiten mayor infiltración de agua. Aquellas rocas de tipo volcánico pomesítico (tipo esponja más blanda, como las piedras pómez) que son altamente permeables, también deberían de ser analizadas a mayor profundidad en el área de estudio para ubicar sus regiones de localización en el subsuelo, debido a su gran importancia para las industrias ganaderas y los dos centros urbanos.

Por su parte, San Juan de los Lagos es un municipio con menor superficie en comparación con Lagos de Moreno, con un total de 914 km<sup>2</sup>. En este caso, la agricultura es el uso de suelo predominante con 61.3% del territorio. El segundo uso de suelo más importante son los pastizales con 27.9%, el tercero las selvas con 6.9% y el cuarto los bosques con 2.7% (IEEG, 2019b).

El clima predominante es semicálido semihúmedo, con una temperatura media anual de 17.8 °C, temperaturas máximas promedio de 31.4 °C y mínimas promedio de 3.4 °C. La precipitación media anual del municipio es de 700 mm (considerada al principio dentro del rango inicial de lluvias suficientes); las lluvias se concentran en verano y en otoño (IEEG, 2019b).

La geología en San Juan de los Lagos se caracteriza por tipos de roca que son una combinación de arenisca-conglomerado (33.9%), areniscas (22.2%), basalto (14.3%), caliza-lutita (11.2%) y riolita (9.6%), que son las más abundantes (IEEG, 2019b). En general, según la información obtenida,

son rocas duras y poco porosas que no favorecen la filtración del agua hacia los flujos subterráneos de agua (IEEG, 2018a). El territorio pertenece al periodo Cuaternario, de acuerdo con el suelo aluvial, lacustre y residual, y al periodo Terciario en lo que se refiere a la composición de rocas sedimentarias, caliza, ígneas extrusivas, riolitas, andesitas, basalto, toba y brecha volcánica (Secretaría General de Gobierno, s. f.).

Las formas del relieve en la zona de estudio se caracterizan por lomeríos y mesetas generadas por el desmembramiento geológico de la Mesa de San Julián–Arandas, y por los procesos erosivos que afectan sobre todo a los paquetes sedimentarios que atraviesan el río San Juan de los Lagos (río Lagos) y sus afluentes. Estos procesos han formado llanos separados, cañadas de laderas verticales y mesas volcánicas fuertemente disectadas (Valdivia–Ornelas & Castillo–Aja, 2001), que determinan las direcciones en las que se mueve el agua superficial por gravedad hacia los ríos y otros cuerpos de agua superficial y subterránea (por infiltración).

La vegetación también guarda las características según las condiciones que se dan en los semiáridos. En general, la región Altos Norte cuenta con vegetación endémica del grupo de las cactáceas (Semadet, 2020), particularmente en Lagos de Moreno se encuentra este tipo de especies junto con plantas y matorrales espinosos, y grandes extensiones de pastizales; existe también una zona de bosque de encinos con pastizales naturales (Gobierno Local de Lagos de Moreno, 2015), las cuales son especies ahorradoras de agua, sobre todo las cactáceas.

Los Altos de Jalisco es una zona propensa a las sequías y las variaciones en años recientes son muy marcadas: en 2009 sucedió la segunda peor sequía en 60 años y 2011 significó la peor sequía en 70 años; en contraste, en el ámbito nacional 2010 fue el año más lluvioso del que se tiene registro. En 2003 la precipitación promedio en los Altos Norte fue de 835 mm y en 2012 apenas se registraron 480 mm. La disminución de lluvias en 2011 ocasionó pérdidas en miles de hectáreas cultivadas y causó la muerte a miles de cabezas de ganado, generando una crisis que llevó a la declaratoria oficial de “Desastre natural por la ocurrencia de sequía severa del 1 de mayo al 30 de noviembre de 2011, en 26 municipios del Estado de Jalisco, diez de los cuales pertenecen a los Altos. Las tendencias indican que el estrés hídrico continuará y se acentuará en los Altos” (Ochoa–García et al., 2014).

Es esencial tomar en consideración todas estas características físicas, de precipitación, de contaminación y climáticas de los dos municipios del área de estudio, para entender las necesidades del territorio ante el cambio climático y los retos del futuro. Los planes para la gestión del territorio deben basarse en estas particularidades y desarrollar una adaptación que impulse actividades económicas y sociales de sus medios de vida para que sean sustentables, adaptadas al entorno y al clima cambiante, pues se trata de mantener la vida misma en el semidesierto de Jalisco.