



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**CONTRIBUCIONES ANALÍTICAS PARA ORIENTAR LA GESTIÓN DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS HACIA EL ALCANCE DE LA SEGURIDAD HÍDRICA:
APLICACIÓN EN CUENCAS RURALES SEMIÁRIDAS DEL
CENTRO-OCCIDENTE DE MÉXICO**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
OSCAR MANUEL SALVATORE OLIVARES

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. ANA LAURA BURGOS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL (CIGA)

MORELIA, MICHOACÁN; NOVIEMBRE, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

[página intencionalmente en blanco]

DEDICATORIA

**A mi esposa,
a mi madre,
a mis hijos,
finalmente
a mí.**

[página intencionalmente en blanco]

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento a mi asesora, la Dra. Ana Burgos guía en pensamiento y acción. Con total admiración a tu profesionalismo, a las ganas por hacer bien las cosas y que éstas sucedan, y principalmente por toda tu paciencia conmigo. Este camino jamás lo hubiera recorrido con nadie más. Mi aprecio, mi cariño y mi absoluto respeto para ti.

Al Dr. Joaquín Sosa por tantas reuniones, experiencias compartidas pero sobre todo, por su amistad e invitación a infinidad de experiencias en otros campos. Es usted el tutor de un gran grupo de profesionistas importantes para constituir lo que es hoy el sector ambiental en Aguascalientes. Gracias Dr. Sosa.

El Dr. Gerardo Bocco al cual tuve la oportunidad de tenerlo tanto de profesor como de sinodal, un goce el poder escuchar y aprender de tanto camino recorrido, siempre un comentario alentador con esa experiencia que solo se acuña con miles de horas de campo recorrido, mi mayor admiración hacia usted.

A los tres miembros del comité revisor de la tesis, Dra. Helena Cotler sin duda una de las académicas más duras que he vivido cuya inteligencia invita a nunca dejar de prepararse buscando en todo momento el bien por los demás. El Dr. Raúl Pacheco Vega a quien tengo la fortuna de llamarle amigo, una de las personas más amables y gentiles que conozco y junto con su experiencia, capacidad e inteligencia lo vuelven único. Gracias Raúl por las aventuras juntos. Dr. Manuel Mendoza del cual al igual que otros investigadores del CIGA tuve la fortuna de tenerlo como profesor, al igual que su gentil esposa. El Dr. Mendoza fue uno de los investigadores que me realizaron la entrevista para entrar al CIGA y el que hoy forme parte del comité de tesis es un gusto enorme.

Finalmente, con mucho cariño mi eterna gratitud a todas las personas que me brindaron su tiempo, su experiencia, su hogar y su corazón. A las lindas personas de Tierra Caliente Michoacán al igual que a las del municipio del Llano en Aguascalientes. A la Universidad Nacional Autónoma de México, al posgrado en Geografía y con especial cariño al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Al CONACyT por la beca doctoral.

[página intencionalmente en blanco]

ÍNDICE

Resumen general	1
Abstract	3
Capítulo 1 Introducción General	5
1.1. Introducción general	7
1.2. Alcances de esta investigación	13
1.3. Contexto institucional de la investigación	14
1.4. Estructura de la tesis	14
1.5. Referencias	15
Capítulo 2 Marco Conceptual	21
2.1. Marco conceptual	23
2.1.1. Gestión de cuencas hidrográficas	24
2.1.2. Seguridad Hídrica	27
2.1.3. Espacio geográfico, cuenca y territorio	28
2.1.4. Prospectiva territorial: antecedentes y potencialidades	32
2.2. Referencias	35
Capítulo 3 Área de Estudio y Marco Metodológico	43
3.1. Área de estudio	45
3.2. Marco metodológico	57
3.2.1. Abordaje de la investigación	57
3.2.2. Elaboración de insumos espaciales y obtención de información base	57
3.2.3. Valoración de la SH a nivel de cuenca hidrográfica (objetivo específico 1)	60
3.2.4. Reconocimiento de la complejidad territorial a nivel de cuenca hidrográfica (objetivo específico 2)	70
3.2.5. Análisis de prospectiva en las cuencas de estudio (objetivo específico 3)	73
3.3. Referencias	76
Capítulo 4 Valoración de la Seguridad Hídrica	81
Resumen	83
4.1. Introducción	83
4.1.1. Valoración de la SH: indicadores y descriptores	85
4.1.2. Cuencas de estudio	87
4.2. Método	89
4.2.1. Selección de descriptores	90
4.2.2. Integración de descriptores	95
4.3. Resultados	95
4.3.1. Amenazas Hídricas (AH)	95
4.3.2. Agua para Uso Doméstico (AD)	102
4.3.3. Agua para Actividades Productivas (AP)	105
4.3.4. Reducción del Riesgo Hídrico (RH)	108
4.3.5. Integración de descriptores	109
4.4. Discusión y conclusiones	112
4.5. Referencias	115

Capítulo 5 Complejidad Territorial en Cuencas Hidrográficas	123
Resumen	125
5.1. Introducción	125
5.2. Marco conceptual	127
5.2.1. Notas mínimas sobre la noción de territorio	128
5.2.2. Jerarquías organizacionales y escalas espaciales	131
5.2.3. Complejidad, configuración, y conglomerados territoriales	134
5.2.4. El espacio social en el espacio físico	134
5.2.5. Seguridad hídrica, complejidad territorial y gobernanza	136
5.3. Cuencas de estudio	137
5.4. Marco metodológico	141
5.4.1. Determinación de la configuración territorial	142
5.4.2. Tipificación de territorios y sus niveles de organización	142
5.4.3. Identificación de conglomerados territoriales y análisis espacial	144
5.4.4. Análisis de los sujetos territoriales	146
5.4.5. Identificación de limitaciones y retos en la gobernanza para la seguridad hídrica a nivel de cuenca	148
5.5. Resultados	149
5.5.1. Configuración territorial de las cuencas de estudio	149
5.5.2. Sujetos territoriales	160
5.5.3. Relación entre la complejidad territorial, los sujetos territoriales y las condiciones de gobernanza para la Seguridad Hídrica	170
5.6. Discusión	179
5.7. Conclusiones	182
5.8. Referencias	183
Capítulo 6 Prospectiva de la Seguridad Hídrica en Cuencas Hidrográficas	195
Resumen	197
6.1. Introducción	197
6.1.1. Prospectiva y construcción de escenarios de SH en la gestión de cuencas	200
6.2. Cuencas de estudio	203
6.3. Método	205
6.4. Resultados	214
6.4.1. Análisis estructural: selección de variables clave	214
6.4.2. Análisis morfológico: espacio del problema	215
6.4.3. Valoración de consistencia cruzada	218
6.4.4. Espacio de soluciones	220
6.4.5. Escenarios de SH para el año 2035	223
6.5. Discusión y conclusiones	229
6.6. Referencias	230
Capítulo 7 Discusión y Conclusión General	237
7.1. Discusión y conclusiones	239
7.2. Referencias	245
Anexos	249

Índice de cuadros

3.1. Rasgos climáticos	47
3.2. Principales entidades territoriales	51
3.3. Condiciones de vida de la población	52
3.4. Tipo de localidades y su frecuencia en las cuencas de estudio	52
3.5. Rasgos poblacionales de las subcuencas de estudio	58
3.6. Relación de informantes clave	61
3.7. Síntesis de preguntas guía	63
3.8. Información espacial empleada	65
3.9. Dificultades en el acceso a información y medidas adoptadas	66
4.1. Características generales de las cuencas de estudio	88
4.2. Componentes y descriptores para la valoración de la seguridad hídrica	91
4.3. Parámetros morfométricos de las cuencas de estudio	100
4.4. Parámetros morfohidrométricos de las subcuencas de estudio	101
4.5. Descriptores del componente de agua disponible para uso humano (AD)	103
4.6. Cubierta del suelo en los años 2002 y 2011	106
5.1. Relación de capas de información espacial	143
5.2. Valor de relación (VR) entre actores clave	147
5.3. Entidades territoriales que están presentes en las cuencas de estudio	151
5.4. Configuración territorial por entidad territorial y nivel de organización	153
5.5. Configuración territorial de las subcuencas	153
5.6. Presencia de conglomerados territoriales	154
5.7. Valores estadísticos del Índice de Moran	158
5.8. Relación de actores clave	161
5.9. Percepciones sociales respecto a la gestión del agua	164
5.10. Valores de Influencia Relativa (VIR) cuenca de Aguascalientes	168
5.11. Valores de Influencia Relativa (VIR) cuenca de Michoacán	169
5.12. Integración de los componentes cuenca de Aguascalientes	172
5.13. Integración de los componentes cuenca de Michoacán	175
6.1. Variables utilizadas en el análisis estructural	209
6.2. Variables clave empleadas en la construcción de escenarios	215
6.3. Matriz morfológica o espacio del problema	217
6.4. Matriz de consistencia	219
6.5. Combinaciones posibles del proceso de validación de consistencia cruzada	220
6.6. Espacio de soluciones	221
6.7. Matriz del escenario explorado para ambas cuencas de estudio	223

Índice de figuras

2.1. Esquema conceptual de la investigación	23
3.1. Localización de las cuencas de estudio	46
3.2. Cubierta vegetal y uso del suelo para el año 2014	49
3.3. Límites político administrativos, localidades y áreas naturales protegidas	53
3.4. Subcuencas de estudio y su ubicación por zona funcional	56
3.5. Marco metodológico general de la investigación	58
3.6. Esquema metodológico para valorar el nivel de SH	62
3.7. Procedimiento metodológico para reconocer la complejidad territorial	71
3.8. Procedimiento metodológico empleado para el análisis de prospectiva	74
4.1. Ubicación de las cuencas de estudio en el Centro-Occidente de México	87
4.2. Subcuencas seleccionadas	88
4.3. Climatograma	97
4.4. Balance hídrico climático	98
4.5. Clasificación de la precipitación anual	99
5.1. Categorías conceptuales	128
5.2. Ubicación de las cuencas de estudio. Límites hidrográficos y administrativos	139
5.3. Delimitación de subcuencas seleccionadas en las cuencas de estudio	140
5.4. Marco metodológico para determinar la complejidad territorial	141
5.5. Niveles del Indicador de conglomeración territorial	156
5.6. Niveles del Indicador de conglomeración territorial (Ict) por subcuencas	157
5.7. Representación cartográfica del índice de Anselin	159
5.8. Matrices de Relaciones Inter-Actorales (MARI)	165
5.9. Frecuencia relativa de los vínculos entre actores	167
5.10. Diagrama de bucles causales	176
6.1. Componentes de la SH y la complejidad territorial	205
6.2. Ruta metodológica de la prospectiva estratégica por escenarios	206
6.3. Matriz morfológica	210
6.4. Procedimiento de encadenamiento de las condiciones hipotéticas posibles	211
6.5. Ejemplo de una matriz morfológica	212
6.6. Matriz de consistencia	213
6.7. Ejemplo de inconsistencia lógica entre condiciones posibles	218
6.8. Ejemplo de inconsistencias empíricas entre condiciones posibles	219

RESUMEN GENERAL

El enfoque actual de la gestión de cuencas no está resultando efectivo para lidiar con los problemas de la actual crisis de los recursos hídricos en el mundo, exacerbada por los efectos negativos del cambio climático global. Sin embargo, su actual marco teórico metodológico es hoy en día el señalado como el más propicio para realizar las acciones que permitan una mejora en la capacidad adaptativa social e institucional en el manejo del agua a nivel global. Es por ello que esta tesis propone la integración de tres pilares teórico-metodológicos como sustento para actualizar en el enfoque de gestión de cuencas como parte del paradigma del manejo ambiental.

El primero de los tres pilares es la valoración de la Seguridad Hídrica a nivel de cuenca hidrográfica. Esta noción ha crecido en importancia debido a que su análisis y entendimiento permiten adecuar los esfuerzos de cualquier grupo social para consensuar una base para reducir su pobreza, hacer frente a su vulnerabilidad climática y sostener su crecimiento económico. El segundo pilar es el análisis de la Complejidad Territorial inherente a la cuenca. Se trata del principal obstáculo actualmente para la adecuada implementación de acciones de gestión de cuenca, debido a la dificultad de empatar los límites físicos de la cuenca hidrográfica con los administrativos, lo que impide la precisa ubicación de las corresponsabilidades en los procesos de gestión por parte de los actores clave. Y el tercer pilar es la Prospectiva de la cuenca. El uso de esta herramienta metodológica conlleva a priorizar las variables estratégicas más asequibles a modificarse con el propósito de mejorar las condiciones de gobernanza que sustenten un mejor nivel de Seguridad Hídrica con base en una mejor gestión de la cuenca.

La Gestión de Cuencas, la Seguridad Hídrica, la Complejidad Territorial deben concebirse como sistemas complejos, de tal forma que su análisis y comprensión se sustenten con herramientas teóricas y metodológicas rigurosas, como las acuñadas en la Geografía, al ser esta una ciencia que permite ser un puente entre diversas disciplinas del pensamiento crítico al mismo tiempo que tiene como objetivo el entendimiento de los fenómenos ambientales en el espacio.

Palabras clave: seguridad hídrica, territorio, cuencas hidrográficas, complejidad territorial, gobernanza.

[página intencionalmente en blanco]

ABSTRACT

The current approach to watershed management is not proving effective in handling the problems of the current water resources crisis in the world, exacerbated by the negative effects of global climate change. However, this theoretical-methodological framework is the most favorable one to carry out the actions that allow for an improvement in the social and institutional adaptive capacity in water management at a global level. This thesis proposes to integrate three theoretical-methodological pillars to support updates in the watershed management approach as part of the environmental management paradigm.

The first of the pillars is to assess Water Security at the watershed level. This notion has grown in importance because its analysis and understanding allow the efforts of any social group to be adapted to find a base to reduce their poverty, face their climatic vulnerability and sustain their economic growth. The second pillar is the analysis of the Territorial Complexity inherent in the basin. This is the principal obstacle to the adequate implementation of watershed management actions, because of the difficulty of matching the physical limits of the watershed with the administrative ones, which prevents the precise location of co-responsibilities in the management processes by the key actors. And the third pillar is the watershed Prospective. Using this methodological tool leads to prioritizing the most affordable strategic variables to be changed to improve the governance conditions that support a better level of Water Security based on better watershed management.

Watershed Management, Water Security, and Territorial Complexity must be conceived as complex systems, in such a way that their analysis and understanding are supported by rigorous theoretical and methodological tools, such as those coined in Geography, as this is a science that allows us to be a bridge between various disciplines of critical thinking while aiming to understand environmental phenomena in space.

Keywords: water security, territory, watershed, territorial complexity, governance

[página intencionalmente en blanco]

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN GENERAL

[página intencionalmente en blanco]

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La gestión de cuencas hidrográficas: alcance y limitaciones

El enfoque de gestión de cuencas hidrográficas (GCH), deriva del paradigma de la gestión ambiental (Brooks, Ffolliott y Magner, 2012). Primero, es un enfoque basado en la delimitación de unidades espaciales, i.e. las cuencas hidrográficas; que surgen de la compartimentación del continuum geográfico a partir de las características del relieve (Biswas y Tortajada, 2001; Velasco y Montesillo-Cedillo, 2007). Segundo, el interés principal de la gestión se ubica en el agua y su apropiación, en tanto recurso fundamental para la vida doméstica, las actividades productivas y la vida silvestre (Dourojanni, Jouravlev y Chávez, 2002). En donde la cuenca hidrográfica alberga la heterogeneidad biofísica que incide en los procesos hidrológicos, así como las relaciones espaciales arriba-abajo que afectan la cantidad y calidad final de agua (Garrick y Hall, 2014; Jun y Yongyong, 2008; Cohen y Davidson, 2011; Polo et al., 2014; Tapia, 1999; Pahl-Wostl, Palmer, y Richards, 2013). Tercero, dada la fuerte interrelación entre las características estructurales del espacio geográfico, las actividades humanas y los procesos que regulan la cantidad, calidad y temporalidad del agua; la GCH obliga a integrar componentes naturales y sociales, procesos, flujos e impactos que operan dentro del mismo espacio geográfico delimitado (Perevochtchikova y Arellano, 2008; Dourojeanni, 2009; Cottler et al., 2013). Finalmente, dado el carácter indispensable del agua dulce para el bienestar y el desarrollo económico, la GCH aboga por la construcción de escenarios de condiciones futuras, de modo que se ubica en el corazón del desarrollo sostenible.

La GCH ha cambiado a lo largo del tiempo, inicialmente se ocupaba únicamente de gestionar el recurso hídrico, posteriormente se vio la necesidad de moverse a la cuenca como continente espacial y temporal del recurso (Neary, 2000); en la actualidad se trata de un enfoque integral que emplea todos los componentes de las cuencas hidrográficas y sus interacciones, no solo la manipulación de los procesos físicos (Reimold, 1998). La GCH debe entenderse como un marco de integración de elementos hídricos y procesos que organiza y guía el uso de la tierra, el agua y otros recursos naturales para proporcionar bienes y servicios exigidos por la sociedad, al tiempo que garantiza la sostenibilidad de los recursos naturales albergados en la cuenca: cubierta vegetal, suelo y agua (FAO, 2006; Cotler y Caire, 2009; Wang et al., 2016).

Sin embargo, como cualquier enfoque ambiental la GCH lidia con la complejidad sistémica intrínseca de las cuencas, así como de los procesos territoriales que en ella ocurren (Cohen y Davidson, 2011); particularmente con aquellos de gobernanza; los cuales entretienen la corresponsabilidad de los sujetos territoriales en la toma de decisiones con el fin de planificar e impulsar procesos de desarrollo equitativo (World Bank, 2008; OCDE, 2013).

En la actualidad, se ha elevado el nivel de complejidad de la problemática expresada en las cuencas, debido a las sinergias de factores concurrentes. Entre estos se encuentra la pérdida creciente de superficies forestales que regulan los procesos de escurrimiento/infiltración; la deficitaria relación entre oferta-demanda de agua para satisfacer las necesidades de la población creciente; el aumento en la contaminación puntual y difusa de fuentes superficiales y subterráneas; la incertidumbre asociada al cambio climático, y los conflictos en ciernes por el agua, en tanto recurso limitado.

Pese a que la GCH ofrece una excelente vía para la atención de problemáticas de alta complejidad, en gran parte de los países periféricos como México (Ávila, 2007), su aplicación muestra una llamativa desaceleración así como la falta de su incorporación en las políticas públicas para la gestión ambiental. Esta insuficiente adopción amerita mayor atención para identificar los huecos en las bases conceptuales y metodológicas que soportan la GCH, así como aquellas debilidades que reducen su capacidad operativa y prospectiva en contextos institucionales específicos.

Una primera debilidad conceptual que se reconoce en el estado del arte de la GCH, es la insuficiente asociación de la noción de seguridad hídrica (SH) con la cuenca hidrográfica. La noción de SH fue propuesta por Grey y Sadoff (2007) y el consorcio internacional Global Water Partnership (GWP, 2000) para referirse a *“la capacidad de acceso a suficiente agua segura a un costo asequible para llevar una vida limpia, saludable y productiva, al tiempo que garantiza que el medio ambiente natural esté protegido y saludable”*¹. A partir de la dupla disponibilidad-riesgo hídrico, la SH se reconoce como un componente estratégico para

¹“Water security, at any level from the household to the global, means that every person has access to enough safe water at affordable cost to lead a clean, healthy, and productive life, while ensuring that the natural environment is protected and enhanced”

la planificación y el desarrollo, es decir, las condiciones futuras de territorios y poblaciones. Para los países en vías de desarrollo, el alcance de una adecuada SH es de alta prioridad debido al papel central de los recursos hídricos en su desarrollo social y económico (Peña, 2017). Sin embargo, a pesar de la fortaleza conceptual del enfoque de cuencas para la gestión del agua, las cuencas no han sido suficientemente consideradas para valorar la SH (Gerlak y Mukhtarov, 2015). Basta mencionar, por ejemplo, que ‘cuenca hidrográfica’ es un término ausente en las definiciones de SH ampliamente revisadas por Cook y Bakker (2012), así como en los estudios que valoran la SH desde una perspectiva ambiental (Warner, Wester y Bolding, 2008; Oel, 2009; Falkenmark y Rockström, 2010; Vörösmarty et al., 2000; Keirle y Hayes, 2007; Hearne y Powell, 2014; Cook et al., 2013). La valoración de la SH con enfoque de cuenca requiere aún de mayor conceptualización y aplicaciones para reconocer sus alcances y limitaciones. Beek y Arriens (2014) al igual que Garfin et al. (2016), coinciden en que el querer medir y definir la SH a través de grandes escalas no es conveniente y recomiendan un índice local construido de diversos indicadores en varias dimensiones que permita su operación, medición y por lo tanto su mejora. Es decir el actual abordaje de la SH trata menos de obtener agua y más de fomentar las capacidades humanas en relación con el agua. O en palabras de Jepson et al. (2017), es momento de reorientar el concepto de SH lejos de un enfoque utilitario; por uno cuyo enfoque crítico se base en las relaciones agua-sociedad.

Otra debilidad conceptual y metodológica de la GCH que no se han resuelto satisfactoriamente, es el cómo enfrentar la dimensión territorial de las cuencas hidrográficas. En particular la comprensión de la complejidad social que se configura en el espacio de una cuenca hidrográfica a partir de los hilos de agua construidos socialmente, a través de las apropiaciones territoriales que inscriben los diversos actores de la cuenca (Perales, 2016; Varady et al., 2016). En este sentido Paré et al. (2012), señalan que las relaciones sociales y problemáticas emanadas por el acceso al agua entre los múltiples usuarios que habitan una cuenca, ha ocasionado que el análisis de ésta no deba ser exclusivamente desde una perspectiva biofísica, sino que actualmente sea imperativamente desde una social. En particular el entendimiento de las asociaciones colaborativas que abordan las complejidades del ecosistema natural y su relación con el marco sociopolítico e institucional circundante a escala de cuenca hidrográfica (Hardy, 2010).

Si bien la gestión de cuencas incorpora la dimensión social dentro de su conceptualización, esta adición suele realizarse obviando la complejidad de los factores sociales que se tejen al momento que la cuenca hidrográfica es territorializada (Perales, 2016). Los límites territoriales surgen de procesos socio históricos de apropiación del espacio geográfico. Precisamente de la discrepancia entre los límites territoriales administrativos con respecto a los límites físicos deriva, quizás, la mayor debilidad operativa de la gestión de cuencas (Perevochtchikova et al., 2006). En este sentido, de los retos de la GCH en México destaca el cómo integrar la categoría de territorio de manera conceptualmente sólida, lo que permitirá considerar el espacio social de la cuenca más allá del espacio geográfico donde límites naturales son demarcados por los escurrimientos de agua.

El territorio es un concepto que alude a la apropiación y pertenencia, a la identidad y al poder. Los territorios se conforman a diferentes escalas espaciales, y responden a límites de tipo administrativo, simbólico y funcional (Herner, 2010). Por ello, la noción de territorio parece fundamental para identificar a los actores y las relaciones sociales que impactan y regulan los procesos dentro de una cuenca (Rincón, 2012). Por tanto, la gestión del espacio social de la cuenca debería contener una visión local del territorio, facultando una mejor comprensión de la estructura y de los procesos de toma de decisiones, que finalmente permiten respaldar resultados más sostenibles a nivel de cuenca hidrográfica (Hardy, 2022). Al igual que Perales (2016) al hablar del espacio social de una cuenca nos referimos a la complejidad social que se configura en el espacio de una cuenca hidrográfica, a través de las apropiaciones territoriales que inscriben los diversos actores de la cuenca los cuales interactúan entre sí de manera amistosa o conflictiva, colaboran entre ellos en el marco de las dinámicas de poder dentro de la cuenca; finalmente esto construye una pluralidad de territorios que se yuxtaponen o superponen entre sí.

En las cuencas no sólo es posible visualizar la interacción entre múltiples actores, sino que también es posible distinguir que éstos se interrelacionan en diversas escalas socio espaciales. Al momento de entender la gestión de una cuenca, la dimensión social encierra la dinámica económica, la lucha por intereses económicos, políticos, sociales y culturales tejidos por los

distintos actores presentes en este tipo de espacios geográficos. Es por ello que debemos entender a la GCH como una estrategia colaborativa amplia, que posibilita la resolución de un complejo conjunto de problemas interrelacionados entre sí (Sabatier et al., 2005). La GCH es compleja y complicada, no solo debido a las incertidumbres ambientales, sino también a los desafíos inherentes a las personas que trabajan juntas a través de fronteras políticas en múltiples escalas (Koontz y Newig, 2014). De ahí que la acción colectiva sea más fácil a nivel de microcuenca, sin embargo, la gestión hidrológica óptima requiere trabajar a nivel de macro cuenca (Kerr, 2007).

En México, la GCH muestra un particular rezago en instrumentos de política que permitan el ordenamiento de los distintos usos del agua a diferentes escalas. La falta de integralidad no solo está presente en la planificación por parte del estado, también lo está en la academia, prueba de ellos son los escasos trabajos presentados en el último congreso nacional de manejo de cuencas (octubre, 2019), en donde de 132 trabajos solo el 3 % abordó el tema de gobernanza, el 2 % el concepto de territorio y el 1 % el tema de SH (CNCH, 2019).

Finalmente una tercera debilidad de la GCH es la falta de una metodología rigurosa de prospectiva -una disciplina abocada a aproximarse de manera seria a la exploración de las posibilidades del futuro (Godet et al., 2000); ya que considera la construcción del futuro como resultado de la acción humana, lo que hace posible que el futuro esté diseñado y modificado proactivamente (Miklos y Tello, 2006)- ésta simplemente no está presente en la investigación de cuencas hidrográficas en nuestro país. No obstante que los estudios sobre prospectiva territorial es un área en creciente interés (Fernández, 2011; Gourmelon et al., 2012). La prospectiva como instrumento de planificación, resulta en una herramienta metodológica clave al orientar el trabajo colaborativo hacia la indagación de la configuración futura de un territorio y con ello el diseño de estrategias de desarrollo endógeno a la cuenca (Espinosa, 2006). De este modo, el uso de la prospectiva para orientar la gestión de cuencas en pro de una mejor SH resultaría en condicionar la formación de una movilización social para volver real esa visión de futuro compartida (Mera, 2014), una condición urgente en la actual política de la SH (Jensen y Wu, 2018); de tal manera que la gestión de recursos hídricos se entienda como un proceso de corresponsabilidad y acción compartida (Salas, 2013).

Comprender, gestionar y aminorar las alteraciones que amenazan al recurso hídrico es un reto científico y político extremadamente complejo. Esta necesidad es de mayor significado para el caso de las zonas áridas y semi áridas, en donde el agua se considera un recurso estratégico, que debe ser manejado desde la equidad social (Kirchhoff et al., 2016). A tal punto que los habitantes de estas cuencas deficitarias (en particular la población rural) se consideran en una situación de rehenes hidroclimáticos, muy vulnerables a los futuros y cada vez mayores efectos negativos de los cambios ambientales globales (Grey y Sadoff, 2007). Esto se vuelve muy relevante si consideramos que dos terceras partes del territorio nacional son áridas o semi áridas; y al igual que otros países Latinoamericanos, en México la mayor parte de la población rural se encuentra en situación de pobreza, aislamiento y marginación (Ocaña y de la Cruz, 2014). Así, el medio rural es especialmente sensible a este recurso, ya que la configuración territorial y las actividades productivas de los asentamientos humanos están dadas por la disponibilidad y distribución del agua en el tiempo y el espacio, lo que directamente determina el acceso y el uso que se le da, al igual que el tipo de relaciones que se presentan entre personas o instituciones.

Es por lo anteriormente descrito que esta tesis se propuso indagar en la aplicabilidad y utilidad de nuevos marcos analíticos para enriquecer el enfoque de gestión de cuencas hidrográficas (EGC). De tal forma que el centro de este trabajo es la reflexión de un instrumento conceptual y metodológico y no un manual de pautas para la elaboración de políticas públicas en el ámbito de las cuencas. En tal sentido, se pusieron a prueba tres aproximaciones novedosas: la valoración de la seguridad hídrica a nivel de cuenca hidrográfica, la identificación de la complejidad territorial (CT) dentro de los límites de una cuenca; y la prospectiva a nivel de cuenca para el logro de la SH. Las tres contribuciones recogieron marcos conceptuales y metodológicos derivados del pensamiento geográfico, que han permanecido ajenos al enfoque de cuenca hidrográfica. De esta manera esta tesis aporta elementos importantes para el paradigma de la SH -componente estratégico del desarrollo territorial (Peña, 2016)-, al precisar una solución para la gestión del agua, específicamente una ruta conceptual y metodológica que permita orientar criterios considerados basales al enfoque de gestión de cuencas, para la construcción de una mejor gobernanza en el espacio social de la cuenca.

1.2. ALCANCES DE ESTA INVESTIGACIÓN

Considerando las premisas introductorias, se plantearon las preguntas guía y objetivos presentados a continuación.

Preguntas de investigación

Pregunta general:

¿Qué nuevos marcos analíticos podrían ser aplicados para fortalecer los alcances del enfoque de cuencas hidrográficas y la operatividad de su gestión para el logro de la seguridad hídrica?

Preguntas particulares:

1. ¿De qué forma la condición actual de seguridad hídrica puede ser valorada a nivel de cuenca hidrográfica?
2. ¿Cómo puede ser incorporada la dimensión territorial para mejorar la comprensión de los procesos sociales y de gobernanza en cuencas hidrográficas?
3. ¿Qué tipo de análisis prospectivo se puede realizar a partir de la valoración de la condición actual de seguridad hídrica y la complejidad territorial de una cuenca para identificar las limitaciones, riesgos y necesidades de adaptación en posibles condiciones futuras (escenarios)?

Objetivos de la tesis

Objetivo general:

Desarrollar y validar marcos analíticos novedosos para orientar la gestión de cuencas hidrográficas hacia el logro de la seguridad hídrica.

Objetivos particulares:

1. Diseñar y aplicar un marco analítico para valorar la condición de seguridad hídrica a nivel de cuenca hidrográfica en dos cuencas rurales semiáridas de mediana extensión en los Estados de Aguascalientes y Michoacán en el Centro-Occidente de México.

2. Desarrollar y validar un marco analítico para determinar la complejidad territorial y su relación con la gobernanza para la seguridad hídrica en las dos cuencas de estudio.
3. Realizar un ejercicio de prospectiva al año 2030 para construir escenarios en la condición de seguridad hídrica y la gobernanza en las cuencas rurales semi áridas de estudio.

1.3. CONTEXTO INSTITUCIONAL DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación, las contribuciones analíticas para mejorar el enfoque de GCH se aplicaron a cuencas rurales semi áridas del Centro Occidente de México. Los casos de estudio seleccionados respondieron al interés particular de abonar al desarrollo sostenible de áreas rurales en áreas con altos déficits hídricos, cuya población local muestra altos niveles de vulnerabilidad. El caso de estudio del estado de Michoacán, se desarrolló en el marco del proyecto “Bases técnicas, organizativas e institucionales para el Manejo Integrado de Cuencas en el Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo-Bajo Balsas (Michoacán)”, coordinado por la Dra. Ana Burgos, del CIGA-UNAM, y financiado por la Fundación Gonzalo Río Arronte entre los años 2011 y 2013. El caso de estudio del estado de Aguascalientes se insertó en el proyecto “Unidad de Manejo Forestal: Asociación Regional de Silvicultores del Oriente de Aguascalientes”, coordinado por el Dr. Joaquín Sosa de la Universidad de Aguascalientes, cuyo trabajo previo facilitó el acceso a información existente, y a las unidades agrarias e informantes clave.

1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está organizada de la siguiente manera. En el segundo capítulo se desarrolla el marco conceptual general de la investigación con las nociones clave de este trabajo: gestión de cuencas, seguridad hídrica, territorio y prospección. El tercer capítulo presenta el marco metodológico empleado en esta investigación y abundante información original sobre las cuencas hidrográficas de estudio, denominadas Juan El Grande en Aguascalientes, y San Pedro Jorullo en Michoacán. En seguida, el cuarto capítulo desarrolla el marco analítico para valorar la condición de SH a través de una metodología basada en descriptores y narrativa ambiental, la cual fue aplicada a las cuencas de estudio. En el quinto capítulo se analiza la

dimensión territorial de la SH, con base en un modelo espacial de la complejidad territorial y la percepción social de la misma. El sexto capítulo utiliza las bases desarrolladas en los capítulos IV y V para indagar de manera prospectiva en las condiciones futuras de las cuencas de estudio, y orienta como lograr dicha síntesis. Finalmente, el último capítulo presenta las conclusiones sobre las contribuciones de la tesis a la gestión de cuencas hidrográficas.

1.5. REFERENCIAS

- Ávila Islas, K. (2007). Gestión integrada de recursos hídricos en México: un análisis a través de los organismos de cuenca. Tesis de Maestría, El Colegio de México, México
- Beek, E. V., y Arriens, W. L. (2014). Water security: putting the concept into practice (No. 20). Global Water Partnership.
- Biswas, K.A. y Tortajada, C. (2001). Integrated river basin management: the Latin American experience. Oxford University Press, New York.
- Brooks, K.N., P.F. Ffolliott, Gregesen, H. and L. F. DeBano.(1997). Hydrology and the management of watersheds. 2nd edition. Iowa State University Press, Ames.
- Burgos, A. L., y Bocco, G. (2014). La gestión del agua y el aporte de la geografía al enfoque de cuencas hidrográficas en México. En F. Pérez Correa (Ed.), Gestión pública y social del agua en México pp. 21–33.
- Burgos, A.L. y Bocco, G. (2015). La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. En: Burgos, A.L., Bocco, G. y Sosa, J. Coords. Dimensiones sociales en el manejo de cuencas, pp. 11-29, CIGA-Universidad Nacional Autónoma de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. México. 308 pp.
- CNCH. (2019). Memorias en Extenso. I Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Octubre, 2019. CDMX.
- Cohen, A., y Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives*, 4(1), 1–14.
- Cook, B. R., Atkinson, M., Chalmers, H., Comins, L., Cooksley, S., Deans, N., y Litke, S. (2013). Interrogating participatory catchment organisations: Cases from Canada, New Zealand, Scotland and the Scottish-English Borderlands. *The Geographical Journal* 179(3), 234–247.
- Cook, C., y Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change* 22(2012), 94–102.

- Cotler, H. (2020). La sustentabilidad del agua: entre la integridad y la gobernanza de las cuencas. *Argumentos, estudios críticos de la sociedad*, 41–55.
- Cotler, H., y Caire, G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. 2009. 380 pp.
- Cotler, H., Alcántar, A. G., Mora, I. D. G., López, R. F. P., y Patrón, E. R. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuadernos de Divulgación Ambiental. Guadalajara: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Dourojeanni A., A. Jouravlev y G. Chávez (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas. Recursos naturales e infraestructura*. CEPAL. (Vol. 47).
- Dourojeanni, A. C. (2009). *Análisis crítico de la creación de organismos de cuenca en América Latina y el Caribe*. 1er Encuentro de organismos de cuencas hidrográficas de América Latina y Caribe, Noviembre de 2009 - Foz del Iguazú (Paraná - Brasil).
- Espinosa, J. O. (2006). *La prospectiva territorial: Un camino para la construcción social de territorios de futuro*. *Región, espacio y territorio en Colombia*, 301-337.
- Falkenmark, M. y Rockström, J. (2010). *Building water resilience in the face of global change: from a blue-only to a green-blue water approach to land-water management*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136, p 606.
- FAO (2006) *A new generation of projects in Watershed Management*, Food and Agriculture Organization, Roma.
- FAO. (2006). *The new generation of watershed management programmes and projects*. FAO Forestry Paper No. 150. Rome.
- Fernández, J. (2011). *Recuperación de los estudios del futuro a través de la prospectiva territorial*. *Ciudad y Territorio - Estudios Territoriales*, (167), 11–32.
- Garfin, G. M., Scott, C. A., Wilder, M., Varady, R. G., y Merideth, R. (2016). *Metrics for assessing adaptive capacity and water security: common challenges, diverging contexts, emerging consensus*. *Current opinion in environmental sustainability*, 21, 86-89.
- Garrick, D. y Hall, J.W. (2014). *Water Security and Society: Risks, Metrics, and Pathways*. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), pp.611–639
- Gerlak, A. K., y Mukhtarov, F. (2015). *‘Ways of knowing’ water: integrated water resources management and water security as complementary discourses*. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 15(3), 257–272.
- Global Water Partnership. (2000). *Towards Water Security : A Framework for Action* Foreword by Ismail Serageldin. Framework.

- Godet, M., Régine M., Francis Meunier y Fabrice Roubelat. (2000). La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Centre national de l'entrepreneuriat (CNE). 102 pp.
- Gourmelon, F., Houet, T., Voiron-Canicio, C., y Joliveau, T. (2012). La géoprospective, apport des approches spatiales à la prospective. *Le space géographique*, 41(2), 97-98.
- Grey, D. y Sadoff, C.W. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), pp.545–571.
- Hardy, S. D. (2010). Governments, group membership, and watershed partnerships. *Society and Natural Resources*, 23(7), 587–603.
- Hardy, S. D. (2022). Power to the people: Collaborative watershed management in the Cuyahoga River Area of Concern (AOC). *Environmental Science and Policy*, 129(January 2021), 79–86.
- Hearne, D., y Powell, B. (2014). Too much of a good thing? Building social capital through knowledge transfer and collaborative networks in the southern Philippines. *International journal of water resources development*, 30(3), 495-514.
- Herner, M. T. (2010). The theory of social representations: an approach from Geography. *Revista Huellas* 34: 150-162.
- Jensen, O., y Wu, H. (2018). Urban water security indicators: development and pilot. *Environ. Sci. Pol.* 83, 33–45.
- Jepson, W., Budds, J., Eichelberger, L., Harris, L., Norman, E. S., O'Reilly, K. y Young, S. (2017). Advancing human capabilities for water security: A relational approach. *Water Security*, 1, 46–52.
- Jun, X. y Yongyong, Z. (2008). Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), pp.359–363.
- Keirle, R. y Hayes, C. (2007). A review of catchment management in the new context of drinking water safety plans. *Water and Environment Journal*, 21(3), pp. 208–216.
- Kerr, J. (2007). Watershed Management: Lessons from Common Property Theory. *International Journal of the Commons*, 1(1), 89.
- Kirchhoff, C. J., Lara-Valencia, F., Brugger, J., Mussetta, P., y Pineda-Pablos, N. (2016). Towards joint consideration of adaptive capacity and water security: lessons from the arid Americas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 22–28.
- Koontz, T. M., y Newig, J. (2014). Cross-level information and influence in mandated participatory planning: Alternative pathways to sustainable water management in

- Germany's implementation of the EU water framework directive. *Land Use Policy*, 38(2014), 594–604.
- Mazurek, H. (2006). *Espacio y territorio. Instrumentos metodológicos de investigación social*. La Paz: IRD, Fundación Pieb.
- Mendoza, J. C. (2020). *Modelo para metavalorar la adopción del enfoque de cuenca social. El caso de: SENDAS A.C. como parte de La Coalición de Organizaciones de la Bio-región Jamapa-Antigua (COBIJA)*. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana.
- Mera, C. W. (2014). *Prospectiva Territorial y Urbana “Retos y Desafíos para la Construcción Social de territorios del Futuro.”* Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 371 pp.
- Miklos, T., y Tello, M. E. (2006). *Planeación Prospectiva: Una Estrategia para el Diseño del Futuro*. México: Limusa
- Neary, D. G. (2000). *Changing perceptions of watershed management from a retrospective view point*. Pp.167-176 in Ffolliott, M. B. Baker, Jr., C. B. Edminster, M. C. Dillon, and K. L. Mora. *Coords. Land stewardship in the 21st century: The contribution to watershed management*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-13. Fort Collins, CO.
- Oel, P.R. (2009). *Water-scarcity patterns: spatio temporal interdependencies between water use and water availability in a semi-arid river basin*, University of Twente.
- Ocaña, L. R., y De la Cruz, C. R. (2014). *Propuesta de desarrollo territorial rural para tabasco*. *Hitos de ciencias económico administrativas*, (50), 23–28.
- Pacheco-Vega, R. (2015). *River basin councils as action arenas: Analyzing rules and norms in the Lerma-Chapala river basin council using the IAD framework*, 5(2013), 10.
- Pahl-Wostl, C., Palmer, M., y Richards, K. (2013). *Enhancing water security for the benefits of humans and nature-the role of governance*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(6), 676-684.
- Paré, L. y Gerez (coords.). (2012). *Al filo del Agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. (pp. 25-50). México: Juan Pablo Editores. UNAM, SENDAS, A.C., Universidad Veracruzana, SEMARNAT, INE, U. Iberoamericana-Puebla.
- Paré, L., Fuentes, T., Vidriales, G. y García I. (2012). *Marco conceptual y metodológico*. En Paré, L. y Gerez (coords.). *Al filo del Agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. (pp. 25-50). México: Juan Pablo Editores. UNAM, SENDAS, A.C., Universidad Veracruzana, SEMARNAT, INE, U. Iberoamericana-Puebla
- Partnership, G. W. (2000). *Towards Water Security: A Framework for Action*. GWP Secretariat.

- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales e Infraestructura.
- Peña R. J. (2017). Agricultura y grandes urbes mexicanas en el conflicto por el agua. *El Cotidiano*, (201).
- Perales, V. (2016). La cuenca social como aproximación sociológica a las intervenciones en cuencas hidrográficas. *Temas sociales*, 39, 221–240.
- Perevochtchikova, M., Carrillo Rivera, J.J. y Godoy Araña, A.E. (2006). Gestión integral del agua en la Cuenca de México: ¿Coincide la cuenca superficial con la subterránea? Memorias del Congreso Internacional y XI Nacional de Ciencias Ambientales, AMC, Oaxtepec, México.
- Perevochtchikova, M., y J. Arellano. (2008). Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(3), 313–325.
- Polo, M. J., Aguilar, C., Millares, A., Herrero, J., Gómez-Beas, R., Contreras, E., y Losada, M. A. (2014). Assessing risks for integrated water resource management: coping with uncertainty and the human factor. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 364, 285–291.
- Reimold, R. J. (1998). *Watershed management: Practice, policies, and coordination*. McGraw- Hill Book Company. New York, NY.
- Rincón García, J. J. (2012). Territorio, territorialidad y multiterritorialidad: aproximaciones conceptuales. *Aquelarre. Revista Del Centro Cultural de La Universidad Del Tolima*, 11(22), 231.
- Sabatier, A.P., W. Focht, M. Lubell, Z. Trachtenberg, A. Vedlitz y M. Matlock (2005). *Swimming upstream. Collaborative approaches to watershed management*. MIT Press, Londres, 327 pp.
- Salas, M. (2013). *Prospectiva Territorial. Aproximación a una base conceptual y metodológica*. Universidad de los Andes, Venezuela. 174 pp.
- Tapia, R.P. (1999). Análisis de la gestión del agua en zonas áridas y semiáridas: una propuesta de actuación. *Revista CIDOB d'afers internacionals*, pp.11–33.
- Varady, R. G., Zuniga-Teran, A. A., Garfín, G. M., Martín, F., y Vicuña, S. (2016). Adaptive management and water security in a global context: definitions, concepts, and examples. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 70–77.
- Velasco, I., y Montesillo-Cedillo, L. (2007). Elementos en la gestión de cuencas en condiciones de sequía. *Gestión y Política Pública*, XVI, 5–27.

- Villarroel, Elena (2007). Identificación de los espacios socio territoriales administrativos para la gestión del agua: el caso de la cuenca social de la zona Tiquipaya-Colcapirhua en Bolivia. En: Yáñez, Nancy y Poats, Susan (Coord.). Derechos de agua y gestión ciudadana. Agua Sustentable. Visión del agua en los Andes. La Paz: Agua Sustentable-IDRC. pp. 51-76.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. y Lammers, R.B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth, *Science*, 289(5477), pp. 284-288.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., y Innes, J. L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, 27(5), 967–994.
- Warner, J., Wester, P., y Bolding, A. (2008). Going with the flow: river basins as the natural units for water management. *Water Policy* 10(2), 121–138.
- World Bank (2008) Watershed Management Approaches, Policies, and Operations: Lessons for Scaling Up, Water sector board discussion paper series, Paper No. 11.

CAPÍTULO 2
MARCO CONCEPTUAL

[página intencionalmente en blanco]

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Esta investigación plantea el argumento central de que el enfoque de gestión de cuenca (EGC) esta incompleto y necesita una actualización conceptual y metodológica para hacer frente a la actual crisis hídrica a nivel global (Bunch et al., 2014; Maurel et al., 2014; Wang et al., 2016). En el análisis aquí abordado, se identifican al menos tres elementos clave que el EGC aun no ha incorporado en sus prácticas de gestión: 1) la valoración de la seguridad hídrica (SH) desde la cuenca, 2) la complejidad territorial de la cuenca, y 3) la aplicación de la prospectiva como instrumento para anticipar escenarios futuros de la seguridad hídrica de la cuenca (Figura 2.1).

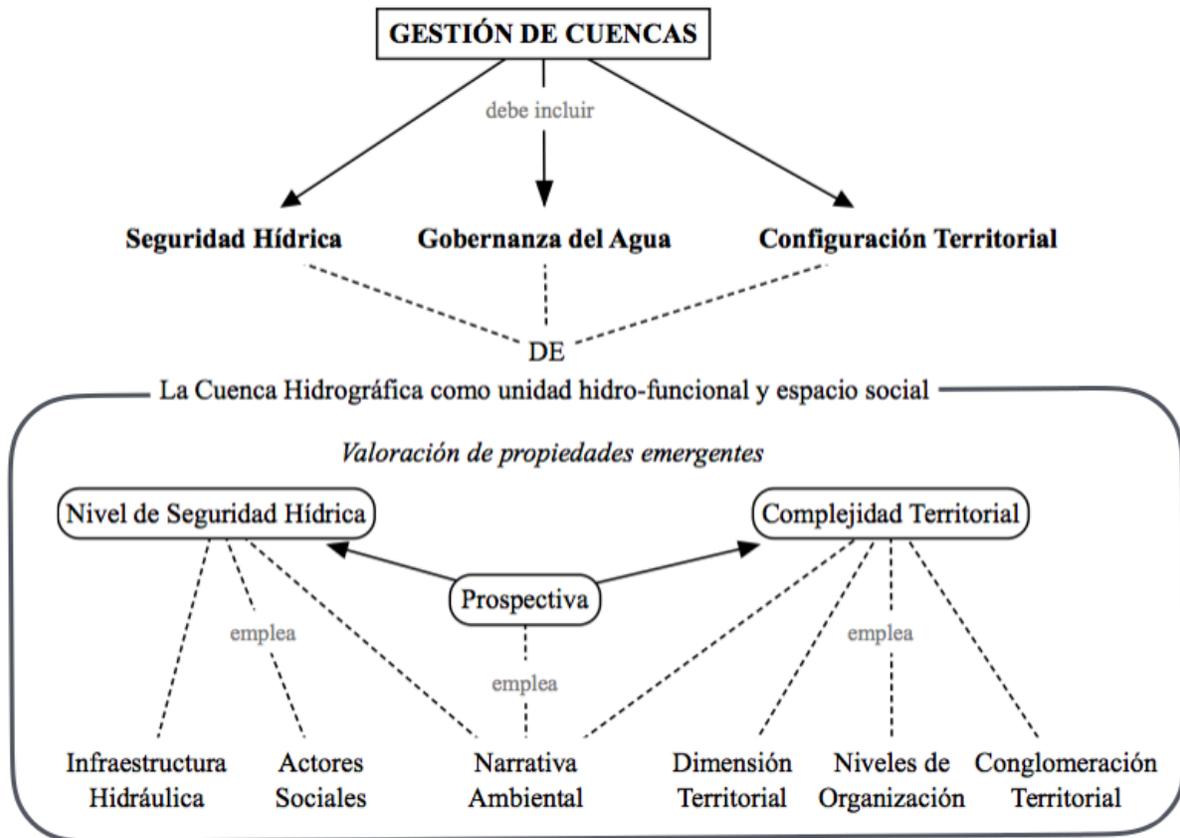


Figura 2.1. Esquema conceptual de la investigación.

De tal forma que, pese a que la cuenca es reconocida como la mejor opción para alcanzar la seguridad hídrica (Wheater y Gober, 2013; Kauffer y Gallardo, 2019), se le sigue empleando

básicamente como localización geográfica y no como un concepto integrador que conjunta los aspectos hidro funcionales con los aspectos sociales. Y dado que la crisis del agua es sobre todo una crisis de gobernanza (Huntjens et al., 2012), donde los territorios destruidos y fragmentados producen agua degradada (Achkar y Domínguez, 2008), la cuenca como lo planteado en esta tesis resulta en la unidad obligada para planificar y ejecutar cualquier acción para el logro presente y futuro de la SH.

En este capítulo se presentan las bases conceptuales generales que delimitan el problema de investigación planteado en esta tesis. En la siguiente sección se establece el estado del arte en el campo de gestión de cuencas, en tanto concepto clave de esta tesis. En la sección 2.1.2. se delimita el concepto de SH, pilar vertebral del problema de investigación que este trabajo aborda. Las aproximaciones conceptuales de espacio geográfico, cuenca y territorio son descritas en la sección 2.1.3., todas ellas nociones derivadas del pensamiento geográfico las cuales han sido poco valoradas por el EGC. Finalmente la sección 2.1.4. aborda los antecedentes y las potencialidades de la aproximación de la prospectiva como herramienta de planificación territorial.

2.1.1. Gestión de cuencas hidrográficas

Una cuenca es una "entidad espacial natural" determinada por el área de la superficie terrestre cuyos escurrimientos desembocan en un punto común, o nivel de base. En el actual estado de la gestión de cuencas, la cuenca no se concibe simplemente porque en la misma ocurren procesos hidrológicos superficiales, sino que también se la concibe como una entidad geográfica, social y ambiental que juega un papel crucial en la definición de la seguridad alimentaria, social y económica y en la provisión de soporte vital para la población humana (Wani et al., 2008). Fue en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, en Dublín, Irlanda en 1992; que la cuenca se establece como la “entidad geográfica más apropiada para la planificación y gestión de los recursos hídricos” (Dourojeanni y Jouravlev, 2002). Mas recientemente, las cuencas son ampliamente reconocidas como la unidad más adecuada para realizar la gestión y gobernanza del agua (Keirle y Hayes, 2007; Falkenmark y Rockström, 2010; Heal, 2017; Pande, 2020), como respuesta a la necesidad de gestionar el agua de una manera socialmente incluyente y justa, y como condición para lograr el

desarrollo sostenible.

La gestión de cuencas es una modalidad de manejo ambiental que, como tal, constituye un complejo proceso socio-político para atender un entramado de problemas ambientales. Ffolliott et al. (2003) la definen como el uso apropiado de todos los recursos de la cuenca, incluido el terreno y suelos, la cubierta vegetal y el agua, para establecer idealmente las demandas actuales y minimizar la degradación de la cuenca. Es una aproximación multinivel que permite el análisis de recursos para establecer los límites de tolerancia de la explotación potencial de dichos recursos, asegurando su sostenibilidad física y viabilidad económica. La gestión de cuencas hidrográficas combina instrumentos y métodos para la mejora de los recursos del suelo, litológicos, geomorfológicos, hidrológicos, bióticos y de su cubierta vegetal; y con ello satisfacer las necesidades de desarrollo sostenible de las personas. El concepto de gestión de cuencas hidrográficas ha evolucionado al pasar por varias etapas de desarrollo. En las etapas iniciales, fue un tema de silvicultura e hidrología, la dimensión social era inexistente. Era un asunto exclusivo de los departamentos forestales del gobierno. Durante la segunda etapa, pasó a estar relacionado con la gestión de los recursos de la tierra, incluidas las actividades con miras a beneficios económicos. En esta etapa, la atención se centró en los beneficiarios. Ahora se trata de una gestión de cuencas hidrográfica “participativa e integrada”, con la inclusión y contribución de la población local (FAO, 2006).

En resumen, el enfoque de gestión de cuencas hidrográficas ha transitado desde la utilización y conservación física del agua y el suelo a la integración del desarrollo social, económico y ambiental. No obstante, para hacer de este enfoque un instrumento más operativo en la política y la práctica, aún se requiere fortalecer la planificación estratégica e integrada, y la creación de una visión territorial de las cuencas (FAO, 2017). Entre los actuales obstáculos destacan, la falta de una organización unificada para la gestión y límites claros; inexistencia de bases de datos apropiadas y mecanismos de intercambio de información para la investigación de cuencas hidrográficas; falta de políticas con perspectiva a largo plazo y metas cuantitativas para toda la cuenca hidrográfica; ausencia de comunicación, cooperación y herramientas entre agencias para el desarrollo; participación pública limitada y segmentada;

necesidad de sistemas legales y estructuras institucionales de gestión de cuencas innovadoras y basadas en la participación pública (Wang et al., 2016).

Aunado a lo anterior muchas de las decisiones respecto de la gestión de cuencas son tomadas de manera centralizada, sin esquemas de planificación y sin considerar las distintas dinámicas geomorfológicas (remoción en masa, erosión, sedimentación), hidrológicas y sociales de los propios territorios de las cuencas en cuestión (Cohen y Davidson, 2011). Esto ha propiciado el deterioro tanto de los recursos hídricos como de las mismas cuencas, así como el incremento de tensiones entre diferentes usuarios de los recursos hídricos. Por lo anterior se considera que la crisis del agua es esencialmente una crisis de gobernabilidad (Tortajada, 2010; Pahl-Wostl et al., 2012), por lo que la gobernanza del agua debe considerarse indivisible de la gobernanza del territorio. De tal forma que la regulación de los recursos hídricos debe incluirse en la gobernanza de cualquier proceso productivo, ya que para asegurar la disponibilidad y sostenibilidad en el suministro del agua es esencial mejorar la integridad de la cuenca por medio de su gobernanza (Cotler, 2020).

La noción de gobernanza significa una nueva forma de gobernar, más cooperativa y horizontal, en la que las instituciones públicas y las no públicas, actores públicos y privados, participan y cooperan en la formulación y aplicación de las políticas públicas (UNDESA, 2003). La gobernanza supone un cambio en las maneras tradicionales de proceder por parte de los poderes públicos. La asignación imperativa, la dirección jerárquica y el control de los procesos políticos están siendo sustituidos por nuevas formas de regulación basadas en la negociación y la coordinación, mediante las cuales los responsables públicos tratan de movilizar recursos políticos dispersos entre actores públicos y privados (Scott et al., 2012).

Sin embargo, actualmente no se cuenta con un marco común para organizar y aplicar el conocimiento adquirido sobre la gestión de cuencas (Akhmouch, 2011); en particular la manera en que los procesos de toma de decisiones sobre la gestión del agua se da en un determinado diseño institucional en diferentes niveles de acción (Huntjens et al., 2012). De

tal suerte que incluso los *Consejos de Cuenca*², los cuales son las instancias institucionales oficiales adecuadas para realizar una gestión del agua y sus recursos asociados: suelo y bosque por cuenca ya que permiten la coordinación interinstitucional y la participación de los diversos actores, sin embargo, presentan grandes dificultades para coordinar acciones que atiendan los distintos problemas de la cuenca en cuestión (Pacheco-Vega, 2020), en particular aquellos relacionados con su seguridad hídrica.

2.1.2. Seguridad Hídrica

La problemática hídrica global dio lugar a la noción de Seguridad Hídrica (SH), cuya definición más difundida es que "*todas las personas tengan acceso a suficiente agua potable a un costo asequible para llevar una vida limpia, saludable y productiva, al tiempo que se asegura que el medio ambiente esté protegido y conservado*" (GWP, 2000). Actualmente la noción de SH abarca el poder garantizar la disponibilidad de agua para los humanos (Rijsberman, 2006; Cook y Bakker, 2012; UNWATER, 2013), hacer frente a la vulnerabilidad frente a los diferentes peligros relacionados con el agua (Lautze y Manthritlake, 2012; Grey et al., 2013) y finalmente cubrir las distintas demandas sociales al mismo tiempo que se protegen y aseguran las necesidades de los ecosistemas (De Loe et al., 2007; Dunn y Bakker, 2009; Mason y Calow, 2012).

La SH encarna un conjunto complejo, multidimensional, multiescalar e interdependiente de procesos (abastecimiento, calidad del agua, adaptación climática, resolución de conflictos, gobernanza, entre otros). Los desafíos de la SH no tienen precedentes, y la comunidad mundial necesita con urgencia un nuevo enfoque que proporcione la base científica para la gestión de la SH (Mishra et al., 2021). De tal forma que la SH es un paradigma emergente que la humanidad actualmente enfrenta (Cook y Bakker, 2012). Debemos entender un paradigma como un modelo de un futuro deseado de la interacción social con el entorno, basado en supuestos y valores compartidos (Al-Jawad et al., 2019). Los paradigmas

² *Consejos de Cuenca*. Instancias de coordinación y concertación, entre la Comisión Nacional del Agua, y las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal y municipal, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca hidrográfica o región hidrológica, con objeto de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y la preservación de los recursos de la cuenca.

emergentes son significativos en el contexto de los cambios continuos de la interacción social con los recursos naturales, como el agua. En los paradigmas tradicionales, la crisis del agua generalmente se considera como un problema relacionado con la tecnología (Calow et al., 2010; Kallis y Zografos, 2014); pero en los paradigmas emergentes (como el caso de la SH) el enfoque se desplaza hacia la gestión de manera eficaz en un contexto de menor disponibilidad.

Por lo antes dicho, las soluciones holísticas a la SH requieren de cambios en la naturaleza y las características del paradigma. Estos cambios deberán realizarse en un contexto amplio e integral, considerando todos los aspectos físicos y socio-económicos de la SH bajo un enfoque multidisciplinario (Finlayson et al., 2013; Xiao-Jun et al., 2014), donde se promueva la infraestructura ambiental; se aumente la participación de los usuarios y de las partes interesadas en un verdadero proceso de gobernanza.

Aunado a lo anterior y aunque la noción de SH se ha enriquecido sustancialmente en los últimos años, llama la atención la débil conexión de este concepto con el enfoque de cuencas hidrográficas, a tal punto que la cuenca es un termino ausente en las definiciones de SH revisadas por Cook y Bakker (2012). Si bien las cuencas hidrográficas han sido ampliamente usadas como una herramienta técnica, con excepción de algunos trabajos como el de Norman et al. (2010) y Wheeler y Gober (2013); los cuales ejemplifican las virtudes de esta unidad geográfica al trabajar cualquier aspecto relacionado con la SH. El trabajo más reciente sobre la valoración de SH (Octavianni y Staddon, 2021), señala que pese a ser la cuenca la unidad más empleada (20 % de 90 trabajos analizados), ésta únicamente se utiliza bajo una perspectiva técnica hidrológica y con una métrica estática basada en índices. Así, la cuenca no ha sido considerada como el marco espacial y temporal indicado para la evaluación e implementación de acciones respecto a la SH (Cohen y Davidson, 2011).

2.1.3. Espacio geográfico, cuenca y territorio

El terreno (roca, relieve y suelos) y el agua son recursos indispensables para el ser humano. Estos se localizan en la superficie del planeta, concebida como un continuum. El espacio geográfico (como medio biofísico y como constructo socioeconómico) puede ser

delimitado como cuenca hidrográfica considerando la funcionalidad hidrológica; de igual manera es concebido como un producto de las interrelaciones sociales, como la esfera de las posibilidades de la existencia de multiplicidades (Massey, 2004), de las pluralidades, en la cual distintas trayectorias coexisten, fomentando las heterogeneidades. Es decir está sujeto a procesos de apropiación, uso y control por sujetos sociales que establecen límites tangibles, funcionales o simbólicos sobre el continuum geográfico, creando territorios (Chiavassa, Ensabella y Deón, 2017). Es por consiguiente, abierto a la política (si lo producimos, igualmente podemos transformarlo) (Massey, 2007).

Para el caso de los recursos hídricos, la cuenca resulta la unidad hidrológica natural dentro del espacio geográfico. En las cuencas no solo es posible visualizar la intervención entre múltiples actores, sino que también es posible distinguir que éstos se interrelacionan en diversas escalas socio espaciales para llevar a cabo sus procesos productivos y desarrollarse como sociedad (Montaña, 2008). Por lo general los enfoques de cuenca, han entendido por cuenca al espacio geográfico estructurado por los elementos hidrológicos, enfrentando el problema de la gestión del agua – sobreexplotación, saneamiento, uso eficiente del recurso, etc.- desde una postura meramente técnica.

La gestión del agua no es un acto casual, sino sumamente intencionado, ya que implica la acción de elegir (Larsimont y Grosso, 2014). El agua no es un telón de fondo inerte para las relaciones sociales, sino que desempeña un papel protagónico en las formaciones sociales (Bakker, 2012), los recursos hídricos son siempre influidos por relaciones de poder. Por lo tanto, la gestión del agua no debe ser entendida únicamente como la distribución del recurso entre los distintos usuarios, sino como una respuesta entre los actores sociales que luchan por controlar este recurso para garantizar sus propios intereses (Ekers y Loftus, 2008). De ahí que la cuenca sea considerada como la arena en que se da la articulación de múltiples actores sociales que interactúan y se afectan con intervenciones, conscientes o no (Burgos, Bocco y Sosa, 2015).

El espacio social de la cuenca no puede estudiarse de manera estática (Mazurek, 2006), dado que el *control social* del recurso está determinado por la competencia y el acceso diferenciado al agua por parte de los distintos actores. A partir de un entramado de relaciones sociales y de poder (Chiavassa et al., 2013), en continuo cambio y construcción; a lo que Budds (2012)

denomina la geometría del poder. Es decir la manera en que los distintos actores sociales territorializan el espacio de la cuenca. Esto implica un cambio, de considerar el agua como el objeto de los procesos sociales, a un recurso que influye, y es influido por, las relaciones sociales (Budds y Linton, 2018). De tal forma que en este contexto las cuencas deben de conceptualizarse como unidades territoriales de planificación (Perales, 2016).

El agua tiene que ser pensada en cuanto territorio, esto es “*en cuanto inscripción de la sociedad en la naturaleza, con todas sus contradicciones implicadas en el proceso de apropiación de la naturaleza por mujeres y hombres por medio de las relaciones sociales y de poder*” (Porto, 2006). Así, el territorio puede ser entendido como “una porción del espacio” apropiado por un grupo social, ya sea material, simbólica, cultural, afectiva o políticamente hablando (Elden, 2010). El territorio no es únicamente un fenómeno centrado en el Estado, sino "una forma histórica y geográficamente específica de organización social y pensamiento político" (Crampton, 2011); elemento esencial de la geografía política en tanto espacio en donde se ejerce el poder (Capel, 2016). El fin último de los territorios es tener límites basados en la forma de vivir el espacio por un grupo social frente a otro (Storey, 2017).

El territorio es una categoría compleja y polisémica, que presupone un espacio geográfico que es apropiado y ese proceso de apropiación –territorialización– conlleva identidades –territorialidades– que están inscriptas en un proceso y por tanto, son dinámicas y mutables, materializando en cada momento un determinado orden, una determinada configuración territorial (Porto, 2014). O de acuerdo con Raffestin (2009), las estructuras territoriales se transforman históricamente. De tal forma el territorio, desde un marco interpretativo del ejercicio del poder como una relación y efecto entre diversos actores e instituciones, tiene que pensarse como una compleja dinámica de uso y control del espacio por varios agentes sociales. Ya que al no ser entidades naturales, los territorios reflejan formas específicas de pensar el espacio geográfico y emergen de prácticas y procesos sociales que vinculan espacio y sociedad (Delaney, 2005; Storey, 2015).

El tema del territorio ha sido efímeramente atendido en la bibliografía sobre cuencas y su gestión. Diferentes autores se han dado a la tarea de conceptualizar la noción de *cuenca social* o *cuenca hidrosocial*; entre ellos destaca: Villarroel (2007) quien inserta la dimensión territorial para comprender las dinámicas socio espaciales dentro de la cuenca en torno a la movilización y uso de determinadas fuentes de agua; Yáñez y Poats (2007) cuya definición incorpora las

intervenciones sociales, específicamente aquellas referidas a la construcción de infraestructura hidráulica para explicar la modificación del espacio geográfico donde han sido superpuestas dos o más cuencas, entrelazadas por un tejido social que las convierten en una sola; Kauffer (2010) considera que la cuenca debe ser analizada como una construcción social permitiendo así la comprensión de la delimitación absoluta de la cuenca en relación con los intereses de índole económico y social; y finalmente Perales (2016) presenta un instrumento conceptual que permite desbrozar metodológicamente cada uno de los elementos que concurren en las complejas dinámicas de poder dentro de las cuencas.

Esta investigación al igual que los trabajos previamente descritos enfatizan la importancia de afianzar el uso del concepto territorio como espacio de poder en el contexto de una cuenca con miras a su gestión. Ya que el entendimiento del territorio nos lleva a poder gestionarlo mejor, a planificarlo de tal manera que nos preguntemos ¿por qué?, ¿para quién?, se trata de pensar el futuro (Capel, 2016). Así, el territorio como espacio apropiado manifiesta un sentido multiescalar y multidimensional que solo puede ser debidamente interpretado dentro de una concepción de multiplicidad, de una multiterritorialidad (Chiavassa et al., 2013). O en palabras de quien acuña el concepto, Haesbaert (2007), *“dependiendo de los grupos sociales, como de las relaciones y conflictos económicos, políticos y culturales establecidos entre ellos y el espacio, podría existir una diversidad territorial, una multiterritorialidad, la cual implicaría: diversos grados de acceso y control de las personas, los recursos, las cosas y las relaciones”*.

De tal forma que el territorio de la cuenca no es homogéneo en la medida que en la sociedad existen diferencias y desigualdades, a la vez que identidades, conflictos y contradicciones, originando territorialidades múltiples (Rincón, 2011), las cuales se yuxtaponen o incluso se superponen (Villarreal, 2007). Ésta superposición de territorios corresponde a las relaciones de poder asimétricas de los distintos actores sociales e instituciones que se disputan el control/manejo/uso de un espacio determinado (Castillo, 2020); y de acuerdo con Mazurek (2006), las regiones donde existe más superposición son las regiones más conflictivas. Pudiendo llegar a una situación confusa y muchas veces *ilógica* de organización territorial por su condición frágil y mutable, lo cual ha sido denominado por Haesbaert (2013) como *aglomerado*.

En consecuencia el análisis de la configuración territorial (CT) entendida como el arreglo

espacial de los distintos territorios que convergen o intersectan el espacio geográfico de una cuenca se vuelve prioritario a fin de establecer en dónde y por quién se dan determinadas intervenciones de la sociedad, con sus geometrías de poder (Massey, 2009). Las que direccionan los flujos de agua hacia determinados grupos sociales y no otros. De tal suerte que un adecuado conocimiento de la CT es un buen punto de partida para operacionalizar el manejo ambiental y con ello la GCH, al reducir la ambigüedad y la incertidumbre sobre múltiples recursos administrados por múltiples interesados, quienes se distribuyen a lo largo del continuum geográfico de la cuenca donde sus límites se superponen.

Así partiendo de que todo territorio, geográficamente hablando, tiene siempre una base espacio-material para su constitución (Haesbaert, 2013) y todo dato cuantitativo tiene que ser asociado con una ubicación en el espacio (Mazurek, 2006); la perspectiva territorial propuesta por este trabajo, desde una aproximación más cuantitativa cercana al análisis espacial permite dar cuenta de prácticas sociales territorializadas más allá de los límites de las cuencas hídricas y de la jurisdicción que abarca cada uno de los gobiernos locales. Pone en evidencia una multiterritorialidad superpuesta (“conjugación in situ”), que alude a que en un mismo punto/local pueden darse una superposición de diversos procesos territoriales (Haesbaert, 2013; Castillo, 2021). Esto al evidenciar a los diversos sujetos territoriales, sus características (tipología) y sus funciones (acción y lógica) lo que permite determinar con precisión los mecanismos de constitución y de regulación del territorio (Mazurek, 2006), originando una aproximación de alto valor para operacionalizar paradigmas ambientales (Pahl-Wostl 2009; Moss y Newig, 2010) como la GCH.

2.1.4. Prospectiva territorial: antecedentes y potencialidades

Posiblemente el mayor reto del paradigma de la gestión de cuencas sea materializar todo el conocimiento científico en acciones concretas que impacten positivamente en la condición de vida de los habitantes de dichas cuencas o región en particular. Es decir en palabras de Henry y Vollan (2014), ¿cómo vincular el conocimiento a la acción?, ¿cómo articular la acción colectiva?, ¿cómo traducir una adecuada gestión en un beneficio social?, dentro de un contexto de incertidumbre y conocimiento fragmentado.

Ante esto algunos estudiosos han apostado por la metodología de la prospectiva (Godet y Durance, 2011; Mera, 2014; Gándara, 2015). Esta aproximación metodológica se emplea para explorar las tendencias y los diferentes cursos de acción o inacción presentes y futuros que pudieran guiarnos (Alonso, 2014); ya que considera la construcción del futuro como resultado de la acción humana, lo que hace posible que el futuro esté diseñado y modificado proactivamente (Miklos y Tello, 2006). El término prospectiva fue acuñado por el francés Gaston Berger (Berger, 1960), quien lo describe como la ciencia que estudia el futuro para poder comprenderlo y poder influir en él. En la actualidad este concepto se ha replanteado hasta definirse como: *“el conjunto de tentativas sistemáticas para observar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, le economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan los mayores beneficios económicos y sociales”* (OECD, 2008).

De esta forma y como respuesta a la problemática de la gestión ambiental; la cual antes de requerir sofisticadas soluciones de tipo científico y tecnológico, precisa soluciones de gestión (Araya, 2010), en particular un marco que permita estimular la imaginación para desarrollar una visión sistémica y dinámica y así, organizar la acción colectiva (Fasciolo, 2010). Es por lo anterior que a partir del trabajo de Godet (2000), surge la prospectiva ambiental (Monedero, 2013), de la cual deriva la prospectiva territorial. Ésta se presenta como un método que permite aproximarse a una configuración futura, por medio del diseño de escenarios de cambio territorial, en los que se conjugan variables clave relacionadas con el uso de la tierra, dinámica de la población, equipamiento y funcionalidad del territorio (Salas, 2013).

Es importante mencionar que la prospectiva por si misma no ha sido incorporada directamente a la GCH como herramienta metodológica, sin embargo ha sido ampliamente utilizada por otras herramientas de planificación territorial como son los Ordenamientos Ecológicos y/o Territoriales³ (OE y OT) (Negrete y Bocco, 2003; Papagno, Vitale y Barrientos, 2017). La prospectiva es un ciclo continuo y permanente, de diálogo político y

³ El ordenamiento ecológico y/o territorial es un instrumento de política diseñado para caracterizar, diagnosticar y proponer formas de utilización del territorio y de sus recursos naturales, bajo el enfoque de uso racional y diversificado con el acuerdo de la población.

social, sus etapas están referidas a la anticipación del futuro del territorio; el debate permite la apropiación, el empoderamiento de los sujetos sociales y la visibilidad de los actores sociales invisibilizados. (Vitale et al., 2015). En nuestro país dos han sido los principales instrumentos de planeación territorial: los POET competencia de SEMARNAT y los PEOT, coordinados por SEDESOL (Wong, 2009).

De esta forma la prospectiva permite mejorar y encuadrar las directrices de la planificación y gestión territorial en el marco de un escenario deseado y beneficiar, de este modo, la elaboración y puesta en marcha de proyectos de desarrollo territorial sustentable. Las ventajas de ésta aproximación metodológica territorial son: : 1) reconocer dentro del universo de variables clave, aquellas que son motores de las transformaciones; 2) pronosticar las condiciones futuras de dichas variables así como sus posibles interacciones; y 3) identificar qué las hace sensibles, en otras palabras, qué interviene para que sus características o comportamientos varíen en el tiempo y en el espacio. Lo anterior necesariamente pasa por identificar y conocer cuáles son las prácticas y los procesos espaciales clave en el cambio territorial; cómo influyen e influirán los diferentes actores en el comportamiento de las mismas; cómo, a partir de proyectos de beneficio común, los actores podrían colaborar y promover cambios favorables, no sólo a sus intereses sino también a los de toda la colectividad y, finalmente, cómo en el devenir de esas prácticas y de esos procesos, se puede intervenir desde una lógica territorial -de cooperación multinivel y multisectorial- para lograr territorios complementarios y resilientes (Cevallos, Tufiño y García, 2016).

Conduce, por tanto, a construir la secuencia de eventos que impulsarán las transformaciones en el territorio. En consecuencia el uso de la prospectiva territorial permitiría integrar activamente aspectos sociales, culturales y económicos, soluciones científicas y técnicas, así como atención a la dinámica social, lo que resultaría en una aproximación metodológica rigurosa para lidiar con la complejidad e incertidumbre de la gestión del agua en diferentes espacios y tiempos a fin de garantizar un mejor nivel de SH (Jensen y Wu, 2018).

2.2. REFERENCIAS

- Achkar, M., y Domínguez, A. (2008). La gestión del agua desde la geopolítica transnacional y desde los territorios de la integración. *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*, 1, 27-56.
- Akhmouch, A. (2011). Executive summary. *Water Governance in OECD Countries: A Multi-Level Approach*. Paris: OECD.
- Al-Jawad, J.Y., Alsaffar, H.M., Bertram, D. y Kalin, R.M. (2019). A comprehensive optimum integrated water resource management approach for multidisciplinary water resources management problems. *J. Environ. Manag.* 239, 211–224.
- Alonso, C. A. (2014). Prologo. In G. Gándara, y J. Osorio (Eds.), *Métodos Prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro* (pp. 11-16). México: Paidós.
- Araya, A. M. (2010). La prospectiva ambiental: metodologías y resultados – caso de la provincia de mendoza. Revisado enero 2020.
<http://ipap.chaco.gov.ar/uploads/publicacion/3872099e30d169c7d887130e2aa6897aaecc1c07.pdf>
- Bakker, K. (2012). Water: Political, biopolitical, material. *Social Studies of Science*, 42, (4), pp. 616-623.
- Berger, M. G. (1960). Prospective. *Centre International de Prospective*, 6 (November), 1–14.
- Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez. *Revista de Geografía Norte Grande*, 52, 167–184.
- Budds, J. y Linton, J. (2018). El ciclo hidrosocial: Hacia un abordaje relacional y dialéctico al agua. En Budds, J., y Roa García, M. C., (Eds.), *Agua, Equidad y Justicia: El papel de las relaciones de poder en la asignación, uso y gobernanza de recursos hídricos en los Andes* (pp.37-56). Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Bunch MJ, Parkes M., Zubrycki K., Venema H. y Hallstrom L. (2014) Watershed management and public health: an exploration of the intersection of two fields as reported in the literature from 2000 to 2010. *Environ Manag* 54:240–254
- Burgos, A. L., Bocco, G., y Sosa R., J. (2015). Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Calow, R. C., MacDonald, A. M., Nicol, A. L., y Robins, N. S. (2010). Ground Water Security and Drought in Africa: Linking Availability, Access, and Demand. *Ground Water*, 48(2), 246–256.
- Capel H. (2016). Las ciencias sociales y el estudio de territorio. *Biblio3 W XXI*(1): 1–38

- Castillo, G. (2020). El territorio como apropiación sociopolítica del espacio. Entre la desterritorialización y la multiterritorialidad. *Investigaciones Geográficas*, (103), 1–13.
- Castillo, G. (2021). Bernardo Mançano Fernandes and the Territory As a Spatial Process of Political Construction. *Proposals on Power, Scale and Multiterritoriality*. *Finisterra*, 56(117), 287–303.
- Cevallos, G. E., Tufiño, M. C., y García, J. B. N. (2016). Relación gestión ambiental–competitividad territorial bajo el enfoque de la prospectiva estratégica. *Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 9(25) 2-25.
- Cohen, A., y Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives*, 4(1), 1–14.
- Cook, C., y Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change* 22(2012), 94–102.
- Cotler, H. (2020). La sustentabilidad del agua: entre la integridad y la gobernanza de las cuencas. *Argumentos, estudios críticos de la sociedad*, 41–55.
- Crampton, J. W. (2011). Cartographic calculations of territory. *Progress in Human Geography*, 35(1), 92–103.
- Chiavassa, S., Ensabella, B., Llorens, S., Saavedra, C., Bustos, M., y Deón, J. (2013). Dinámica social y territorial en relación a problemáticas del uso del agua. Estudio a nivel de cuencas en la vertiente oriental de las Sierras Chicas. *Cardinals*, 1913.
- Chiavassa, S., Ensabella, B., y Deón, J. U. (2017). Territorialidades en conflicto y acciones colectivas: las luchas por el agua en Sierras Chicas, provincia de Córdoba, Argentina. *Agua y Territorio*, (10), 43–57.
- De Loë, R. C., Varghese, J., Ferreyra, C., y Kreutzwiser, R. (2007). *Water Allocation and Water Security in Canada: Initiating a Policy Dialogue for the 21st Century*. Guelph Water Management Group. University of Guelph, Ontario.
- Delaney, D. (2005). *Territory. A Short Introduction*. Blackwell, Malden
- Dourojeanni A., A., Jouravlev, y Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas. Recursos naturales e infraestructura (Vol. 47)*.
- Dunn, G. y Bakker, K. (2009). *Canadian Approaches to Assessing Water Security: An Inventory of Indicators: Policy Report*, Program on Water Governance, University of British Columbia.
- Ekers, M. y Loftus, A. (2008). The Power of Water: Developing dialogues between Gramsci and Foucault. *Environment and Planning D: Society and Space*, Vol. 26(4), p. 698-718.

- Elden, S. (2010). Land, terrain, territory. *Progress in Human Geography*, 34(6), 799–817.
- Falkenmark, M. y Rockström, J. (2010). Building water resilience in the face of global change: from a blue-only to a green-blue water approach to land-water management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136, p.606.
- FAO. (2006). The new generation of watershed management. FAO Forestry Paper (Vol. 150).
- FAO. 2017. Watershed management in action – lessons learned from FAO field projects. Rome.
- Fasciolo, G. E. (2010). Futuro ambiental de Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- Ffolliott, P. F., Baker Jr, M. B., Tecle, A., y Neary, D. G. (2003). A watershed management approach to land stewardship. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, 35(1), 1–4.
- Finlayson, B. L., Barnett, J., Wei, T., Webber, M., Li, M., Wang, M. y., Chen, Z. (2013). The drivers of risk to water security in Shanghai. *Regional Environmental Change*, 13(2), 329–340.
- Gándara, G. F. (2015). Strategic Prospective Methodology to Explore Sustainable Futures. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, 11(11), 606–614.
- Godet, M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3–22.
- Godet, M., y Durance, P. (2011). La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios. Dunod Unesco.
- Grey, D., Garrick, D., Blackmore, D., Kelman, J., Muller, M., y Sadoff, C. (2013). Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371.
- Global Water Partnership. (2000). Towards Water Security : A Framework for Action Foreword by Ismail Serageldin. Framework.
- Haesbaert, R. (2007). Território e Multiterritorialidade: um debate. En *Geographia* (Niterói: Pós-Graduação em Geografia) N° 17
- Haesbaert, R. (2013). Del mito de la desterritorialización a la multiterritorialidad. *Cultura y representaciones sociales*, 8(15), 9–42.
- Heal, K. (2017). Watershed Management in Action: Lessons Learned From FAO Field

Projects. Mountain Research and Development.

Henry, A. D., y Vollan, B. (2014). Networks and the challenge of sustainable development. *Annual Review of Environment and Resources*, 39.

Huntjens, P., Lebel, L., Pahl-Wostl, C., Camkin, J., Schulze, R., y Kranz, N. (2012). Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector. *Global Environmental Change*, 22(1), 67–81.

Jensen, O., y Wu, H. (2018). Urban water security indicators: development and pilot. *Environ. Sci. Pol.* 83, 33–45.

Kallis, G. y Zografos, C. (2014). Hydro-climatic change, conflict and security. *Climatic Change*, 123(1), pp.69–82.

Kauffer., E. F. (2010). Hidropolítica del Candelaria: del análisis de la cuenca al estudio de las interacciones entre el río y la sociedad ribereña. En *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, XXXI, 124, Zamora, 187-226

Kauffer, E.F. y Gallardo, V.A. (2019). Policy Brief 4: Seguridad Hídrica en México: ¿cómo y para quienes?, resultados del proyecto 2489S4: Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Seguridad Hídrica : un análisis de los pilares de la política hídrica mexicana desde las experiencias locales, CONACyT, CIESA5. INECOL A. C. C015AN

Keirle, R. y Hayes, C. (2007). A review of catchment management in the new context of drinking water safety plans. *Water and Environment Journal*, 21(3), pp.208–216.

Larsimont, R., y Grosso, V. (2014). Aproximación a los nuevos conceptos híbridos para abordar las problemáticas hídricas. *Revista del Departamento de Geografía. FFyH – UNC– Argentina.*, 2(2), 27–48.

Lautze, J. y Manthritlake, H. (2012). Water security: Old concepts, new package, what value? *Natural Resources Forum*, 36, pp.76–87.

Mason, N. y Calow, R. (2012). Water security: from abstract concept to meaningful metrics: an initial overview of options.

Massey, D. (2004). Lugar, identidad y geografías de la responsabilidad en un mundo en proceso de globalización. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, (57), 77-84.

Massey, D. (2007). Geometrías del poder y la conceptualización del espacio. Conferencia dictada en la Universidad Central de Venezuela, 10. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/aval/v19n3/04.pdf>

Massey, D. (2009). Concepts of space and power in theory and in political practice. *Documents d'Analisi Geografica*, (55), 15–26.

- Maurel, P., Plant, R., Barreteau, O., y Bertacchini, Y. (2014). Beyond IWRM: developing territorial intelligence at the local scales. *River Basin Management in the Twenty-First Century: Understanding People and Place*, 22.
- Mazurek, H. (2006). *Espacio y territorio. Instrumentos metodológicos de investigación social*. La Paz: IRD, Fundación Pieb.
- Mera, C. W. (2014). *Prospectiva Territorial y Urbana “Retos y Desafíos para la Construcción Social de territorios del Futuro.”* Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 371 Pp.
- Miklos, T., y Tello, M. E. (2006). *Planeación Prospectiva: Una Estrategia para el Diseño del Futuro*. México: Limusa
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., y Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water (Switzerland)*, 13(490), 21.
- Monedero, G. C. (2013). *La prospectiva ambiental: aplicación del enfoque y el método de la prospectiva estratégica en el estudio integral del ambiente. Estudios de caso en Venezuela*. Sotavento MBA, (21).
- Montaña, E. (2008). Las disputas territoriales de una sociedad hídrica. Conflictos en torno al agua en Mendoza, Argentina. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 9, 1–17.
- Moss, T., y Newig J. (2010). Multilevel water governance and problems of scale: Setting the stage for a broader debate. *Environmental Management* 46(1): 1-6.
- Negrete, G. y Bocco, G. (2003). El ordenamiento ecológico comunitario: una alternativa de planeación participativa en el contexto de la política ambiental de México. *Gaceta ecológica*, (68), 9-22.
- Norman, E. S., Bakker, K., Cook, C., Dunn, G., y Allen, D. (2010). *Water security: A primer. Canada water network: Developing a Canadian water security framework as a tool for improved water governance for watersheds*. Vancouver: Program on Water Governance, University of British Columbia.
- Octavianti, T., y Staddon, C. (2021). A review of 80 assessment tools measuring water security. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(3), 1–24.
- OECD. (2008). *Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030*.
- Pacheco-Vega, R. (2020). Governing urban water conflict through watershed councils-A public policy analysis approach and critique. *Water (Switzerland)*, 12(7).
- Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-

- level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change* 19(3): 354-365.
- Pahl-Wostl, C., Lebel, L., Knieper, C., y Nikitina, E. (2012). From applying panaceas to mastering complexity: Toward adaptive water governance in river basins. *Environmental Science & Policy*, 23(0), 24–34.
- Pande, C. B. (2020). Watershed management and development. In *Sustainable Watershed Development* (pp. 13-26). Springer, Cham.
- Papagno, S. G., Vitale G., J. A., y Barrientos, M. J. (2017). La prospectiva como construcción social de futuros en los procesos de ordenamiento territorial. Ponencia en el VI Seminario internacional de ordenamiento territorial. Universidad Nacional de Cuyo, ciudad de Mendoza, Argentina.
- Perales, V. (2016). La cuenca social como aproximación sociológica a las intervenciones en cuencas hidrográficas. *Temas sociales*, 39, 221–240.
- Porto, G.C. (2006). El desafío ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 149 p.
- Porto, G.C. (2014). Un mundo en busca de otras territorialidades. En *Alfilo*, 47. FFyH, UNC, septiembre. <http://www.ffyh.unc.edu.ar/alfilo/un-mundo-en-busca-de-otras-territorialidades>.
- Raffestin, C. (2009). A produção das estruturas territoriais e sua representação. En M. A. Saquet, y E. S. Sposito, *Territórios e territorialidades. Teorias, processos e conflitos*. (pp. 17 - 36). São Paulo: Expressão Popular.
- Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity: Factor fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1), 5-22.
- Rincón, J. J. (2011). Estructura agraria y conflicto social: de las disputas por la tierra a las dipustas por el territorio. Conferencia dictada en la Universidad Nacional, curso de contexto Tierra, minería y seguridad alimentaría Bogotá, D.E., Cundinamarca, Bogotá.
- Salas, M. (2013). *Prospectiva Territorial. Aproximación a una base conceptual y metodológica*. Universidad de los Andes, Venezuela. CDCHTA-ULA. 172 pp.
- Scott, C. A., Varady, R. G., Meza, F. J., Montaña, E., de Raga, G. B., Luckman, B., y Martius, C. (2012). Science-Policy Dialogues for Water Security: Addressing Vulnerability and Adaptation to Global Change in the Arid Americas. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 54(3), 30–42.
- Storey, D. (2015). Territory and territoriality. In B. Warf (Ed.), *Oxford bibliographies in geography*. New York: Oxford University Press.

- Storey, D. (2017), States, territory and sovereignty, *Geography*, 10 (3), 116–122.
- Tortajada, C. (2010). Water Governance: Some Critical Issues. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), 297–307.
- UN Water. (2013). *Water Security and the Global Water Agenda*. a UN-Water analytical brief. Hamilton, ON: UN University.
- UNDESA. (2003). *Governing water wisely for sustainable development*, in United Nations, *World Water Development Report: Water for People, Water for Life*, Paris: UNESCO, pp. 369-84.
- Villarroel, E. (2007). Identificación de los espacios socio-territoriales-administrativos para la gestión del agua: el caso de la cuenca social de la zona Tiquipaya-Colcapirhua en Bolivia. En: Yáñez, Nancy y Poats, Susan (Coord.). *Derechos de agua y gestión ciudadana. Agua Sustentable. Visión del agua en los Andes*. La Paz: Agua Sustentable-IDRC. pp. 51-76.
- Vitale, J. A., Aranguren, C. I., Saavedra, M., Ledesma, S. E., Zain El Din, E., Cittadini, E. D. y Benoît, M. (2015). Observatories of territorial practices: a tool to contribute to sustainable development of territories and performance of production systems. In *Proceedings 5th International Symposium on Farming Systems Design*, Montpellier, Francia (pp. 253-254).
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., y Innes, J. L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, 27(5), 967–994.
- Wani SP, Joshi PK, Raju KV. (2008). Community watershed as a growth engine for development of dryland areas. A comprehensive assessment of watershed programs in India. *Global Theme on Agroecosystems Report No. 47*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, Andhra Pradesh, India.
- Wheater, H. y Gober, P. (2013). Water security in the Canadian Prairies: science and management challenges. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371(September).
- Wong G., P. (2009). Ordenamiento ecológico y ordenamiento territorial: retos para la gestión del desarrollo regional sustentable en el siglo XXI. *Estudios sociales*, 17(SPE), 11-39.
- Xiao-Jun, W., Jian-Yun, Z., Shahid, S., Xing-Hui, X., Rui-Min, H., y Man-Ting, S. (2014). Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(4), 463–477.
- Yáñez, N. y S. Poats (2007). Documento introductorio. En: Yáñez, Nancy y Poats, Susan. *Derechos de agua y gestión ciudadana*. La Paz: Agua Sustentable-IDRC. pp.13-50.

[página intencionalmente en blanco]

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDIO Y MARCO METODOLÓGICO

[página intencionalmente en blanco]

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se llevó a cabo en dos cuencas hidrográficas ubicadas en los Estados de Aguascalientes y Michoacán, dentro de la Región Centro Occidente del país, denominadas cuenca Arroyo Juan El Grande, y cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, respectivamente (Figura 3.1). Se trata de cuencas de mediana extensión, con superficies de entre 300 y 500 km², que presentan climas semi-áridos y escurrimientos transitorios.

La cuenca A. Juan El Grande se ubica en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, al interior de la Región Hidrológica Administrativa (RHA) VIII Lerma-Chapala-Santiago. Esta RHA tiene una extensión de más de 190 mil km², es una de las de mayor importancia en el país. La RHA Lerma Chapala comprende nueve estados de la república con más de 330 municipios, en ella habitan más de 23 millones de personas, con una disponibilidad media per cápita de agua renovable de 1,469 m³ hab año⁻¹ y la aportación del 18 % del PIB nacional y (CONAGUA 2015). De tal forma que los procesos de atención de los problemas al interior de su Consejo de Cuenca son complejos, poco eficaces y no permiten la particularidad de atención a escalas locales, por lo que los habitantes no se sienten representados en dicho consejo (McCulligh, Lezama y Santana, 2016).

Por su parte la cuenca A. San Pedro Jorullo pertenece a la Región Hidrológica 18 Balsas, que a su vez contiene la RHA IV Balsas la cual comprende 10 estados de la república y 420 municipios. Esta RHA tiene una superficie de más de 116 mil km², con una población superior a 11 millones de personas, y representa el 6 % del PIB nacional. Se tiene una disposición per cápita de agua renovable de 1,896 m³ hab año⁻¹ (CONAGUA, 2015) A diferencia de la RHA VIII, aproximadamente la tercera parte de la población vive dispersa en comunidades rurales menores a 2,500 habitantes. Esta gran dispersión limita la atención a problemas locales, y restringe la capacidad de representación social al interior de un consejo de cuenca. Por ello, al igual que en la región Lerma-Santiago-Pacífico, los Consejos de Cuenca instalados formalmente por la CONAGUA priorizan los problemas urbanos por encima de los rurales (Vargas, 2008).

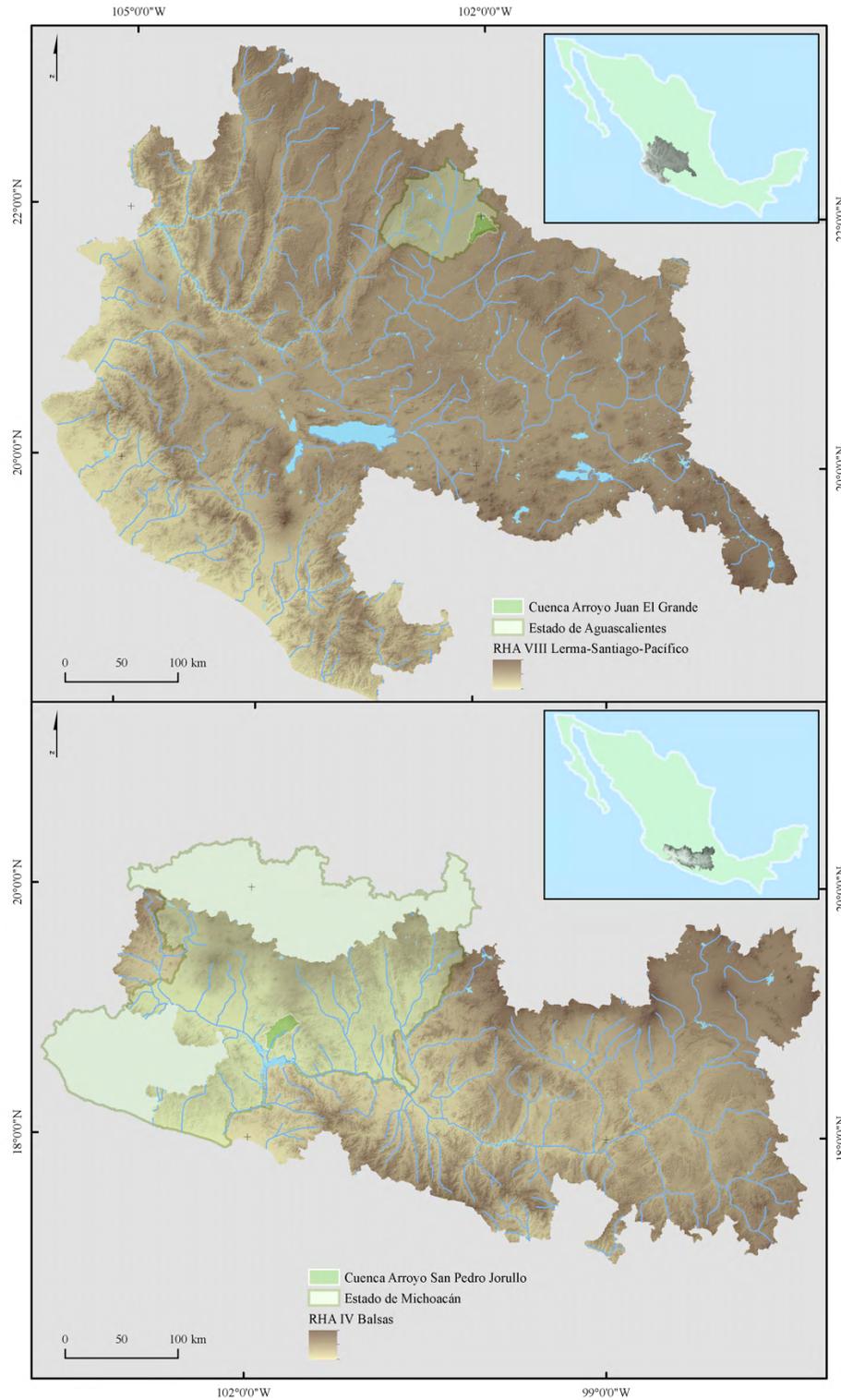


Figura 3.1. Localización de las cuencas de estudio. Arriba, cuenca Arroyo Juan El Grande dentro de la Región Hidrológico Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico. Abajo: cuenca Arroyo San Pedro Jorullo ubicada dentro de la Región Hidrológico Administrativa IV Balsas. Fuente: Elaboración propia

Las dos cuencas comparten un balance hídrico climático con alto déficit de precipitaciones, largas estaciones de sequía, además de suelos con baja capacidad de retención de agua. El índice de aridez (UNESCO, 1979) muestra valores de 0.31 y 0.28 para A. Juan El Grande y A. San Pedro Jorullo, respectivamente, que corresponde con condiciones semiáridas (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Rasgos climáticos indicativos de las cuencas de estudio.

Parámetro	Cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes)	Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán)
Tipo de clima*	BS1kw	BS1(h')w
Precipitación anual promedio (PPT; mm)	526.1	626.5
Temperatura media anual (°C)	17.3	28.5
Evapotranspiración potencial (ETP; mm)	1,684.5	2,207.2
Déficit hídrico anual (mm)	1,390	2,167
Índice de aridez (PPT/ETP)	0.31	0.28

*Clasificación de acuerdo con García (1973)

La cuenca Arroyo Juan El Grande presenta un clima templado semi-seco, con una temperatura media anual de 17.3°C, registrándose las más altas en los meses de mayo a agosto, y las más bajas de diciembre a febrero. Las precipitaciones oscilan entre los 360 y 650 mm, con un valor promedio anual de 526 mm. Por su parte la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo tiene una temperatura media anual de 28.5°C y una precipitación que se ubica entre 450 y 790, con un promedio anual de 626 mm.

La cuenca A. Juan El Grande en Aguascalientes ocupa una planicie que se extiende del sudeste del territorio estatal hacia el noreste del Estado de Jalisco, lo que INEGI (1993) ha denominado Llanos de Ojuelos dentro de la Provincia de la Mesa Central. Los materiales parentales y tipo de suelo son de origen volcánico, con predominio de planosoles en más de un 60% de la superficie, es un suelo con una capa intermedia decolorada y muy permeable, localizada entre la capa superficial y el subsuelo arcilloso o tepetate, que ocasiona un drenaje deficiente, y se encuentra en todos los sistemas de topo formas; seguido por suelos de tipo feozem los cuales son poco permeables o con drenaje escaso o ausente, muy susceptibles a

la erosión hídrica. La cuenca A. San Pedro Jorullo se ubica al sureste del estado de Michoacán en la llamada Tierra Caliente, y drena directamente a la Presa Adolfo López Mateos, o Presa Infiernillo. El sustrato geológico no forma acuíferos de fácil acceso. Los tipos de suelo por orden de superficie son feozem, luvisol y regosol. Sus planicies aluviales presentan pobre acumulación de sedimentos. Su relieve fuertemente quebrado junto con suelo somero favorece los escurrimientos rápidos así como la falta de reservorios naturales para el agua.

CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO Y MARCO METODOLÓGICO

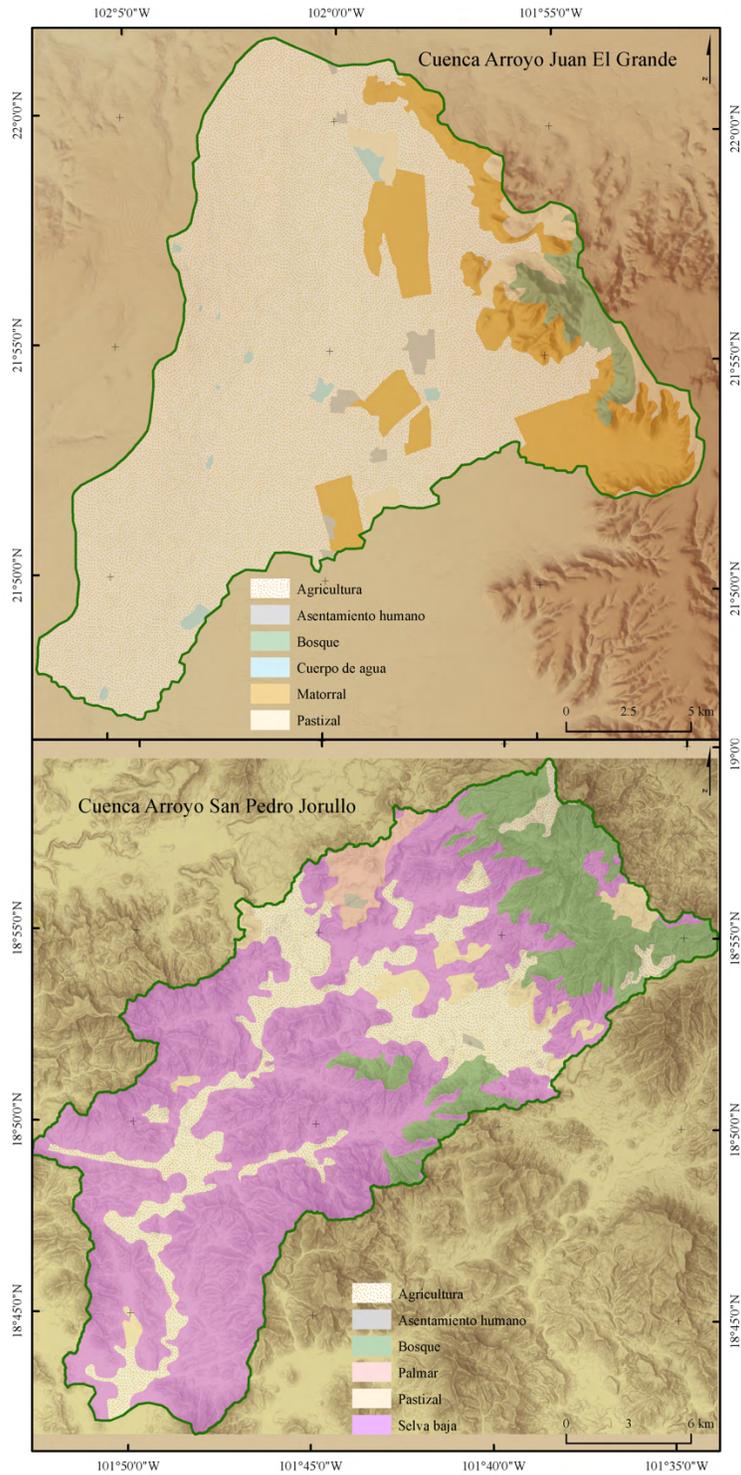


Figura 3.2. Cubierta vegetal y uso del suelo para el año 2014 en las cuencas de estudio. Fuente: Uso del suelo y vegetación, Serie VI (INEGI, 2016).

La vegetación natural en la cuenca A. Juan El Grande ha sido transformada en el 75 % de su superficie total (Figura 3.2). Solo el 17.2 % de la cuenca está cubierta por matorral, un 4.2 % por pastizal inducido, y solamente el 3.3% presenta bosque de encino. Esta cubierta de vegetación natural se ubica en la zona de captación de la cuenca, principalmente en las zonas serranas (INEGI, 2016). Por el contrario, la cuenca A. San Pedro Jorullo presenta vegetación natural en más del 80 % de la superficie, con dominancia de selva baja caducifolia en un 61.1 %, la cubierta de bosque de encino le sigue con un 15 % y en menor superficie el pastizal y el palmar con 3.9 y 2.1 % respectivamente. La cubierta de vegetación no natural es básicamente agrícola, ésta se ubica en la zona de almacenamiento de la cuenca y en las zonas aledañas al cauce principal.

Ambas cuencas se consideran de tipo rural debido a que las actividades productivas primarias son predominantes, además de presentar una baja densidad de población, con 45 y 14 hab km², para Juan el Grande y San Pedro Jorullo, respectivamente. En la cuenca de Aguascalientes la agricultura de temporal cubre el 54.6 % de la superficie, y la de riego un 19 %. Los cultivos dominantes son en orden de importancia: maíz, frijol, avena y alfalfa forrajera (INEGI, 2011). Con respecto a la cuenca de Michoacán los productos agrícolas más importantes son: maíz, flor de jamaica, ajonjolí y sorgo, en un 17.6 % de la superficie de la cuenca (Figura 3.2). La totalidad de las actividades agrícolas son de temporal, con una alta siniestralidad por la fuerte dependencia de las precipitaciones.

Con respecto a los rasgos políticos-administrativos, la extensión media y el carácter rural de las cuencas se refleja en un número acotado de entidades territoriales (Cuadro 3.2). Ambas cuencas se extienden sobre los territorios de un conjunto pequeño de municipios, si bien predominantemente se ubican bajo jurisdicción de un municipio dominante (Figura 3.3). Para el caso de la cuenca de Aguascalientes se trata del municipio de El Llano, el cual tiene una población de 18,825 habitantes (representa el 1.5 % de la población total del estado), siendo uno de los municipios con mayor rezago socio-económico del estado (INEGI, 2010). En cuanto al municipio con mayor superficie dentro de la cuenca de Michoacán, es el de La Huacana, con una población de 32,757 habitantes (representa el 0.7 % de la población total del estado), todas sus localidades son rurales y éstas se encuentran dispersas a lo largo de la cuenca. Similarmente, ambas cuentan con Áreas Naturales Protegidas (ANP) con

competencia estatal o federal. De acuerdo con los datos de CONEVAL (2010), el coeficiente de Gini para la distribución del ingreso familiar, mostró un valor de 0.357 para el municipio de El Llano en Aguascalientes lo que significa una baja desigualdad social. Por su parte el municipio de La Huacana en Michoacán reportó un valor de 0.453, que señala una mayor contraste en el ingreso en relación con el valor de ese indicador para la cuenca de Aguascalientes. El grado de marginación a nivel localidad para ambas cuencas se ubicaba en 2010 entre medio y muy alto (CONAPO, 2010).

Cuadro 3.2. Principales entidades territoriales en las cuencas de estudio.

Entidad territorial	Cuenca Arroyo Juan El Grande	Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo
Estados	Aguascalientes y Jalisco	Michoacán
Municipios	El Llano (82.2 %) , Asientos, Aguascalientes, Lagos de Moreno y Ojuelos	La Huacana (90.8 %) , Churumuco, Ario de Rosales y Turicato
Áreas Naturales Protegidas	Área de Conservación del Águila Real, Juan El Grande (federal)	Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo (federal) Área Patrimonial Volcán El Jorullo (estatal)
Ejidos	16	19
Localidades rurales	91	53
Localidades urbanas	1	0

- En negrita se señalan los municipios con mayor superficie dentro de la cuenca.

En cuanto a las condiciones de vida de la población, ambas cuencas presentan diferencias destacadas (Cuadro 3.3). Para el año 2010, la cuenca A. Juan El Grande, registraba una población total de 15, 535 personas, en 3,427 viviendas. Por su parte, la cuenca A. San Pedro Jorullo contaba con una población de 6,434 personas, en 1,518 viviendas habitadas en el mismo año de referencia. Con respecto a las personas nacidas fuera del estado en la cuenca de Aguascalientes eran 8 % más que las de la cuenca de Michoacán, un dato importante es el analfabetismo y el grado promedio de estudios, para Ags. el primero era de 3.6 % y de 1° de secundaria, para el caso de Michoacán éstos eran de 14 % y 5° de primaria. Sin embargo los valores más dispares son los referentes a la viviendas con agua entubada, con más del 90 % para la cuenca de Ags. por un 48.8 % para Michoacán, los datos de drenaje son de 89.3 y 62.6 % respectivamente. No obstante el valor que pone de manifiesto el nivel de desigualdad y marginación es el de viviendas con servicio de agua, luz y drenaje cuyos valores son de más del 85 % para la cuenca de Ags., por menos del 34 % para la de Michoacán, denotando

así el rezago en esta materia y la precariedad de las condiciones de vida en esta cuenca.

Cuadro 3.3. Condiciones de vida de la población en las cuencas de estudio. Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2010)

Atributos	Cuenca Arroyo Juan El Grande	Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo
Población (hab)	15,535	6,434
Viviendas	3,427	1,518
Nacidos fuera de la entidad (%)	13.0	5.0
Analfabetismo (%)	3.6	14.0
Grado promedio de estudio	1° secundaria	5° primaria
Población económicamente activa (%)	29	27.7
Viviendas con agua entubada (%)	93.9	48.8
Viviendas con drenaje (%)	89.3	62.6
Viviendas con servicio de agua, luz y drenaje (%)	85.3	33.5

De acuerdo a la clasificación propuesta por Burgos (2018), las localidades se tipificaron de acuerdo al tamaño de su población en ocho tipos (Cuadro 3.4). Para la cuenca de Ags., casi el 70 % de las localidades son caseríos chicos y solo en ésta cuenca se ubica la única población de más de cinco mil habitantes.

Cuadro 3.4. Tipo de localidades y su frecuencia en las cuencas de estudio.

Tipo de localidad	Clave	Rango (hab)	Cuenca A. Juan El Grande		Cuenca A. San Pedro Jorullo	
			#	%	#	%
Caserío chico	C1	1 - 41	64	69.6	15	28.4
Caserío medio	C2	42 - 99	7	7.6	14	26.5
Poblado rural muy chico	R1	100 - 249	8	8.6	18	33.7
Poblado rural chico	R2	250 - 499	6	6.6	5	9.5
Poblado rural medio	R3	500 - 999	3	3.2	1	1.9
Poblado rural grande	R4	1,000 - 2,499	3	3.2	0	0.0
Poblado rural muy grande	R5	2,500 - 4,999	0	0.0	0	0.0
Mixta - rural	MR	4,999 - 9,999	1	1.2	0	0.0
Total			92	100	53	100

Respecto a la cuenca de Michoacán, las localidades más representativas son aquellas de tipo “rural muy chico”, con más del 33 % del total de la cuenca. En ambas cuencas casi la totalidad de las localidades no superan los mil habitantes, denotando así su carácter rural. Esta tipología se representa en la Figura 3.3.

CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO Y MARCO METODOLÓGICO

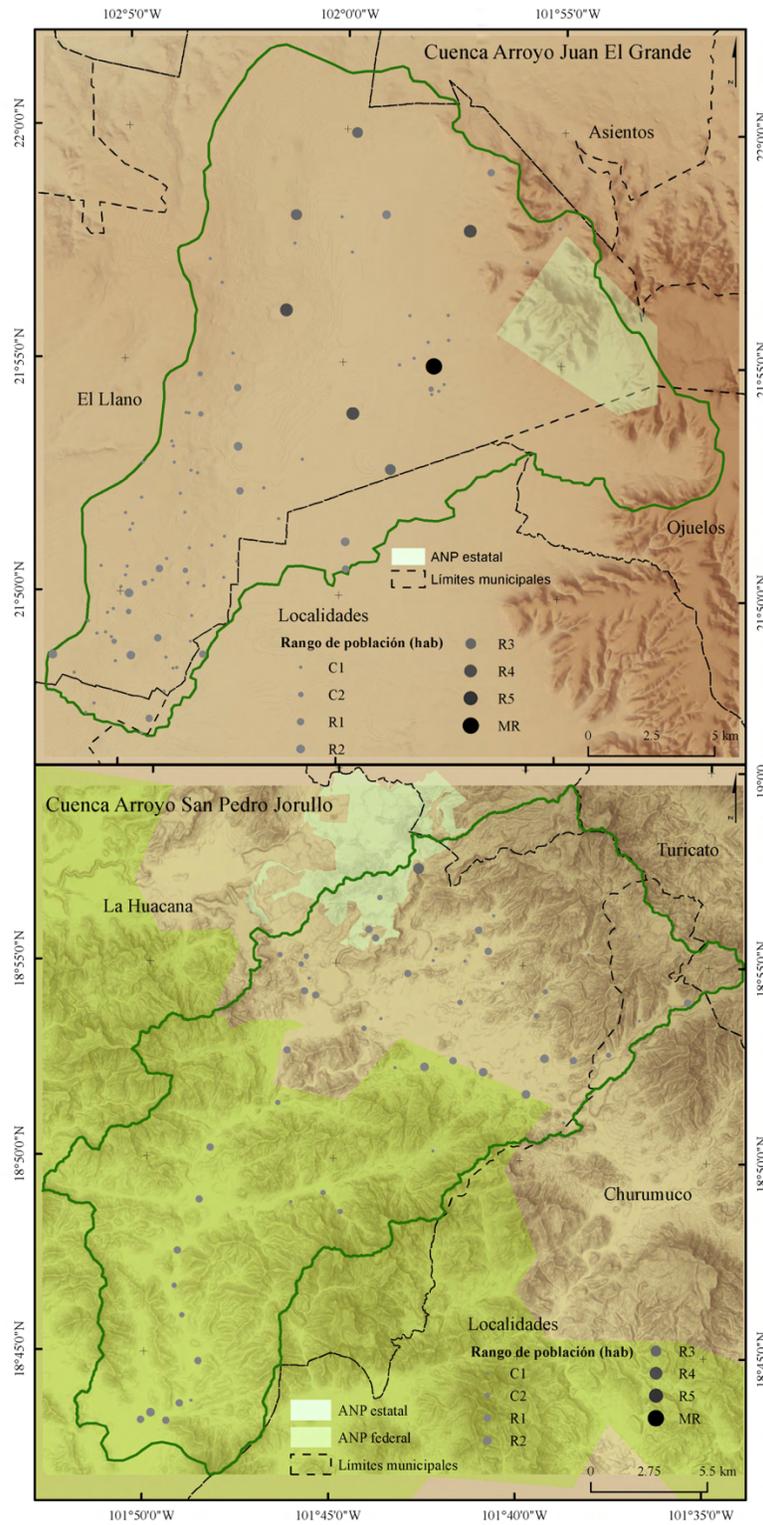


Figura 3.3. Límites político administrativos, localidades y áreas naturales protegidas en las cuencas de estudio. Arriba cuenca de Aguascalientes, debajo cuenca de Michoacán. Fuente: Elaboración propia

Los habitantes de la cuenca de Aguascalientes se consideran agro productores. Si bien las localidades no se encuentran dispersas dentro de la cuenca, y hay poca distancia entre ellas (Figura 3.3), no es común la participación social. La cuenca carece de espacios sociales organizados para la toma de decisiones, y mas bien entre los pobladores predomina la apatía por los asuntos comunitarios. Gran parte de su población labora en la ciudad de Aguascalientes, principalmente en fabricas y comercios. Las familias se ayudan económicamente con la crianza de animales de traspatio. Las autoridades de distintos niveles de gobierno tienen presencia constante en el territorio y existen diversos programas de apoyo y procuración de bienestar social (Rivera, 2008). Sin embargo, se tiene la percepción de un nivel de vida pobre y los habitantes no procuran modificar sus condiciones de vida por sus propios medios o por la participación social, históricamente, se pretende que las entidades de gobierno asuman esta responsabilidad (Rendón, 2017).

En cuanto a los habitantes de la cuenca de Michoacán, éstos se consideran agro productores, ganaderos, recolectores y pescadores (Kieffer y Burgos, 2015). Hay una alta migración tanto a ciudades cercanas, como a Estados Unidos de América, (Velázquez et al., 2009). Debido a la carencia de fuentes de agua y áreas irrigadas, las actividades agrícolas son totalmente dependientes de las condiciones agroclimáticas. Ello le confiere a los sistemas de producción una alta vulnerabilidad ante amenazas como sequias (Prado, 2012). Durante décadas, el Estado ha estado ausente, con un marcado abandono por parte de programas de apoyo al campo así como de seguridad social. Las restricciones naturales de la cuenca, junto a la falta de políticas publicas han repercutido en un empobrecimiento de la región con la consiguiente marginación en la vida de las personas, y el involucramiento de la población en actividades ligadas a grupos del crimen organizado (Maldonado-Aranda, 2013). Pese a lo anterior y con la participación de organismos no gubernamentales se tienen procesos de participación social de importancia, lo que ha devenido en una mayor capacidad local para la resolución de problemas y una marcada mejoría en el tejido social cuyos productos han sido cooperativas agrícolas exitosas, así como comercializadoras de los diversos productos locales, esto dentro de un contexto de alta violencia, producto de las acciones del crimen organizado en una región aislada y marginada (Burgos et al., 2017; Burgos, 2019).

Para realizar una apreciación multi-nivel tanto de la valoración de la SH así como de la determinación de la configuración territorial se realizó a nivel de cuenca y de subcuencas, esto facilitó un mejor entendimiento de los procesos al mismo tiempo que se reduce la complejidad de los mismos. Se seleccionaron subcuencas en cada zona funcional de la cuenca (zona de captación, almacenamiento y emisión), las cuales fueron delimitadas considerando dos órdenes de corriente menores al orden de la salida de la cuenca principal (Figura 3.4). Como se aprecia en el Cuadro 3.5, la cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes) ubica la subcuenca principal, i.e. con mayor tamaño poblacional, en la zona funcional de captación (subcuenca Maravillas). Por su parte, la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (en Michoacán), presenta una distribución poblacional más homogénea, de modo que las subcuencas de las zonas funcionales de captación y emisión (subcuenca Los Copales y Hacienda Vieja) son las de mayor población.

Cuadro 3.5. Rasgos poblacionales de las subcuencas de estudio. Fuente: INEGI, 2010

Subcuencas	Zona funcional de la cuenca	Superficie (ha)	Localidades (#)	Población (hab)	Viviendas (#)
<i>Cuenca A. Juan El Grande</i>					
A. Maravillas	Captación	3,200	5	5,485	1,225
A. Colorada	Almacenamiento	2,700	15	870	223
A. Encarnación	Emisión	6,800	54	2,912	575
<i>Cuenca A. San Pedro Jorullo</i>					
A. Copales	Captación	8,700	17	1,767	420
A. Cayaco		3,500	8	835	186
A. Algodón	Almacenamiento	6,200	4	128	23
A. Hacienda Vieja	Emisión	9,100	9	1,512	329

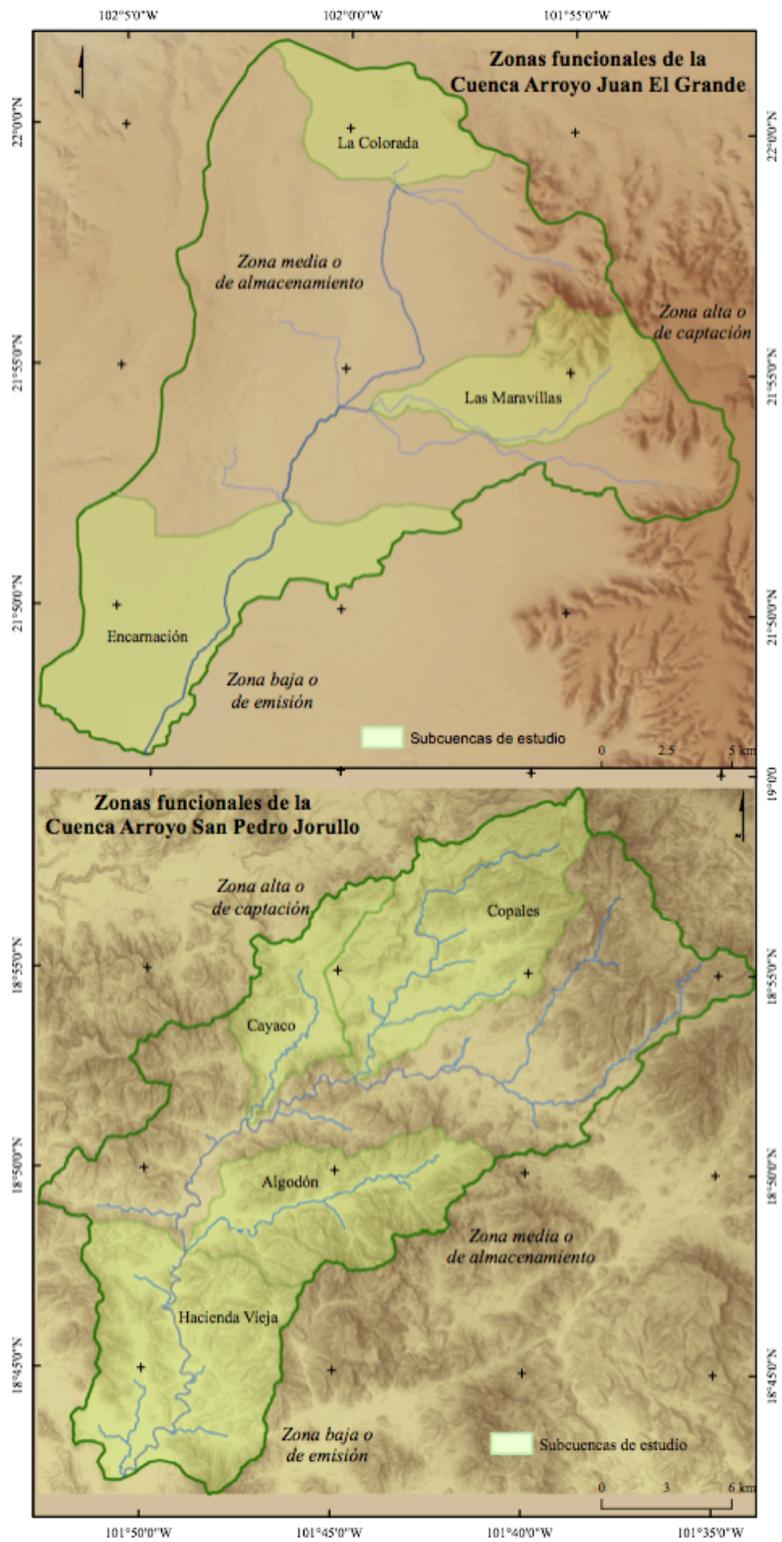


Figura 3.4. Subcuencas de estudio y su ubicación de acuerdo a la zonificación funcional de la cuenca. Arriba cuenca de Aguascalientes, debajo cuenca de Michoacán. Fuente: Elaboración propia

3.2. MARCO METODOLÓGICO

3.2.1. Abordaje de la investigación

Esta investigación se orientó a desarrollar abordajes metodológicos novedosos para superar las limitaciones operativas del marco de la gestión de cuencas hidrográficas. En particular, se pretendió fortalecer sus alcances para mejorar las condiciones de seguridad hídrica en los territorios rurales marginados ubicados en zonas semiáridas de México, incorporando también la dimensión territorial de la cuenca. En términos generales, el enfoque de cuenca fue el eje conductor para construir un abordaje hidrográfico y territorial, teniendo a la seguridad hídrica como una condición necesaria para el bienestar social, el desarrollo económico, y el soporte de los sistemas naturales y productivos. La figura 3.4 muestra la estrategia metodológica general para alcanzar los tres objetivos específicos de esta investigación indicados en el Capítulo 1. Al momento del inicio de esta investigación en el año 2011, la información pre-existente sobre las cuencas de estudio era escasa y muy general, de modo que debieron generarse insumos cartográficos básicos a partir de datos espaciales.

En este capítulo se presentan los procedimientos y lineamientos metodológicos generales indicados en la Figura 3.4. El apartado 3.2.2 explica los procedimientos de colecta de datos y elaboración de insumos espaciales, así como la obtención de datos desde testimonios de actores claves. Estos procedimientos permitieron recabar datos e información de base, utilizada en los tres objetivos específicos de la tesis. Los apartados 3.2.3, 3.2.4 y 3.2.5 explican las premisas y procedimientos generales de los abordajes metodológicos de los capítulos 4, 5 y 6, respectivamente. Cabe señalar que los detalles y precisiones metodológicas son desarrollados en cada uno de los capítulos mencionados.

3.2.2. Elaboración de insumos espaciales y obtención de información base

El procedimiento metodológico partió de la delimitación hidrográfica de cuencas y subcuencas y el montaje del proyecto geográfico de las cuencas A. Juan El Grande (Aguascalientes) y A. San Pedro Jorullo (Michoacán), así como de la caracterización de los sujetos sociales en cada cuenca y la obtención de testimonios directos a partir de entrevistas

a profundidad.

a) *Análisis de datos espaciales*

Todos los procedimientos de análisis espacial se realizaron en la plataforma del programa ArcGis V.10.5. La primera actividad fue la búsqueda de información espacial para caracterizar las zonas de estudio de interés. Para el caso de la cuenca de Aguascalientes se visitaron dependencias de gobierno de los tres niveles a fin de recopilar todos los datos que aportaran información a la investigación. Para el caso de la cuenca de Michoacán se partió de una base de datos ya disponible, generada en estudios realizados previamente en el marco del proyecto general en el cual se insertó esta tesis. (Burgos, Solorio y Tinoco, 2010).

APROXIMACIÓN HIDROGRÁFICA Y TERRITORIAL PARA FORTALECER LA CAPACIDAD PROSPECTIVA Y OPERATIVA EN LA GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DE LA VALORACIÓN DE SU CONDICIÓN DE SEGURIDAD HÍDRICA

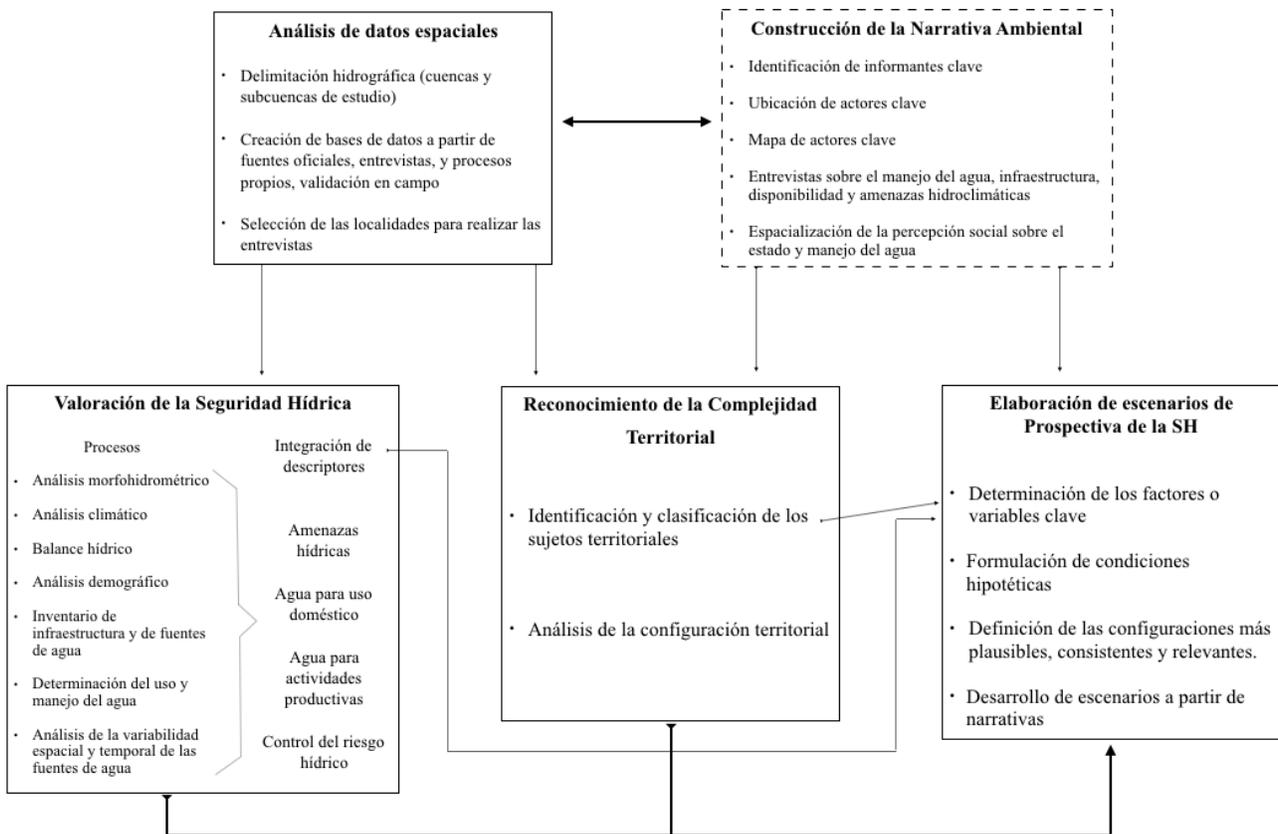


Figura 3.5. Marco metodológico general de la investigación. La caja con línea discontinua representa el trabajo realizado en campo, en línea continua el trabajo realizado en gabinete. Las flechas finas refieren insumos, las flechas gruesas representan procesos o un conjunto de ellos que sirvieron de insumos para otros procesos a mayor escala y complejidad.

La delimitación del polígono de la cuenca de la cuenca A. Juan El Grande, fue realizada de forma manual sobre mapas topográficos a escala 1:50:000 abarcando cuatro cartas del INEGI (F13 B y D; F14 A y C), empleando curvas de nivel y la red hidrográfica más reciente (SIATL, INEGI, 2011). En el caso de la cuenca A. San Pedro Jorullo, el polígono fue tomado de investigaciones previas (Burgos, 2011), donde también fue delimitado a escala 1:50,000.

Para tener una aproximación bi-escalar, en cada cuenca se delimitaron subcuencas como unidades hidrográficas con una jerarquía de dos órdenes de corriente menores que el orden de la salida de la cuenca principal, en las cuales se replicaron los análisis espaciales de la cuenca completa, pero a mayor resolución. Para la delimitación de subcuencas se utilizaron los datos de la red hidrográfica del Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL, INEGI, 2011) según la metodología propuesta por Strahler (1979). Considerando el enfoque de cuenca se seleccionaron subcuencas que se ubicaran en las tres zonas (captación, almacenamiento y emisión) de acuerdo a su funcionalidad, siendo tres subcuencas en la cuenca A. Juan El Grande, y cuatro en la cuenca A. San Pedro Jorullo.

Una vez definidos los polígonos de las cuencas hidrográficas de estudio, se procedió a recortar toda la información espacial de diferentes capas de información. Asimismo, se seleccionaron las localidades en cada subcuenca para conducir entrevistas a informantes clave.

Gran parte de la información espacial fue validada y ajustada con información obtenida de entrevistas a informantes clave en cada cuenca. Ello permitió mejorar la precisión de la ubicación espacial de problemáticas específicas dentro de las cuencas, así como ubicar componentes más vulnerables. Dicha información permitió crear capas de información espacial nuevas, que no estaban disponibles antes de esta investigación. Los procedimientos de análisis espacial para la valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca (objetivo 1) y el reconocimiento de la complejidad territorial (objetivo 2), son explicados con mayor detalle en los apartados 3.3.3 y 3.3.4 de esta sección, así como en los capítulos 4 y 5, respectivamente.

b) Construcción de la narrativa ambiental

Para recabar los testimonios de personas íntimamente ligadas a la problemática de las cuencas de estudio, se diseñó y aplicó una entrevista a profundidad (Reed et al., 2009); consistente en 56 preguntas abiertas, sobre temas como fuentes de agua, usos y demandas, aspectos sociales, relevancia económica de los recursos hídricos, saneamiento, manejo de residuos, y aspectos productivos a partir del uso y disponibilidad de sus recursos hídricos. El instrumento se aplicó a 14 informantes clave en cada caso de estudio (Cuadro 3.5). Con ayuda de mapas impresos los informantes clave ubicaron procesos, problemas tanto con el manejo del agua, así como con las localidades vecinas, con lo que se generaron datos que fueron digitalizados e incorporados en SIG. Las entrevistas se realizaron en el 2014, a habitantes locales de las cuencas, como autoridades ejidales actuales o pasadas, personas de la tercera edad, y aquellas con poder de decisión sobre el manejo del agua y el territorio. Asimismo, se entrevistaron personas externas del sector académico y gubernamental.

3.2.3. Valoración de la SH a nivel de cuenca hidrográfica (objetivo específico 1)

Este objetivo se enfocó en diseñar y aplicar un marco analítico para valorar la condición de seguridad hídrica a nivel de cuenca hidrográfica en las dos cuencas rurales de estudio. Cabe señalar que la valoración de la SH a nivel de cuenca hidrográfica requirió un procedimiento novedoso, no desarrollado como tal en la literatura científica especializada. Desde la aparición del concepto de SH en 2007 (Grey y Sadoff, 2007), la tendencia de investigación ha sido valorar la SH como una condición más bien estática, con escasa definición de una escala espacial determinada, y utilizando indicadores. Ejemplos de esto son los trabajos de Xiao-jun et al. (2014) quienes analizaron factores sociales, económicos y recursos hídricos a través de diversos indicadores para construir un índice a nivel nacional en China; Arreguin et al. (2019) cuyo trabajo se centra en la evaluación de amenazas y vulnerabilidad a nivel municipal en México así como el trabajo de Khan, Guan y Khan (2020) al evaluar la condición de SH urbana en Pakistán.

Cuadro 3.6. Relación de informantes clave entrevistados en cada cuenca de estudio.

Subcuencas	Comunidades	Informantes clave
<i>Cuenca Juan El Grande (Aguascalientes)</i>		
Ciudad de Aguascalientes		<ul style="list-style-type: none"> • Académico UAA. • Delegado Estatal de la CONAFOR.
1) La colorada	1.1 La luz	<ul style="list-style-type: none"> • Presidente ejidal. • Presidente junta del agua. • Académico UAA.
	1.2 Santa Rosa	<ul style="list-style-type: none"> • Comisario ejidal.
2) Las Maravillas	2.1 Palo Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalde del municipio de El Llano. • Dir. Planeación y obras. Municipio de El Llano. • Dir. Medio Ambiente. Municipio de El Llano. • Responsable técnico CAPAS. Municipio de El Llano
	2.2 Ojo de agua de las crucitas	<ul style="list-style-type: none"> • Ex comisariado ejidal.
3) Encarnación	3.1 La Loma	<ul style="list-style-type: none"> • Comisario ejidal
	3.2 El Novillo	<ul style="list-style-type: none"> • Comisario ejidal • Ex alcalde del municipio de El Llano.
<i>Cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán)</i>		
Localidades fuera de las subcuencas	Capirito	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico comunitario. • Habitante de la comunidad.
1) Copales	1.1 Copales	Comité del agua.
	1.2 San Pedro Jorullo	Comisariado ejidal. Ejido San Pedro Jorullo.
	1.3 Santa María	Encargado del orden. Ejido Pedregosa
	1.4 Mata de Plátano	Comisariado ejidal.
2) Cayaco	2.1 C. Manjarrez	Técnico comunitario.
	2.2 Arronjadero	Encargado del orden.
	2.3 Cayaco	Comité del agua.
3) Algodón	3.1 Las Higueras	Padre de comisariado ejidal.
4) San Pedro Jorullo	4.1 Sin Agua	Técnico comunitario.
	4.2 Hacienda Vieja	Habitante de la comunidad
	4.3 Guadalupe Oropeo	Comité del agua.
	4.4 Reparó de Luna	Técnico comunitario.

Para desarrollar el objetivo 1 de esta tesis, se presentó una alternativa al uso de indicadores para valorar la SH. El método incorporó dos elementos principales: 1) la integración de descriptores de los componentes de disponibilidad de agua y de riesgo hídrico, a nivel de cuenca y subcuencas, y 2) el desarrollo de una descripción narrativa de la condición actual de la SH en forma de una historia accesible a usuarios no expertos y tomadores de decisiones de una cuenca. Los detalles del marco metodológico para este objetivo son presentados en el capítulo 4; de modo que a continuación se presenta un resumen de la estrategia metodológica general (Figura 3.5).

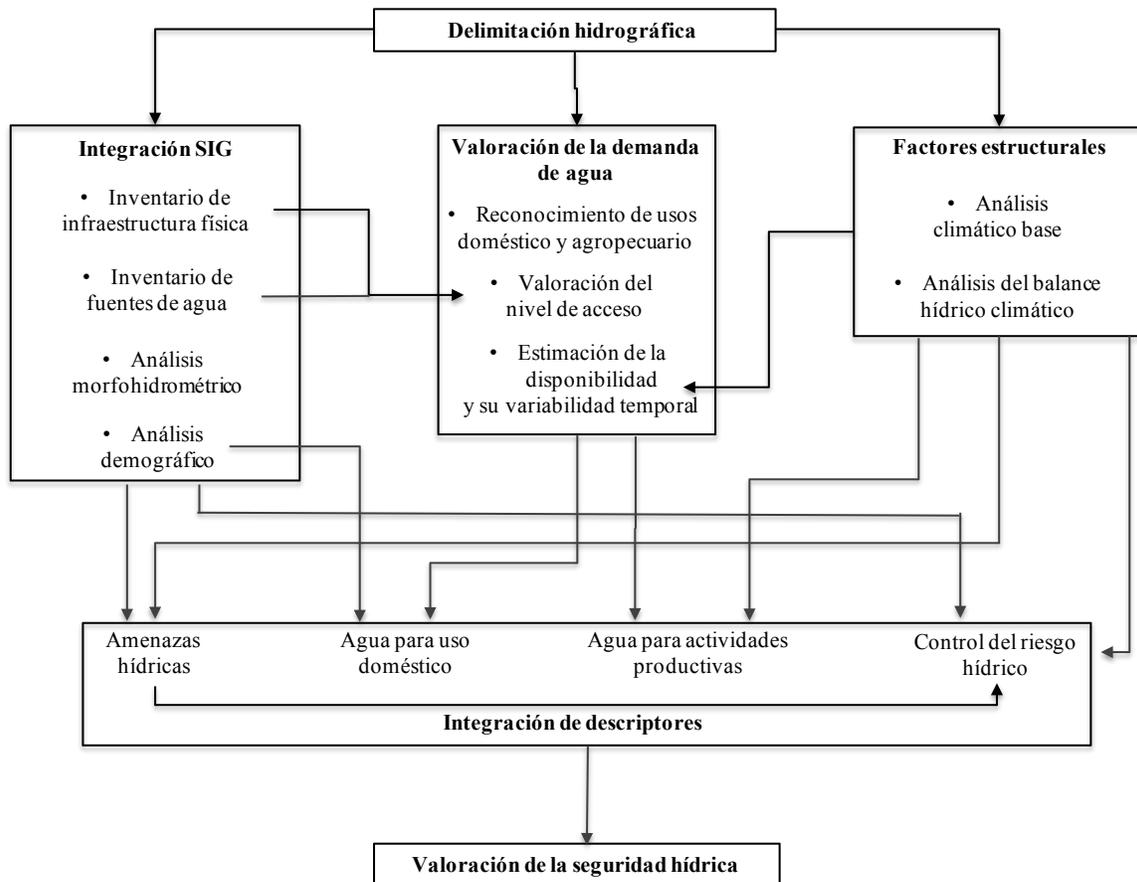


Figura 3.6. Esquema metodológico para valorar el nivel de SH a nivel de cuenca hidrográfica. Las flechas finas refieren insumos que sirvieron para procesos a mayor escala y complejidad.

a) Integración de descriptores

En este trabajo, se denominó descriptor a un conjunto de atributos cuantitativos y cualitativos afines, que pueden ser integrados mediante la conexión congruente de la información que brindan. Su virtud es la capacidad para encapsular datos (Zimmerman, 2016), y son ampliamente utilizados para la caracterización de cuencas (Kershner et al., 2004). Los descriptores se eligieron de la siguiente manera. Primero se formularon más de 40 preguntas sobre los cuatro componentes que, a criterio del grupo de trabajo, eran relevantes para generar conocimiento sobre los casos de estudio (amenazas hídricas, agua para uso doméstico, agua para actividades productivas y control de riesgos) (Cuadro 3.6). Para cada pregunta se revisaron los descriptores de acuerdo con los datos disponibles. La existencia de información completa o confiable, así como la eliminación de descriptores redundantes, resultando en la batería de 16 descriptores seleccionados (Cuadro 4.2, Capítulo 4).

Cuadro 3.7. Síntesis de preguntas guía que determinaron los descriptores empleados en la investigación.

Componente analítico	Preguntas guía
Amenazas hídricas	<ul style="list-style-type: none"> • ¿cuáles, cómo y con qué frecuencia se presentan amenazas hidrometeorológicas en las cuencas de estudio?
Agua para uso doméstico	<ul style="list-style-type: none"> • ¿el abasto de agua en las localidades urbanas y rurales está garantizado en las cuencas de estudio? • ¿cuál es el acceso, la disponibilidad y calidad del agua para uso humano? • ¿cómo varía espacial y temporalmente? • ¿el agua disponible será suficiente para años futuros, de acuerdo a las tendencias demográficas?
Agua para actividades productivas	<ul style="list-style-type: none"> • ¿qué tipo de actividades productivas se realizan en las cuencas de estudio y cuál es su distribución espacial? • ¿cuánta agua se destina para cada actividad productiva de acuerdo a las prácticas de manejo utilizadas en los sistemas de producción local? • ¿cuáles son las fuentes, su acceso y la disponibilidad espacio temporal del recurso hídrico para dichas actividades productivas?
Control de riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • ¿qué condiciones exacerban la vulnerabilidad? • ¿cuál es el riesgo de la condición recurrente de sequía? • ¿cuál es el déficit del acceso a agua y sanidad? • ¿cómo es el acceso por vías terrestres a las comunidades en ambas cuencas?

Dada la escasez de información previa, se requirió más de un año para la búsqueda, depuración y sistematización de información espacial y estadística sobre las cuencas de estudio. Una de las principales fuentes de información oficial fue el INEGI. Dado que el autor de esta tesis vive en la ciudad de Aguascalientes donde se ubica la sede del INEGI, se pudieron rastrear y obtener datos demográficos, cartas topográficas base, modelos de elevación, así como los vectores de la red hidrográfica la cual fue un insumo básico e indispensable de esta investigación, incluso, se obtuvo antes de ser liberada por la dependencia. En el mismo contexto los datos referentes a las normales climáticas históricas de ambas cuencas se obtuvieron en la dirección estatal de la CONAGUA en Aguascalientes. Algunos datos de la población sobre el manejo y uso del agua en cada cuenca se obtuvieron de investigaciones previas, en Michoacán por parte del CIGA-UNAM y en Aguascalientes por parte del Centro de Ciencias Agropecuarias de la UAA.

Esta información se enriqueció con datos de los informantes clave en cada cuenca, logrando detallar volúmenes, conflictos por el agua entre usuarios y localidades, atención por parte de las distintas autoridades de gobierno, etc. Finalmente, para la valoración de la SH en las cuencas de estudio se procesaron un total de 19 capas de información espacial (Cuadro 3.7).

Adicionalmente los descriptores seleccionados en torno a la disponibilidad de agua y riesgo hídrico requirieron del despliegue de cuatro componentes analíticos con información cuantitativa y estadística (Cuadro 3.8). En algunos casos, la búsqueda, organización y sistematización de información demandó criterios de calidad de los datos, así como del establecimiento de supuestos para completar información faltante. Entre estos destacan los datos aforo, profundidad de los pozos profundos, volúmenes reales extraídos, usos del agua para animales de traspatio, costo del agua potable a los hogares y volúmenes promedio de dotación y su variabilidad anual, conflictos por recursos hídricos, entre otros.

Cuadro 3.8. Información espacial empleada para la valoración de SH a nivel de cuenca hidrográfica.

Temática	Insumo	Fuente de los datos	Resolución espacial
Delimitación de las cuencas de estudio	1. Modelo de elevación digital (MDE)	INEGI	1:50,000
	2. Red hidrográfica (SIATL 2)		
Morfohidrometría	3. Polígonos de cuencas	Michoacán (delimitación existente CIGA-UNAM)	1:50,000
	Modelo de elevación digital (MDE)	Aguascalientes (elaboración propia)	
	Red hidrográfica (SIATL 2)	INEGI	
Análisis infraestructura hidráulica	Red hidrográfica (SIATL 2), vectores de pozos, cuerpos de agua y escurrimientos superficiales	INEGI	1:50,000
	4. Pozos, bordos y canales de riego	CNA	1:250,000
	5. Relación de pozos por tipo de uso y volúmenes de extracción	Municipio del Llano	1:50,000
	6. Zonas de descarga de agua	INEGI	1:50,000
	7. Obras de infraestructura, Michoacán.	Grupo Balsas	
Cubierta vegetal y uso del suelo	8. Serie II	INEGI	1: 250,000
	9. Serie V	INEGI	1: 250,000
Acceso a las localidades	10. Carreteras, brechas y caminos	INEGI	1:250,000
Demografía	11. ITER, 2010	INEGI	1:50,000
	12. Marginación	CONAPO	
Límites administrativos	13. Ejidos	RAN	1:250,000
	14. Propiedad privada		1:250,000
	15. Municipios	INEGI	1:1,000,000
	16. Estados		
	17. Localidades		1:50,000
	18. Áreas naturales protegidas	CONANP	1:250,000
Zonas productivas	19. Minería	Secretaría de energía	1:250,000

Cuadro 3.9. Dificultades en el acceso a información y medidas adoptadas para desarrollar los componentes analíticos utilizados en la valoración de la seguridad hídrica a nivel de cuenca.

Componente analítico	Componente de la SH	Dificultades en el acceso y uso de la información	Medidas adoptadas
Análisis climático	Amenazas	Los datos meteorológicos disponibles se redujeron a las variables básicas temperatura y precipitación, lo cual limitó el modelo hidrológico posible de aplicar.	Para el balance hídrico se utilizó el modelo de Thornthwaite y Matter (1959)
Análisis hidrológico	Amenazas	Poca información para correr modelos hidrológicos complejos.	Para la caracterización del patrón de precipitaciones y años extremos se empleo el modelo de Prohaska (1952)
Presencia de infraestructura hidráulica	Control del riesgo	Falta de vectores o planos municipales de infraestructura.	Para el caso de Ags., se realizó una entrevista con el secretario de obras públicas del municipio, para el caso de la cuenca de Michoacán se utilizó el trabajo de Grupo Balsas, quienes tenían mucho trabajo de campo realizado.
Demanda hídrica y usos productivos	Disponibilidad para uso humano	Datos inexistentes a nivel de localidad.	Para Ags., entrevistas a CAPAS del municipio, y para la cuenca de Michoacán, bases de datos existentes de Grupo Balsas así como entrevistas en campo.
	Disponibilidad para uso productivo	Tanto los datos de volúmenes de cosechas, así como la cantidad del ganado menor y mayor no se tenía acotado a la cuenca.	Parte de las entrevistas realizadas se centro en este tema, adicionalmente investigadores del centro de ciencias agropecuarias de la UAA junto con la tesis de Viveros (2014) permitieron llegar a un dato preciso
Cobertura de infraestructura carretera	Control del riesgo	Las condiciones de infraestructura carretera son muy disímiles entre las cuencas de estudio.	Se empleó la densidad de caminos por km ²

Una presentación general de los análisis desarrollados para integrar los descriptores se presenta a continuación.

b) Análisis climático:

La meta del análisis climático fue contar con una caracterización adecuada para identificar los parámetros climáticos mas importantes, así como contar con información para correr el análisis hidrológico y detectar potenciales amenazas climáticas en los momentos de

excedencia y déficit de agua y su recurrencia interanual.

Se emplearon datos históricos de cinco estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua disponibles en las cuencas de estudio, tres de ellas de la cuenca Arroyo Juan El Grande, y las restantes de la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo. Las bases de datos estadísticas se obtuvieron directamente en la delegación estatal de la CNA en Aguascalientes, a diferencia de los datos proporcionados en línea por la dependencia, esta información se encontraba actualizada al momento de solicitarla. Para el caso de los datos de Aguascalientes la estación de Palo Alto fue la del registro más completo (43 años), cuando se contaba con ciclos con datos de las tres estaciones se obtuvo la media aritmética por mes, menos del 3 % de los registros anuales se descartaron por la ausencia total o parcial de datos. Con respecto a los datos en la cuenca de Michoacán, el registro histórico contempla un período de 58 años, sin embargo a diferencia de la serie de datos de Aguascalientes, este registro presentó un 22 % de ciclos incompletos, los cuales se eliminaron. De esta manera se trabajó con valores históricos de 45 años.

Una vez obtenidos los valores históricos mensuales de precipitación para cada cuenca de estudio, se sometieron a una prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilk (Mendes y Palas, 2003), a fin de determinar si presentaban una distribución normal de los datos y realizar el análisis de la variabilidad interanual de Prohaska (1952; citado por Sacchi *et al.*, 2002), el cual determina una clasificación en función del promedio y la desviación estándar de la serie total de datos en seis categorías, desde años muy secos a muy húmedos.

Las amenazas por eventos extremos (sequías e inundaciones) fueron valoradas a partir de la frecuencia de años extremos (secos y lluviosos), y el balance hídrico climático con especial atención al déficit de humedad y los excedentes de escurrimientos. Esto se integró con el análisis del relieve y de la red de drenaje de las subcuencas para determinar el peligro potencial y el grado de exposición para los asentamientos humanos, la infraestructura hidráulica y las fuentes de agua.

c) Análisis morfométrico

El análisis de las características físicas de la superficie de la cuenca permitió evaluar la

respuesta hidrológica de las precipitaciones en las cuencas de estudio, esta información sobre la morfometría es básica para el entendimiento de su régimen y respuesta hidrológica (Bermúdez y Díaz, 1987). De acuerdo con Jardí (1985), la morfometría de cuencas constituye una herramienta fundamental en el análisis espacial de estas unidades geográficas, siendo importante para la generación de datos de aforo o en la aportación de agua en un período determinado o bien para conocer la cantidad de agua captada en la cuenca en un lapso específico. En este estudio, el análisis morfohidrométrico se realizó con nueve parámetros: área, perímetro, rango de elevación, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, razón de elongación, densidad de drenaje, tiempo de concentración y orden de corriente (ver más detalles en Capítulo IV).

d) Análisis hidrológico

El análisis del balance hídrico climático permitió determinar los momentos de disponibilidad, déficit y excedente de agua en las cuencas de estudio. Dado que los datos meteorológicos disponibles en las estaciones meteorológicas corresponden con los datos básicos de temperatura y precipitación, el modelo hidrológico posible de aplicar fue aquel basado en el método de Thornthwaite y Matter (1959). El modelo se corrió empleando una interfaz gráfica de usuario proporcionado por la USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) (McCabe y Markstrom, 2007).

El modelo de Thornthwaite y Mather establece la relación entre la entrada y salida de agua de un sistema. La precipitación (P) fue tomada como dato directo de las estaciones meteorológicas disponibles, mientras que la Evapotranspiración Real (ETR) debió estimarse a partir de la relación entre Evapotranspiración Potencial (ETP) y P , bajo el supuesto de que la ETR es igual a ETP si hay agua disponible en el suelo, sin considerar la regulación de ETR por la actividad estomática de la vegetación. Este modelo hidrológico asume que las pérdidas por D son nulas, es decir la cuenca tiene un sustrato impermeable; de este modo la ecuación queda con una sola variable incógnita dada por el escurrimiento superficial.

c) Presencia de infraestructura hidráulica

El inventario de la infraestructura hidráulica permite evaluar las capacidades técnicas referentes a la captación, almacenamiento y suministro de agua a la población de las cuencas. Para el caso de la cuenca de Aguascalientes la información sobre la infraestructura se obtuvo principalmente de la red hidrográfica geoespacializada disponible, para esta investigación se empleó la del SIATL (INEGI, 2011), que dispone de información vectorial de cuerpos de agua (presas, bordos, y pozos profundos). Adicionalmente la información se complementó con información de fuentes oficiales a nivel municipal, así como de entrevistas a diversos informantes clave.

Por su parte para la cuenca de Michoacán esta información se obtuvo de las geodatabases de Grupo Balsas, así como de los datos de las entrevistas realizadas.

e) Demanda hídrica y usos productivos

La demanda hídrica refiere el volumen de agua requerido para satisfacer las necesidades de la población. Así, puede considerarse la demanda para uso doméstico, demanda para uso agrícola, o para usos industriales y recreativos. Adicionalmente, el concepto de seguridad hídrica ha incluido el agua necesaria para mantener la función de los ecosistemas y la biodiversidad, o caudal ecológico (Vörösmarty et al., 2000). En este trabajo se estimó la demanda de agua para uso doméstico y agropecuario, sin considerar otros destinos. Ello no interfiere en una aproximación satisfactoria de la estimación de la demanda dado que las actividades recreativas e industriales están poco presentes, o ausentes, en las cuencas de estudio.

Para obtener los datos de la demanda hídrica para consumo humano, se consideró el volumen mínimo establecido como derecho humano al agua en condiciones medias (Gleick, 1996; Still, 2001), este dato de referencia se cotejó tanto con información de fuentes oficiales, así como con la información proveniente de las entrevistas a informantes clave.

La demanda de agua para uso agrícola fue estimada con base en datos oficiales (CNA, 2013); la demanda para uso pecuario en la cuenca A. Juan El Grande, se estimó a partir del número de animales de corral en la cuenca obtenidos de Vivero (2014). Por su parte en la cuenca A.

San Pedro Jorullo, la cantidad de ganado se estimó a partir de entrevistas locales. La necesidad fisiológica de agua para los distintos tipos de ganado se obtuvo de especialistas del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes e información de SAGARPA (Fernández et al., 2012).

f) Cobertura de infraestructura carretera

Uno de los componentes principales en el análisis del control de riesgo fue evaluar la capacidad instalada para asistir a la población ante emergencias hidrológicas. Esto se realizó mediante la cuantificación de carreteras o vías de comunicación en cada cuenca. La información se obtuvo básicamente del INEGI (2010) y de los distintos recorridos realizados durante el trabajo de campo.

3.2.4. Reconocimiento de la complejidad territorial a nivel de cuenca hidrográfica (objetivo específico 2)

El segundo objetivo de esta tesis estuvo orientado a establecer un camino metodológico para incorporar la dimensión territorial en la comprensión de los procesos sociales y de gobernanza hacia la seguridad hídrica en cuencas hidrográficas. Los resultados de este objetivo, junto con los del objetivo 1, constituyen insumos para el análisis de prospectiva desarrollado en el objetivo específico 3 (sección 3.2.5).

El enfoque territorial de las cuencas hidrográficas es un ángulo de análisis poco incorporado en el campo de la gestión de cuencas. De modo que el marco metodológico propuesto requirió primero delimitar un conjunto de nociones y conceptos que son clave en el pensamiento estratégico como es la noción de territorio, de jerarquías organizacionales y de escala, lo cual es presentado en el capítulo 5. Aquí se esboza en términos generales la estrategia metodológica para este objetivo, la cual incluyó dos componentes analíticos complementarios: 1) la caracterización de la complejidad territorial de las cuencas y 2) la inclusión de características y percepciones de los sujetos territoriales con mayor actuación en las cuencas (Figura 3.6).

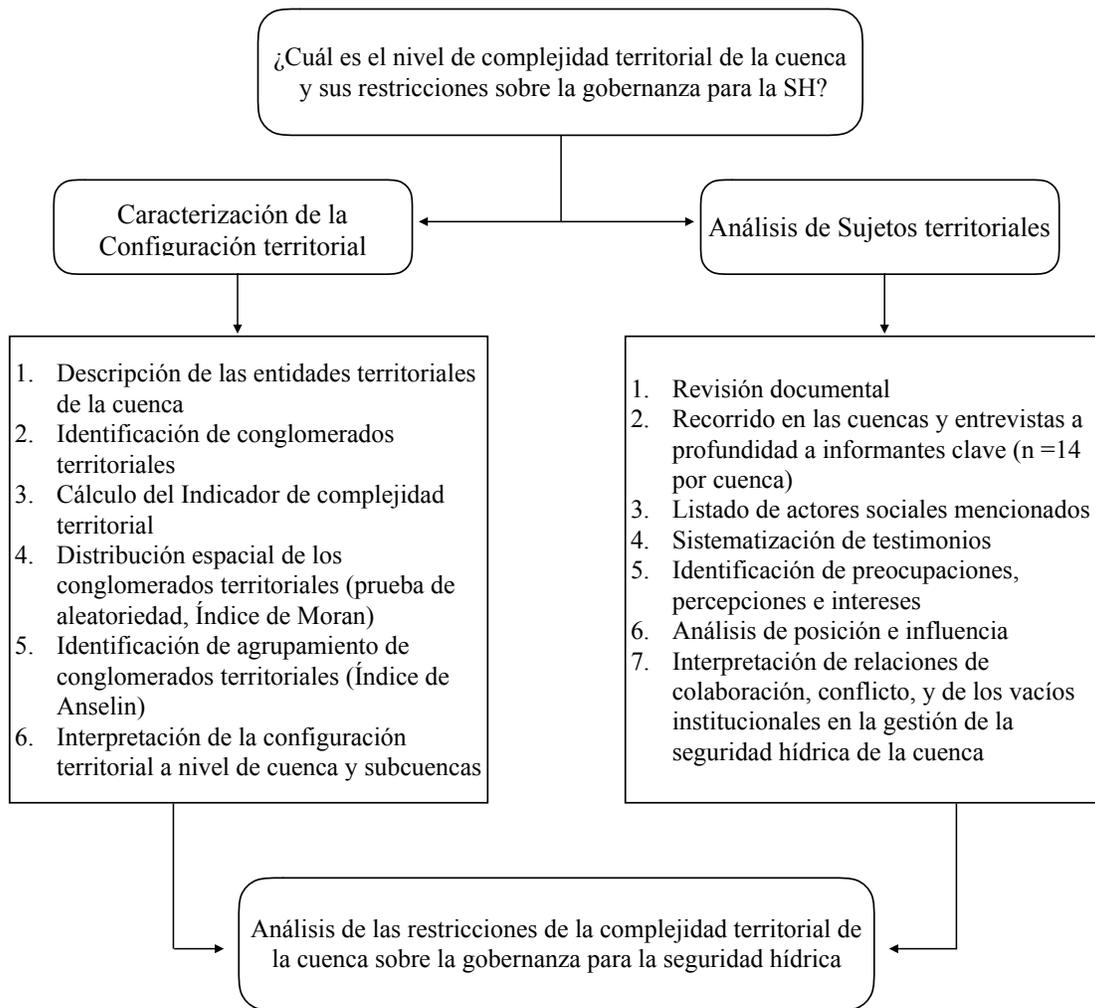


Figura 3.7. Procedimiento metodológico para reconocer la complejidad territorial de las cuencas de estudio (objetivo 2)

Para ello se realizó un análisis espacial de la complejidad territorial, así como la caracterización de los distintos territorios que se incluyen en las cuencas de estudio, lo que permite dimensionar la diversidad de factores y elementos que determinan espacial y temporalmente un cierto nivel de SH en un territorio dado. A continuación se detalla la forma de obtención de la información de los distintos procedimientos realizados.

a) Caracterización de la configuración territorial

Esta investigación propone un marco metodológico que desde una aproximación cercana al análisis espacial hace referencia de la complejidad territorial al interior de la cuenca. A partir de una modelación cuantitativa con base en descriptores e índices los cuales describen un determinado arreglo espacial de los distintos territorios que convergen y se superponen a los límites físicos de las cuencas hidrográficas en cuestión.

Es importante reconocer las limitaciones de esta propuesta, ya que no aborda desde una visión más tradicional en geografía el análisis histórico de la ocupación de terreno, o la propia complejidad del paisaje o lugar en cuestión. No obstante resulta en un punto de partida importante para difundir el conocimiento de los procesos sociales de territorialización al interior de la cuenca entre actores sociales no especializados, con el fin de contribuir a una gestión de cuenca más operativa.

El análisis de la configuración territorial mediante la descripción de los territorios involucrados permite tener un panorama del espacio local, para definir la forma en que se emplean los recursos hídricos dentro de los territorios estudiados. Se analizó la superposición de los distintos territorios, a lo que Burgos y Velázquez (2019) han denominado “*conglomerados territoriales*”. Esto facilita evaluar los arreglos sociales existentes a distintos niveles dentro de la cuenca, y estructurar la forma en que ocurre la apropiación de los recursos hídricos en cada territorio a distintos niveles y escalas.

A partir de información de fuentes oficiales se elaboraron bases de datos espaciales, representando las unidades territoriales (polígonos) y los elementos espaciales (puntos) de la SH. Ambos componentes fueron catalogados de acuerdo con su nivel de organización, dimensión territorial y escala geográfica. A través de un sistema de información geográfica (ArcGis V.10.5) se realizó la zonificación de las cuencas, de acuerdo al número de intersecciones de los territorios presentes, y los elementos espaciales en cada cuenca de estudio. Posteriormente, se analizó el número de territorios superpuestos para ubicar conglomerados territoriales de diferente magnitud, lo que permitió caracterizar la configuración territorial de la cuenca completa.

Para interpretar la distribución espacial de los conglomerados territoriales dentro de cada cuenca, se recurrió a procedimientos de geo-estadística. Específicamente se analizó la auto correlación espacial (Índice de Moran) entre conglomerados territoriales de diferente magnitud; este procedimiento refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Goodchild, 1987). El resultado positivo del análisis confirma la existencia del principio de Tobler que considera que en el espacio geográfico todo se encuentra relacionado con todo, pero los espacios más cercanos están más relacionados entre sí que los más alejados (Ramírez, 2008). Además, se realizó otro análisis estadístico (índice de Anselin) sobre la asociación espacial lo que permite graficar en un mapa las zonas con valores altos y bajos asociados, esto permite espacializar estadísticamente la mayor conglomeración territorial; adicional a esta información la narrativa ambiental permite analizar si estas zonas estadísticamente significativas son donde se sucede la mayor complejidad territorial, dada por la complejidad en las relaciones entre los sujetos territoriales.

b) Análisis de sujetos territoriales

A partir del análisis de las entrevistas y de documentos de fuentes oficiales se realizó un mapa de actores (Cárdenas, Suárez y Valdéz, 2010; Narayan, 1998), ubicando tanto instituciones como personas que de alguna manera han incidido en la gestión de recursos hídricos en cada caso. El mapeo de actores sociales permitió identificar a todas las personas, instituciones y organizaciones que son importantes para la planificación, el diseño, la implementación o la evaluación de la gestión del agua al interior de la cuenca (Taylor y Bogdan, 1987). Para ello se empleó el método de bola de nieve (Ostrom, Janssen y Poteete, 2012; Sandoval, 2002; Henemman, 2001) con lo que se garantiza incluir el total de actores clave existentes en cada cuenca.

3.2.5. Análisis de prospectiva en las cuencas de estudio (objetivo específico 3)

En este objetivo se integraron los resultados de los dos objetivos específicos previos (condición actual de seguridad hídrica y los rasgos de su configuración territorial), como

insumos del ejercicio de prospectiva realizado en el Capítulo 6 (Figura 3.7). El análisis de prospectiva implica la formulación de una visión futura de un espacio geográfico y su ambiente, es decir una imagen estructurada del futuro en horizontes temporales de largo alcance, que propone y ordena la visión y estados deseados en torno a una dimensión de interés (Mera, 2014). Este enfoque sobre la investigación del futuro parte de la premisa de que el futuro es múltiple y alternativo más que único e inexorable. Esta aproximación permite desarrollar una aptitud estratégica sobre una visión a largo plazo sobre futuros deseables (Fasciolo, 2010). Por lo tanto la prospectiva nos brinda una caja de herramientas que nos permiten tomar mejores decisiones para influir y conducir a ese escenario deseable.

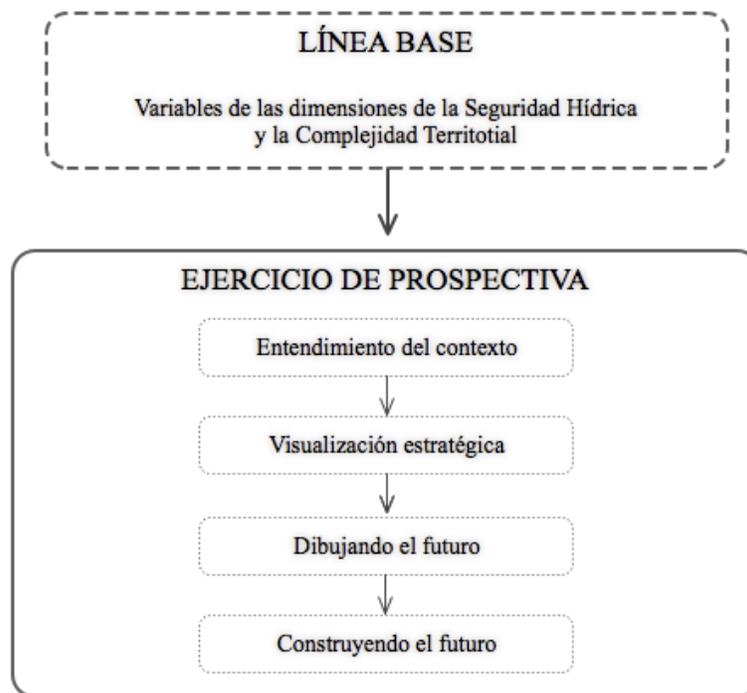


Figura 3.8. Procedimiento metodológico general empleado para el ejercicio de prospectiva (tercer objetivo específico).

Para la creación de los escenarios de SH esta investigación empleó herramientas cuantitativas y cualitativas. Las primeras consistieron en extrapolación de tendencias, es decir a partir de datos empíricos se determinó la línea base sobre la situación de la SH al interior de las cuencas de estudio y se modelaron las implicaciones a futuro de acuerdo con el crecimiento

poblacional equivalente de cada cuenca. Estos datos fueron reforzados con información cualitativa procedente de la narrativa ambiental lo que permitió un mayor entendimiento de los procesos y factores sociales estratégicos. El procedimiento para la construcción de escenarios de SH a partir de la combinación de variables clave fue el siguiente (Gándara y Vera, 2017).

Entendimiento del contexto. Se construye la base analítica, determinando los límites espaciales y temporales. En esta etapa se evalúan las condiciones del sistema y su estado para determinar indicadores comunes (patrones demográficos, estado de los recursos hídricos, uso y demandas de agua, estado del ambiente).

Visualización estratégica. Esta etapa consiste en el análisis y categorización de variables; cuyo objetivo es identificar aquellas variables que intervienen en los procesos de interés, con el fin de sólo seleccionar las más influyentes y dependientes para la evolución futura del sistema de estudio. En este caso la adecuada gobernanza en un esquema de gestión de cuencas para mejorar el nivel de SH.

Dibujando el futuro. En este paso metodológico se seleccionan las seis variables clave más asequibles a ser modificadas (Godet, 2000), y que a su vez podrían conducir al logro de una mejor condición de SH con acciones desde el interior de la cuenca. A cada una de estas variables clave se le formulan condiciones hipotéticas posibles a fin de construir todas las configuraciones posibles que formulen posibles escenarios plausibles, consistentes y relevantes.

Construyendo el futuro. Finalmente en esta etapa se desarrollan con base en narrativas (Rasmussen, 2005), los escenarios de SH correspondientes a las configuraciones seleccionadas. De esta forma se asegura la calidad de los escenarios al crearse desde una narración viva, detallada y coherente, lo que les permite ser asequibles a un público no especializado.

3.3. REFERENCIAS

- Arreguin-Cortes, F. I., Saavedra-Horita, J. R., Rodriguez-Varela, J. M., Tzatchkov, V. G., Cortez-Mejia, P. E., Llaguno-Guilberto, O. J. y Navarro-Barraza, S. (2019). Municipal level water security indices in Mexico. *SN Applied Sciences*, 1(10).
- Beatty, J. (2016). What are narratives good for? *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 58, 33-40.
- Bermúdez, F. L. y Díaz, M.A.R. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de geografía*, (12), pp.47–62.
- Burgos, A., G. Solorio y A. Tinoco. (2010). 5to Informe intermedio del proyecto “Manejo Comunitario del Agua en Cuencas Rurales del Trópico Seco en Michoacán”, Fundación Gonzalo Rio Arronte, 39 pp.
- Burgos, A. L. (2011). Aplicación del marco de Manejo Adaptativo de los Recursos Hídricos en núcleos agrarios de cuencas rurales del trópico seco en el Bajo Balsas (Michoacán). *Memorias dl II Congreso Nacional de Cuencas*, Tabasco, Villa Hermosa, México.
- Burgos, A. L. (2018). Tipo de localidad. Criterios de clasificación de localidades por cantidad de población o de viviendas. Inédito.
- Burgos, A. L. (2019). Conservación y producción orgánica: el caso de la jamaica en la Huacana. In CONABIO (Ed.), *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de estado 2* (Vol. III, pp. 109–114).
- Burgos, A. L., Bautista, M. A., Bistrain, R. P., y Morales, R. H. (2017). Patrones espacio temporales de la condición microbiológica del agua de fuentes comunitarias y amenazas a la salud familiar en cuencas estacionales del Bajo Balsas (México). *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 33(2), 199–213.
- Burgos, A. L., y Velázquez, A. (2019). A territory-oriented approach to operationilize sustainable management. *Global Journal of Human-Social Science: B Geography, Geo-Sciences, Environmental Science and Disaster Management*, 19(1), 1–16.
- Cárdenas, C., Suárez S. y Valdéz, F. (2010). Mapeo de actores que intervienen en la gestión ambiental de los humedales Abras de Mantequilla, La Segua e Isla Santay. Quito, Ecuador.
- Conagua. (2013). *Eric III Versión 3.2. Estaciones climatológicas de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Conagua. (2015). *Atlas del agua en México 2015*. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. 138 pp.

- Conapo. (2010). Índice de marginación para 2010 del Consejo Nacional de Población. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010
- Coneval. (2010). Indicadores de cohesión social según municipio. Recuperado de: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Cohesion_Social.aspx
- Fasciolo, G. E. (2010). Futuro ambiental de Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., y Salas, R. (2012). Estimación de las demandas de consumo de agua. SAGARPA. Rev, 25(5), 2015.
- Gándara, G., y Vera, F. (2017). Métodos prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro. Paídos. 337 pp.
- Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International* 21(2), 83–92.
- Godet, M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3–22.
- Goodchild, M. (1987). A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1. pp.327-334.
- Grey, D., y Sadoff, C. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy* 9(6), 545–571.
- Hanneman, R. (2001). Introducción a los métodos del análisis de redes sociales.
- INEGI. (1993). Estudio Hidrológico del Estado de Aguascalientes. Aguascalientes. 164 pp.
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda.
- INEGI. (2011). Censo agropecuario.
- INEGI. (2016). Uso de suelo y vegetación escala 1:250,000. Serie VI.
- Jardi, M. (1985). Forma de una Cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*. Vol. XIX. Barcelona, pp.41-68.
- Kershner, J. L., Roper, B. B., Bouwes, N., Henderson, R., y Archer, E. (2004). An analysis of stream habitat conditions in reference and managed watersheds on some federal lands within the Columbia River basin. *North American Journal of Fisheries Management* 24(4), 1363-1375.

- Khan, S., Guan, Y., Khan, F., y Khan, Z. (2020). A Comprehensive Index for Measuring Water Security in an Urbanizing World: The Case of Pakistan's Capital. *Water*, 12(1), 166.
- Mera, C. W. (2014). *Prospectiva Territorial y Urbana "Retos y Desafíos para la Construcción Social de territorios del Futuro."* Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 371 pp.
- McCabe, G. J., y Markstrom, S. L. (2007). A monthly water-balance model driven by a graphical user interface.
- McCulligh, C., Lezama, C., y Santana, L. (2016). Las políticas del deterioro: la dinámica urbano-industrial en torno al río Santiago, Jalisco, México. *WATERLAT-GOBACIT Network Working Papers Thematic Area Series-TA3-Urban Water Cycle and Essential Public Services*, 3.
- Mendes, M., y Pala, A. (2003). Type I error rate and power of three normality tests. *Pakistan Journal of Information and Technology*, 2(2), 135-139.
- Narayan, J. R.-M. y D. (1998). *Participation and Social Assessment: Tools and Techniques*, V.1 (p. 347). World Bank Publications.
- Ostrom, Elinor, Janssen, M. A., y Poteete, A. R. (2012). *Trabajar juntos: acción colectiva, bienes comunes y múltiples métodos en la práctica*. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Prado, S.A. (2012). Desarrollo de políticas públicas para el aprovechamiento sustentable de las aguas nacionales superficiales en el Consejo de Cuenca del Río Balsas. Ponencia en el XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Guerrero, México.
- Ramírez, L. (2008). Análisis de la Auto correlación Espacial de los radios censales del Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR) considerando variables sociodemográficas. Aplicación del Índice de Moran. En: Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas 2008. SECYT- UNNE 2008. H-028.
<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/investigacion/com2008/H-025.pdf>
- Rasmussen, L. B. (2005). The narrative aspect of scenario building - How story telling may give people a memory of the future. *AI and Society*, 19(3), 229–249.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Stringer, L. C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1933–49.
- Rendón, J.D. (2017). *Evaluación de la efectividad en el manejo de áreas naturales protegidas del estado de Aguascalientes: Cerro del Muerto y Serranía Juan Grande*. Tesis de maestría. Centro de ciencias agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 90 pp.

- Rivera Ramírez, R. (2008). Agroecosistemas y estrategias de producción del municipio El Llano, Aguascalientes. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Sacchi, O., Dalla Marta, N., Costanzo, M., y Coronel, A. (2002). Caracterización de las precipitaciones en la Localidad de Zavalla. *Revista de Investigaciones de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.*, 2(2), 92–104.
- Sandoval Casilimas, C. A. (2002). *Investigación cualitativa*. 1a. Edición. Bogotá: ARFO Editores E Impresores Ltda.
- SIATL, 2. (2011). Simulador de Flujos de agua de Cuencas Hidrográfica. Red Hidrográfica Nacional 1:50,000. INEGI.
http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/SIATL_10a.swf
- Still, D. (2001). Free Basic Water in Rural Areas: Is it feasible. In WISA CWSS seminar.
- Strahler, A. (1979). *Geografía física*. Cuarta edición. Editorial Omega. Barcelona. 767 pp.
- Taylor, S.J. y R. Bogdan. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: la búsqueda de significados*. Editorial Paidós. Barcelona, España.
- UNESCO, 1979. Map of the world distribution of arid regions: Explanatory note. MAB Technical Notes 7, 54 pp.
- Vargas, J. C. (2008). La Gestión del Agua en México. El caso de la cuenca del Río Balsas. Ponencia en la Expo Zaragoza, España. En la semana temática Agua para todos. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/12/La-Gesti%C3%B3n-del-Agua-en-M%C3%A9xico.-El-caso-de-la-cuenca-del-R%C3%ADo-Balsas.pdf>
- Velázquez, A., Cué-Bär, E. M., Larrazábal, A., Sosa, N., Villaseñor, J. L., McCall, M., y Ibarra-Manríquez, G. (2009). Building participatory landscape-based conservation alternatives: A case study of Michoacán, Mexico. *Applied Geography*, 29(4), 513–526.
- Vivero Dueñas, A. (2014). Evaluación de los recursos suelo agua en su función de servicios ecosistémicos. Caso microcuenca Juan El Grande, El Llano, Aguascalientes. Tesis de Maestría en Agronomía, Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., y Lammers, R. B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289(5477), 284–288.
- Xiao-jun, W., Jian-yun, Z., Shahid, S., Xing-hui, X., Rui-min, H., y Man-ting, S. (2014). Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(4), 463–477.

Zimmerman J. (2016). What Are Descriptors Good For? In: Python Descriptors. Apress, Berkeley, CA

CAPÍTULO 4

VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA⁴

⁴ Una versión de este capítulo fue publicado en el *Journal of Latin American Geography* en el año 2019, el cual se adjunta como Anexo a esta tesis.

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

[página intencionalmente en blanco]

Resumen

La valoración de la seguridad hídrica (SH) es clave para el desarrollo territorial, pero su abordaje está en revisión y debate. Como alternativa a los indicadores, este trabajo propone un marco metodológico para valorar la SH con enfoque de cuenca hidrográfica, basado en descriptores ambientales, el cual es aplicado en dos cuencas rurales en Aguascalientes y Michoacán (México). Se consideraron cuatro componentes de la SH: amenazas hídricas, agua para uso doméstico, agua para uso productivo y control del riesgo hídrico; éstos se valoraron mediante 16 descriptores a escala de cuenca y subcuenca. Los resultados sugieren condiciones contrastantes en ambas cuencas: mientras que la de Aguascalientes presenta una condición de SH sub-óptima sostenida en fuerte infraestructura física, la cuenca de Michoacán muestra condiciones precarias por fuertes amenazas hídricas y falta de medios para enfrentarlas. Las ventajas del enfoque de cuenca con descriptores incluyen la integración de información sin pérdida de significados y la apreciación espacialmente explícita. El marco permite establecer líneas-base de condición de SH en cuencas con información insuficiente para elaborar indicadores confiables.

Palabras clave: *seguridad hídrica, gestión de cuencas, indicadores, descriptores*

4.1. INTRODUCCIÓN

La seguridad hídrica (SH) es un componente estratégico para el desarrollo territorial. Para los países de América Latina y el Caribe en particular, el alcance de una adecuada SH es de alta prioridad debido al papel central de los recursos hídricos en el desarrollo social y económico de la región (Peña, 2016). Actualmente, la valoración de la SH es reconocida como un punto de partida para establecer escenarios futuros, lo que ha promovido en la comunidad científica un campo activo de investigación y deliberación (Lemos et al., 2016; Sun, Staddon y Chen, 2016; Wilders, 2016).

México enfrenta enormes retos para alcanzar la SH en el presente, y garantizarla para el futuro (Martínez-Austria, 2013). Sin embargo, la valoración de la condición presente de SH es una práctica limitada. Esta se complica por la insuficiencia de datos hidrológicos, biofísicos y socio-culturales en resolución espacial y temporal adecuadas; así como por la

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

alta diversidad de actividades económicas, actores e intereses en interacción. Se requiere de manera urgente extender la valoración de la SH en estudios de caso, con enfoques que faciliten su aplicación en todo el país.

La valoración de la SH presenta retos conceptuales y metodológicos. En términos operativos, se requiere al menos de tres elementos: una definición de SH (qué medir), una unidad espacial de interés (dónde medir), y un conjunto de instrumentos de medición (cómo medir). Adicionalmente, es deseable realizar la integración de información sobre la condición de SH, de manera de construir significados completos para múltiples audiencias, e.g. funcionarios gubernamentales, grupos sociales, comunidades rurales y empresarios. La información significativa para múltiples actores que comparten espacios geográficos puede coadyuvar en la concepción de la SH como un bien público y social, y consecuentemente, facilitar procesos de negociación y acción colectiva.

La selección de 'qué medir' requiere una definición aceptada de SH. En 2007, Grey y Sadoff propusieron dos dimensiones ya clásicas: la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente para las necesidades domésticas y productivas; y un riesgo razonable frente a los efectos destructivos de la falta o exceso de agua. Más recientemente, otras dimensiones han enriquecido el concepto como la preservación de ecosistemas naturales, resolución de conflictos por el agua, promoción de estabilidad política y desarrollo sostenible, entre otras (Cook y Bakker, 2012; UNWater, 2013; Vörösmarty et al., 2013; Varis, Keskinen y Kummu, 2017).

En relación con el 'dónde medir', la perspectiva geográfica señala a la cuenca hidrográfica como la unidad idónea. Sin embargo, las valoraciones de SH realizadas desde esta aproximación son muy escasas. Basta mencionar que 'cuenca hidrográfica' es un término ausente en las definiciones de SH revisadas por Cook y Bakker (2012), así como en los estudios que valoran la SH desde una perspectiva ecológica (Vörösmarty et al., 2000; Keirle y Hayes, 2007; Warner, Wester y Bolding, 2008; Cook et al., 2013). Cabe recordar que la cuenca es el contexto natural para establecer la heterogeneidad biofísica que determina los procesos hidrológicos; explicar la distribución espacial de las actividades humanas; y capturar las relaciones (cuenca) arriba-abajo que afectan la cantidad y calidad de agua (Jun y Yongyong, 2008; Cohen y Davidson, 2011; Garrick y Hall, 2014; Pahl-Wostl, Palmer, y Richards, 2013; Burgos y Bocco, 2015). Sobre todo, la cuenca es la unidad para la gestión

del agua, de modo que la valoración de la SH debería ser un insumo clave para la gestión de cuencas.

La búsqueda de 'cómo medir' se ha apoyado principalmente en el diseño y uso de indicadores (Sullivan, 2002; Sullivan y Meigh, 2007; Xiao et al., 2008; Pérez y Garriga, 2011; Norman et al., 2013; Garrick y Hall, 2014; Ding, Wei, Dai, y Tang, 2014; Dickson, Schuster y Newton, 2016). Pero los indicadores han mostrado limitaciones, en especial desde el punto de vista operacional y de interpretación (Lemos et al., 2016; Sun, Staddon y Chen, 2016; Wilders, 2016). Otros instrumentos usados en valoraciones ambientales son los descriptores, aunque su uso está ausente en el campo de la SH. Las particularidades de ambos instrumentos son revisadas más abajo.

El objetivo de este trabajo es valorar la SH en dos cuencas rurales del Centro-Occidente de México con base en el enfoque de cuenca hidrográfica y el uso de descriptores ambientales. Sin pretender una revisión exhaustiva, primero se establecen algunas precisiones sobre los indicadores y descriptores como instrumentos para la valoración ambiental. En la siguiente sección, se presentan los casos de estudio y su contexto. Luego se explica detalladamente el método, basado en la selección y análisis de descriptores ambientales. Posteriormente, se presentan los principales resultados y su integración en un relato descriptivo que construye significados completos, más apto para la comunicación a una audiencia no especializada. Finalmente, se discuten los alcances y limitaciones del método empleado y su pertinencia para articular la valoración de la SH con la gestión de cuencas.

4.1.1. Valoración de la SH: indicadores y descriptores

La valoración de la SH es un procedimiento para reconocer la condición presente en un lugar y momento dado (línea-base) y, eventualmente, los cambios temporales. Este tipo de valoraciones pueden realizarse mediante dos instrumentos principales: los indicadores y los descriptores ambientales. Cada uno presenta características distintivas así como ventajas y desventajas.

Los indicadores son los instrumentos más utilizados, pero también los más cuestionados (Lemos et al., 2016; Varady et al., 2016, Wilder et al., 2016). En términos generales, los indicadores son variables-clave o combinaciones de éstas, que permiten ponderar la condición (estatus) de atributos específicos altamente sensibles a los cambios que desean ser

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

observados (Heink y Kowarick, 2010). Dichas variables quedan resumidas en promedios aritméticos, y requieren ser normalizadas para integrar índices que son expresados en valores adimensionales o categorías. Los indicadores son ampliamente utilizados porque simplifican realidades complejas y pueden ser calculados fácilmente desde datos tabulados, si éstos están disponibles. Pero la debilidad de los índices radica justamente en su origen en modelos agrupados que simplifican la realidad compleja. Al provenir de datos agrupados, los índices no capturan de manera explícita la variabilidad espacial del atributo evaluado, ni las relaciones espaciales que inciden sobre éste. Si bien los indicadores son fáciles de comunicar a usuarios y tomadores de decisiones, hay una pérdida de significados. Así, los indicadores resultan “cajas negras”, de difícil interpretación para no expertos (Mason y Calow, 2012). En países periféricos y áreas rurales, es frecuente que se carezca de datos primarios o que éstos provengan de fuentes poco confiables. Esto se subsana con valores aproximados o débilmente estimados, lo que conduce a valores finales de indicadores de SH aparentemente confiables por ser cuantitativos, pero que ciertamente encierran una alta incertidumbre.

Los descriptores son el segundo instrumento disponible para valorar la SH. En este trabajo se denomina descriptor a un conjunto de atributos cuantitativos y cualitativos afines, que pueden ser integrados mediante la conexión congruente de la información que brindan. Los descriptores permiten capturar la condición de un aspecto o dimensión particular de manera cuantitativa y semi-cuantitativa, logrando significados más completos. Su virtud es la capacidad para encapsular datos (Zimmerman, 2016), y son ampliamente utilizados para la caracterización de cuencas (Kershner et al., 2004). A diferencia de los indicadores, los descriptores no constituyen unidades de medición específicas. Si bien los descriptores tienen una fuerte base cuantitativa, los datos de origen no se desnaturalizan de su significado como ocurre con los indicadores. Los descriptores son más flexibles para relacionar datos cuantitativos y categóricos, datos antecedentes, y otros derivados de modelos de simulación. Ello permite un nivel mayor de integración de información así como subsanar faltantes sin incrementar la incertidumbre informativa, y son muy apropiados para establecer condiciones de línea-base. El uso e interpretación de descriptores requiere conocimiento técnico especializado, de modo que no son tan accesibles a tomadores de decisiones y público no experto.

4.1.2. Cuencas de estudio

La valoración de la SH se realizó en dos cuencas del Centro-Occidente de México. Esta región abarca nueve estados del país y destaca por la prosperidad de sus polos de innovación, así como por su medio rural que contribuye a la seguridad alimentaria nacional y a la exportación agrícola (Silva, Sergio y Luis, 2010).

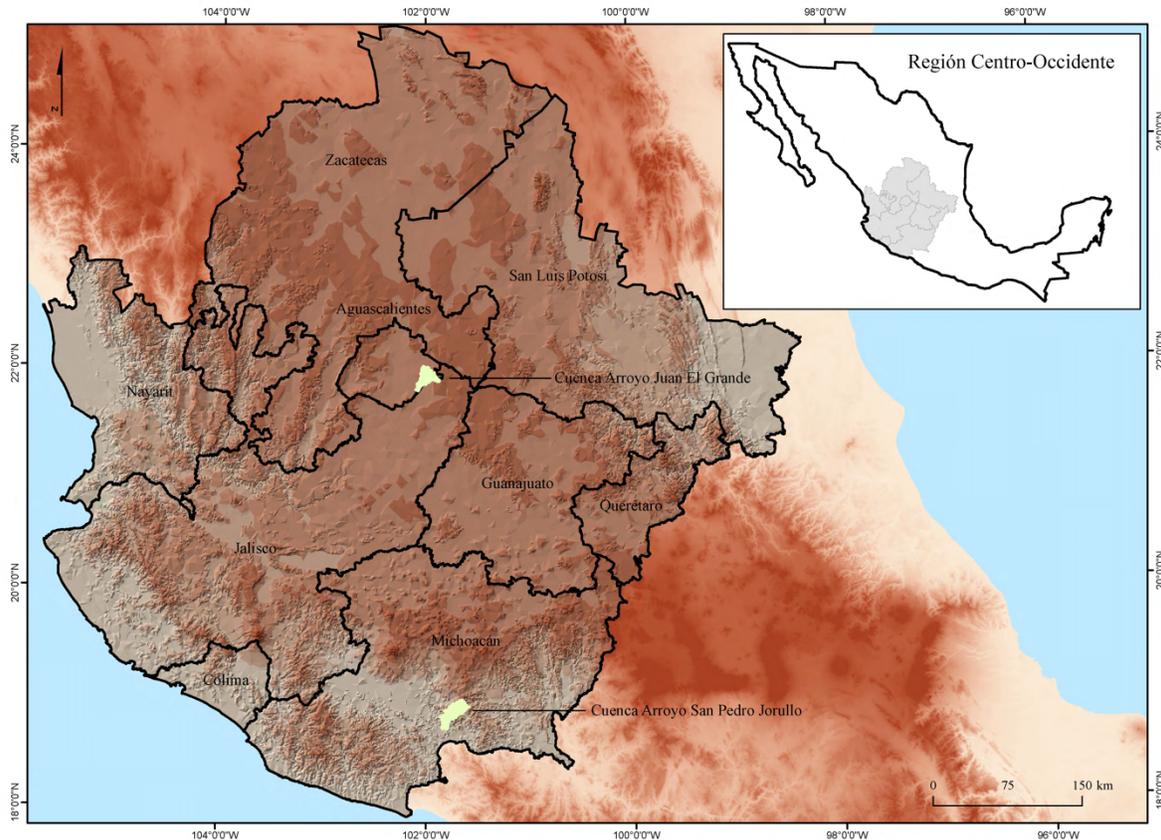


Figura 4.1. Ubicación de las cuencas de estudio en el Centro-Occidente de México. Fuente: Elaboración propia

Las cuencas se ubicaron en los Estados de Aguascalientes y Michoacán, que presentan condiciones contrastantes. Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI, 2010), Aguascalientes está ubicado en el segundo lugar dentro de la región, por sus altos valores de PIB e Índice de Desarrollo Humano; mientras que Michoacán está en el último lugar, debido a su debilidad institucional, inseguridad y pobreza. Las cuencas de estudio se denominan Arroyo Juan El Grande en Aguascalientes, y Arroyo San Pedro Jorullo en Michoacán (Figura 4.1). La primera pertenece a la Región

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Hidrológica 12 Lerma-Santiago, dentro de la Cuenca Río Verde, en la Subcuenca Río Encarnación; y la segunda dentro de la Región Hidrológica 18 Balsas, en la Cuenca del Río Balsas, dentro de la Subcuenca Embalse Infiernillo Bajo Balsas. Las cuencas son de tipo rural por la preponderancia de pequeños asentamientos y actividades primarias; su extensión es mediana y su complejidad territorial es baja o moderada (Cuadro 4.1). Ambas cuencas constituyen sitios de investigación de largo plazo para el diseño y aplicación de modelos de desarrollo territorial; de modo que la valoración de la condición actual de SH es parte esencial de dichas investigaciones (Burgos, Páez, Carmona y Rivas, 2013; Sosa Ramírez, 2011).

Cuadro 4.1. Características generales de las cuencas de estudio en la región Centro-Occidente de México.

Atributo	Cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes)	Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán)
Municipios abarcados	El Llano, Asientos, Lagos de Moreno y Ojuelos	La Huacana y Ario de Rosales
Superficie (km ²)	342.8	459.7
Población total en 2010 (hab)	15,535	6,682
Densidad de población (hab.km ²)	45.3	14.5
Tasa de crecimiento poblacional (2000 - 2010)	0.02	0.006
# de asentamientos rurales (< 2,500 hab)	91	55
# de asentamientos urbanos (> 2,500 hab)	1	0
Promedio del Índice de Marginación para las localidades dentro de la cuenca (adimensional)	-0.8	0.4
Rango del Índice de Marginación	0.5 a -1.6	1.7 a -0.8
Tenencia de la tierra (%)		
Ejidal:	90	95
Federal:	0	5
Privada:	10	0
Actividades productivas predominantes	Agricultura temporal, bajo riego y ganadería extensiva	Agricultura temporal y ganadería extensiva

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Con respecto a las subcuencas seleccionadas, estas se presentan en la figura 4.2. En cada cuenca las subcuencas se ubican en las tres zonas funcionales de la misma (zona de captación, de almacenamiento y de emisión). El uso de subcuencas permite para algunos procesos, dar precisión, y dado el carácter de anidación jerárquica de las cuencas la valoración a este nivel permite una comprensión de lo que puede estar sucediendo a escala de toda la cuenca.

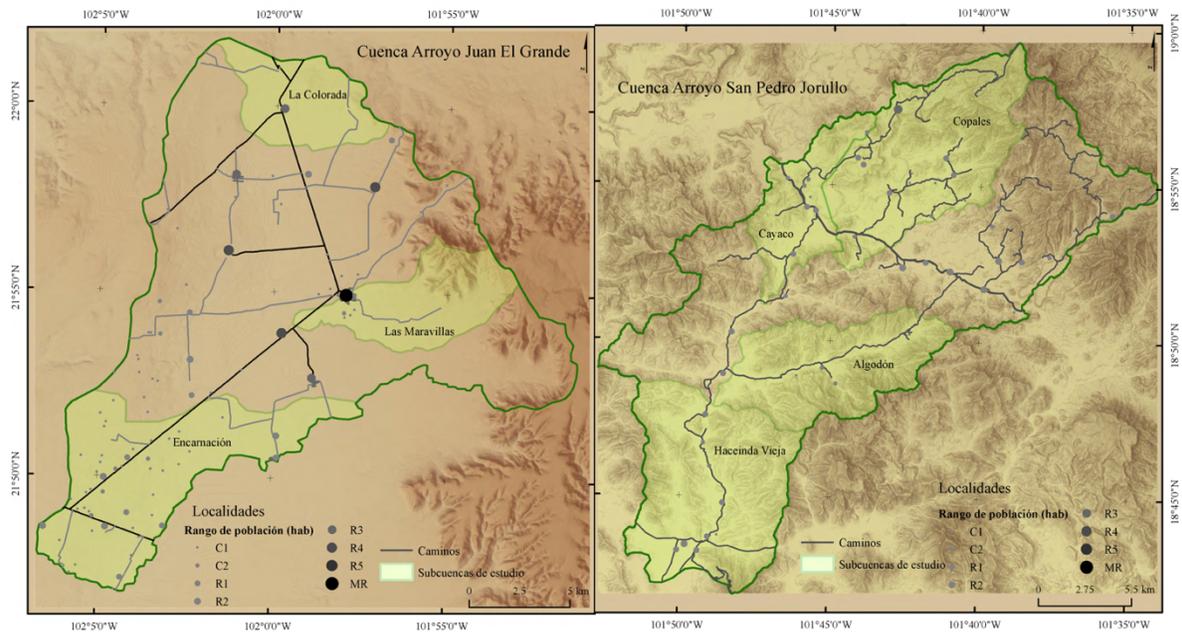


Figura 4.2. Mapa de las subcuencas, su conectividad y localidades por tipo. Cuenca Arroyo Juan El Grande en Aguascalientes (izquierda) y cuenca Arroyo San Pedro Jorullo en Michoacán (derecha). Fuente: Elaboración propia

4.2. MÉTODO

Se adoptó la definición de SH de Grey y Sadoff (2007) que abarca dos dimensiones ampliamente reconocidas (Gerlak et al., 2018; Srinivasan, Konar y Sivapalan, 2017; Varady et al., 2016; Zeitoun et al., 2016): i) el abasto de agua en cantidad y calidad para el uso humano y las actividades productivas, y ii) el riesgo hídrico. Cada dimensión se descompuso en dos componentes: agua para uso doméstico (AD) y agua para usos productivos (AP), para la primera; y amenazas hídricas (AH) y reducción del riesgo hídrico (RH), para la última. Otras dimensiones de SH quedaron fuera debido a los propios alcances de este trabajo, pero pueden ser fácilmente incorporadas siguiendo los procedimientos aquí utilizados (p. ej.

Aspectos económicos). Cabe señalar que este estudio no tuvo fines comparativos entre las cuencas rurales en Aguascalientes y Michoacán, sino que se orientó a reconocer el abanico de condiciones de SH bajo contextos geográficos e institucionales marcadamente diferenciados que coexisten en las entidades federativas (Estados) dentro de la región Centro-Occidente de México.

4.2.1. Selección de descriptores

La valoración de los componentes de SH se realizó con descriptores elegidos de la siguiente manera. Primero se formularon más de 40 preguntas sobre los cuatro componentes que, a criterio del grupo de trabajo, eran relevantes para generar conocimiento sobre los casos de estudio. Para cada pregunta se revisaron los descriptores de acuerdo con los datos disponibles. La falta de información completa o confiable, así como la eliminación de descriptores redundantes, resultó en la batería de 16 descriptores seleccionados (Cuadro 4.2). Este número se ubica dentro del rango señalado por Sun, Staddon y Chen (2016) para una mejor valoración o análisis de la seguridad hídrica sin importar la escala. De los 16 descriptores seleccionados, 11 se aplicaron a escala de cuenca y cinco de subcuenca, siendo esta última la escala en la que cada vez recae un mayor interés (Gerlak et al., 2018). La valoración bi-escalar (cuenca, subcuenca) es importante para capturar la heterogeneidad espacial en algunos descriptores seleccionados (Zeitoun et al., 2016, Garfin et al., 2016). La generación e integración de información en cada descriptor requirió la aplicación de técnicas analíticas específicas, que se detallan a continuación.

Cuadro 4.2. Componentes y descriptores para la valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica

Componente	Clave	Escala	Descriptor	Técnica analítica / Fuente de información
Amenazas hídricas (AH)	AH-1	cuenca	· Rasgos climáticos	· Climatograma y Balance Hídrico con Modelo USGS
	AH-2	cuenca	· Frecuencia de años extremos	· Distribución de frecuencias de precipitación total anual, clasificación de Prohaska
	AH-3	cuenca	· Rasgos pluviométricos de años extremos	· Análisis pluviométrico de años extremos
	AH-4	cuenca	· Respuesta hidrológica general	· Parámetros morfohidrométricos básicos
	AH-5	subcuenca	· Variabilidad interna de la respuesta hidrológica	· Parámetros morfohidrométricos en subcuencas seleccionadas
Agua disponible para uso doméstico (AD)	AD-1	cuenca	· Condición socio-demográfica	· Densidad de población, distribución de asentamientos, marginación por localidad, cambios demográficos
	AD-2	subcuenca	· Variabilidad interna en la condición socio-demográfica	· Idem AD-1 para sub-cuencas seleccionadas
	AD-3	subcuenca	· Fuentes de agua y aprovechamiento	· Tipo y cantidad de fuentes de agua, condición de la infraestructura de aprovechamiento
	AD-4	subcuenca	· Demanda doméstica de agua	· Población actual y futura; volumen de abasto óptimo
	AD-5	subcuenca	· Satisfacción hídrica actual	· Nivel de abasto, población conectada a agua entubada, testimonios locales
Agua para actividades productivas (AP)	AP-1	subcuenca	· Tipo de actividades productivas primarias	· Datos espaciales de los usos del suelo actuales, estadísticas oficiales de producción agropecuaria, información sobre sistemas de producción local
	AP-2	cuenca	· Tendencias en las actividades productivas primarias	· Cambios de uso del suelo 2002-2011
	AP-3	cuenca	· Adecuación agroclimática	· Demanda hídrica por tipo de cultivo y tipo de ganado
	AP-4	subcuenca	· Infraestructura hídrica para la producción	· Inventario de infraestructura disponible para la producción agrícola y pecuaria
Control del riesgo hídrico (RH)	RH-1	cuenca	· Control por infraestructura	· Contraste ente amenazas hídricas e infraestructura civil e hidráulica presente
	RH-2	cuenca	· Conectividad terrestre	· Tipo de red vial, densidad de vías terrestres

4.2.1.1. Descriptores de amenazas hídricas

Las amenazas hídricas (componente AH) fueron reconocidas mediante cinco descriptores; cuatro de éstos aplicados a escala de cuenca y uno de subcuenca (Cuadro 4.2). El descriptor AH-1 abarca los rasgos climáticos y se enfoca en detectar el déficit o exceso de agua. Se integró con información derivada del análisis climático y el balance hídrico (BH) a escala de cuenca. Para el análisis climático se utilizaron las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (Comisión Nacional del Agua (Conagua) 2013). En la cuenca Arroyo Juan El Grande se emplearon las estaciones Palo Alto, Jesús Terán y Los Conos, con datos desde 1940 a 2010 (70 años), mientras que en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo fueron las estaciones El Zapote y La Huacana, con datos desde 1950 a 2010 (60 años). En ambos casos cuando los datos mensuales de dos meses eran inexistentes para un mismo año, ese año completo se omitía del análisis, y en aquellos casos en donde solo faltaba el dato en un solo mes se empleaba el promedio total para ese mes. Los datos de precipitación y temperaturas (máxima y mínima) se procesaron para obtener valores anuales y promedios mensuales, para su posterior uso y representación gráfica. El BH fue estimado con el modelo hidrológico del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que ofrece una interface gráfica de fácil uso (McCabe y Markstrom, 2007). Este modelo utiliza el método de Thornthwaite y Mather, y sus datos de entrada son la temperatura media mensual (en °C), la precipitación media mensual (en milímetros) y la latitud (en grados decimales).

El descriptor AH-2 analiza la frecuencia de años con precipitaciones extremas. La precipitación anual (P) de las series históricas, se clasificó con base en el promedio (P_m) y desviación estándar (D.S.) de cada serie, reconociendo seis clases de años desde ‘muy seco’ a ‘muy húmedo’. La clase año ‘muy seco’ abarca valores de P entre $P_m - 3D.S.$ y $P_m - 2D.S.$, mientras que la clase ‘muy húmedo’ se ubica entre $P_m + 2D.S.$ y $P_m + 3D.S.$ La clase ‘muy seco’ tiene límites de $P_m - 2D.S.$ y $P_m - 1D.S.$, y la de ‘muy húmedo’ de $P_m + 2D.S.$ y $P_m + 1D.S.$ El medio del rango de P abarca las clases ‘normal-seco’, entre el valor de P_m y $P_m - 1D.S.$; y ‘normal-húmedo’, entre P_m y $P_m + 1D.S.$ (Prohaska, 1952).

El descriptor AH-3 informa sobre las condiciones climáticas interanuales observadas en años extremos. Los datos de precipitación y temperatura mensual de los años muy secos y muy

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

húmedos identificados en AH-2 fueron promediados para establecer los patrones con base mensual, de la precipitación y temperatura media bajo estas condiciones.

Los descriptores AH-4 y AH-5 buscan inferir el movimiento del agua superficial y la respuesta hidrológica a escala de cuenca y subcuencas, respectivamente. El descriptor AH-4 analiza parámetros morfométricos que cuantifican al medio físico en términos de la forma de la cuenca (área, perímetro, razón de elongación), su relieve (altitudes máximas y rango de elevación) y características del drenaje (densidad de drenaje, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, tiempo de concentración y orden de corriente). Estos parámetros fueron calculados con apoyo de un Sistema de Información Geográfica operado con el programa ArcGis 10.5 y la aplicación de fórmulas ampliamente establecidas en la literatura especializada (Bermúdez y Díaz 1987; Knighton 1998). En el descriptor AH-5, los mismos parámetros fueron calculados para subcuencas seleccionadas en los sectores alto, medio y bajo de cada cuenca con el fin de reconocer la variabilidad interna en la respuesta hidrológica.

4.2.1.2. Descriptores de agua para uso doméstico

Para valorar el agua para uso doméstico (componente AD), se seleccionaron cinco descriptores de las características de la población actual y la demanda de agua (Cuadro 4.2). Los descriptores AD-1 y AD-2 revisan la condición socio-demográfica de las cuencas y subcuencas seleccionadas, respectivamente. Para éstos se considera el tipo de localidad y su distribución espacial, la marginación social y tendencias demográficas. Las fuentes de información fueron las bases de datos censales por localidad para los años 2000 y 2010, reportadas por el (INEGI), y los datos del índice de marginación para 2010 del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Los descriptores AD-3 a AD-5 se aplican a nivel de subcuencas. El descriptor AD-3 recopila las fuentes de agua para el abasto a localidades, la infraestructura para su aprovechamiento y una estimación de los volúmenes de agua extraída. En los casos analizados, el tipo y cantidad de fuentes de agua se derivaron de artículos y reportes técnicos de proyectos de investigación en los cuales se inserta este estudio (Burgos, Páez, Carmona y Rivas, 2013; Sosa, 2011), y se complementaron con recorridos de campo. Para estimar el rendimiento de norias y

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

manantiales, se realizaron entrevistas a habitantes locales con amplio conocimiento de los recursos hídricos locales. Estas referencias informales constituyen valores relativos y abonaron al fortalecimiento de los descriptores. Por su parte, los datos de pozos profundos en operación y los volúmenes de extracción, se obtuvieron de reportes de la Conagua. El descriptor AD-4 estima la demanda hídrica para uso doméstico de la población presente y futura. Éste fue calculado con base en el número de habitantes del último censo disponible (2010) y para el 2020, a partir de las tendencias demográficas derivadas del descriptor AD-2. El número de habitantes fue multiplicado por un volumen de $100 \text{ l.día}^{-1}.\text{persona}^{-1}$, considerado como satisfacción hídrica ‘óptima’ (Howard y Bartram, 2003; Gleick, 1996; WHO-UNICEF, 2010).

Finalmente, el descriptor AD-5 valora el nivel de satisfacción hídrica actual mediante dos atributos. El primero es la satisfacción hídrica potencial actual basado en el volumen estimado de agua extraída establecido en AD-3, dividido entre el número de habitantes del último censo. La clasificación de la satisfacción hídrica potencial abarcó los niveles de ‘óptima’ antes mencionado, de ‘sub-óptima’ cuando el volumen se ubicó entre 50 y $100 \text{ l. día}^{-1}.\text{persona}^{-1}$, e ‘insuficiente’ cuando la estimación arrojó volúmenes menores a $50 \text{ l. día}^{-1}.\text{persona}^{-1}$. El segundo aspecto fue el acceso a agua entubada en las viviendas y su abasto a lo largo del año, datos que fueron obtenidos de registros censales y completados con testimonios locales recogidos en campo.

4.2.1.3. Descriptores de agua para actividades productivas

Para este componente (componente AP) se seleccionaron cinco descriptores en torno a las actividades productivas que sostienen la economía de las cuencas, básicamente actividades primarias (Cuadro 4.2).

El descriptor AP-1 es indicativo de las actividades productivas primarias a partir de la cubierta del suelo para la fecha más actual. Para derivar los usos del suelo y los sistemas de producción presentes, la información de cubiertas se completó con estadísticas oficiales del sector agropecuario y económico, estudios publicados y conocimiento experto sobre el área de estudio (Cuadro 6). Por su parte, el descriptor AP-2 analiza los cambios en la cubierta ocurridos en un periodo determinado para reconocer las tendencias en el abandono o

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

expansión de las actividades productivas primarias. Para estos descriptores se utilizaron datos espaciales de cubierta del suelo para los años 2002 y 2011⁵ disponibles en las Series III y V del INEGI, respectivamente.

El descriptor AP-3 reconoce la correspondencia agroclimática de las actividades primarias preponderantes en las cuencas. Se recopilaron los requerimientos climáticos de los cultivos dominantes (Ruíz et al., 2013) y de consumo de agua por tipo de ganado (Fernández et al., 2012), y se los comparó con los descriptores de amenazas hídricas climáticas AH-1 y AH-2. Por último, el descriptor AP-4 reúne información disponible sobre la infraestructura hídrica instalada en la cuenca, para respaldar las actividades productivas primarias.

4.2.1.4. Descriptores de la reducción del riesgo hídrico

La reducción del riesgo hídrico (componente RH) se valoró con dos descriptores (Cuadro 4.2): determinantes tecnológicos (RH-1) y conectividad terrestre (RH-2). En RH-1, las amenazas y oportunidades hídricas identificadas en el componente AH se contrastaron con la infraestructura instalada (AD-3 y AP-4). Para el descriptor RH-2, los datos espaciales vectoriales de carreteras a escala 1:250,000 fueron procesados en SIG para determinar la densidad de caminos al interior de cada cuenca. Las vías terrestres y su estado de mantenimiento advierten sobre la capacidad instalada para asistir a la población ante emergencias hidroclimáticas. La falta de vías pavimentadas y puentes, por ejemplo, agrava la situación de las poblaciones ante episodios de exceso de agua, deslaves e inundaciones; y dificulta el movimiento de camiones cisterna para el abasto de agua en periodos de sequía extrema.

4.2.2. Integración de descriptores

Como fue antes señalado, uno de los requisitos deseables en la valoración de la SH es la generación de información significativa para múltiples audiencias, con el fin de facilitar

⁵ El Anexo 1 presenta una actualización de estos valores con base en el último censo de población (INEGI, 2021)

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

su incorporación en la toma de decisiones y en la acción colectiva. Con este fin, los resultados de todos los descriptores analizados fueron integrados en un relato descriptivo, inmerso en información de contexto, que convierte a la información científica resultante en un insumo más accesible para la gestión de cuencas. El relato fue integrado desde la perspectiva del investigador, con los siguientes elementos: i) la condición presente en la cuenca y subcuencas, ii) las amenazas hídricas, y iii) la incertidumbre (el futuro).

4.3. RESULTADOS

El análisis de los 16 descriptores para los cuatro componentes de la SH, generó un gran volumen de datos; solamente se muestran los resultados más relevantes para sustentar la valoración de la SH en ambas cuencas. Al final de esta sección se presenta la integración de los descriptores en forma de relato descriptivo con información de contexto, desde la perspectiva del investigador.

4.3.1. Amenazas Hídricas (AH)

El descriptor de los rasgos climáticos (AH-1) indicó la ocurrencia de regímenes de precipitación escasa, con precipitaciones medias anuales (P_m) y D.S. de 507.5 (± 139) y de 626.5 (± 168) mm, para las cuencas Juan El Grande y San Pedro Jorullo, respectivamente. La precipitación anual (P) en el año más seco fue de 306 mm (año 2011), y de 220 mm (año 2008), mientras que la condición más húmeda ocurrió en 2008 con 772 mm en la cuenca de Aguascalientes, mientras que en la de Michoacán ocurrió en 1983 con 869 mm. En ambos casos, el patrón de lluvias es estacional, con marcada concentración de precipitaciones entre junio y noviembre, aunque en la cuenca Juan El Grande es ligeramente menos contrastante entre estaciones (Figura 4.2).

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

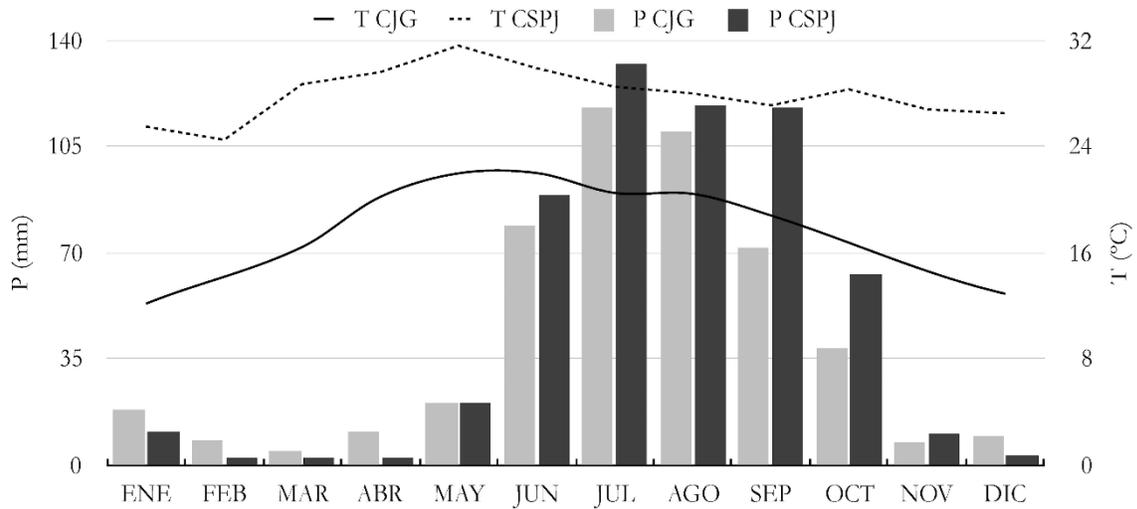


Figura 4.3. Climatograma de las cuencas Arroyo Juan El Grande (CJG) y Arroyo San Pedro Jorullo (CSPJ). Precipitación media mensual (P; eje izquierdo) y Temperatura media mensual (T; eje derecho).

El régimen térmico, en cambio, mostró fuertes diferencias. En la cuenca Arroyo Juan El Grande la temperatura media mensual histórica (T_m) y su D.S., se ubicaron en 17.0°C (± 1.5), con temperatura máxima media histórica (T_{\max}) y mínima (T_{\min}) de 21.8 (± 1.6) y 19°C (± 1.4). En la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, T_m fue de 28.5°C (± 3.3), con T_{\max} y T_{\min} de 35.6 (± 3.8) y 21.3°C (± 2.9). Estas diferencias térmicas se reflejaron en el BH (Figura 4.3). La evapotranspiración potencial media anual (PET_m) en la cuenca Arroyo Juan El Grande arrojó un valor de $800 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, equivalente al 160% de P_m ; mientras que en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, PET_m fue de $2,206 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, equivalente al 352% de P_m . Bajo estas condiciones, en la primera cuenca, la humedad del suelo resulta más propicia para la actividad agrícola, con limitados momentos de déficit hídrico del suelo, y una mayor presencia de agua excedente (Figura 4.3). La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, por su parte, muestra condiciones de humedad del suelo muy desfavorables para la agricultura, con periodos continuos de sequía estacional bien marcados, y excedencias muy ocasionales. En la cuenca Arroyo Juan El Grande, en un año promedio se producen escurrimientos de 62 mm que representan el 12% de P_m , mientras que en San Pedro Jorullo dicho excedente es de 25 mm, equivalente al 4% de P_m .

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

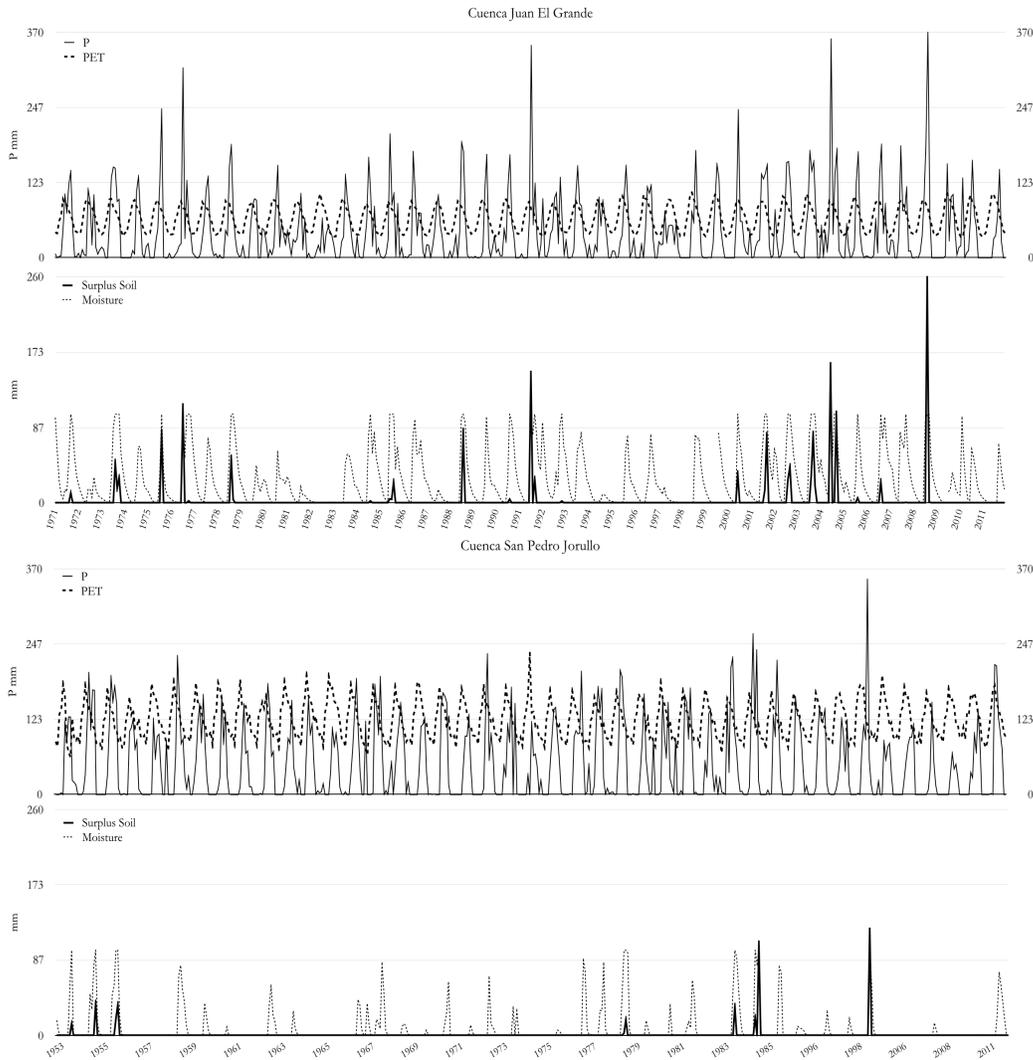


Figura 4.4. Balance hídrico climático para la cuenca Arroyo Juan El Grande, y Arroyo San Pedro Jorullo. Precipitación (P), evapotranspiración potencial (PET), humedad del suelo (soil moisture) y excedente (surplus). Fuente: normales climáticas (CONAGUA) y modelo del USGS empleando Thornthwaite y Mather (1959).

La distribución de frecuencias de P (descriptor AH-2) mostró que ambas cuencas reciben con mayor frecuencia una precipitación anual que clasifica como año ‘normal-seco’ (Figura 4.4). La probabilidad de años en el extremo seco fue del 11 y 33% en las cuencas Arroyo Juan El Grande y Arroyo San Pedro Jorullo, pero el extremo húmedo mostró frecuencias de 13 y 9%, respectivamente, sin registro de años ‘muy húmedos’ en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo. La pluviometría de años extremos (descriptor AH-3) mostró que en años ‘muy húmedos’, los

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

incrementos en P llegaron al 52 y 39% de P_m , para las cuencas Arroyo Juan El Grande y Arroyo San Pedro Jorullo, respectivamente; mientras que en años ‘muy secos’, la reducción de P fue del 40 y 65% de P_m , respectivamente. En los años húmedos, se incrementa sustancialmente la cantidad de agua en Arroyo Juan El Grande y sólo de manera moderada en Arroyo San Pedro Jorullo; en los años más secos, la reducción de P es más moderada en Arroyo Juan El Grande pero realmente drástica en San Pedro Jorullo.

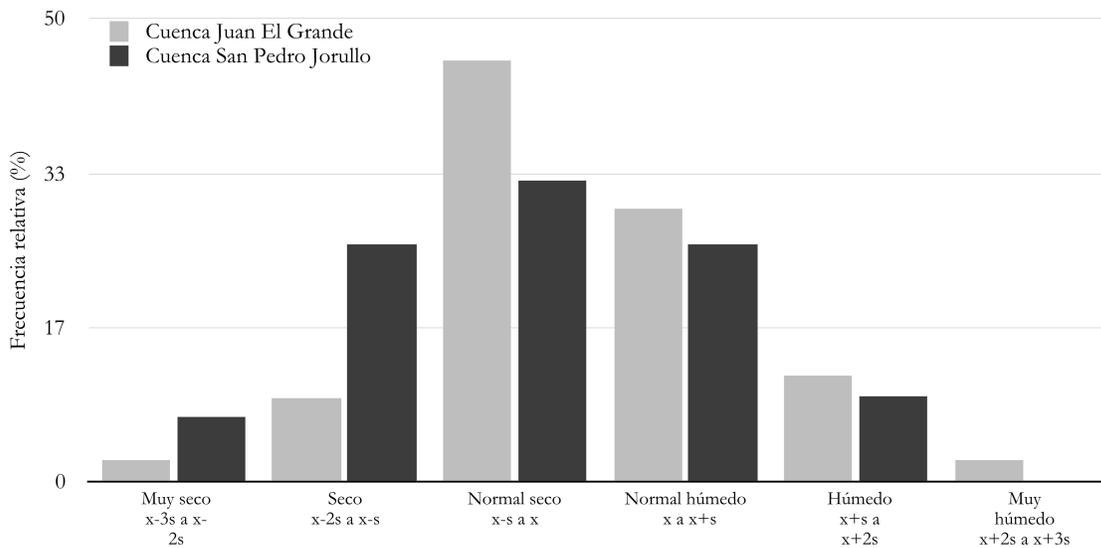


Figura 4.5. Clasificación de la precipitación anual (P) para las series históricas en la cuenca Arroyo Juan El Grande (1940-2010) y en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (1960 – 2010).

La respuesta hidrológica a escala de cuenca (descriptor AH-4) se interpretó a partir de los parámetros morfométricos mostrados en el Cuadro 4.3. La cuenca Arroyo Juan El Grande es ligeramente ovalada, presenta un relieve suave con baja densidad de drenaje, escasa pendiente en el cauce principal y tiempo rápido de concentración de flujos superficiales. Estos rasgos favorecen las crecidas de agua e inundaciones en la zonas de almacenamiento y de emisión de la cuenca, en aquellos años ‘húmedos’ cuya probabilidad de ocurrencia es del 13% (Figura 4.4).

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Cuadro 4.3. Parámetros morfométricos de las cuencas de estudio.

Atributo	Cuenca Arroyo Juan El Grande	Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo	Valores de referencia y fuente	
Parámetros de forma	Área (km ²) Tamaño	342.8 Intermedio-pequeño	459.7 Intermedio-pequeño	Superficie intermedia- pequeña: 250-500 km ² (Aranda, 1984)
	Perímetro (km)	99.3	159.8	No aplica
	Razón de elongación Forma	0.64 Ligeramente ovalada	0.42 Ligeramente alargada	Varía entre 0 y 1. Si X <0.5 es alargada, si X >0.5 es ovalada (Schumm, 1956)
Parámetros de relieve	Altitudes extremas (m.s.n.m.)	1,978 / 2,350	160 / 1,836	Suave: < 200, Moderado: 200-1000, Fuerte: >1000 (Parra y Zorrilla, 2007)
	Rango de elevación (m)	380	1,676	
	Grado del relieve	Moderado-suave	Fuerte	
Parámetros de drenaje	Longitud del cauce principal (km)	32.9	57.8	Corto: < 10, Medio: 11 a 15, Largo: >15 (Parra y Zorrilla, 2007)
	Extensión	Largo	Largo	
	Pendiente del cauce principal (%)	1.2	2.8	Suave: < 10, Moderada: 10 a 30, Fuerte: 30 (Gaspari, 2007)
	Grado	Suave	Suave	
	Tiempo de concentración (hr)	6.2	6.0	Rápido: < 40, Moderado: 40-80, Lento: >80 (Kirpich, 1940)
	Rapidez	Rápido	Rápido	
	Densidad de drenaje (km.km ⁻²)	1.8 Baja	2.0 Baja	Baja: < 5, Moderada: 5-10, Alta: >10 (López, 1998)
Orden de corriente	6 Alto	5 Medio	Bajo: < 2, Medio: 3-5, Alto > 5 (Stralher, 1964)	

Por su parte, la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo es alargada y de relieve fuerte, y densidad de drenaje igualmente baja pero con mayor pendiente del cauce principal, y mayor rapidez en el tiempo de concentración. Los parámetros de esta cuenca favorecerían caudales de altas velocidades, alta energía cinética y capacidad de arrastre cuando ocurren años húmedos o eventos de precipitación abundante. Sin embargo, los años ‘muy húmedos’ estuvieron ausentes en el periodo de 60 años analizado, y la probabilidad de ocurrencia de años ‘húmedos’ (795<P<962 mm) fue solamente del 9%.

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

El descriptor AH-5 se aplicó a nivel de subcuencas. En la cuenca Arroyo Juan El Grande, la subcuenca Las Maravillas ubicada en la zona de captación, destacó por una morfohidrometría que favorece escurrimientos superficiales de mayor energía cinética que las dos restantes (Cuadro 4.4). La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, en cambio, mostró baja variabilidad morfohidrométrica interna, con una respuesta hidrológica de las subcuencas similar a la de la cuenca entera.

Cuadro 4.4. Parámetros morfohidrométricos de las subcuencas de estudio.

Atributos morfohidrométricos	Cuenca Arroyo Juan El Grande			Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo		
	Las Maravillas	La Colorada	Encarnación	Copales	El Algodón	Hacienda Vieja
Zona funcional de la cuenca	captación	almacenamiento	emisión	captación	almacenamiento	emisión
<i>Parámetros de forma</i>						
Área (km ²)	32	27	68	87	62	91
Perímetro (km)	29	24	50	47	41	45
Razón de elongación	0.4	0.8	0.8	0.4	0.5	0.6
<i>Parámetros de relieve</i>						
Rango altitudinal (m.s.n.m)	2358 / 2006	2049 / 2024	1992 / 1978	1896 / 457	1240 / 261	261 / 160
Rango de elevación (metros)	352	25	14	1,439	963	101
<i>Parámetros de drenaje</i>						
Longitud cauce principal (km)	14.8	7.5	11	24	18	16.5
Pendiente del cauce principal (%)	2.4	0.3	0.3	6.0	5.4	1.0
Tiempo de concentración (horas)	2.1	2.7	2.7	2.3	1.9	4.6
Densidad de drenaje (km.km ⁻²)	3.4	1.9	1.0	2.0	1.9	2.0
Orden de corriente	4	4	6	4	4	5

4.3.2. Agua para Uso Doméstico (AD)

El descriptor AD-1 correspondiente a la condición socio-demográfica, mostró que se trata de cuencas de muy baja densidad poblacional (Dp), en relación a los respectivos promedios estatales. La Dp en Arroyo Juan El Grande fue en 2010, de 43.5 hab.km⁻²; ello representa el 19% de la Dp promedio en Aguascalientes (234 hab.km⁻²). La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo mostró una Dp de 14.5 hab.km⁻², equivalente al 18% del promedio estatal de Michoacán (78 hab.km⁻²). Similarmente, el crecimiento poblacional es muy limitado en ambas, con una población proyectada a 2020 de 18,950 y 7,100 habitantes⁶, respectivamente. En la cuenca de Aguascalientes, poco más de la tercera parte de las 92 localidades (33%), mostró niveles bajo y muy bajo de marginación. Sin embargo, la inspección a nivel de subcuenca alerta sobre una alta variabilidad interna en sus atributos socio-demográficos (descriptor AD-2). La subcuenca Las Maravillas (zona de captación) muestra la mayor concentración poblacional; la subcuenca La Colorada (zona de almacenamiento) cuenta con muy escasos poblados; y la subcuenca Encarnación (zona de emisión) reportó un alto número de poblados pequeños de alta marginación (Cuadro 4.5). Para la cuenca San Pedro Jorullo, la condición socio-demográfica general (descriptor AD-1) destacó la presencia de pequeños asentamientos rurales con niveles alto y muy alto de marginación, con ausencia de localidades de marginación baja y muy baja (Figura 4.5). El descriptor AD-2 mostró que dicha condición general se replica en las tres subcuencas, lo que da cuenta de una variabilidad interna baja.

⁶ El Anexo 2 presenta una actualización de estos valores con base en el último censo de población (INEGI, 2021)

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Cuadro 4.5. Descriptores del componente de agua disponible para uso humano (AD) en las subcuencas de estudio.

Atributos	Subcuencas Arroyo Juan El Grande			Subcuencas Arroyo San Pedro Jorullo		
	Las Maravillas	La Colorada	Encarnación	Copales	El Algodón	Hacienda Vieja
<i>Rasgos socio-demográficos</i>						
Población en 2010 (hab)	5,485	870	2,912	1,767	128	1,512
Población estimada en 2020 (hab)	6,582	1,044	3,494	1,873	136	1,603
Densidad de población (hab.km ⁻²)	171	32	43	20	2	17
Asentamientos Rurales y Urbanos (#)	4 y 1	1 y 0	48 y 0	17 y 0	4 y 0	9 / 0
Índice de marginación (promedio)	-1.1	-0.9	-0.8	-0.1	0.8	0.4
<i>Fuentes de agua e infraestructura para uso doméstico</i>						
Pozos profundos en operación (#)	5	12	25	0	0	0
Norias existentes (#)	10	7	0	9	4	32
Norias en uso (#)	0	0	0	5	4	28
Manantiales aprovechados (#)	0	0	0	4	0	0
<i>Agua extraída para uso doméstico</i>						
De pozos profundos para uso público (m ³ .año ⁻¹) ^a	305,669	121,135	53,956	0	0	0
De norias y manantiales (m ³ .año ⁻¹) ^b	0	0	0	26,462.5	3,650	25,550
Agua extraída por habitante en 2010 (l.persona.día ⁻¹)	152.7	381.5	50.8	41	78.1	46.3
Suficiencia del abasto 2010 ^d	Suficiente	Suficiente	Sub-óptimo	Insuficiente	Sub-óptimo	Insuficiente
Agua extraída por habitante en 2020 (l.persona.día ⁻¹)	127.2	317.9	42.3	38.7	73.7	43.7
Suficiencia del abasto 2020 ^d	Suficiente	Óptimo	Insuficiente	Insuficiente	Sub-óptimo	Insuficiente
Viviendas sin agua entubada (%) ^c	23.2	7.6	4.4	30	84	45.5

^a Fuente: CONAGUA (2010).

^b Se estima la extracción promedio de agua en norias de 2,500 l día⁻¹ y en manantiales de 15,000 l día⁻¹, fuente: información recabada de entrevistas en las localidades, el valor en norias varía de 500 l día⁻¹ en secas a 5,000 l día⁻¹ en lluvias e igualmente varía dependiendo la ubicación espacial de la noria en la zona de almacenamiento o de emisión de la cuenca, se debe tomar como un valor de referencia únicamente.

^c Censo de población y vivienda 2010 (INEGI, 2010)

^d Suficiencia de abasto (l.persona.día⁻¹): >150 suficiente, 101-150 óptimo, 50-100 subóptimo y <50 insuficiente

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Las fuentes de agua para uso doméstico y la infraestructura de aprovechamiento (descriptor AD-3) corresponden a dos condiciones claramente diferentes. En la cuenca Arroyo Juan El Grande, las tres subcuencas se abastecen de aguas subterráneas mediante cinco pozos de entre 80 y 150 m en operación. El 89 % de las viviendas cuenta con agua entubada de buena calidad y durante averías o escasez se abastece con camiones cisterna. En la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, la situación es muy distinta. La subcuenca Los Copales (zona de captación) cuenta con áreas de descarga de aguas subterráneas (manantiales), con rendimiento constante, asociados a la estructura geológica del Volcán Jorullo presente en la zona de captación de la cuenca; de éstas se abastecen las localidades de dicha subcuenca. Pero en las zonas de almacenamiento y emisión no hay áreas de descarga y las fuentes se obtienen del agua almacenada transitoriamente en las zonas aluviales, con alta variación estacional. En todos los casos, la infraestructura de captación y aprovechamientos es mínima, cajas de captación precarias y norias de escasa profundidad (5-6 m). No existen pozos profundos en operación. Los sistemas de abasto de agua en las localidades son precarios, y periódicamente sufren daño físico por altas temperaturas que reducen la vida útil de los materiales, así como destrucción de norias y casetas de bombeo por crecidas intempestivas de los arroyos y el deterioro de equipos de bombeo por un inadecuado suministro de energía eléctrica. Los sistemas de abasto de agua comunitarios han sido mejorados lentamente desde el año 2010 con el apoyo de una organización no gubernamental (Grupo Balsas A.C.) y financiamiento privado (Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.) junto a gran esfuerzo de las propias comunidades, pero sin atención gubernamental.

La demanda de agua para uso doméstico (descriptor AD-4) correspondiente a 100 l. persona. día⁻¹, requiere volúmenes de 31, 106 y 200 m³.año⁻¹ para las tres subcuencas de Aguascalientes; mientras que en Michoacán, se requieren apenas 5, 55 y 64 m³.año⁻¹. La satisfacción de esta demanda (descriptor AD-5) presenta dos condiciones contrastantes. En la cuenca de Aguascalientes dichos volúmenes están garantizados desde pozos profundos (150 a 500 m, \bar{X} 250 m) para uso doméstico, con extracción reportada de 481 m³. año⁻¹, lo que resulta en una satisfacción hídrica ‘suficiente’ en, al menos, dos de las tres cuencas. En la subcuenca Encarnación, la satisfacción resultó ‘sub-óptima’ porque apenas se rebasan los 50 l. persona. día⁻¹. La estimación de crecimiento poblacional al año 2020 muestra que la subcuenca La Colorada se mantendrá con satisfacción hídrica óptima, pero no es el caso de

las subcuencas Las Maravillas y Encarnación verán mermado sus niveles actuales. En Michoacán, la situación es distinta. La variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad de agua es alta y no hay fuentes de abasto constante. El volumen de agua que se puede obtener de una noria abarca entre 500 l. día⁻¹ en época de secas a 5,000 l. día⁻¹ en lluvias. El área de descarga (manantiales) en la subcuenca Los Copales ofrece volúmenes de agua suficientes que no logran ser bien administrados por la falta de infraestructura para el almacenamiento y distribución eficiente. La larga estación seca y la falta de pozos revela que, a escala anual, la satisfacción hídrica potencial es insuficiente para dos de las tres subcuencas consideradas.

4.3.3. Agua para Actividades Productivas (AP)

Para el año 2011, la cubierta y uso del suelo (descriptor AP-1) mostraron actividades productivas diferenciadas en ambas cuencas (Cuadro 4.6). Gran parte de la cuenca Juan El Grande está transformada en su superficie, con un remanente de bosque y matorral localizado en su zona de almacenamiento donde el relieve es menos quebrado. La principal actividad productiva era en dicho año, la agricultura de temporal, pero con una participación importante de agricultura de riego en más del 20% de la superficie. Los cultivos dominantes son en orden de importancia, el maíz, frijol, avena y alfalfa forrajera. La actividad ganadera es sostenida por pastizales que cubrían en 2011, poco más del 20% de la superficie total, además de los cultivos forrajeros. Las existencias ganaderas en 2011 eran de 18,880 cabezas, que equivale al 70% de lo reportado para el municipio de El Llano (censo agropecuario, INEGI, 2009). De estas, 48% correspondían a ganado bovino, y las restantes a ganado ovino (26%), caprino (13%) y porcino. El descriptor AP-2 reveló que en el periodo 2002-2011 hubo un incremento cercano al 4% de la superficie destinada a agricultura de riego, a expensas de los pastizales y matorrales. En esta cuenca las actividades productivas son sostenidas y diversificadas, con incremento del nivel tecnológico, y consecuentemente, de los rendimientos agropecuarios.

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Cuadro 4.6. Cubierta del suelo en los años 2002 y 2011 en las cuencas Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes) y Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán).

Tipo de cubierta	Cuenca Arroyo Juan El Grande					Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo				
	Superficie 2002 (ha)	%	Superficie 2011 (ha)	%	Diferencia (ha)	Superficie 2002 (ha)	%	Superficie 2011 (ha)	%	Diferencia (ha)
Bosque	716	2	725	2	9	6,323	14	6,992	15	669
Selva	0	0	0	0	0	23,161	50	24,087	52	925
Palmar	0	0	0	0	0	908	2	815	2	-92
Matorral	806	2	728	2	-78	0	0	0	0	0
Pastizal	8,316	24	6,960	20	-1,356	6,772	15	4,370	10	-2,403
Agricultura temporal	18,904	55	18,730	55	-174	8,704	19	9,605	21	901
Agricultura riego	5,018	15	6,536	19	1,518	0	0	0	0	0
Asentamientos humanos	520	2	601	2	81	102	0	102	0	0
Total	34,280	100	34,280	100	0	45,970	100	45,970	100	0

En la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo la cubierta del suelo para el año 2011 (descriptor AP-1) mostró que solamente el 30.5% de su superficie correspondía con actividades agropecuarias, sin presencia de agricultura bajo riego (Cuadro 4.6). La agricultura de temporal que cubría en 2011 el 21% de la cuenca, se concentra en maíz, flor de jamaica, ajonjolí y sorgo. La cubierta de vegetación natural abarca el 55.1% de la superficie con dominancia de selva baja caducifolia; esta sostiene la cría extensiva de ganado vacuno con bajo nivel de tecnificación y rendimientos. Para ese año, las existencias ganaderas alcanzaron las 3,520 cabezas lo que equivale al 10.3% de lo reportado para el municipio de La Huacana (censo agropecuario, INEGI, 2009), de las cuales el 60% correspondía con ganado bovino, y lo restante con caprino (19%), porcino (13%) y ovino (6%). El cambio de cubierta entre 2002 – 2011 (descriptor AP-2) mostró un incremento de selvas y bosques a expensas de la cubierta de pastizal, lo que señala el abandono de la actividad ganadera de libre pastoreo por una de mayor tecnificación o denominada estabulada. La superficie de agricultura de temporal

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

mostró un incremento del 9% en dicho periodo, pero su representación en la superficie de toda la cuenca es menor al 2%.

El descriptor AP-3 referido a la correspondencia agroclimática de las actividades primarias, reveló que en la cuenca Arroyo Juan El Grande los principales cultivos están continuamente amenazados por la escasez de precipitaciones. Los rangos de lluvias óptimos para el maíz y frijol son de 500-1,100 mm y 600-2,000 mm, respectivamente; estos volúmenes se presentan en años 'húmedos' y 'muy húmedos' de baja ocurrencia (Figura 4). Aun así, los años más favorables proporcionarían lluvias cercanas al límite inferior del rango óptimo de los cultivos, asociado a bajos rendimientos agrícolas. La alfalfa, un cultivo en expansión, requiere lluvias de entre 880-1,000 mm, una condición inexistente en esta cuenca. Dada esta situación, los cultivos se realizan con un alto riesgo de siniestro agrícola, o son completamente dependientes del riego. La producción de forrajes ocurre en praderas inducidas complementadas con cultivos forrajeros que son sostenidos por riego. En la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo los requerimientos hídricos son de 600-900 mm para la flor de jamaica, 500-1,200 mm para el ajonjolí y 450-650 mm para el sorgo, por lo que tienen una mayor correspondencia con las condiciones promedio de precipitación anual. Sin embargo, debido a la alta incidencia de años secos debajo del promedio, la incertidumbre en la viabilidad de la cosecha y los rendimientos finales es muy alta. Las altas temperaturas y escasez de agua provocan altos niveles de deshidratación en el ganado, particularmente en época seca, lo que reduce sustancialmente la fertilidad, provocando hatos de baja productividad de crías y leche. La infraestructura para sostener las actividades productivas (descriptor AP-4) evidencia que la atención histórica para dar soporte a las actividades productivas ha sido francamente diferente en los estados de Aguascalientes y Michoacán. La cuenca Arroyo Juan El Grande cuenta con el bordo de Santa Ana ubicado en la subcuenca La Colorada (zona de almacenamiento) construido en la década de 1980, con capacidad de almacenamiento de 6 millones de m³, además de 676 bordos distribuidos en toda la cuenca; que almacenan los escurrimientos ligeros de la estación de lluvias y soportan el abasto de agua de las especies de ganado mayor. La suficiencia de agua en las viviendas permite el mantenimiento de ganado menor en los traspatios. La cuenca cuenta con 6,461 ha bajo riego sostenidos por la presencia de 49 pozos profundos destinados al uso agrícola con extracción de más de 3,200,000 m³ año⁻¹. Las subcuencas Las Maravillas y Encarnación disponen de varios

kilómetros de canales y acequias. En cambio, la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo no cuenta con infraestructura más allá de unos pocos bordos que reciben altas cantidades de azolve y sufren recurrentes daño por la velocidad del agua entrante. El ganado mayor requiere volúmenes de agua del orden de los $42,000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ que no logran estar disponibles, especialmente en la larga estación seca. Debido a la escasez de agua en las viviendas, los corrales para animales de traspatio son poco comunes. De acuerdo a testimonios locales, a lo largo de la cuenca son insuficientes las aguadas y los abrevaderos para el ganado, con fuertes dificultades para mantenerlos con agua durante la estación seca.

4.3.4. Reducción del Riesgo Hídrico (RH)

La capacidad para reducir el riesgo hídrico por infraestructura civil e hidráulica (RH-1) mostró dos condiciones diferenciadas. Ciertamente ambas cuencas presentan déficit hídrico una gran parte del año y sus escurrimientos superficiales son escasos (descriptor AH-1, Figura 4.3). Pero, en la cuenca Arroyo Juan El Grande, en un año promedio, el BH proporciona 62 mm de agua excedente, lo que representa 21 millones m^3 de agua en circulación; este excedente es almacenado en el bordo de Santa Ana (ubicado en la subcuenca de la zona de almacenamiento de la cuenca) y las obras de captación y almacenamiento ubicadas en toda la cuenca. Las obras de captación son favorecidas por el relieve suave de la cuenca que propicia escurrimientos lentos de bajo poder destructivo. Dado que la demanda evaporativa es relativamente baja, el agua permanece almacenada hasta cinco meses desde el fin de la estación de lluvias (Figura 4.2). Adicionalmente, los pozos profundos en operación respaldan el abasto de agua para uso público y agrícola, aun bajo condiciones extremas en años secos. Por su parte, en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, los excedentes en un año promedio son de 25 mm, equivalente a 11.5 millones de m^3 . El relieve montañoso de la cuenca genera escurrimientos rápidos de alta energía cinética, y la alta demanda evaporativa reduce drásticamente el tiempo de permanencia del agua que logra ser almacenada. La cuenca no cuenta con infraestructura adecuada para retener agua más allá de pequeñas ollas en las que la permanencia es muy corta y no se extiende más allá de dos meses desde el fin de las lluvias.

Respecto a la conectividad terrestre (descriptor RH-2), la cuenca Arroyo Juan El Grande cuenta con 623.8 km de carreteras y caminos rurales, con una densidad de vías de 1.8 km.km² (Figura 4.5). El relieve predominantemente plano y las distancias relativamente cortas entre localidades facilitan el traslado, aún en momentos de caudales mayores en años del extremo húmedo. La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo cuenta con carreteras y caminos rurales con una longitud de 221.9 km, lo que representa una densidad de vías de 0.5 km.km². Las vías terrestres son de terracería o pavimento en mal estado, vados precarios y falta de puentes. En los meses de mayores precipitaciones, es frecuente la crecida repentina de caudales, lo que produce aislamiento de las poblaciones y arrastre de vehículos que se arriesgan al cruce de vados.

4.3.5. Integración de descriptores

Los relatos descriptivos presentados a continuación ofrecen una integración de los resultados obtenidos con información de contexto, en lenguaje técnicamente preciso pero accesible a actores sociales no-académicos.

4.3.5.1. Cuenca Arroyo Juan El Grande: ¿en la opulencia del agua?

El Estado de Aguascalientes es uno de los más ricos de México. Aunque es pequeño en extensión y población, y tiene recursos naturales limitados, ha logrado promover su desarrollo; ello lo ubica en una excelente posición dentro del país. La cuenca Arroyo Juan El Grande en el Municipio de El Llano, es parte de esa condición de bienestar. Aunque el clima presenta lluvias escasas, que en algunos años producen sequías, el relieve es plano y apto para la agricultura. Por ello la cuenca es altamente productiva, con una gran superficie de tierras utilizadas para cultivos y cría de ganado, pero con escasa superficie conservada con vegetación natural. Su alta productividad se debe a una importante cantidad de infraestructura como bordos, canales de riego y pozos profundos, así como la distribución de carreteras transitables en toda la cuenca. Debido a las temperaturas relativamente bajas, el agua de lluvia almacenada está disponible gran parte del año, y además es complementada por agua extraída del subsuelo.

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

La población de la cuenca manifiesta una alta satisfacción hídrica, dado que raramente se observan carencias importantes de agua. El agua en las localidades está asegurada, pues depende de un servicio concesionado por el municipio a un organismo operador. La población paga una cuota mensual sin importar el volumen utilizado. Las personas no se cuestionan sobre el origen de dicho bienestar, lo que las vuelve ciegas ante las amenazas. Pero la cuenca sí presenta amenazas. La subcuenca Las Maravillas ubicada en la zona de captación de la cuenca, concentra la mayor cantidad de habitantes y muestra el mayor crecimiento poblacional: ello advierte sobre acciones necesarias para mantener en el futuro la satisfacción hídrica que se disfruta en el presente. En la zona de emisión de la cuenca, en la denominada subcuenca Encarnación, se ubican las localidades rurales con mayor marginación social, donde también hay menor extracción de agua. Es el sector de la cuenca más vulnerable ante sequías o lluvias extremas.

Si bien la infraestructura existente asegura el abasto continuo desde fuentes subterráneas, también le confiere una alta dependencia del equipamiento de bombeo y del mantenimiento de los niveles de agua de los acuíferos. Pero la percepción de opulencia de agua impide que los pobladores locales valoren el agua subterránea como un bien de propiedad común; más bien lo perciben como algo dado que estará ahí por siempre. Por ejemplo, dentro de la subcuenca Las Maravillas se registran valores excesivamente altos en la extracción de agua para uso humano, los cuales superan hasta en un 300 % el volumen de satisfacción óptima de 100 l.persona.día⁻¹.

Otras características de la cuenca contrastan con esa percepción de alta seguridad hídrica. El siniestro agrícola por sequías es altamente frecuente, pero se persiste en el mismo modelo de producción agrícola con cultivos inapropiados desde una perspectiva hídrica, sin embargo este tipo de modelos agroproductivos responden a los intereses económicos que el mercado tenga de moda. Se requieren análisis adicionales que profundicen este punto en particular. Aunque no se presentan sequias extremas muy frecuentes, las lluvias anuales son con frecuencia inferiores al promedio. Sin embargo, los pobladores no promueven acciones en mejorar sus sistemas de producción. La incertidumbre climática es alta, faltan mecanismos de adaptación tecnológica, así como adecuados canales para la organización de instituciones que atiendan a las causas (principalmente económicas, aún cuando este tema no fue atendido por esta investigación) de los existentes sistemas agroproductivos en la cuenca, ya que es

precisamente esto lo que condiciona la dinámica de la propia gestión de los recursos hídricos con los que se disponen. De igual forma, no se cuenta con registros confiables del volumen de agua extraída de pozos ni de su calidad, por lo que no se conoce la condición de los acuíferos y los efectos de la extracción. En resumen, la cuenca Arroyo Juan El Grande muestra un nivel sub-óptimo en su SH que puede transitar a una condición de insuficiencia si no se atienden los focos rojos identificados. Para mantener su nivel de SH, los pobladores de la cuenca deberían hacer un uso más eficiente de sus recursos hídricos, con actividades agropecuarias acordes a su situación climática; gestionar de mejor manera su infraestructura hidráulica; y establecer redes de cooperación. Ello daría mayores capacidades para atender las amenazas, y crear respuestas para un mejor manejo de los recursos hídricos disponibles.

4.3.5.2. Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo: la incertidumbre del agua, día a día.

El Estado de Michoacán enfrenta verdaderos retos para atender las necesidades de su población. A pesar de contar con innumerables recursos naturales y culturales, desde el año 2000 en adelante, la situación económica, social y ambiental dentro de este estado ha empeorado. Ello se ha reflejado en mayores niveles de marginación en relación con el resto del país, mayor inseguridad, emigración y falta de capacidad financiera para gestionar los problemas. La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo en el Municipio La Huacana está envuelta en este panorama. Su clima es cálido con lluvias acotadas a cuatro meses, y en los siete meses de estación seca la vida cotidiana y las actividades productivas se hacen realmente difíciles. Las condiciones de relieve y las características sociales son similares en toda su extensión, de modo que conforma una unidad relativamente homogénea. El agua para el consumo doméstico proviene de fuentes precarias y de bajo rendimiento como norias y manantiales, de modo que los años con lluvias escasas auguran estaciones secas de gran sufrimiento para la población, y pérdida de patrimonio familiar. La cuenca cuenta con una pequeña superficie productiva utilizada para cultivos de temporal que son apropiados para las condiciones climáticas, y pequeños hatos ganaderos. Gran parte de su superficie permanece como bosques nativos de selva baja caducifolia, altamente adaptada a los contrastes estacionales. La mayor amenaza sentida por la población es la alta probabilidad de lluvias por debajo del promedio, y de años excepcionalmente secos; esto repercute en los medios de vida y las diversas

actividades productivas agropecuarias. La población vive en condiciones duras, ello refleja dificultades para el incremento del patrimonio familiar, y una fuerte exposición para enfrentar emergencias hídricas. La falta de trabajo de terraceo junto con las pendientes, dificultan el manejo de los escurrimientos cuando estos ocurren en época de lluvias. Cualquier inversión en infraestructura es costosa. El aislamiento geográfico y el nulo apoyo de las instituciones de gobierno, las cuales han abandonado obras inconclusas, hacen que los pobladores de esta cuenca vivan pendientes de las condiciones climáticas que condicionarán sus vidas.

La línea base en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo muestra un nivel muy bajo de SH y una marcada precariedad para asegurar la disponibilidad de agua para la población y las actividades productivas, así como una baja capacidad instalada para sobrellevar el riesgo hídrico, por lo que está fuertemente comprometido su desarrollo sostenible. La escasa atención gubernamental ha enseñado a los habitantes que la principal fuente de soluciones a los problemas de SH, son las fuerzas autogestivas. El apoyo de actores externos no-gubernamentales (academia, ONG) y el mantenimiento de redes de solidaridad dentro de la cuenca son la primera línea para enfrentar las amenazas e incertidumbres a los que la cuenca está expuesta.

4.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La valoración de la SH con enfoque de cuenca, el uso de descriptores y la integración de un relato descriptivo inmerso en el contexto, pusieron en evidencia los desafíos diferenciados en la gestión de cada cuenca. Coincidimos con Beddington (2013) en que actualmente los determinante estructurales de la SH, como los hidrometeorológicos, así como los sociales se consideran en forma aislada, en consecuencia hay una comprensión fragmentada de la SH (Dadson, Acreman y Harding, 2013; Cook y Bakker, 2012).

En el caso de la cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes), la alta dependencia de la infraestructura hidráulica para mantener el agua para la población y las actividades productivas conduce a una falta de valorización de los recursos hídricos y a la sensación continua de recursos hídricos suficientes (Sophocleous, 2004). Por ello la infraestructura representa al mismo tiempo una herramienta de adaptación y una amenaza para la SH local (Scott et al., 2013). Es el mal manejo de los recursos hídricos la causa principal de la crisis

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

de agua y no la falta física del recurso como en los trabajos de Ma, Liu y Chen (2010) y Kallis y Zografos (2014). Los principales retos son de carácter institucional y socio-cultural para asegurar la buena gestión de la infraestructura existente, y el uso eficiente de recursos disponibles.

Por su parte, la condición de la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán) muestra fuertes similitudes con áreas semiáridas de África (Calow, MacDonald, Nicol y Robins, 2010). Bajo estas condiciones, los medios de vida rurales se ven afectados por el estrés hídrico continuo; en todas estas localidades la falta de acceso a alimentos y agua es un problema común. En este caso, los retos para subsanar su condición abarcan el acceso a infraestructura adecuada y ecotecnias, combate a la pobreza, auto-organización comunitaria y cultura del agua. Debido a lo anterior esta cuenca se encuentran en una situación de rehén hidroclimática (Grey y Sadoff, 2007), muy vulnerable a los futuros y cada vez mayores efectos negativos de los cambios ambientales globales.

Con respecto a las amenazas hídricas, la mayor amenaza en ambas cuencas de estudio es la condición restrictiva crónica. Ambas cuencas refieren un estado de sequía de recursos hídricos (Dulo, Ndirangu y Kabubi, 2009), esto significa un bajo o nulo nivel de los ríos, aguas subterráneas o reservorios que mellan en el uso del agua. Al igual que el trabajo de Falkenmark (2013), en ambas cuencas se registró una alta evaporación potencial y una estación lluviosa limitada, la mayor parte de la lluvia se evapora sin dejar excedentes para la generación de escorrentía. esto significa que a mayor precipitación, mayor evapotranspiración y no siempre mayor caudal o escorrentía (Tapia, 1999). En ambas cuencas se tiene una variabilidad intranual de la precipitación cercana al 30%. Este resultado sustenta lo dicho por Sullivan y Meigh (2007), de que es más difícil lidiar con la variabilidad temporal del recurso que con la espacial. Esto ha dificultado la planificación del uso, la gestión del recurso y el mantenimiento de un desarrollo sostenible, factores básicos del desarrollo económico en las regiones semiáridas del mundo (Pulido Bosch et al., 2012).

Finalmente para ambas cuencas observamos lo reportado por ICSU-LAC (2009), su exposición y riesgo a distintas amenazas es fundamentalmente una construcción social resultado de decisiones, limitaciones o falta de capacidades técnicas. Al igual que lo expuesto por el IPCC (2012), los resultados en ambas cuencas muestran que los efectos acumulativos

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

de condiciones adversas recurrentes pueden afectar considerablemente las opciones y recursos de medios de vida y la capacidad de las comunidades para prepararse y responder a eventos extremos futuros.

En cuanto al agua para uso doméstico con base en los resultados ambas cuencas de estudio pueden catalogarse como cerradas (Falkenmark y Molden, 2008), esto significa que el abasto de agua para usos domésticos, industriales, agrícolas o ambientales no se pueden cumplir durante todo o parte del año. Ante esto hidrólogos e ingenieros se centran en la confiabilidad de las decisiones de incremento en infraestructura (Brown et al., 2012) partiendo de la suposición de que si la infraestructura hidráulica se gestiona bien, se disfrutará de seguridad hídrica. Pero esta suposición no se cumple de acuerdo a los resultados de este trabajo; según las categorías propuestas por Howard y Bartram (2003), quienes ajustaron los límites de Gleick (1996); la cuenca de Aguascalientes tiene un acceso óptimo (>100 L persona-1 día-1) sin embargo, y al igual que lo reportado por Srinivasan et al. (2013) en otros países en desarrollo, a pesar de una alta capacidad instalada en infraestructura hidráulica, no se logra una cobertura universal y el suministro público sigue siendo poco confiable. Por su parte la cuenca San Pedro Jorullo esta situación de escasez se atribuye a la precaria infraestructura física actual, en esta cuenca se tiene un acceso básico e intermedio (entre 20 y 50 l persona-1 día-1) lo que concuerda con los valores de WHO-UNICEF (2010) de 25–30 l persona-1 día-1.

Sobre el agua para actividades productivas al igual que los trabajos realizados en ambientes semiáridos en Ghana, Malawi, Sudáfrica y Etiopía (Calow et al., 2010) destaca como los medios de vida rurales se ven afectados por el estrés hídrico continuo, en todas estas localidades, la disponibilidad y disminución de acceso a los alimentos y el agua es un problema común y están interrelacionados, con efectos en cadena sobre el consumo de alimentos y la producción lo que concuerda en particular con los resultados de la cuenca San Pedro Jorullo. En ambas cuencas no se cumple con uno de los determinantes básicos para la SH; la capacidad adecuada de almacenamiento de agua en relación al nivel de la variabilidad interanual de sus precipitaciones (Lautze y Manthritlake, 2012). Esta problemática en la disponibilidad puede tener un origen físico como en la cuenca San Pedro Jorullo; social o

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

ambas (Rijsberman, 2006), como se presenta en la cuenca Juan El Grande, lo que repercute en una percepción social como lo reportado por Mukheibir (2010), en que la falta de acceso al agua se confunde con escasez de agua.

Finalmente en cuanto al riesgo hídrico Grey y Sadoff (2007) refieren que las regiones con una hidrología compleja (como es el caso de las cuencas semiáridas de este estudio) requieren mayor nivel de inversión en instituciones e infraestructura para lograr y mantener su SH, en particular para gestionar los riesgos asociados con la variabilidad hidrológica. Una respuesta más pertinente respecto a la incertidumbre en la gestión del agua será incrementar la certeza en la información sobre la disponibilidad espacio temporal de recursos hídricos (Pahl-Wostl et al., 2007). Esto solo puede lograrse cuando las necesidades sociales sean planeadas respecto a los recursos existentes, la capacidad de acceder a ellos y su uso sostenible (Mukheibir, 2010; Hope, Foster y Thomson, 2012; Calow et al., 2010; Cohen y Davidson, 2011), por tal motivo el empleo de un marco analítico para valorar desde un enfoque de cuenca hidrográfica la seguridad hídrica tiene una alta y actual pertinencia. Y al igual que el trabajo de Eger y Aquino (2006), los resultados de esta investigación sustentan que además de un evento extremo, un desarrollo no planificado de la infraestructura termina por ser un componente de riesgo a la SH local (World Economic Forum, 2017).

El enfoque de valoración de la SH utilizado propone que el enfoque de cuenca y el uso de descriptores ofrecen ventajas a las valoraciones basadas en indicadores e índices, tan frecuentes en estudios actuales. El trabajo ilustró de qué modo el enfoque de cuenca permite realizar una valoración funcional del espacio geográfico y ‘leer’ en los elementos geográficos de la cuenca, los determinantes de la SH, tal como otros estudios lo han planteado (Sun, Staddon y Chen, 2016). La cuenca facilita el cambio de escalas en la apreciación del problema, así como el tránsito del análisis funcional al espacial, una ventaja enfatizada en diversos estudios (Jun y Yongyong 2008; Cohen y Davidson 2011; Garrick y Hall 2014). Esta constituye una potente alternativa a la valoración de la SH de una unidad hidrográfica a través de un único índice artificialmente generado (Varady, 2016; Srinivasan, Konar y Sivapalan, 2017).

El procedimiento aplicado se enfocó en las dimensiones básicas de SH, e.g. la disponibilidad

de agua y la reducción del riesgo hídrico; pero otras dimensiones de la SH como la gobernanza del agua, la valoración de aquellos procesos económicos que terminan por establecer el tipo de sistemas agroproductivos, la resolución de conflictos, preservación de los ecosistemas y la vida silvestre (Vörösmarty et al., 2010; Cook y Bakker, 2012; Norman et al., 2013), quedaron fuera de los alcances de este estudio. Sin embargo, el enfoque propuesto permite incorporar fácilmente otras dimensiones de SH mediante la cuidadosa selección de sus descriptores, sin alterar ni perder la capacidad informativa de los ya analizados. La valoración puede ganar solidez a medida que se genera información más detallada, logrando una valoración flexible y dinámica.

Por último, la elaboración de un relato descriptivo a partir de la integración de los resultados de los descriptores con información de contexto es un punto de partida de gran potencial para integrar narrativas ambientales. Estas son historias que se alimentan de datos, observaciones, entrevistas y otra información cualitativa de sujetos estrechamente asociados a un lugar particular, que crean significados desde hechos aislados para relatar lo que ocurrió y lo que podría ocurrir, e.g. escenarios posibles (Leach, Scoones y Stirling, 2010; Lejano, Ingram y Ingram, 2013). La integración de descriptores en relatos descriptivos, y su ampliación con otras voces en narrativas ambientales es un campo de trabajo a futuro para mejorar la generación de insumos más adecuados para la acción colectiva y la toma de decisiones en la gestión de cuencas.

4.5. REFERENCIAS

- Aranda, D. F. C. (1984). Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Bermúdez, F. L., y Díaz, M. A. R. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía* (12), 47–62.
- Beddington, J. (2013). Catalysing sustainable water security : role of science , innovation and partnerships. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371
- Brown C, Ghile Y, Laverty M, y Li K. (2012) Decision scaling: linking bottom-up vulnerability analysis with climate projections in the water sector. *Water Resour Res*, 48.
- Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., y Rivas, H. (2013). A systems approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: a case of participatory water quality

monitoring in rural Mexico. *Environmental monitoring and assessment* 185(12), 10297–10316.

Burgos, A. y Bocco, G. (2015). La cuenca hidrográfica como espacio geográfico, en *Dimensiones Sociales en el Manejo de Cuencas*, Burgos, A., G. Bocco y J. Sosa-Ramírez (coord.) pp. 11–29. México: CIGA-UNAM.

Calow, R. C., MacDonald, A. M., Nicol, A. L., y Robins, N. S. (2010). Ground water security and drought in Africa: linking availability, access, and demand. *Ground Water* 48(2), 246–256.

Cohen, A., y Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives* 4(1), 1–14.

Conagua. (2013). Eric III Versión 3.2. Estaciones climatológicas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Conapo. (2010). Índice de marginación para 2010 del Consejo Nacional de Población. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion

Cook, B. R., Atkinson, M., Chalmers, H., Comins, L., Cooksley, S., Deans, N., y Litke, S. (2013). Interrogating participatory catchment organisations: Cases from Canada, New Zealand, Scotland and the Scottish-English Borderlands. *The Geographical Journal* 179(3), 234–247.

Cook, C., y Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change* 22(2012), 94–102.

Dadson, S., Acreman, M., y Harding, R. (2013). Water security, global change and land-atmosphere feedbacks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371.

Dickson, S.E., Schuster-Wallace, C.J. y Newton, J.J. (2016). Water security assessment indicators: The rural context. *Water resources management* 30(5), 1567–1604.

Ding, Y., Wei, Y., Dai, H., y Tang, D. (2014). Human-Water harmony index: A new approach to assess the human water relationship. *Water Resources Management* 28(4), 1061–1077.

Dulo, S. O., Ndirangu, W., y Kabubi, J. (2009). *Hydro-climatic Disasters In Water Resources Management. Training Manual*.

Eger, H. y Aquino, A. (2006) *Actuar ante el riesgo, porque los desastres no son naturales. Importancia de la Gestión del Riesgo para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica*. Lima, Perú. 35 pp.

Falkenmark, M. (2013). Growing water scarcity in agriculture : future challenge to global

water security. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371

Falkenmark, M., y Molden, D. (2008). Wake up to realities of river basin closure. *Water Resources Development*, 24(2), 201–215.

Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., y Salas, R. (2012). Estimación de las demandas de consumo de agua. SAGARPA, Colegio de posgraduados, México.

Garfin, G. M., Scott, C. A., Wilder, M., Varady, R. G., y Merideth, R. (2016). Metrics for assessing adaptive capacity and water security: common challenges, diverging contexts, emerging consensus. *Current Opinion in Environmental Sustainability* (21), 86–89.

Garrick, D., y Hall, J. W. (2014). Water security and society: risks, metrics, and pathways. *Annual Review of Environment and Resources* 39(1), 611–639.

Gaspari F. J. (2007). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España. Ediciones Cooperativas, Buenos Aires.

Gerlak, A. K., House-Peters, L., Varady, R. G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., de Grenade, R. R., Cook, C. y Scott, C. A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy* (82), 79–89.

Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International* 21(2), 83–92.

Grey, D., y Sadoff, C. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy* 9(6), 545–571.

Heink, U., y Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators* 10(3), 584-593.

Hope, R., Foster, T., y Thomson, P. (2012). Reducing Risks to Rural Water Security in Africa. *AMBIO*, 41(7), 773–776

Howard, G., y Bartram, J. K. (2003). Domestic water quantity, service level, and health. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

ICSU-LAC (International Council for Science – Regional Office for Latin America and the Caribbean) (2009) Biodiversity knowledge, research scope and priority areas: an assessment for Latin America and the Caribbean.

INEGI. (2002). Mapas de uso del suelo y vegetación. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>

INEGI. (2009). Censo agropecuario 2007, VIII Censo agrícola, ganadero y forestal, México.

- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda, México.
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- Jun, X., y Yongyong, Z. 2008. Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 33 (5), 359–363.
- Kallis, G., y Zografos, C. (2014). Hydro-climatic change, conflict and security. *Climatic Change*, 123(1), 69–82.
- Keirle, R., y Hayes, C. (2007). A review of catchment management in the new context of drinking water safety plans. *Water and Environment Journal* 21(3), 208–216.
- Kershner, J. L., Roper, B. B., Bouwes, N., Henderson, R., y Archer, E. (2004). An analysis of stream habitat conditions in reference and managed watersheds on some federal lands within the Columbia River basin. *North American Journal of Fisheries Management* 24(4), 1363-1375.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering*, 10(6), 362.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial forms and processes*: London. Edward Arnold
- Lautze, J., y Manthrilake, H. (2012). Water security: Old concepts, new package, what value? *Natural Resources Forum*, 36, 76–87.
- Lemos, M. C., Manuel-Navarrete, D., Willems, B. L., Caravantes, R. D., y Varady, R. G. (2016). Advancing metrics: models for understanding adaptive capacity and water security. *Current Opinion in Environmental Sustainability* (21), 52–57.
- Leach, M., Scoones, I., y Stirling, A. (2010). Governing epidemics in an age of complexity: narratives, politics and pathways to sustainability. *Global Environmental Change* 20(3), 369-377.
- Lejano, R., Ingram, M., y Ingram, H. (2013). *The power of narrative in environmental networks*. MIT Press.
- López C. L. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión*. Ingeniería Medioambiental. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España: 945 pp.
- Ma, H., Liu, L., y Chen, T. (2010). Water security assessment in Haihe River Basin using principal component analysis based on Kendall. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163(1–4), 539–544.

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

- Martínez-Austria, P. F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(5), 165-180.
- Mason, N., y Calow, R. (2012). *Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An Initial Overview of Options* (Overseas Development Institute London).
- McCabe, G.J., y Markstrom, S.L. (2007). A monthly water-balance model driven by a graphical user interface: U.S. Geological Survey Open-File report. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1088>.
- Mukheibir, P. (2010). Water Access, Water Scarcity, and Climate Change. *Environmental Management*, 45(5), 1027–1039.
- Norman, E., Dunn, S., Bakker, G., Allen, K. y De Albuquerque, R. C. (2013). Water security assessment: integrating governance and freshwater indicators. *Water Resources Management* 27(2), 535-551.
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., y Taillieu, T. (2007). Social Learning and Water Resources Management. *Ecology y Society*, 12(2).
- Pahl-Wostl, C., Palmer, M., y Richards, K. (2013). Enhancing water security for the benefits of humans and nature-the role of governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(6), 676-684.
- Parra, C., y Zorrilla, E. (2007). *Gestión de cuencas hidrológicas*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Serie recursos naturales e infraestructura 178, CEPAL. 57 pp.
- Pérez-Foguet, A., y Garriga, R. G. (2011). Analyzing water poverty in basins. *Water Resources Management* 25(14), 3595–3612.
- Prohaska, F. J. (1952). Regímenes estacionales de la precipitación de Sudamérica y mares vecinos (desde 15 S hasta Antártida). *Revista Meteoros* 11(1), 66–100.
- Pulido Bosch, A., Díaz Puga, M. Á., Vallejos Izquierdo, A., y Andreu Rodes, J. M. (2012). Reflexiones sobre la gestión de recursos hídricos en regiones semiáridas. El sudeste español. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible (CUIDES)*, (9), 41–70.
- Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1), 5–22.
- Ruiz C., Medina G., González, A., Flores, L., Ramírez, O., Ortiz, T., Byerly, M. y Martínez P. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

- Schumm, S. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboi, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597-646.
- Scott, C. A., Meza, F. J., Varady, R. G., Tiessen, H., McEvoy, J., Garfín, G. M., y Montaña, E. (2013). Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 280–289.
- Silva, L. I., Sergio, G. C., y Luis, R. P. (2010). Panorama del desarrollo territorial en América Latina y el Caribe. CEPAL.
- Sophocleous, M. (2004). Global and regional water availability and demand: prospects for the future. *Natural Resources Research* 13(2), 61–75.
- Sosa Ramírez J., A de J. Meráz Jiménez, V. Díaz Nuñez, A. Ponce Montoya y J.L. Galarza. (2011). La Actividad ganadera en un sistema agrosilvopastoril en región árida: el ejido la luz, Aguascalientes. México, en *La encrucijada del México rural. Contrastes regionales en un mundo desigual* Sánchez M.J. (coord): pp 277-307. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Srinivasan, V., Thomas, B. K., Jamwal, P., y Lele, S. (2013). Climate vulnerability and adaptation of water provisioning in developing countries: approaches to disciplinary and research-practice integration. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3–4), 378–383.
- Srinivasan, V., Konar, M., y Sivapalan, M. (2017). A dynamic framework for water security. *Water Security* (1), 12–20.
- Strahler, A. N. (1964). Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*: McGraw-Hill, New York, 4-39.
- Sullivan, C. A. (2002). Calculating a water poverty index. *World Development* 30(7), 1195–1210.
- Sullivan, C. A., y Meigh, J. R. (2007). Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: Addressing water problems at different scales. *Water Resources Management* 21(1), 111–128.
- Sun, F., Staddon, C., y Chen, M. (2016). Developing and applying water security metrics in China: experience and challenges. *Current Opinion in Environmental Sustainability* (21), 29–36.
- Tapia, R. P. (1999). Análisis de la gestión del agua en zonas áridas y semiáridas: una propuesta de actuación. *Revista CIDOB D'afers Internacionals*, 11–33.
- UNWater. (2013). Water security y the global water agenda. a UN-Water analytical brief. Hamilton, ON: UN University.

CAPÍTULO 4: VALORACIÓN DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

- Varady, R. G., Zuniga-Teran, A. A., Garfín, G. M., Martín, F., y Vicuña, S. (2016). Adaptive management and water security in a global context: definitions, concepts, and examples. *Current Opinion in Environmental Sustainability* (21), 70–77.
- Varis, O., Keskinen, M., y Kummu, M. (2017). Four dimensions of water security with a case of the indirect role of water in global food security. *Water Security* (1), 36–45.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., y Lammers, R. B. (2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289(5477), 284–288.
- Vörösmarty, C. J., Guenni, L. B. De, Wollheim, W. M., Bjerklie, D., Cardoso, M., Almeida, C. D., y Pellerin, B. (2013). Extreme rainfall , vulnerability and risk : a continental-scale assessment for South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A* 371(2002), 1-17.
- Warner, J., Wester, P., y Bolding, A. (2008). Going with the flow: river basins as the natural units for water management. *Water Policy* 10(2), 121–138.
- Wilder, M. (2016). Metrics: moving beyond the adaptation information gap — introduction to the special issue. *Current Opinion in Environmental Sustainability* (21), 90–95.
- WHO-UNICEF. (2010). Geneva: World Health Organization. Progress on sanitation and drinking-water-2010 update.
- World Economic Forum. (2017). The global risks report 2017: 12th Edition. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf
- Xiao, S. C., Li, J. X., Xiao, H. L., y Liu, F. M. (2008). Comprehensive assessment of water security for inland watersheds in the Hexi Corridor, Northwest China. *Environmental geology* 55(2), 369-376.
- Zeitoun, M., Lankford, B., Krueger, T., Forsyth, T., Carter, R., Hoekstra, A. Y., Richard Taylor, R., Varis, O., Cleaver, F., Boelens, R., Swatuk, L., Tickner, D., Scott, C. A., Mirumachi, N. y Matthew, N. (2016). Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges. *Global Environmental Change* (39), 143–154.
- Zimmerman J. (2016). What Are Descriptors Good For?. In: *Python Descriptors*. Apress, Berkeley, CA

CAPÍTULO 5

LA COMPLEJIDAD TERRITORIAL EN CUENCAS

HIDROGRÁFICAS

[página intencionalmente en blanco]

Resumen

Los límites administrativos no tienen correspondencia con aquellos físicos de las cuencas hidrográficas, lo que ha resultado en uno de los mayores obstáculos en la implementación de la gestión de cuencas. La complejidad del acomodo de los múltiples territorios que contiene la superficie de una cuenca dificulta de sobremanera el precisar tanto a los actores clave de los procesos de gestión de los recursos hídricos, así como la corresponsabilidad de cada uno en los mismos. De esta forma el método propuesto en este capítulo permite determinar a los actores clave de acuerdo con su nivel y tipo, así como espacializar la complejidad territorial de las cuencas mediante la valoración de su conglomeración territorial. Los resultados permiten establecer los efectos de la complejidad territorial de las cuencas de estudio sobre los procesos de gobernanza necesarios para en consecuencia mejorar el nivel de SH de sus habitantes.

Palabras clave: conglomerados territoriales, territorios, sujetos territoriales, gobernanza

5.1. INTRODUCCIÓN

En el Siglo XXI, el paradigma de la gobernanza se ha instalado en todas las aproximaciones del manejo ambiental, incluida la gestión de cuencas (FAO, 2006; Galván y Tapia, 2019). La crisis del agua se ha agudizado por el impacto de las actividades humanas y los cambios e incertidumbre derivados del cambio climático global. El futuro es altamente incierto en el acceso a los recursos hídricos en cantidad y calidad suficiente para todos, lo que demanda la urgente necesidad de conformar estructuras sociales democráticas e incluyentes, capaces de alcanzar criterios de justicia y capacidad de acción para transitar hacia el logro de la seguridad hídrica en comunidades, pueblos, ciudades y regiones completas. El mayor reto actual de la gestión de cuencas es dar estructura y legitimidad a espacios sociales que permitan una adecuada coordinación y colaboración entre actores públicos y privados, incluyendo pobladores, e instituciones gubernamentales (Perevochtikova y Arellano 2008; Guerrero de León et al., 2010; Cohen y Davidson, 2011; Cotler et al., 2013; Pacheco-Vega, 2015).

El arreglo espacial entre límites físicos y territoriales es una pieza clave para determinar el 'espacio social' vinculado a una cuenca. El espacio social es entendido como el conjunto de actores sociales que de un modo u otro tienen competencias, intereses y necesidades que se expresan en el espacio geográfico de la cuenca (Burgos y Bocco, 2015). A nivel mundial, salvo contadas excepciones como Nueva Zelanda (New Zealand, 2014), los criterios de delimitación del espacio geográfico de un Estado-Nación en sus diferentes jerarquías (Federal, Estatal y Municipal), han sido de tipo político-administrativo, con la consecuente designación de jurisdicciones y competencias. En estas delimitaciones, los límites físico-jerárquicos de una cuenca y sus subcuencas no son considerados, por lo tanto cada sujeto administrativo (dependencia de cada orden de gobierno) ejerce el control sobre su espacio territorial con grandes dificultades para establecer vínculos de colaboración con jurisdicciones territoriales del mismo o diferente nivel jerárquico, ubicadas dentro de una misma cuenca hidrográfica. En México, la falta de comprensión de la complejidad territorial junto a la verticalidad de las políticas hídricas vigentes operadas desde la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), han restringido la participación ciudadana y el logro de la gobernanza ambiental para la seguridad hídrica en cuencas hidrográficas (Pacheco-Vega y Basurto, 2008; Silva y Burgos, 2019).

Las dificultades para armonizar límites físicos y territoriales se acentúan cuando se consideran los territorios locales de carácter privado o social (comunidades) dentro de una cuenca, que operan por fuera de los territorios administrativos del Estado-Nación. Como parte de los procesos sociales que caracterizan a la especie humana, el espacio geográfico ha sido apropiado mediante procesos históricos por los sujetos sociales, quienes han establecido límites de tipo funcional o simbólico, de modo que el continuum geográfico ha quedado compartimentado de muchas maneras (Mazurek, 2006; Mançano, 2008; Elden, 2011). Así, en el mismo espacio geográfico se sobreponen territorios que se expresan a diferentes escalas y con diferentes tipos de límites. Por ello, la identificación de la complejidad territorial de una cuenca hidrográfica parece ser el punto de partida para la elaboración de mapas de actores y análisis de involucrados con una base territorial que facilite la construcción de espacios sociales. El desarrollo conceptual y metodológico de un enfoque territorial para las cuencas

hidrográficas parece aún una tarea pendiente pero clave, para avanzar hacia una gestión participativa para el logro de la seguridad hídrica.

Este capítulo plantea dos objetivos. El primero es, desarrollar y validar un marco metodológico para determinar la complejidad territorial de cuencas hidrográficas, con casos de estudio en dos cuencas rurales semiáridas de mediana extensión en el Centro Occidente de México. El segundo es relacionar la complejidad territorial con las dificultades para conducir procesos de gobernanza a nivel de cuenca hidrográfica, tendientes a sostener y alcanzar la seguridad hídrica.

5.2. MARCO CONCEPTUAL

En contraste con la aguda crisis hídrica en curso, la gestión de cuencas hidrográficas es un enfoque del manejo ambiental que ha tenido menor desarrollo y presencia política en los últimos años. Ciertamente, la complejidad biofísica y socio-política del espacio de una cuenca hidrográfica se ha incrementado con el deterioro ambiental propiciado por el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, y la contaminación, entre muchos factores. Estos factores se conjuntan con una mayor magnitud en la conflictividad de las relaciones entre sujetos arraigados en territorios que se disputan el agua como un recurso común íntimamente ligado al capricho de las relaciones espaciales. Tal nivel de complejidad requiere de marcos conceptuales y metodológicos que permitan orientar criterios políticos tendientes a la construcción de una mejor gobernanza en el espacio de la cuenca, la cual, por el momento, es la única vía para mantener e incrementar las condiciones de seguridad hídrica para el presente y el futuro.

Esta sección presenta cinco pilares conceptuales que consideramos esenciales para abordar la gestión de cuencas hidrográficas desde un enfoque territorial que contribuya a mejorar la gobernanza para la seguridad hídrica (Figura 5.1). Con estos cinco pilares se argumenta que la mejor comprensión de la complejidad territorial en cuencas hidrográficas requiere de la articulación de nociones polisémicas como la de territorio, y la creación de nuevos conceptos, como el de configuración territorial de la cuenca. Se plantea que la complejidad territorial es una propiedad emergente del espacio geográfico contenido en los límites de una cuenca, y como tal se debe recurrir a conceptos tales como las jerarquías sistémicas y las escalas.

Finalmente, se revisa la forma de conectar la complejidad territorial de una cuenca con los procesos de gobernanza para la seguridad hídrica. Los campos conceptuales aquí abordados presentan múltiples dimensiones y alta elaboración cognitiva; y no es intención de este texto agotar su desarrollo. Por el contrario, se presentan los elementos mínimos adoptados en este trabajo, para dar solidez al marco metodológico diseñado y a la interpretación de los resultados obtenidos.



Figura 5.1. Categorías conceptuales para construir un abordaje territorial en la gestión de cuencas hidrográficas que oriente la gobernanza para la seguridad hídrica. Explicación en el texto.

5.2.1 Notas mínimas sobre la noción de territorio

La noción de territorio constituye uno de los objetos de estudio más preciados y difusos de la geografía, lo que ha creado un campo de estudio cargado de polisemias e interpretaciones múltiples, que muchas veces entran en conflicto. Este texto no busca profundizar en la discusión sobre la noción de territorio, sino más bien pretende presentar definiciones de trabajo mínimas que son suficientes para conducir el análisis de lo que aquí se denomina complejidad territorial en cuencas hidrográficas; y abordar su relación con la dimensión de la gobernanza para la seguridad hídrica.

En este trabajo se entiende que el territorio es una porción delimitada del espacio geográfico que es apropiado por un grupo social, ya sea de forma material, simbólica, cultural, afectiva o política, para obtener y administrar recursos estratégicos como agua, alimento, energía, y el propio espacio geográfico, entre otros (Hoffmann y Salmerón 1997; Elden, 2010). Un territorio no es un contenedor inerte de una determinada superficie terrestre, sino un espacio valorizado desde perspectivas materiales y simbólicas, que conducen a formas específicas de ordenamiento y transformación del espacio geográfico, producto de una fabricación social (Giménez, 1998). La apropiación del espacio por el sujeto social, sea concreta o intangible, conlleva un proceso de territorialización que conduce al sujeto a un campo de poder que detona sentimientos de pertenencia e identidad ligados a la disputa y a la continuidad (Chiavassa, Ensabella y Deón, 2017; Morandi, 2017). Queda claro entonces, que el territorio no es únicamente un fenómeno centrado en el Estado, sino "una forma histórica y geográficamente específica de organización y pensamiento políticos" (Crampton, 2011).

Un componente clave de los territorios es el tipo de límite que queda establecido por los procesos socio-históricos. Estos límites pueden ser de tipo tangible (administrativo), funcional, o simbólico (Giménez, 1998; Herner, 2010; Burgos y Velázquez, 2019). Los límites tangibles (administrativos) responden a las necesidades económicas, sociales y políticas de cada sociedad de demarcar límites claros, que se reflejan en delimitaciones físicas y visibles bajo el control de un actor social. Estos límites tangibles frecuentemente responden a acuerdos explícitos y son fáciles de cartografiar (Governi y Salone, 2004). Por su parte, los territorios simbólicos no están delimitados explícitamente, sino que sus límites provienen de la memoria colectiva, y el recuerdo de los grupos sociales vinculados al espacio. Son espacios específicos donde los actores sociales (individuales o colectivos) proyectan sus concepciones del mundo, dando un significado simbólico al lugar ocupado (Herner, 2010). Finalmente, los territorios funcionales, tienen límites flexibles y difusos que se derivan de procesos sociales o económicos establecidos por flujos que crean conectividad, y cohesionan a los sujetos sociales, la infraestructura, y el espacio en actividades específicas, confiriendo entonces una identidad temporal y espacial. Tal es el caso de los territorios mineros (Machado, 2010). Estos límites son difusos y dinámicos, dado que los territorios funcionales pueden expandirse

o contraerse a velocidades relativamente rápidas, dependiendo de los flujos de materia, energía e información que circulen entre sus componentes (Raffestin y Butler, 2012).

La construcción de territorios con diferentes límites y tamaños conduce al reconocimiento de territorios de pequeña extensión, observables a escalas cartográficas grandes, que pueden referirse como territorios *locales*. Cartográficamente se representan por el orden de escala 1:50,000 o menor (Ulate, 2004), en donde la representación corresponde con extensiones de decenas de km² (Bertrand, 1972). Estos territorios se conciben como espacios de vida y de reproducción identitaria de la población local (Morandi, 2017) con límites generalmente simbólicos. Los territorios locales son concebidos como marcos determinísticos para la toma de decisiones (Fernandes, 2008). Es en este nivel de organización territorial donde los procesos de decisión y acción de los gobiernos locales tienen lugar, entre otras cosas porque a este nivel se tienen las menores unidades de derechos de propiedad (municipios, asentamientos humanos, ejidos, etc.) por lo que el territorio local resulta como el escenario para la ejecución de políticas, programas, y demás acciones en el uso de los recursos disponibles en el espacio geográfico (Larson, 2010).

Por encima de los territorios locales, se encuentran los territorios de mediana extensión (centenas de km²), que tienen representaciones cartográficas del orden del 1:250,000 (Ulate, 2004), y generalmente son clasificados como *regionales*; estos también pueden emerger de límites tangibles (administrativos); simbólicos o funcionales. Estos territorios abarcan total o parcialmente una diversidad de territorios locales a modo de contenedor jerárquico (Jauhiainen y Moilanen, 2011). De esta forma tenemos regiones agro productivas, mineras, de pesca y a la propia cuenca hidrográfica entre otros.

Finalmente, los territorios de mayor extensión dentro de los límites nacionales, son aquellos del nivel Sub-nacional, los cuales refieren al ejercido desde la centralidad de procesos, normas y acciones de políticas públicas delimitadas por la autoridad gubernamental federal con escalas cartográficas superiores al 1:250,000, en donde se representan procesos y elementos en extensiones de miles de km² (Ulate, 2004). Cabe mencionar que al igual que los anteriores también este tipo de territorios pueden ser de carácter funcional o simbólico.

Todos estos niveles territoriales pueden llegar a confluir en la superficie de una cuenca hidrográfica, de tal forma que la configuración territorial de su espacio geográfico resulta en un entramado de espacios delimitados por sujetos sociales a distintos niveles, con diferentes poderes e intereses, lo que confiere una alta complejidad a la toma de decisiones sobre el uso del recurso hídrico.

5.2.2. Jerarquías organizacionales y escalas espaciales

El desarrollo de un enfoque territorial para fortalecer la gestión de las cuencas hidrográficas requiere clarificar dos problemas conceptuales y teóricos de gran relevancia en el pensamiento científico. Uno es la noción de jerarquía, que ha sido central en el pensamiento sistémico y fue desarrollada de manera destacada en la Teoría de Jerarquías (Simon 1962; Wu 2013). El segundo, relacionado con la anterior, es la noción de escala espacial, un componente clave del pensamiento geográfico (Atkinson y Tate, 2000; Moore, 2008).

5.2.2.1. La Teoría de Jerarquías en el pensamiento sistémico

La noción de jerarquía es un constructo del pensamiento que imagina un esquema estructurado de la arquitectura de la complejidad (Wu y David, 2002). Es una noción desarrollada desde el pensamiento sistémico que concibe a la realidad mediante la delimitación de sistemas, es decir, elementos que interactúan entre sí, los cuales a su vez están constituidos por partes que también son sistemas. Fue Herbert Simon en 1962, quien operativizó esta relación entre el todo y las partes en interrelación, y le dio forma en la formulación de la teoría de jerarquías, que desde entonces ha sido una poderosa herramienta utilizada en objetos de estudio de diferentes disciplinas (O'Neill, 1989; Bulkeley, 2005). La complejidad de un sistema generalmente está relacionada con el número de componentes, y sus relaciones, y otros factores asociados con el observador. Aunque los sistemas complejos tienden a tener una gran cantidad de componentes, son las interacciones complejas entre sus componentes lo que los hace difíciles de comprender y manejar (Wu, 1999).

Según la teoría de jerarquías, los sistemas complejos (como en el caso de las cuencas) tienen tanto una estructura vertical que está compuesta de niveles, como una estructura horizontal integrada por componentes en un mismo nivel jerárquico (Simon, 1991). De tal forma que cuando se estudia un fenómeno o proceso (la SH como elemento de la gestión de cuencas, para el caso de esta investigación) se requiere incorporar las relaciones entre diferentes niveles verticales, así como entender las fuerzas que regulan esta organización en cada nivel. La forma de llevarlo a cabo es integrando el concepto de escala espacial y la teoría de jerarquías (García y Zarco, 2002).

En las cuencas hidrográficas como espacio social, los niveles de organización corresponden con los distintos procesos de poder y apropiación que se ejercen en un determinado territorio, de tal forma que se vinculan todos aquellos actores sociales que tienen incidencia directa de poder y control de tipo vertical (Rincón, 2012). En este sentido el enfoque territorial que se propone en esta investigación asume que los niveles de organización se establecen entre territorios locales, regionales, sub-nacionales, de manera similar a los niveles empleados en los ordenamientos ecológicos territoriales (DOF, 2003).

5.2.2.2. La escala en el pensamiento geográfico

Adicional a lo anterior, la teoría de jerarquías remite a la noción de escala espacial, un tema clave y polémico en el pensamiento geográfico (Atkinson y Tate, 2000; Moore, 2008). Sin entrar en una profundización que excede los alcances de este trabajo, la escala puede ser definida como la extensión espacial, temporal, o analítica usada para medir y estudiar cualquier fenómeno (Gibson, Ostrom y Ahn, 2000). La escala representa un conjunto de relaciones espaciales y temporales entre elementos organizados en diferentes tipos de relaciones jerárquicas, los cuales son observados a través de una extensión y una resolución específicas. Así entendido, la escala es un instrumento epistemológico para identificar, observar e interpretar las propiedades emergentes de los fenómenos a estudiar (Ruíz y Galicia, 2016); entendiendo propiedad emergente como aquel proceso que va más allá de la suma de sus partes, y cuyos atributos no son medibles a través de los elementos por separado o en un mismo nivel.

Dada la complejidad cognitiva que subyace a la noción de escala, los estudiosos del tema convienen en separar conceptualmente la consideración de la escala como gran categoría del pensamiento geográfico, de la escala como concepto práctico, de la escala como proceso social, y de la escala cartográfica (Bulkeley, 2005; Moore, 2008).

La escala como *categoría conceptual* es una forma de construir objetos de estudio geográficos, es decir, elegir el nivel de agregación y simplificación, así como sus límites. Así entendida, la escala es un artefacto conceptual que trasciende la mera ubicación y extensión de un fenómeno como el elemento definitorio de su condición geográfica; sino por el contrario, la escala es el medio para visibilizar las relaciones espaciales, sociales y biofísicas que lo constituyen (Ruíz y Galicia, 2016). Por su parte, la escala como *concepto práctico* es definida como un atributo de la observación científica del objeto de interés para facilitar su aprehensión y comprensión; es una delimitación, siempre subjetiva, que recorta el dominio en el que operan los procesos relevantes para un observador (Johnston et al., 1994). La escala como *proceso social* se debe entender como el nivel de representación al cual se expresan los procesos que dan forma y constituyen prácticas sociales en diferentes niveles de análisis (Marston, 2000; Bulkeley, 2005). Finalmente, la escala como forma de *representación cartográfica*, es la condición gráfica que corresponde a un nivel de resolución, es decir la relación entre la distancia en un mapa y la distancia correspondiente "en el suelo" (Galvis, 2006). La escala cartográfica utilizada pone límites a la representación de elementos espaciales, los cuales quedan establecidos en función del nivel de resolución espacial de la información empleada.

La cuenca hidrográfica es una noción que está indisolublemente ligada a la comprensión de las jerarquías, i.e. sistemas que están anidados en sistemas; y a la identificación de escalas espaciales; i.e. representación de procesos en el espacio geográfico. De hecho, la definición de una cuenca requiere reconocer explícitamente, en qué nivel jerárquico está delimitada, lo cual generalmente queda establecido por el orden de corriente de Stralher de la desembocadura; y cuál es la escala espacial a la cual sus componentes y procesos serán abordados. Resta entonces articular conceptualmente, el reconocimiento de los múltiples

territorios presentes en los límites de una cuenca, y su expresión en niveles jerárquicos y escalas espaciales.

5.2.3. Complejidad, configuración, y conglomerados territoriales en cuencas hidrográficas

Una aproximación estructurada a la noción de territorio, junto con la teoría de jerarquías y la categoría de escala espacial son recursos cognitivos indispensable para reconocer la *complejidad territorial*, definida aquí como una propiedad emergente de una porción del continuum geográfico, que se revela de la visión conjunta de las interacciones entre territorios entrelazados en relaciones a múltiples niveles jerárquicos y escalas espaciales. De manera más simple que el análisis territorial clásico en geografía este trabajo emplea una aproximación cercana al análisis espacial, con una perspectiva más cuantitativa para formular la configuración que da origen a la complejidad territorial de cada cuenca. Esta complejidad territorial es aprehensible mediante lo que Burgos y Velázquez (2019) denominaron *configuración territorial del espacio geográfico*, definido como el arreglo de territorios tangibles (administrativos), funcionales y simbólicos (culturales) que se ubican en diferentes niveles jerárquicos, y se expresan a diferentes escalas, que coexisten y se solapan en un determinado espacio geográfico, sea este una cuenca, un área natural protegida o cualquier otra unidad espacial definida por un observador externo. La configuración territorial determina el nivel de complejidad organizacional y espacial implicada en una porción del continuum geográfico. El modo de operativizar la configuración territorial que explica la complejidad territorial, es a través de la identificación y análisis de *conglomerados territoriales*, que son unidades espaciales (polígonos) que contienen una cantidad determinada de territorios superpuestos.

5.2.4. El espacio social en el espacio físico

Mucho se ha escrito sobre la cuenca hidrográfica como un espacio físico delimitado por los puntos más altos del relieve, y de acuerdo con su funcionalidad hidrológica, es decir, haciendo centro en el movimiento del agua de escurrimiento superficial fluyendo hacia un punto común o desembocadura. Es por lo anterior que las cuencas hidrográficas son

consideradas como la unidad geográfica en donde la planeación y la gestión del agua deben tener su mayor expresión (Keirle y Hayes, 2007; Falkenmark y Rockström, 2010; Vörösmarty et al., 2010). Aunado a esto, recientemente se ha destacado la importancia de considerar a la cuenca como la entidad espacial adecuada para articular múltiples visiones y atender las necesidades en torno al agua de múltiples actores, mediante procesos participativos que puedan evolucionar hacia una condición de gobernanza (FAO, 2006; Burgos, Bocco y Sosa, 2014; Koontz y Newig, 2014). A pesar de tener clara la necesidad de evolución conceptual en el enfoque de cuenca hidrográfica, el espacio social de la cuenca ha sido poco relacionado con su configuración territorial. Cuando el agua atraviesa un determinado conglomerado territorial, los atributos hidrológicos de cantidad, calidad, ubicación y tiempo en su disponibilidad, están influenciados no solamente por la vegetación, el uso del suelo, y la presencia de sustancias contaminantes, sino también por procesos de apropiación y disputa que subyacen a la presencia de múltiples territorios (Brauman et al., 2007; Calder, 2012). Es decir, el agua en movimiento está directamente influenciada por las necesidades de los distintos actores del conglomerado territorial involucrados en su uso. Esto supone que el uso de agua en un conglomerado territorial genera disputas internas, así como externalidades para otros conglomerados territoriales ubicados aguas abajo, las cuales pueden agravarse al no haber arreglos institucionales para clarificar los derechos y responsabilidades (Meinzen Dick, 2007). En tal sentido, Tortajada (2010) y muchos otros estudiosos han señalado que la actual crisis del agua es esencialmente una crisis de gobernabilidad, en donde las sociedades se enfrentan a una serie de desafíos sociales, económicos y políticos sobre la manera de gobernar el agua más eficientemente.

La construcción de modelos de buena gobernanza para la gestión de los recursos hídricos, i.e. la gobernanza del agua, es actualmente un tema de mayor interés, y es esencial para concebir a la cuenca hidrográfica como espacio social. Así entendida, la cuenca abarca también el conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que coexisten dentro de sus límites para desarrollar y gestionar los recursos hídricos y la prestación de servicios de agua, a diferentes niveles de la sociedad (Undesa, 2003). Comprende los mecanismos, procesos e instituciones a través de los cuales todos los actores involucrados, incluyendo a los ciudadanos y grupos de interés, articulan sus prioridades,

ejercen sus derechos legales, cumplen sus obligaciones y median sus diferencias. En este marco, se entiende actor social como “todo individuo, organización o grupo con recursos de poder suficientes para incidir en el funcionamiento de las reglas o procedimientos de toma de decisiones y de soluciones de problemas comunes” (Portilla Rodríguez, 2003). Por lo anterior resulta esencial el análisis de actores sociales involucrados en la gestión del agua de una cuenca hidrográfica, considerando su pertenencia a territorios específicos, con la finalidad de analizar desde una perspectiva territorial los intereses, competencias y relaciones de poder implicadas en las decisiones que toman para la apropiación y uso de los recursos hídricos (Naiman, 1996; Daily, 1997; Meza, 2010).

5.2.5. Seguridad hídrica, complejidad territorial y gobernanza en cuencas hidrográficas

La SH es una condición multidimensional que establece el grado de satisfacción en la cantidad y calidad de agua para la población, las actividades productivas y la vida silvestre, así como la capacidad para gestionar el riesgo hídrico (Grey y Sadoff, 2007; Mason y Calow, 2012; UNWATER, 2013). Es una condición que se presenta de forma heterogénea en el espacio y en el tiempo (Salvatore et al., 2019), pero que conlleva relaciones espaciales y externalidades interdependientes. Las necesidades de agua por parte de los habitantes, así como sus capacidades para prevenir, enfrentar y mitigar eventos hidrometeorológicos extremos, son dependientes de cada sociedad y lugar; es decir ni las necesidades ni las capacidades para tener una mayor oferta hídrica se distribuyen espacialmente de forma homogénea al interior de un mismo territorio, mucho menos a escala de una cuenca, región o país (Bakker, 2012).

La condición de SH es un atributo que puede ser valorado a nivel de la cuenca hidrográfica, y de los territorios específicos que la constituyen. En cualquier caso, se debe considerar el conjunto de factores biofísicos y sociales entramados en el espacio geográfico. Su valoración conlleva obligatoriamente al análisis de la capacidad física para el abasto de agua para todos sus miembros y necesidades, y de los medios para gestionar el riesgo hídrico ante sequías y lluvias torrenciales (ver Capítulo 4). Pero además, la SH es dependiente del nivel de gobernanza. La gobernanza representa una nueva forma de gobernar más cooperativa, en la

que las instituciones públicas o no públicas, los actores públicos y privados, participan y cooperan en la formulación y aplicación de las políticas públicas (Dourojeanni, 2009). La gobernanza supone un cambio en las maneras tradicionales de proceder por parte de los poderes públicos. La asignación imperativa, la dirección jerárquica y el control de los procesos políticos están siendo sustituidos por nuevas formas de regulación basadas en la negociación y la coordinación, mediante los cuales los responsables públicos tratan de movilizar recursos políticos dispersos entre actores públicos y privados. De esta forma, la mejor comprensión de la configuración territorial de una cuenca hidrográfica, es un elemento clave para una mejor gobernanza hacia la seguridad hídrica (Guerrero de León et al., 2010).

5.3. CUENCAS DE ESTUDIO

En este trabajo se presentan dos estudios de caso en cuencas semiáridas del Centro Occidente de México cuyo nivel de Seguridad Hídrica fue valorado en el Capítulo IV de esta tesis, por lo que las cuencas de estudio se introducen de manera sucinta.

El estudio se desarrolló en dos cuencas hidrográficas, ubicadas en los Estados de Aguascalientes y Michoacán. La cuenca Arroyo Juan El Grande en Aguascalientes tiene una superficie de 343 km², y se ubica en la Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago, dentro de la Cuenca Río Verde, en la Subcuenca Río Encarnación. Por su parte la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo en Michoacán tiene una superficie de 460 km² y se ubica dentro de la Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas, en la Cuenca del Río Balsas, dentro de la Subcuenca Embalse Infiernillo Bajo Balsas (Figura 5.2). Ambas cuencas se tipifican como rurales debido a la predominancia de actividades productivas primarias (agricultura y ganadería), la escasa presencia de asentamientos urbanos, la extendida distribución de la población, y una baja densidad de población (Salvatore et al., 2019).

Las cuencas difieren notablemente en su condición actual de seguridad. La cuenca Arroyo Juan El Grande muestra un nivel sub óptimo de SH que puede transitar a una condición de insuficiencia si no se atienden los focos rojos identificados. Asimismo, en esta cuenca se ha reportado desde hace dos décadas, un proceso de abandono de la vida rural (Sosa Ramírez,

1998). Por su parte la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo muestra un nivel muy bajo de SH y una marcada precariedad para asegurar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada para la población y las actividades productivas (Burgos et al., 2017); así como una baja capacidad instalada para sobrellevar el riesgo hídrico, por lo que está fuertemente comprometido su desarrollo sostenible.

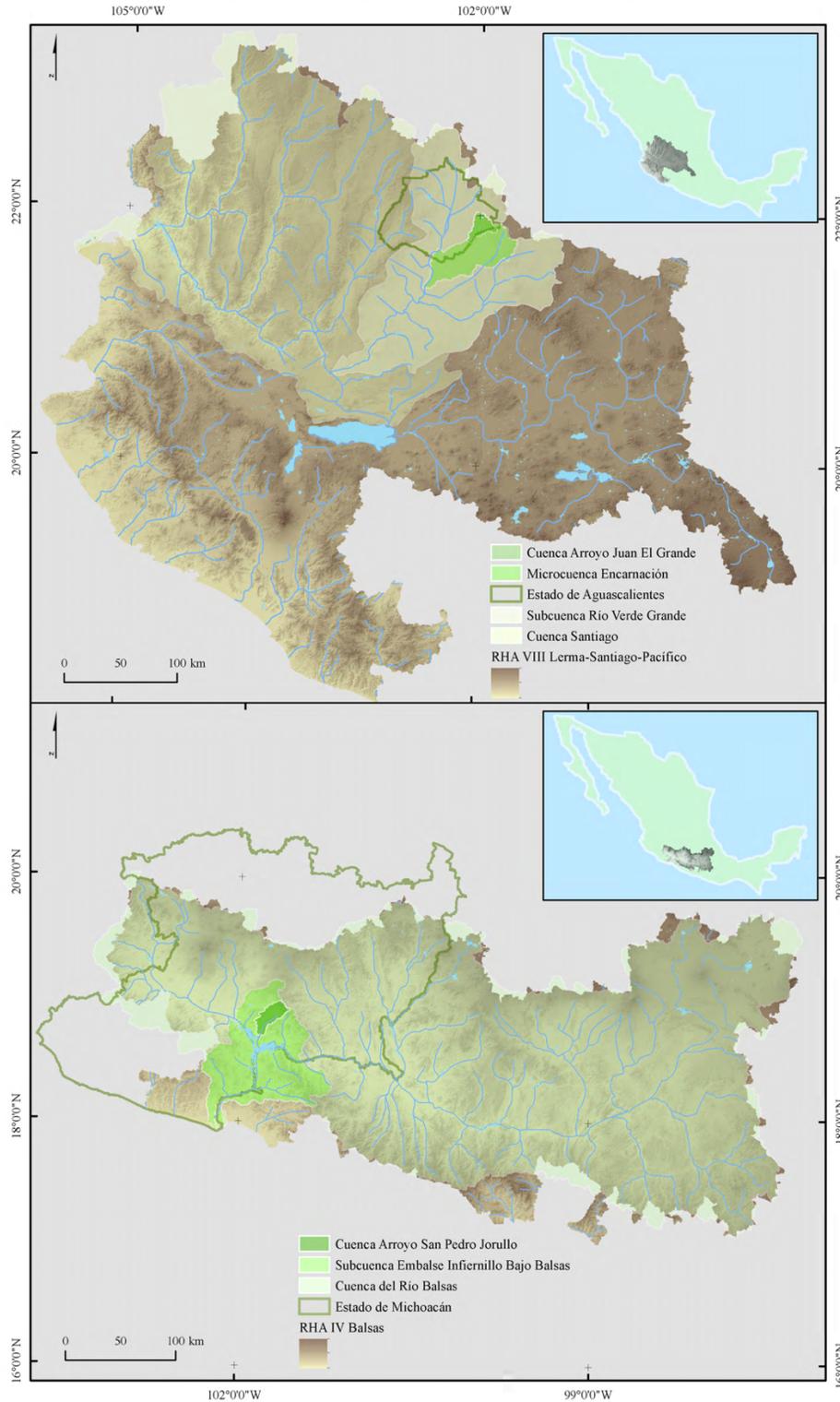


Figura 5.2. Ubicación de las cuencas de estudio de acuerdo con límites hidrográficos y administrativos. Arriba: cuenca Arroyo Juan El Grande en Aguascalientes, dentro de la Región Hidrológico-Administrativa V Lerma-Chapala-Santiago. Abajo: cuenca Arroyo San Pedro Jorullo en Michoacán, dentro del marco hidrográfico de la Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas. Fuente: Elaboración propia

Para realizar una apreciación multi-nivel, la determinación de la configuración territorial se realizó a nivel de cuenca y de subcuencas (Figura 5.3).

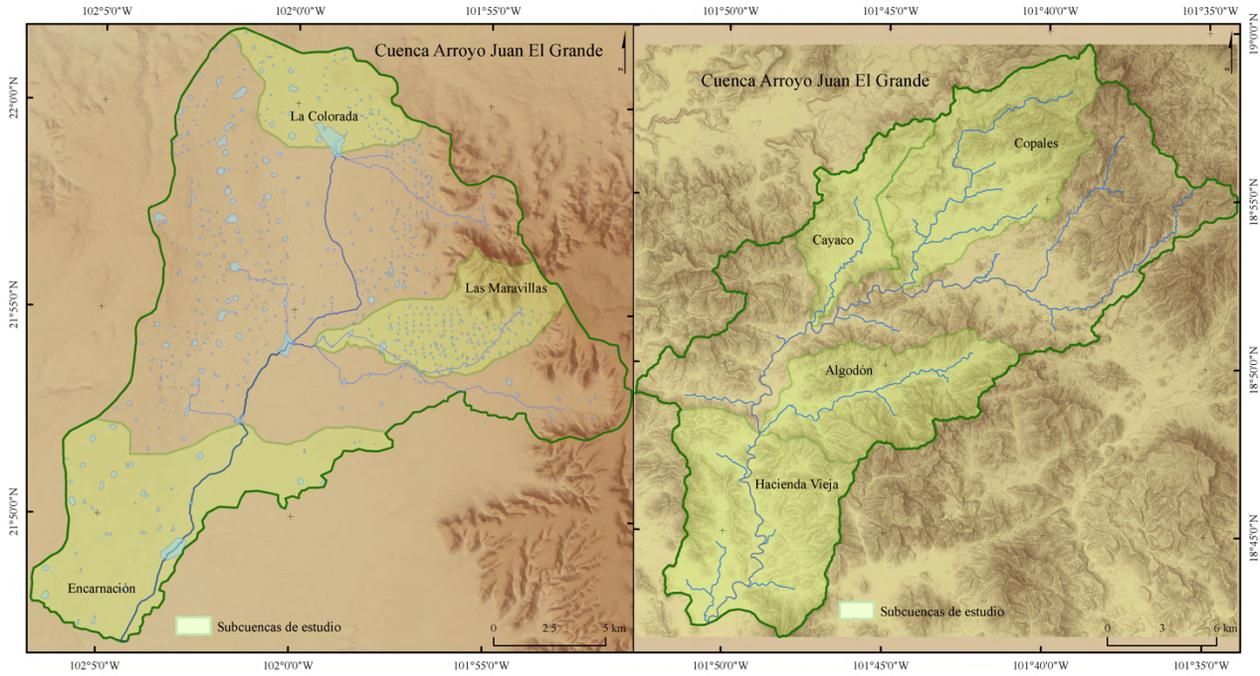


Figura 5.3. Delimitación de subcuencas seleccionadas en las cuencas de estudio. Subcuencas en la cuenca A. Juan El Grande en Aguascalientes (izquierda), y subcuencas en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo en Michoacán (derecha). Fuente: Elaboración propia

5.4. MARCO METODOLÓGICO

Partiendo de las premisas conceptuales antes presentadas, se diseñó un marco metodológico integrado por tres componentes analíticos (Figura 5.4): 1) la determinación de la configuración territorial de las cuencas de interés, con dos sub-componentes que abarcan la tipificación de los territorios presentes en la cuenca y el análisis espacial de los conglomerados territoriales detectados, 2) la identificación de los sujetos territoriales; y 3) el análisis de los procesos emergentes de gobernanza para la seguridad hídrica.

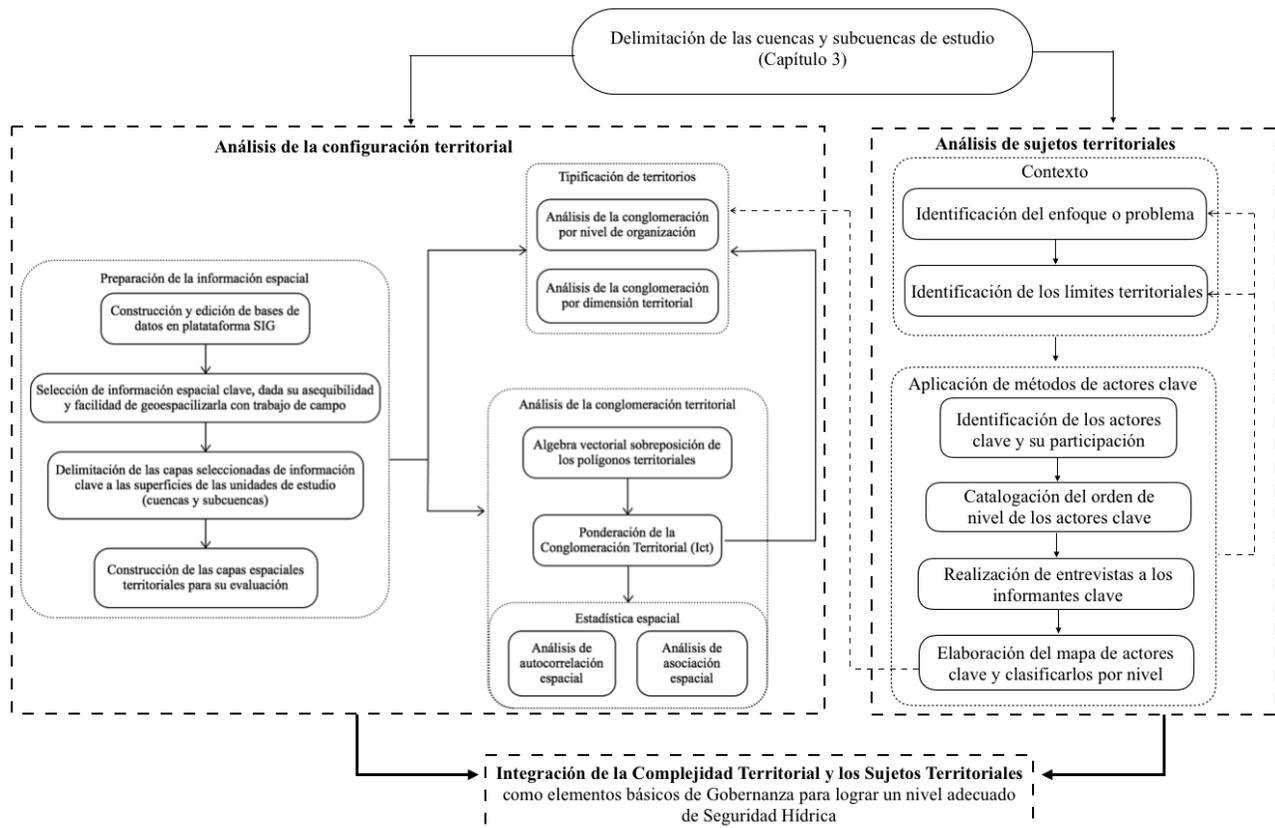


Figura 5.4. Marco metodológico para determinar la complejidad territorial mediante tres componentes analíticos (cuadros con líneas discontinuas), cuyos componentes analíticos (cuadros con líneas continuas) sirven de insumos dentro de un mismo procesos (flechas con líneas continuas), o para otros procesos externos (flecha con línea discontinua); para finalmente integrarse en la evaluación general de la complejidad territorial (flechas gruesas).

5.4.1. Determinación de la configuración territorial

Este componente se desarrolló mediante el procesamiento de capas de datos espaciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG), operado en el ambiente del paquete ArcGis V.10.5. Se emplearon los límites hidrográficos de cada cuenca y subcuencas de interés y se realizaron recortes de capas básicas de datos espaciales como curvas de nivel, patrón de drenaje y vías terrestres. Los procedimientos para cada sub-componente se explica a continuación.

5.4.2. Tipificación de territorios y sus niveles de organización

Para tipificar los territorios presentes en las cuencas, se recabaron bases de datos espaciales de potencial utilidad para establecer o inferir la presencia de entidades territoriales con límites de tipo tangible-administrativo, funcional y simbólico, a escalas sub nacionales, regionales y locales (Cuadro 5.2). Para poder empatar los datos, las capas de información espacial se cortaron mediante una operación de algebra de vectores (Peña et al., 2016). Algunas capas de información local (norias, manantiales, identidades productivas, entre otras) fueron digitalizadas a partir de datos obtenidos de fuentes directas. El proyecto geográfico final incluyó 22 capas correspondientes a igual número de entidades territoriales con límites administrativos, simbólicos o funcionales a nivel local, regional y subnacional, con potencial significado territorial en la gestión de una cuenca.

Las entidades territoriales del tipo *tangible-administrativo* corresponden a territorios reconocidos por el Estado-Nación de los Estados Unidos Mexicanos, y las capas de datos fueron obtenidas de fuentes oficiales de gobierno. De las ocho capas utilizadas, siete tienen una representación vectorial de área (polígonos), y solo una (asentamientos urbanos y rurales) tiene una representación vectorial de puntos.

Cuadro 5.1. Relación de capas de información espacial que delimitan territorios tangible-administrativos, funcionales y simbólicos.

Tipo de Limite	Tipo de Entidad Territorial	Fuente y año	Nivel organizacional	Escala geográfica	
Tangibles-administrativos	Tenencias municipales	(Gobiernos estatales, 2018)	Local	1:20,000	
	Propiedad privada	(Gobiernos estatales, 2011)		1:20,000	
	Asentamientos urbanos y rurales	(INEGI, 2015)		1:20,000	
	ANP Municipal	(CONANP, 2017)	Regional	1:50,000	
	Municipios de México	(Geoestadístico, INEGI, 2018)		1:250,000	
	ANP Estatal	(CONANP, 2017)		1:250,000	
	Estados	(Geoestadístico, INEGI, 2018)	Sub nacional	1:250,000	
	ANP Federal	(CONANP, 2017)		1:250,000	
Funcionales	Uso del suelo (agricultura temporal, riego y ganadería)	(Serie 6, INEGI, 2016)	Regional	1:250,000	
	Vegetación natural	(Serie 6, INEGI, 2016)		1:250,000	
	Minería	(Secretaría de Energía, 2018)		1:250,000	
	Zonas con actividad forestal maderable y no maderable	(CONAFOR, 2014)	Sub nacional	1:250,000	
	Área de Importancia para la Conservación de Aves	(CONABIO, 2015)		1:250,000	
	Área por pagos por servicios ambientales	(CONAFOR, 2014)		1:250,000	
	Regiones Terrestres Prioritarias	(CONABIO, 2004)		1:1,000,000	
Simbólicos	Manantiales, norias y pozos profundos	(CNA, 2010)	Local	1:50,000	
	Cuerpos de agua	(SIATL, INEGI, 2014)		1:50,000	
	Riberas	(SIATL, INEGI, 2014)		1:50,000	
	Ejidos	(RAN, 2015)		1:50,000	
	Etnias o grupos indígenas	(IMPI, 2017)	Regional	1:50,000	
	Regiones culturales	Elaboración propia (2014)		1:20,000	
	Identidades productivas en la cuenca	Kieffer y Burgos (2015)		Regional	1:250,000
		Elaboración propia (2016)			

En el caso de las entidades territoriales de tipo *funcional*, todas ellas corresponden a vectores con área (polígonos), también recabadas de fuentes oficiales de gobierno. La entidad territorial denominada “zonas con actividad forestal maderable y no maderable” refiere a las superficies establecidas por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) que presentan cubierta vegetal de tipo boscosa donde se realizan actividades económicas extractivas, autorizadas por esa dependencia. Las entidades territoriales funcionales derivadas de las “áreas de Pago por Servicios Ambientales (PSA)” son aquellas zonas reconocidas por la CONAFOR, susceptibles de recibir apoyos económicos por preservar vegetación primaria en buen estado.

Finalmente, los territorios simbólicos presentan mayor dificultad para ser cartografiados, dado que constituyen la representación espacial de elementos intangibles tales como las

identidades productivas, etnias y grupos culturales; ello agrega un mayor grado de subjetividad a nivel cartográfico. Las capas de datos utilizados fueron de área (polígonos), con excepción de los manantiales y pozos profundos, cuyos vectores son de tipo punto; y las riberas de cuerpos de agua, que son líneas. La entidad territorial de “Ejidos” fue considerada un territorio con límites simbólicos, ya que a pesar de existir un registro nacional de la propiedad agraria, estos límites no obedecen específicamente a un orden tangible o administrativo, sino por el contrario, derivan de usos, costumbres y pactos territoriales no escritos que aún están vigentes entre la población rural, tanto mestiza como indígena. Los elementos espaciales vinculados a los recursos hídricos merecen especial atención para este trabajo, y son considerados territorios simbólicos. En cuanto a las riberas, la legislación las considera de competencia federal, pero la apropiación, uso y disputa ocurre a nivel local, por eso se consideran territorios locales simbólicos, al igual que las demás fuentes de agua.

5.4.3. Identificación de conglomerados territoriales y análisis espacial

De las 22 capas de entidades territorial, 19 corresponden a polígonos, dos a puntos, - la capa de localidades y la de fuentes de agua -pozos, norias y manantiales-; y una capa a líneas, la de riberas. Para homogeneizar estos elementos a polígonos, a cada elemento punto y línea se le creó un área *buffer* de 10 metros, de tal forma que pudieran adherirse a las demás capas de polígonos sin crear conflictos topológicos en el ambiente del SIG (Lee, Kang y Jeon, 2012). En el caso de la capa de áreas ribereñas, la distancia de 10 m corresponde a la delimitación de área federal en las riberas de todo el país (CONAGUA, 2009).

Una vez montadas las capas de datos espaciales en el SIG, a cada una se le agregó un campo numérico denominado “atributo territorial”, para incluir un valor de ponderación de cada territorio. En este estudio, se adoptó el criterio de que todos los territorios tienen el mismo peso relativo, por lo que a todos ellos se les agregó un valor de 1, independientemente de su nivel jerárquico y tipo de límite. El segundo paso fue la superposición mediante la unión vectorial de las distintas capas de territorios, con la herramienta *union, analysis tools*. Con ello, se obtuvo una capa resultante de polígonos denominados, cada uno correspondiente a un conglomerado territorial (CT). El tercer paso fue la suma lineal vectorial, empleando el valor numérico del atributo territorial el cual era igual para todas las capas (1). Con ello, para

cada conglomerado territorial se obtuvo una nueva variable denominada Indicador de conglomeración territorial (Ict) con un rango posible de valores numéricos enteros entre 2 y n. La complejidad territorial de la cuenca en su conjunto se describió mediante el número total y relativo de polígonos con diferente Ict, y con la distribución espacial de los conglomerados sobre la superficie de la cuenca.

El análisis de la distribución espacial de los CTs se orientó con las siguientes preguntas: a) ¿los valores del Ict en las cuencas de estudio presentan una distribución espacial aleatoria? y, b) ¿en qué sectores las cuencas presentan mayor complejidad territorial, es decir, una mayor cantidad de CTs con valores altos de Ict?

Para detectar la aleatoriedad de la distribución espacial de los CTs (pregunta 1), se aplicó el análisis geo estadístico del índice de Moran (I_M), que mide la auto correlación espacial de atributos (Getis y Ord, 1992). Esta herramienta calcula el valor medio y la varianza del atributo que estamos evaluando, e.g. Ict, y deduce si el patrón de distribución que presentan los datos es agrupado, disperso o aleatorio, midiendo la auto correlación espacial basada en las ubicaciones y los valores de las entidades simultáneamente (López y Palacios, 2000). Como indicadores estadísticos, se obtiene un valor de z (que se refiere a las desviaciones estándar), cuya magnitud indica la probabilidad de que el patrón espacial observado sea el resultado de la opción aleatoria. El valor de z es acompañado de un valor de p (valor crítico de z, 1.65); cuando el valor p es muy pequeño, significa que es muy poco probable que el patrón espacial observado sea el resultado de procesos aleatorios, por lo tanto, se puede rechazar la hipótesis nula. Por su parte, un valor de I_M mayor que 0 indicará una tendencia de los valores hacia la agregación (clustering); por el contrario, un valor menor que 0 indicará una tendencia de la variable analizada (Ict) hacia la dispersión. Así, si los valores tienden a agruparse espacialmente (es decir, los valores altos se agrupan cerca de otros valores altos o los valores bajos se agrupan cerca de otros valores bajos), el I_M será positivo; por el contrario, si los valores se dispersan (valores altos tienden a estar cerca de valores bajos), el índice será negativo. La prueba estadística se aplica bajo la hipótesis nula de que la distribución espacial de los valores es aleatoria. Esto implica que, siempre que los valores z y p obtenidos revelen

que podemos rechazar la hipótesis nula, los procesos espaciales que promueven el patrón de valores observados no se dan de una manera aleatoria (Ramírez y Falcón, 2015).

Para ubicar la porción de la cuenca con mayor complejidad territorial (pregunta 2) se aplicó el análisis de asociación espacial del índice de Anselin, I_A , (Anselin, 1995). Esta herramienta identifica grupos o clusters de entidades espaciales. A diferencia del índice anterior, el cual expresa una propiedad de toda la cuenca, el I_A calcula un valor local, expresado mediante una puntuación z y un valor asociado de p ; y un código que representa el tipo de clúster para cada entidad estadísticamente significativa. Las puntuaciones z y los valores p son medidas de significancia estadística que indican si se rechazará la hipótesis nula, entidad por entidad. El I_A espacializa el análisis de distribución aleatoria, e indica si la aparente similitud (un grupo espacial de valores altos o bajos) o la falta de similitud (un valor atípico espacial) es más marcada de lo que se espera en una distribución aleatoria. A diferencia del I_M que únicamente da un resultado numérico, el I_A permite expresar los resultados en un mapa. Así, para cada cuenca de estudio se ilustraron los CT con los valores altos de I_{ct} rodeados por otros CT con valores altos; igualmente, se ubicaron CT con valores bajos, rodeados por otros con valores bajos; y CT con valores del I_A sin significancia estadística (Ramírez y Falcón, 2015).

5.4.4. Análisis de los sujetos territoriales

El análisis de la complejidad territorial de las cuencas de estudio, se complementó con la identificación de los sujetos territoriales que tienen presencia en la apropiación y gestión de los recursos hídricos. Para ello, primero se condujeron entrevistas a profundidad a informantes clave (14 en cada cuenca), basadas en preguntas generales sobre el papel de las dependencias gubernamentales, y de las relaciones sociales de los actores locales en torno a las decisiones sobre los recursos hídricos. Con la información recabada se confeccionó un mapa de los actores clave que tienen injerencia en las cuencas, caracterizando a cada uno por el nivel de organización institucional en el cual operan (Cárdenas, Suárez y Valdés, 2010). El mapa de actores clave se utilizó para elaborar una Matriz de Relaciones Inter actorales (MARI), que es un recurso propuesto por Reed et al. (2009) para ponderar el tipo de relaciones que existen entre los diferentes actores identificados. Se utilizó un Valor de

Relación (VR) que varía entre 1 y 3, y refleja la intensidad de las relaciones positivas (neutras o de colaboración) entre los diferentes actores que tienen injerencia potencial en la cuenca (Cuadro 5.3). El VR señala de manera indirecta, la influencia que cada actor social tiene para conducir acciones potenciales en la cuenca. La MARI es una matriz cuadrada de valores direccionales, es decir los valores de las relaciones entre los actores no son simétricos. Esto incorpora la asimetría en el sentido de la relación entre actores clave; y pone de manifiesto las jerarquías implícitas. El valor de la diagonal principal se refiere a la fortaleza de las relaciones internas de colaboración en el seno de cada actor, de modo que a fin de valorar las relaciones inter actorales se le asignó un valor de 0.

Cuadro 5.2. Valor de relación (VR) entre actores clave.

VR	Descripción
1	Vínculos débiles o informales
2	Vínculos moderados, flujo de información generalmente unidireccional
3	Vínculos estrechos relacionados con intercambio de información, frecuencia de contactos y coincidencia de intereses

Una vez construida la MARI, los valores de los vectores fila fueron sumados para obtener un valor total denominado Valor de Influencia Relativa (VIR), que indica el peso o influencia potencial relativa que dicho actor puede tener dentro de la constelación de actores considerados en el análisis (Biggs y Matsuert, 1999); el valor de la suma de los vectores por columna no fue empleado ya que este representa la influencia potencial de la constelación de actores sobre el actor x , lo que sugiere el grado de sumisión de dicho actor frente a los demás. Para consensar los VR asignados a las relaciones entre actores, la matriz resultante fue sometida al criterio de algunos informantes clave y especialistas en las relaciones entre los actores sociales en cada cuenca de estudio.

La MARI puede ser interpretada como el peso de cada actor socialmente reconocido en un momento determinado, en términos de su influencia para construir y desarrollar el espacio social de la cuenca para el logro de la seguridad hídrica. Asimismo, el arreglo de los valores de la MARI muestra qué actores están más vinculados, y si se conforman grupos de actores debido a sus relaciones de colaboración.

5.4.5. Identificación de limitaciones y retos en la gobernanza para la seguridad hídrica a nivel de cuenca

Los resultados del análisis de la configuración territorial y de las relaciones de los sujetos territorial fueron analizados conjuntamente para detectar las limitaciones y los retos por alcanzar condiciones de buena gobernanza hacia la seguridad hídrica bajo las características de la complejidad territorial de las cuencas de estudio (Figura 5.3). Para esto, se crearon cuadros de diagnóstico en donde se evaluaron las características más importantes de la configuración y los sujetos territoriales que incidían sobre los efectos en la gobernanza para la SH existentes por cada nivel de organización territorial e hidrográfico en cada cuenca de estudio. Cabe señalar que esta síntesis utilizó como insumo la narrativa ambiental de la condición de seguridad hídrica de cada cuenca, derivada del Capítulo IV de esta tesis y publicada en Salvatore et al. (2019).

Por último, se elaboró un diagrama de bucles causales para expresar de manera dinámica como operan los componentes analizados para el logro de la seguridad hídrica en una cuenca completa. Desde el punto de vista del pensamiento crítico y el pensamiento sistémico, el diagrama de bucles causal proporciona una forma de pasar de una comprensión conceptual de un sistema o proceso a la implementación (es decir, del pensamiento a la acción) y del pensamiento lineal al pensamiento sistémico (Cavana y Mares, 2004).

Esta herramienta de la dinámica de sistemas proporciona un marco metodológico para integrar los aspectos físicos y sociales, y a su vez para proporcionar una interfaz interactiva que involucre a los tomadores de decisiones; esto bajo la premisa de que la estructura de un sistema, la red de relaciones de causa y efecto entre los elementos del sistema gobierna el comportamiento del sistema (Sterman, 2001).

De esta forma la dinámica general del sistema depende de qué bucles de retroalimentación sean dominantes. Los bucles positivos tienden a reforzar o amplificar lo que esté sucediendo en el sistema; los bucles negativos contrarrestan y se oponen al cambio. Según los principios de la dinámica de sistemas, un bucle con número par de conectores negativo tiene un comportamiento que tiende a salir del equilibrio, conocido como efecto avalancha, ya sea en un crecimiento virtuoso o en el sentido opuesto (vicioso). Cuando un bucle tiene un número impar de conectores negativos, la dinámica a largo plazo tiende al equilibrio.

Se empleó el siguiente procedimiento (Tidwell et al., 2004; Richardson, 2011) para crear el diagrama de bucles causales de las variables de la gestión de cuencas vitales para incidir de forma positiva en el nivel de SH:

1) se transformaron los conceptos en variables operativas que pudieran ser medidas y monitoreadas; 2) se establecieron los enlaces entre las variables relacionadas; 3) se determinó la dirección (polaridad) en cada enlace y 4) se identificó el tipo de bucle del sistema así como la rama o ruta en la que se le puede incidir.

5.5. RESULTADOS

Los resultados son presentados en tres apartados. Primero se presenta la tipificación de los territorios de cada cuenca a distintos niveles de organización y el análisis espacial de la configuración territorial, que incluye su expresión cartográfica a nivel de cuenca y de subcuencas. En el segundo apartado, se presentan los resultados del análisis de los sujetos territoriales. Finalmente, se presenta la síntesis de las dos primeras partes, en términos de la condición de gobernanza para la seguridad hídrica, y se propone un modelo de bucles causales que establece las relaciones dinámicas entre los componentes analizados.

5.5.1. Configuración territorial de las cuencas de estudio

5.5.1.1. Tipos de territorios y sus niveles de organización

En ambas cuencas de estudio se registró la presencia de entidades territoriales con límites tangibles, simbólicos y funcionales, con expresión en los niveles de organización local, regional y sub nacional. De las 22 capas territoriales inicialmente consideradas, la cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes) tuvo presencia de 16 entidades territoriales, mientras que la cuenca A. San Pedro Jorullo (Michoacán) tuvo 17 (Cuadro 5.4). La cuenca A. Juan El Grande es parte de dos entidades territoriales de nivel sub-nacional, que abarcan la delimitación de los estados (límites tangibles), y de áreas de Pago por Servicios Ambientales (límites funcionales). Por su parte, la cuenca A. San Pedro Jorullo abarca cinco territorios sub nacionales, cuatro de los cuales son de tipo funcional vinculados a la protección ambiental y a la biodiversidad, lo que indica el mayor valor de conservación ecológica de esta cuenca. Ambas cuencas tuvieron una alta presencia de entidades

territoriales de nivel estatal. Finalmente, la cuenca A. Juan El Grande tuvo representación de siete entidades territoriales a nivel local, mientras que la cuenca A. San Pedro Jorullo, solo contó con cinco (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.3. Entidades territoriales que están presentes en las cuencas de estudio clasificadas por sus tipos de límite: tangible administrativo (TA); funcional (F); simbólico (S).

Nivel organizacional	Tipo de entidad territorial	Tipo de límite territorial	Cuenca Arroyo Juan El Grande (34,280 km ²)		Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (45,970 km ²)		
			Nombre de la entidad territorial	Superficie de la cuenca (%)	Nombre de la entidad territorial	Superficie de la cuenca (%)	
Sub nacional	Área Natural Protegida	TA	--	--	Reserva de la Biósfera Zicuirán-Infiernillo	54.2	
	Superficies Estatales		Aguascalientes	84.6	Michoacán	100	
			Jalisco	15.4			
	Área de Importancia para la Conservación de Aves	F	--	--	AICA C-028 Cuenca baja del Balsas	15.9	
	Área por pagos por servicios ambientales		Servicios ambientales	2.8	Servicios ambientales	22.9	
	Regiones Terrestres Prioritarias		--	--	RTP 18	63.8	
	Regional	Superficies Municipales	TA	El Llano	82.4	La Huacana	91.1
				Ojuelos	7.8	Churumuco	5.2
				Lagos de Moreno	7.5	Ario	2.6
				Aguascalientes	1.4	Turicato	1.1
Asientos				0.9			
Área Natural Protegida Estatal			Área de protección del Águila Real estatal, Juan El Grande	7.4	Reserva Patrimonial Volcán El Jorullo	5.4	
Zonas con usos del suelo		F	Agricultura temporal	54.5	Agricultura temporal	17.6	
			Agricultura de riego	18.9	Ganadería	3.8	
			Ganadería	0.6			
			Áreas con concesiones mineras	Área de extracción	48.6	Área de extracción	37.2
	Unidades de vegetación natural		Vegetación primaria	25.0	Vegetación primaria	81.3	
Zonas con actividad forestal maderable y no maderable	Actividad forestal	24.5	Actividad forestal	78.5			
Zonas con identidades productivas de la cuenca		Agrícolas, pecuarias y servicios	100	Agrícolas, recolectoras y pesca	100		

CAPÍTULO 5: COMPLEJIDAD TERRITORIAL

	Tenencias municipales		--	--	--	--
	Superficies de propiedad privada		Particular	22.3	--	--
	Asentamientos urbanos y rurales	TA	92 Localidades	--	53 Localidades	--
	Áreas Naturales Protegidas Municipales		--	--	--	--
Local	Zonas de manantiales, norias y pozos profundos (#)		73 (solamente pozos)	--	53 (manantiales y norias)	--
	Superficies de cuerpos de agua		Bordos y presas	2.5	--	--
	Áreas ribereñas de líneas de drenaje (#)	S	1,905	--	980	--
	Superficie de ejidos (%)		37	70.2	42	92
	Áreas asociadas a etnias o grupos indígenas		--	--	--	--
	Micro-regiones culturales (#)		2	100	2	100

En relación con los tipos de límites territoriales, la cuenca A. Juan El Grande tuvo presencia de un mayor número de entidades territoriales con límites simbólicos, mientras que para la cuenca A. San Pedro Jorullo, estuvieron más representadas las entidades territoriales con límites funcionales (Cuadros 5.5). A nivel de subcuencas, la cuenca A. Juan El Grande tuvo en los tres sectores (alto, medio y bajo), una mayor presencia de entidades territoriales de nivel regional siendo la subcuenca del sector medio la que presentó el mayor número de entidades territoriales, con un total de 12 (Cuadro 5.6). Las subcuencas de la cuenca A. San Pedro Jorullo mostraron una alta similitud con la cuenca Juan El Grande en cuanto al nivel de organización de las entidades territoriales presentes, pero su número fue mayor en el sector bajo de la cuenca (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.4. Configuración territorial de las cuencas por tipo de entidad territorial y nivel de organización, en cada cuenca de estudio.

Nivel de organización	Cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes)								Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán)							
	Entidades territoriales		Tipos de límites						Entidades territoriales		Tipos de límites					
	n	%	Tangible		Funcional		Simbólico		n	%	Tangible		Funcional		Simbólico	
Territorio local	7	43.7	2	28.6	0	0.0	5	71.4	5	29.4	1	20.0	0	0.0	4	80.0
Territorio regional	7	43.7	2	28.6	4	57.2	1	14.2	7	41.2	2	28.6	4	57.2	1	14.3
Territorio Subnacional	2	12.6	1	50.0	1	50.0	0	0.0	5	29.4	2	40.0	3	60.0	0	0.0
Total	16	100	5	31.2	5	31.2	6	37.6	17	100	5	29.4	7	41.2	5	29.4

Cuadro 5.5. Configuración territorial de las subcuencas por tipo de entidad territorial y nivel de organización, en cada cuenca de estudio.

Parámetro	Cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes)						Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán)			
	Sub cuencas	Zona funcional de la cuenca			Zona funcional de la cuenca			Emisión Hacienda Vieja		
		Captación	Almacenamiento	Emisión	Captación	Almacenamiento	Emisión			
Entidades territoriales		12	10	11	11	12	11	13		
Tipo de límite (%)	Tangible	25.0	20.0	27.3	18.2	25.0	27.3	23.1		
	Funcional	33.3	30.0	27.3	36.4	41.7	36.4	46.2		
	Simbólico	41.7	50.0	45.5	45.5	33.3	36.4	30.8		
Nivel de organización (%)	Local	33.3	40.0	45.5	36.4	25.0	27.3	23.1		
	Regional	58.3	50.0	45.5	54.5	50.0	45.5	38.5		
	Subnacional	8.3	10.0	9.1	9.1	25.0	27.3	38.5		

Por otra parte, en relación con la presencia de entidades territoriales de acuerdo con el tipo de límite a nivel de subcuencas, los datos mostraron que en la cuenca A. Juan El Grande las unidades territoriales con límites simbólicos tienen una mayor representación (50 %) que aquellas de límites tangibles y funcionales. De igual modo, aquellas entidades de nivel regional (58 %) tienen mayor presencia a nivel de subcuencas, que las entidades de nivel local. Por su parte en la cuenca A. San Pedro Jorullo la frecuencia de territorios por su tipo de límite es más heterogénea. Para los territorios tangibles, el mayor valor se da en la zona de almacenamiento de la cuenca; con respecto a los territorios funcionales éstos son los de mayor frecuencia en la zona de emisión de la cuenca; para finalmente contar con el valor más

alto de los territorios simbólicos en zona de captación de la cuenca. Esto pone en evidencia la gran heterogeneidad y complejidad de la configuración territorial al interior de una misma cuenca hidrográfica de mediana superficie.

5.5.1.2. Conglomeración territorial

El Indicador de conglomeración territorial (Ict) se ubicó entre un valor mínimo de 5 en ambas cuencas, y valores máximos de 12 en la cuenca Arroyo Juan El Grande, y de 13 en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Cuadro 5.7). La mayor superficie de la cuenca A. Juan El Grande, estuvo ocupada por polígonos con Ict=7, con una cobertura de 56.4 %. En la cuenca A. San Pedro Jorullo, predominaron los conglomerados con Ict=9, que abarcaron una superficie equivalente al 34.2 % de la cuenca (Figura 5.5).

Cuadro 5.6. Presencia de conglomerados territoriales de acuerdo con el valor del Indicador de conglomeración territorial (Ict) en las cuencas de estudio.

Valor de Ict	Cuenca Arroyo Juan El Grande			Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo		
	Área (ha)	Frecuencia		Área (ha)	Frecuencia	
		# de polígonos	%		# de polígonos	%
1	0	0	0.0	0	0	0.0
2	0	0	0.0	0	0	0.0
3	0	0	0.0	0	0	0.0
4	0	0	0.0	0	0	0.0
5	20	9	0.0	1	12	0.1
6	1,637	103	0.6	677	181	0.8
7	19,335	1,593	8.5	5,503	1,130	5.2
8	9,952	6,418	34.4	10,741	4,143	19.1
9	3,088	6,483	34.8	15,752	6,338	29.2
10	237	3,680	19.7	6,159	6,188	28.5
11	10	353	1.9	6,743	2,039	9.4
12	1	12	0.1	385	1,569	7.2
13	-	-	-	9	119	0.5
Total	34,280	18,651	100.0	45,970	21,719	100.0

Para la cuenca de Aguascalientes se contabilizaron más de 18,600 conglomerados, siendo los de valor de Ict de 8 y 9 los de mayor frecuencia, estos representaron el 69.1 % del total de los conglomerados de la cuenca. En la cuenca A. San Pedro Jorullo ocurrieron más de 21,000 conglomerados, aquellos que presentaron valores de Ict de 9 y 10 fueron los de mayor frecuencia, representando el 57.6 % del total de CTs presentes en la cuenca.

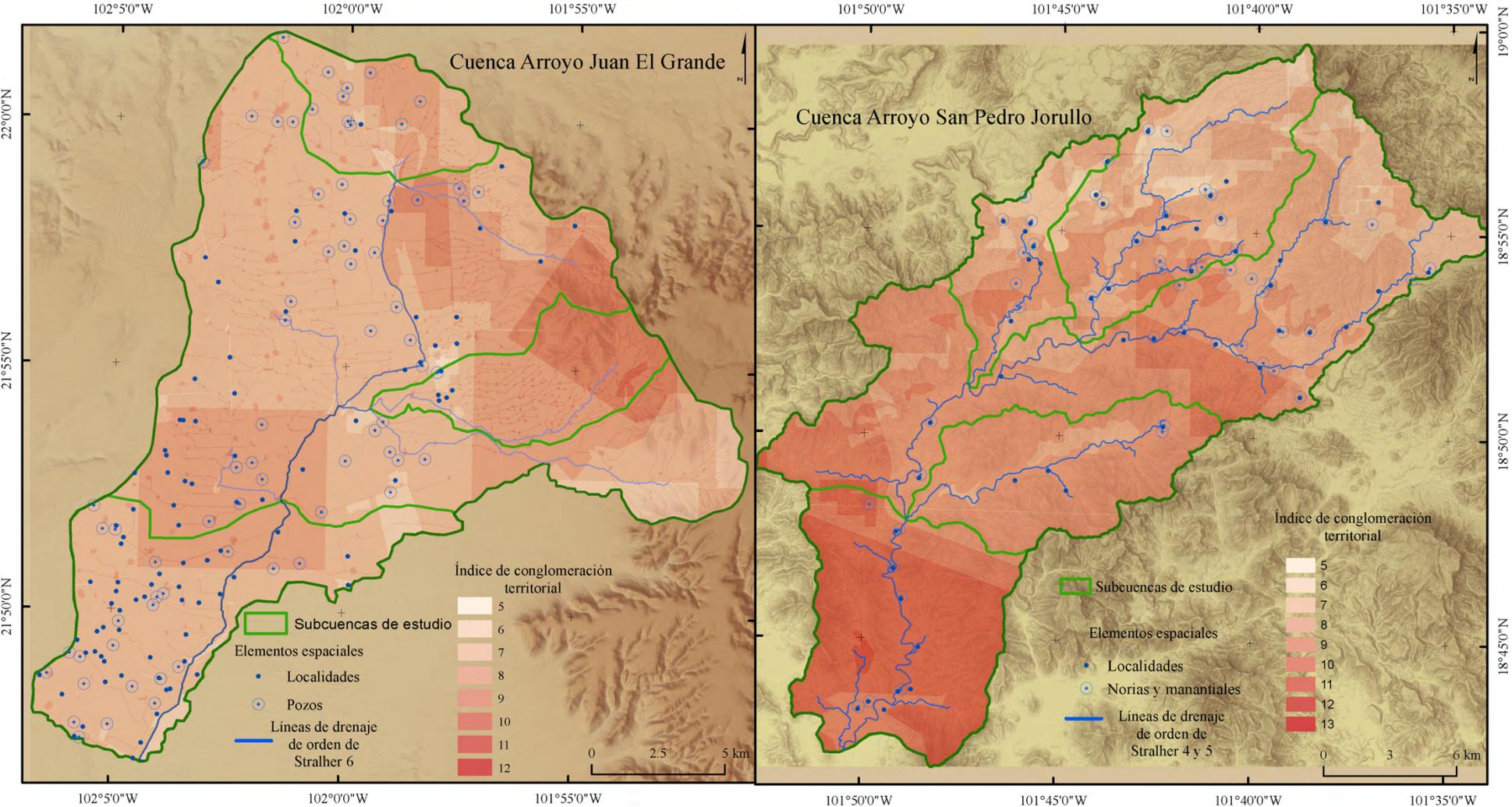


Figura 5.5. Niveles del Indicador de conglomeración territorial (Ict) presentes en las cuencas de estudio. Fuente: Elaboración propia

A nivel de subcuencas, en la cuenca Arroyo Juan El Grande, la subcuenca Las Maravillas ubicada en la zona de captación presentó el valor máximo de $I_{ct}=12$. Por su parte en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, el valor máximo fue $I_{ct}=13$, en la subcuenca Hacienda Vieja, ubicada en la zona de emisión de la cuenca. El valor máximo de I_{ct} dentro de una subcuenca, a modo de paralelo del orden de corriente de Stralher, es por sí solo indicativo de las relaciones territoriales que pueden expresarse en esa unidad hidrográfica. El mapa de la Figura 5.5 muestra a su vez, la distribución espacial de la conglomeración territorial en cada subcuenca, así como la superficie afectada por diferentes valores de I_{ct} . En conjunto, los resultados van alertando sobre dónde podrían ubicarse los diferentes esfuerzos de articulación entre actores.

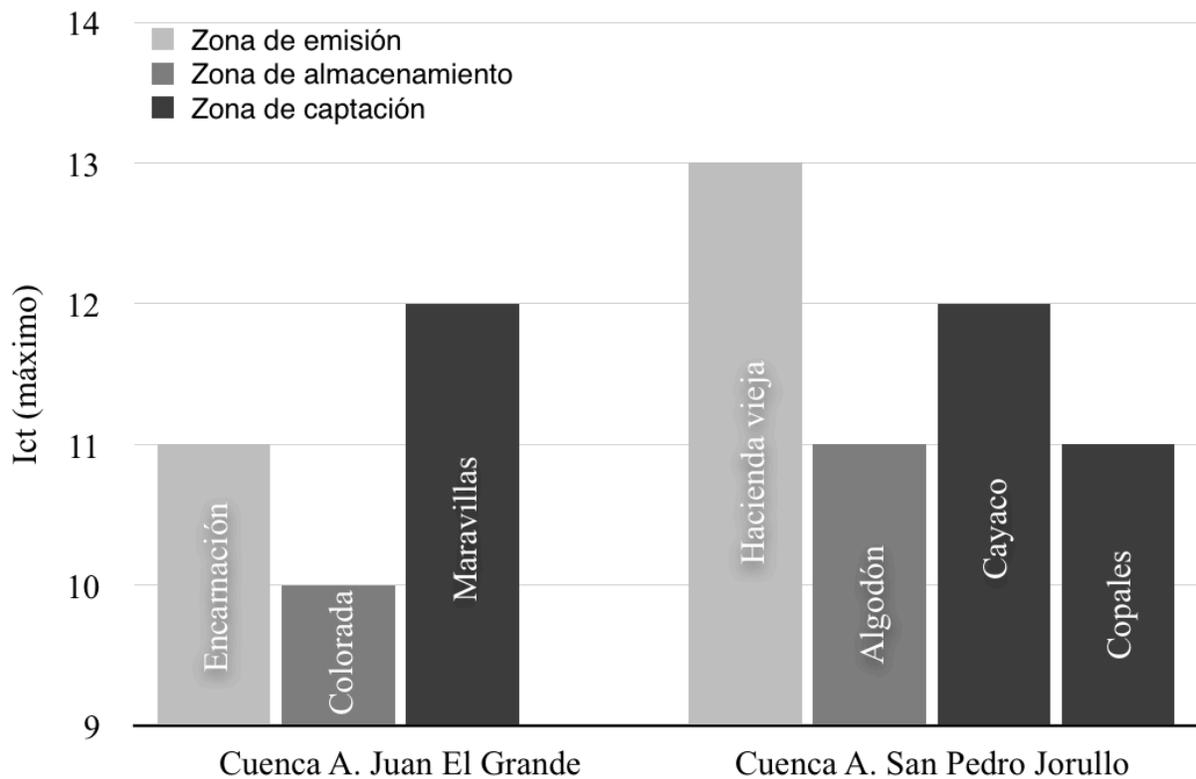


Figura 5.6. Valor máximo del Indicador de conglomeración territorial (I_{ct}) a nivel de subcuencas de estudio

En relación con la distribución espacial de los valores de I_{ct} , el índice de Moran (I_M) mostró que, en ambas cuencas, el valor de I_{ct} de los CT no presenta una distribución aleatoria; sino

que estos responden a una condición de dependencia entre conglomerados adyacentes (Cuadro 5.8). Eso sugiere la presencia de un factor subyacente en la distribución espacial del nivel de complejidad territorial de los conglomerados de estas cuencas.

Cuadro 5.7. Valores estadísticos del Índice de Moran.

Estadísticos	Cuenca Arroyo Juan El Grande	Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo
IM observado	1.268	0.775
IM esperado	-0.0004	-0.0003
Varianza	0.002	0.0003
Puntuación Z	28.370	44.414
Puntuación P	0.000	0.000

Una vez descartada la hipótesis de la estructura aleatoria de la complejidad en los CTs; el índice de Anselin (I_A) identificó agrupamientos que se asemejan más entre sí. En la cuenca A. Juan El Grande se observó que la zona de almacenamiento de la cuenca reúne conglomerados espaciales de alto valor de I_{ct} , mientras que en la cuenca A. San Pedro Jorullo, esta condición se presentó en su zona de emisión (Figura 5.6).

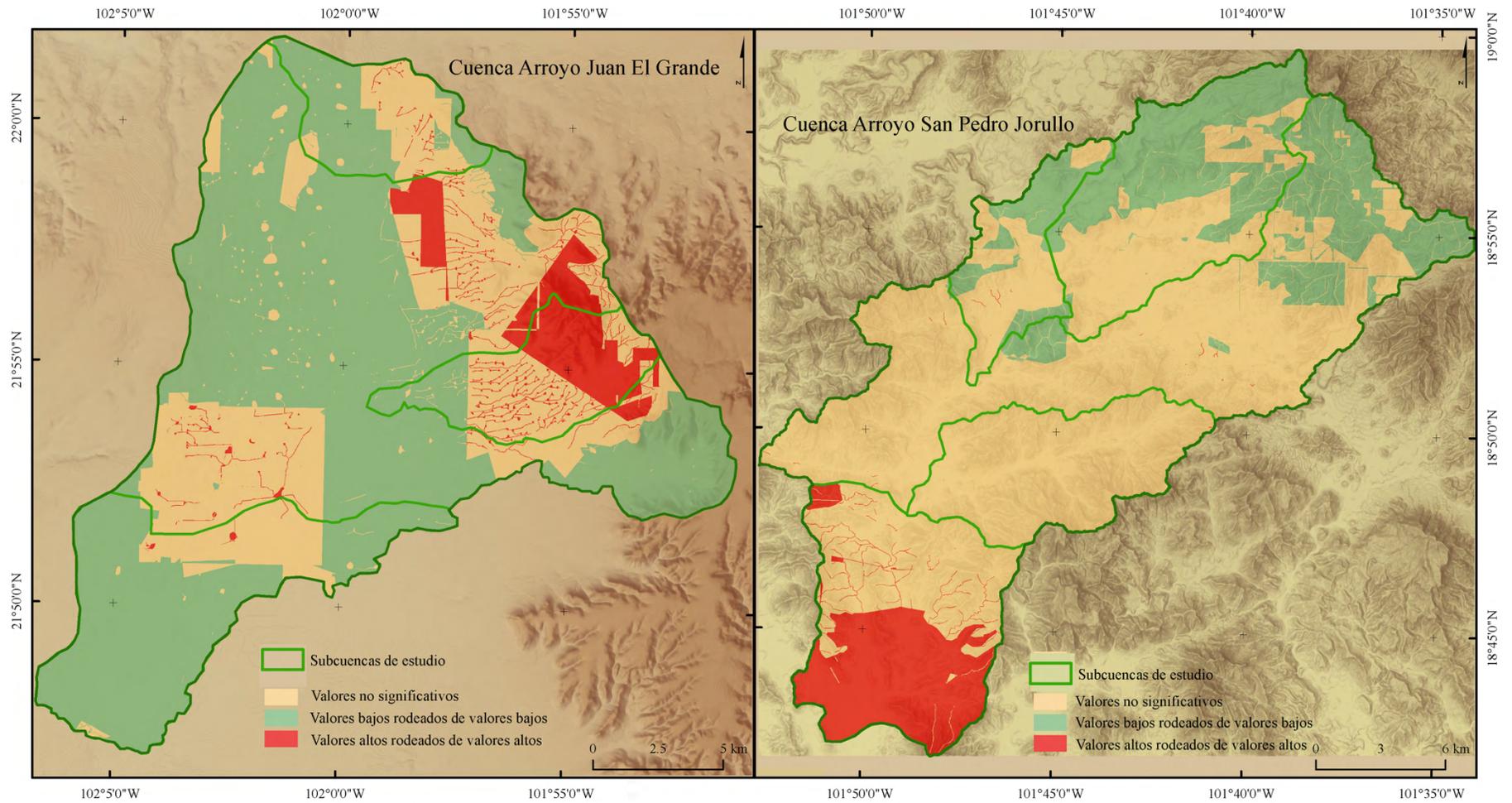


Figura 5.7. Representación cartográfica del índice de Anselin; que indica la asociación espacial de los conglomerados territoriales con valores más similares entre sí en las cuencas de estudio. El color rojo indica mayor conglomeración, en verde la de menor. Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Sujetos territoriales

El análisis de los sujetos territoriales al momento del estudio (año 2014) mostró condiciones disimiles entre cuencas. En la cuenca A. Juan El Grande se identificaron 23 actores sociales relevantes mencionados por los informantes, casi el doble de actores clave recabados en los testimonios de la cuenca A. San Pedro Jorullo (Cuadro 5.9). A mayor número de agentes sociales que inciden en la atención de necesidades; mayor es el dinamismo potencial para construir soluciones conducidas al logro de la seguridad hídrica. En ambas cuencas se mencionaron a los actores gubernamentales que son cabeza de sector hídrico, como la CONAGUA, las Comisiones o Institutos del agua estatales, y los organismos operadores de los ayuntamientos.

En la cuenca de Aguascalientes, los actores clave identificados fueron principalmente del sector gubernamental (69.6 %). La mayoría de los actores se ubicó principalmente al nivel local (43.5 %), mientras que el resto pertenecieron equitativamente a los niveles regional y subnacional, con una representación del 26 y 30.5 % del total, respectivamente. A pesar de la presencia de actores gubernamentales de los tres niveles de gobierno, los testimonios de los actores de la cuenca remarcaron la falta de coordinación entre estos, así como la ausencia de integración entre instituciones y la escasa participación ciudadana. Esta desarticulación explica la falta de un manejo adecuado de la infraestructura disponible para sostener el acceso a los recursos hídricos al interior de la cuenca. En contraste, en la cuenca A. San Pedro Jorullo el nivel jerárquico con menor representación fue el local, con únicamente un 27.4 % del total de los actores clave identificados en toda la cuenca. El nivel regional y sub-nacional compartieron una representación del 36.3 % de actores clave. Los actores provenientes de la sociedad civil organizada representaron el 27.2 % del total. Los testimonios recabados en esta cuenca externaron la completa ausencia de actores de gobierno a nivel local, así como la escasa presencia de otros niveles de gobierno. El abandono contrasta con la alta visibilidad que tuvieron entre los informantes las acciones de actores locales (ejidos, comités de agua, ONGs) como promotores de una organización social y capacidades auto-gestivas en la cuenca de Aguascalientes. Esta vida comunitaria más activa ha devenido en una mayor capacidad de resolución de conflictos a través de la cooperación intra e inter ejidal.

Cuadro 5.8. Relación de actores clave en las cuencas de estudio. Sectores: Gubernamental (G); Ciudadano (C).

Actor mencionado	Nivel de organización institucional	Tipo de actor
<i>Cuenca A. Juan El Grande</i>		
1. SEMARNAT (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales)		G
2. CNA (Comisión nacional del agua)		G
3. SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación)	Sub nacional	G
4. SEDESOL (Secretaría de desarrollo social)		G
5. CONAFOR (Comisión nacional forestal)		G
6. CONANP (Área de protección del Águila Real estatal, Juan El Grande)		G
7. PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección Ambiental)		G
8. INAGUA (Instituto del agua)		G
9. SMA (Secretaría del medio ambiente)		G
10. ISEA (Instituto de servicios de salud del estado de Aguascalientes)	Regional	G
11. SEDRAE (Secretaría de desarrollo rural y agro empresarial)		G
12. SEDESOL (Secretaría de bienestar y desarrollo social)		G
13. Observatorio ciudadano (CONEVAL)		C
14. Ayuntamiento (Municipio de El Llano)		G
15. CAPAS (Comisión de agua potable, alcantarillado y saneamiento)		C
16. Dir. Desarrollo rural (Ayuntamiento El Llano)		G
17. Dir. Obras públicas (Ayuntamiento El Llano)		G
18. Dir. Medio ambiente (Ayuntamiento El Llano)	Local	G
19. Asociación de usuarios y sectores de producción (Municipio El Llano)		C
20. Comité de obra (Ayuntamiento El Llano)		C
21. Junta de agua, bordo la colorada		C
22. Consejo desarrollo rural (Municipio El Llano)		C
23. Consejo de salud (Municipio El Llano)		C
<i>Cuenca A. San Pedro Jorullo</i>		
1. CONANP (Reserva de la Biosfera Zicuirán Infiernillo)		G
2. CNA (Comisión Nacional del Agua)		G
3. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)	Sub nacional	G
4. SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social)		G
5. SEDRU (Secretaría de desarrollo rural)		G
6. SUMA (Secretaría de urbanismo y medio ambiente)	Regional	G
7. Ayuntamiento (Municipio La Huacana)		G
8. Dir. Obras públicas (Ayuntamiento La Huacana)		G
9. Comités Comunitarios de Agua		C
10. Representantes ejidales (Comisariado ejidal)	Local	C
11. Grupo Balsas (Grupo Balsas para estudio y manejo de ecosistemas, ONG)		C

Los testimonios de los encuestados en el año 2014 mostraron aspectos de interés sobre las percepciones en la organización social, el accionar de los actores clave identificados, y la manera en comunicar y resolver conflictos en torno al agua, que están resumidas en el Cuadro 5.10. Estos aspectos fueron de gran interés para indagar en el arreglo de los sujetos sociales, que se presentó con condiciones muy distintas en ambas cuencas.

En la cuenca A. Juan El Grande, la organización comunitaria estaba en el año 2014 muy poco desarrollada, lo que se expresaba en la escasa participación en reuniones ejidales, de tal forma que los acuerdos que emanaban de dichas reuniones no eran del conocimiento del total de los ejidatarios; ello provocaba poca empatía y compromiso para soluciones en conjunto con otros actores. La mala organización comunitaria y baja participación ejidal, repercutían en relaciones limitadas entre los habitantes de distintas localidades. También se percibía una total desconfianza en las acciones gubernamentales al igual que gran desconocimiento sobre cualquier política pública en materia de agua que pudiera traerles beneficios. Si bien el sector gubernamental fue dominante entre los actores de la cuenca Juan El Grande, su presencia concreta en la percepción social era baja, pues los informantes manifestaron una percepción de abandono por parte de las autoridades. Esto pudo deberse a que, si bien la presencia de actores de gobierno ocurría, esta se realizaba de manera desarticulada, es decir sin espacios comunes de planificación o sesiones de resolución de conflictos. Cada entidad de gobierno operaba en la cuenca de forma fragmentada, en algunas ocasiones con objetivos contradictorios. Por ejemplo, mientras se buscaba el mejor uso de los recursos hídricos de los agostaderos para cierta capacidad de carga, las dependencias estatales dotaban de más animales de ganado menor. En resumen, se puede decir que tanto la falta de organización comunitaria como la fragmentación de un gran número de actores gubernamentales, derivó en la falta de un espacio social que en la cuenca de Aguascalientes no estaba creado, principalmente por la falta de integración de entre sus actores gubernamentales al momento de abordar una problemática y resolverla de forma planificada y eficiente.

Por su parte, en la cuenca A. San Pedro Jorullo, con alta presencia de territorios ejidales, la organización comunitaria era una práctica muy arraigada en sus costumbres, existiendo una adecuada frecuencia de reuniones, las cuales eran muy concurridas por los habitantes, donde se comunicaban y se atendían problemas de índole comunitario, el tema principal eran los limitados recursos hídricos con que contaban. De tal forma que tenía vital importancia el respeto a los acuerdos, los cuales permitían en la mayoría de los casos la resolución adecuada de los conflictos que se iban presentando. Esto sentaba las bases para trabajar de forma coordinada con los habitantes de otras localidades al interior de la cuenca. Si bien las acciones de gestión a nivel de cuenca eran nuevas, éstas iban ganando consideración por parte de la

gente local, posiblemente como contramedida a la percepción de la falta de actores de cualquier nivel de gobiernos. Al igual que en la cuenca de Aguascalientes, en esta cuenca el espacio social no está dado. La inexistente presencia de actores de gobierno en las reuniones y toma de soluciones para los problemas con el agua hace que los habitantes de esta cuenca se sientan abandonados a su suerte; tanto por la falta de inversión, como por la aplicación de programas de cualquier naturaleza que les ayude en mejorar cualquier aspecto en su condición de vida. Los grandes ausentes en la percepción social son precisamente las instituciones cabezas del sector, tanto federales, como estatales y municipales.

Cuadro 5.9. Percepciones sociales respecto a la gestión del agua al interior de las cuencas de estudio recabadas en entrevistas a informantes clave en el año 2014.

Caso / condición	Cuenca A. Juan El Grande	Cuenca A. San Pedro Jorullo
Organización comunitaria	Mala, los pobladores no se reconocen como comunidad	De regular a buena, hay reuniones regulares en la mayoría de los ejidos
Asistencia a las reuniones de discusión de conflictos	Poca asistencia, solo se presentan cerca del 20 % de los ejidatarios, las decisiones se toman por acuerdo a la siguiente sesión a falta de quórum	Asistencia nutrida y periódica con buena participación comunitaria
Respeto por los acuerdos tomados en reuniones comunitarias en materia del uso y cuidado del agua	Al haber poca participación en las reuniones es muy difícil dar a conocer los acuerdos tomados de tal forma que rara vez se respetan en su totalidad	La mayoría de los acuerdos se respetan, la alta frecuencia de reuniones permite que los acuerdos se retomen y haya retroalimentación de los mismos
Capacidad de resolución de conflictos	Las personas refieren poca empatía o respeto por los acuerdos, de tal manera que la solución de conflictos se considera mala. La falta de quórum limita la posibilidad de abordar temas considerados como posibles conflictos	La continua frecuencia a las reuniones y la buena asistencia permiten que se aborden temas que pueden llegar a desencadenar conflictos. Sin embargo, las practicas comunitarias asiduas facilitan la negociación y construcción de acuerdos.
Capacitación técnica por parte de especialistas de entidades de gobierno para aprovechar el agua	Continuamente hay visitas de técnicos respecto al uso y manejo de sus recursos hídricos	En rara ocasión hay asesorías por entidades de gobierno. Las autoridades comunitarias participan en actividades de capacitación para el uso y manejo de sus recursos hídricos brindadas por ONGs y académicos que conducen proyectos en la cuenca
Relación con otros ejidos o comunidades	Limitada, en raras ocasiones los pobladores se reúnen con habitantes de otras localidades	Las reuniones ejidales y comunales frecuentan la participación de habitantes de las localidades cercanas
Políticas públicas en materia de agua	Hay desconocimiento sobre el tema y se percibe una poca o limitada existencia de estas acciones en la cuenca	No se percibe ningún tipo de acción gubernamental para mejorar la situación hídrica en las localidades de la cuenca
Relación con las autoridades municipales	Se consideran adecuadas y frecuentes, sin embargo, no hay confianza en ellas	No se percibe ningún tipo de relación y las pocas relaciones son dispersas y de desconfianza

Con respecto a las relaciones entre actores clave, las Matrices de Relaciones Inter-Actorales (MARI), revelaron que los informantes entrevistados percibían en el año 2014 una dominancia de relaciones débiles, con relaciones moderadas y estrechas entre un pequeño grupo de actores indicado en las matrices por una alta presencia de valores 1 (Figura 5.8).

(A) Cuenca A. Juan El Grande

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Σ	
1	0	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	38
2	2	0	2	2	2	1	2	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32
3	3	3	0	3	3	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	37
4	2	3	2	0	2	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30
5	3	2	3	2	0	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32
6	3	2	2	2	2	0	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	33
7	3	2	2	2	2	1	0	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32
8	2	3	2	2	2	1	1	0	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33
9	3	2	2	2	2	2	2	2	0	3	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	37
10	1	1	1	2	1	1	1	2	2	0	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	29
11	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33
12	2	1	1	3	1	1	1	2	2	2	2	0	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32
13	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	3	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28
14	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	0	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	42
15	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	3	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	27
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	2	2	2	2	1	1	2	1	28
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	0	2	2	2	2	1	1	1	29
18	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	3	2	2	2	0	1	1	1	1	1	1	29
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	0	3	3	3	3	3	32
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	3	0	3	3	3	3	32
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	3	0	3	3	3	31
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	3	3	3	0	3	3	34
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	2	2	2	0	29
Σ	37	36	32	37	32	30	31	34	33	31	33	34	25	44	27	28	29	29	33	31	30	31	32		

(B) Cuenca A. San Pedro Jorullo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
1	0	2	2	2	2	2	3	1	1	2	2	19
2	2	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	13
3	1	2	0	2	1	1	1	1	1	1	1	12
4	1	2	2	0	1	1	1	1	1	1	1	12
5	2	2	2	2	0	2	2	1	1	1	1	16
6	3	2	2	2	2	0	2	1	1	1	1	17
7	2	2	2	2	2	2	0	2	1	2	1	18
8	1	1	1	1	2	2	3	0	1	1	1	14
9	1	1	1	1	1	1	2	1	0	3	3	15
10	1	1	1	1	1	1	2	2	3	0	3	16
11	2	1	1	1	2	2	2	1	3	3	0	18
Σ	16	16	16	16	15	15	19	12	14	16	15	

Figura 5.8. Matrices de Relaciones Inter-Actorales (MARI) para las cuencas de estudio. Los números indican los actores enlistados en el Cuadro 9.

En la cuenca A. Juan El Grande los vínculos estrechos de relación de colaboración entre actores clave representaban solamente el 10 % del total de los vínculos identificados en la cuenca (Figura 5.9). Estos ocurren en dos grupos de actores; el primero corresponde al sector gubernamental, principalmente de nivel sub nacional, y el segundo grupo entre actores locales. Esta fragmentación de grupos con relaciones internas fuertes de diferentes niveles jerárquicos evidencia la falta de puentes de comunicación entre niveles de organización. Con respecto a los vínculos moderados estos representaron casi la tercera parte de los vínculos. En esta categoría se ubican las relaciones de subordinación de dependencias de gobierno estatales con las de nivel sub nacional. Finalmente, las relaciones débiles representaron el 63 % de los vínculos identificados, lo que significa que pese a la presencia de mayor cantidad de actores clave de distintos niveles de organización involucrados en la gestión de los recursos hídricos en la cuenca Juan El Grande, la comunicación y el trabajo en problemas comunes no tenían la misma proporción en su atención, por el contrario, predominaba una desatención social por asuntos comunes respecto al adecuado manejo del recurso hídrico.

Por su parte en la cuenca A. San Pedro Jorullo los valores de la MARI muestran que si bien las relaciones débiles eran también predominantes (54 %) (Figura 5.9), estos se concentraban entre los actores de nivel local con respecto a los regionales. Esto denota la limitada capacidad de comunicación y disposición a trabajar en conjunto para atender y mejorar las condiciones de vida respecto a la gestión de recursos hídricos. Nuevamente este resultado resalta la precariedad, aislamiento y marginación de la condición de vida en la que se encontraban los pobladores locales de la cuenca. Respecto a las relaciones moderadas, estas representaban el 38 %, se establecían principalmente entre el Ayuntamiento de La Huacana y las dependencias de gobierno de nivel regional. Finalmente, los vínculos estrechos tuvieron una frecuencia del 8 %, dados en su totalidad entre actores locales.

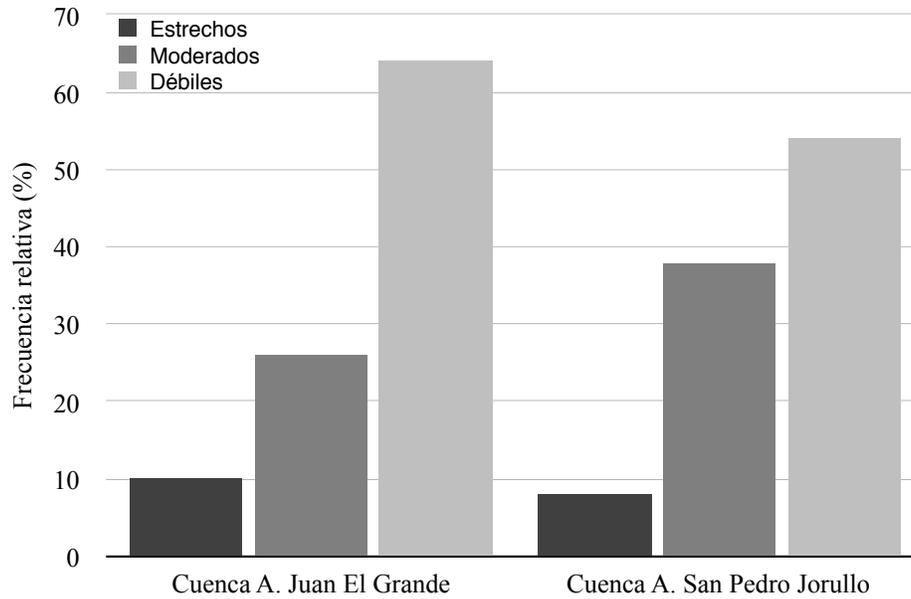


Figura 5.9. Frecuencia relativa de los vínculos entre actores de una misma cuenca, de acuerdo con su nivel de colaboración.

En cuanto a la influencia de los actores identificados, esta deriva de los totales por fila en las MARI (Figura 5.8). En la cuenca A. Juan El Grande, en 2014 el Ayuntamiento de El Llano, apareció como el actor clave con valor de influencia relativa (VIR) de 42 (Cuadro 5.11); seguido por tres dependencias federales con VIR=37. Llama la atención que los actores que son las cabezas del sector (CNA, INAGUA, CONAFOR) no son considerados como los actores más relevantes, si bien el ayuntamiento encabeza la lista, sus diversas direcciones a su interior no son consideradas importantes, al igual que los actores locales de tipo no gubernamental. Esto pone de manifiesto por una parte que, si bien el municipio era percibido por todos los actores como vital para la gestión del agua, los actores locales y de tipo no gubernamental no se asumen con capacidad y poder para participar en la toma de decisiones respecto a la gestión de los recursos hídricos.

Cuadro 5.10. Valores de Influencia Relativa (VIR) de los actores clave en la cuenca de Aguascalientes. El nivel de organización comprende Sub-nacional (Sn); Regional (R); y Local (L). Para tipo de actor Gobierno (G); Ciudadano (C).

Actor clave	VIR	Nivel de organización	Tipo de actor
Ayuntamiento El Llano	42	L	G
SEMARNAT	38	Sn	G
SAGARPA	37	Sn	G
SMA	37	R	G
Consejo Desarrollo Rural	34	L	C
CONANP	33	Sn	G
INAGUA	33	R	G
SEDRAE	33	R	G
CNA	32	Sn	G
CONAFOR	32	Sn	G
PROFEPA	32	Sn	G
SEDESO	32	R	G
Asociación de Usuarios	32	L	C
Comité de Obra	32	L	C
Junta de Agua, La Colorada	31	L	C
SEDESOL	30	Sn	G
ISEA	29	R	G
Dir. Obras Públicas	29	L	G
Dir. Medio Ambiente	29	L	G
Consejo de Salud	29	L	C
Observatorio Ciudadano	28	R	C
Dir. Desarrollo Rural	28	L	G
Capas	27	L	C

Con respecto a la cuenca San Pedro Jorullo, el actor con mayor influencia relativa era la CONANP (Cuadro 5.12), seguido del Ayuntamiento y una ONG (Grupo Balsas A.C.). Esto confirmaba que la nula presencia de autoridades de gobierno era subsanada por organizaciones sociales que venían trabajado junto con los habitantes locales para atender las necesidades básicas respecto a la disponibilidad de recursos hídricos. Nuevamente los actores considerados cabezas del sector (CNA, Comités comunitarios de agua, SAGARPA) no eran considerados importantes, sin embargo, los actores locales se encuentran a media tabla, es decir, se les atribuye un cierto peso o importancia para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca. Finalmente, al igual que en la cuenca de Aguascalientes no hubo relación entre el nivel del actor y la influencia relativa respecto a sus vínculos con otros actores.

Cuadro 5.11. Valores de Influencia Relativa (VIR) de los actores clave en la cuenca de Michoacán. El nivel de organización comprende Sub nacional (Sn); Regional (R); y Local (L). Para tipo de actor Gobierno (G); Ciudadano (C).

Actor clave	VIR	Nivel de organización	Tipo de actor
CONANP	19	Sn	G
Ayuntamiento La Huacana	18	R	G
Grupo Balsas A.C.	18	L	C
SUMA	17	R	G
SEDRU	16	R	G
Representantes Ejidales	16	L	C
Comités Comunitarios de Agua	15	L	C
Obras Publicas	14	R	G
CNA	13	Sn	G
SAGARPA	12	Sn	G
SEDESOL	12	Sn	G

En resumen, la cuenca Juan el Grande en Aguascalientes contaba en 2014 con un número considerable de actores clave que representaron más del doble de los reconocidos en la cuenca San Pedro Jorullo en Michoacán. Sin embargo, el mayor número de actores no se reflejó en una mejor construcción del espacio social, habiendo en cambio enormes debilidades percibidas por los informantes clave. La percepción social dejó en claro la fragmentada atención a los problemas comunes por parte de las autoridades, así como la baja confianza en los programas y políticas por parte de gobierno en materia de agua. Esta condición se identificó como un factor de retroalimentación al bajo interés de participar en la solución de problemas comunitarios por parte de los habitantes locales.

En la cuenca A. San Pedro Jorullo la cantidad de actores identificados concuerda con la percepción de los habitantes de la cuenca, de un perpetuo abandono de cualquier autoridad de gobierno. Sin embargo, también se tiene una percepción social de la necesidad de cooperar para sortear obstáculos y hacer frente a los problemas de la falta de recursos hídricos. Esta percepción se reflejó en un mejor posicionamiento de los actores locales y organizaciones de la sociedad civil, en contraste con la ausencia de instituciones responsables de la gestión del agua a nivel estatal y federal, las cuales no son percibidas como tales. Ello retroalimenta el sentimiento de abandono, y anuncia limitadas posibilidades de mejoras en la seguridad hídrica, que es clave para su desarrollo local.

5.5.3. Relación entre la complejidad territorial, los sujetos territoriales y las condiciones de gobernanza para la Seguridad Hídrica en las cuencas de estudio

En esta última sección, se presenta una integración y síntesis de la complejidad y los sujetos territoriales, con el propósito de identificar las barreras y retos para la gobernanza hacia la seguridad hídrica (SH) en ambas cuencas de estudio. La integración utiliza como insumo la valoración de la condición de SH (año 2014), en ambas cuencas de estudio desarrollado en el Capítulo IV y publicado en Salvatore et al. (2019). Al final de esta sección se presenta el diagrama de bucles causales para generalizar las relaciones reconocidas en este trabajo.

a) Retos en la gobernanza para la SH en la cuenca Arroyo Juan El Grande

De acuerdo con los resultados del Capítulo IV, la cuenca A. Juan El Grande de Aguascalientes presenta un nivel de seguridad hídrica sub-óptimo que puede empeorar en el corto plazo. La satisfacción hídrica que se disfrutaba en el año 2014 radicaba totalmente en su infraestructura hidráulica disponible. Sin embargo, la población vivía con una total dependencia de la extracción de agua de pozos profundos sin ninguna acción por reducir su vulnerabilidad ante los volúmenes de precipitación promedio anual por debajo de la media histórica. Las actividades agropecuarias que regulaban la vida económica de la población no eran acordes a su situación climática.

La integración de componentes que se muestra en el Cuadro 5.13, presenta la problemática subyacente a la incipiente capacidad de gobernanza para la SH que caracteriza esta cuenca. Para esta cuenca el análisis por nivel hidrográfico y de organización de las características más relevantes de su configuración territorial y de los sujetos territoriales permitieron precisar aquellos efectos que limitan una adecuada gobernanza para mejorar el nivel de SH. Entre los resultados más importantes es que a nivel local no existen estructuras de representación social. Si bien por ley está contemplada la estructura de los comités de agua a nivel local, estos no operan; lo que conlleva a una total dependencia de las acciones o soluciones de los actores gubernamentales. Esto puede derivarse del resultado de la configuración territorial a nivel local, en donde casi la totalidad de los territorios a este nivel

eran del tipo simbólico, lo que dificulta la corresponsabilidad de acciones por parte de los actores correspondientes, ya que no es claro quiénes son estos.

A nivel regional, los territorios funcionales eran los más frecuentes, con predominio de actores de gobierno, los cuales ejecutaban sus programas sin ninguna integración o planeación territorial, lo que repercutía en fraccionar aún más la precaria participación social. Finalmente, en el nivel sub nacional era un total dominio de actores de gobierno con límites territoriales tangibles y funcionales, pese a ello nuevamente la total ausencia de políticas territoriales era evidente. A nivel de cuenca la parte con la mayor presencia de CTs era la zona de almacenamiento llegando a sobreponerse hasta 12 territorios, la cual concuerda con la sección con el único asentamiento urbano, así como la presencia de un área natural protegida.

De modo que en la cuenca A. Juan El Grande hay tres aspectos clave que deben ser atendidos. Primero, enriquecer la participación de actores no gubernamentales clave de acuerdo con la configuración territorial existente, a fin de equilibrar la presencia de actores gubernamentales que al año del estudio dominan las decisiones en la cuenca. Segundo, dar visibilidad y crear vínculos entre los actores clave en cada nivel de acuerdo con su corresponsabilidad por su tipo de límite territorial y el nivel en que ejercen su poder. Y tercero, establecer espacios de diálogo legítimo entre ellos respecto a la gestión de los recursos hídrico con base en la selección de los actores clave correspondientes al proceso a gestionar, así como por su nivel de injerencia.

Cuadro 5.12. Integración de los componentes de complejidad territorial y sujetos territoriales con los procesos emergentes de gobernanza para la seguridad hídrica en la cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes).

Nivel de organización territorial	Nivel hidrográfico	Características relevantes		Efectos en la gobernanza para la SH
		Configuración territorial	Sujetos territoriales	
Local	Subcuenca	Alto número de localidades rurales, y solo una localidad urbana	Poca o nula integración de los habitantes de los distintos sectores de la cuenca Baja asistencia a reuniones ejidales	No hay acciones comunitarias Falta de estructuras de representación social para la gestión del agua No hay claridad de quiénes son los actores clave, lo que podría dar origen a conflictos potenciales Falta de inclusión para la participación en la toma de decisiones
		70 % de los territorios con límites simbólicos	60 % de los actores clave a este nivel son de la sociedad civil	Alta dependencia de las acciones del sector gubernamental
		Mayor complejidad en la zona de almacenamiento de la cuenca	El Ayuntamiento de El Llano es el actor clave con mayor influencia Más del 40 % de los actores clave pertenecen a este nivel Más del 60 % de los vínculos entre los actores clave son débiles	La falta de claridad para determinar a los actores clave limita la aplicación de programas o estrategias de planeación Capacidad limitada para la comunicación y la planeación del territorio Ausencia de canales de comunicación para subir de nivel la problemática que enfrentan y sus posibles soluciones
Regional	Cuenca	Presencia de cinco municipios en la cuenca	Acciones individuales a nivel municipal Vínculos débiles entre los actores municipales	Falta de coordinación intermunicipal para la gestión del agua
		Predominancia de territorios funcionales	Varios territorios funcionales definidos por actores de nivel Sub nacional ajenos a la cuenca	No hay una identidad de la cuenca como espacio social Mayor complejidad para la coordinación de acciones, la identificación de interlocutores y la definición de responsabilidades
			Predominancia de actores clave pertenecientes al sector gubernamental	Falta de transparencia en ejecución de recursos, evaluación de resultados y precariedad en fortalecimiento del tejido social
Sub nacional	Macro Cuenca	Presencia de dos entidades federativas (Aguascalientes y Jalisco)	Actores clave solamente pertenecientes al sector gubernamental Desarticulación interna en el sector gubernamental	Centralización en la planeación y resolución de problemas Resolución insuficiente para identificar y comprender las problemáticas locales Imposición de agendas públicas federales Desinterés por las zonas rurales Abandono del campo Prioridad a zonas urbanas Empobrecimiento de la vida rural Limitación de posibilidades de desarrollo Ausencia de políticas territoriales

b) Retos en la gobernanza para la SH en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo

La cuenca en Michoacán presentaba en el año 2014 una condición de SH baja, debido a escasas precipitaciones y mínima infraestructura. Esta condición recrudecía la alta precariedad de la vida de sus habitantes. Las localidades de la cuenca eran todas rurales, y en aislamiento, con conectividad reducida y alta marginación. Los pobladores únicamente contaban con las precipitaciones temporales para la producción de sus cosechas, y se sostenían de la existencia de manantiales y norias de bajo rendimiento para el abasto doméstico de agua. La distribución de fuentes de agua no era homogénea en toda la superficie de la cuenca lo que ponía a prueba la capacidad de sobrevivencia de los pobladores locales año con año.

Pese a las condiciones de alta precariedad, las relaciones sociales de los habitantes eran relativamente fuertes, sustentadas en los vínculos de la vida comunitaria a partir de la configuración territorial existente al tiempo del estudio, la cual tenía a los territorios simbólicos como los predominantes; aunado a la ausencia de autoridades de gobierno, permitieron el desarrollo autónomo de las capacidades locales para sobrellevar las dificultades respecto a las carencias de agua (Cuadro 5.14).

Es a nivel regional donde se daba la presencia de más territorios, con predominio de aquellos con límites funcionales, sin embargo, a este nivel la ausencia de actores de la sociedad civil organizada y una débil comunicación entre los actores clave de otro nivel creaban las condiciones para una inexistente gobernanza. Si bien existían ejemplos importantes de trabajos comunitarios para la producción agrícola, coordinada por organizaciones no gubernamentales y habitantes locales, su capacidad de actuación a escala de cuenca eran difíciles, con requerimientos importantes de inversión en infraestructura hidráulica, inviables sin fondos de gobierno; aunado a procesos de participación social que requerían tiempos largos. Lo anterior denota la compleja y precaria situación en la que vivían los pobladores de la cuenca, así como su alta vulnerabilidad a las condiciones hidrológicas.

Finalmente, a nivel sub nacional la mayoría de los territorios eran de tipo funcional con dependencias ambientales, lo que denotaba la importancia de la conservación del entorno natural de esta cuenca, debido a una cubierta vegetal natural en gran parte de su superficie.

Sin embargo, pese a una menor presencia de actores clave identificados, su complejidad territorial basada en los valores del Ict eran mayores a los de la cuenca de Aguascalientes, y a diferencia de esta, en la zona de emisión de la cuenca era la de mayor presencia de CTs. Es decir, se trata de una cuenca con mayor complejidad territorial, sin embargo, los actores clave identificados son menores que aquellos que configuraban territorialmente el espacio de la cuenca al tiempo del estudio.

De esta forma, no solo la falta de recursos hídricos era un freno, también lo era su complejidad territorial, en donde el factor más importante era la ausencia de interlocutores de cualquier nivel de gobierno. Este abandono y las limitadas alternativas para el desarrollo local habían repercutido en la creciente apropiación territorial del crimen organizado, la alta migración, así como el abandono del campo.

Cuadro 5.13. Integración de los componentes de complejidad territorial y sujetos territoriales con los procesos emergentes de gobernanza para la seguridad hídrica en la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán).

Nivel de organización territorial	Nivel hidrográfico	Características relevantes		Efectos en la gobernanza para la SH
		Configuración territorial	Sujetos territoriales	
Local	Subcuenca	Los territorios que predominan son los simbólicos	Del total de actores clave, menos del 30 % se ubican en este nivel	Baja representatividad para la toma de decisiones Marginación, aislamiento y precariedad de las condiciones de vida de los habitantes de la cuenca Crecimiento del crimen organizado Limitaciones para acceder a otras fuentes de abastecimiento Fortalecimiento de las capacidades locales internas Espacios autóctonos para la resolución de conflictos Confianza en actores externos de la sociedad civil Total dependencia de las precipitaciones para sostenimiento de la vida y actividades agro productivas
			La asistencia y frecuencia a reuniones ejidales y comunales es adecuada y nutrida	Arreglos por usos y costumbres que difieren de los requerimientos de programas de gobierno
Regional	Cuenca	Casi el 60 % de los territorios son funcionales Mayor complejidad territorial en el sector bajo de la cuenca	Más del 70 % de los actores clave provienen de gobierno	Rehenes hidroclimáticos con alta vulnerabilidad a las sequías Productos agrícolas solo de temporal
		Es el nivel con la mayor representación territorial	Vínculos débiles entre actores clave	No se perciben las necesidades locales Nula representación de los habitantes de la cuenca a esta escala Priorización a zonas urbanas Empobrecimiento de la vida rural
Sub nacional	Macro Cuenca	60 % de los territorios son funcionales	Ausencia de políticas territoriales con enfoque de cuenca hidrográfica	Olvido de las necesidades rurales Ausencia de alternativas viable para el desarrollo local de cuencas con alta precariedad hídrica

c) Relaciones entre complejidad territorial y gobernanza para la seguridad hídrica en cuencas hidrográficas

Este trabajo sostiene que la mejor comprensión de la complejidad territorial del espacio de una cuenca hidrográfica y de los sujetos territoriales que en ella intervienen son elementos clave para diseñar y conducir mejores procesos de gobernanza hacia la seguridad hídrica en cuencas completas. Se propone que existen relaciones de causalidad entre la comprensión que representa un nivel de información y cognición, con la calidad, eficiencia y adecuación de las decisiones y acciones en condiciones de complejidad para el logro de la seguridad hídrica. Estas relaciones de causalidad son representadas en el diagrama de bucles causales de la Figura 5.10, el cual añade elementos del comportamiento dinámico que emergen entre la mejor comprensión de las características territoriales de una cuenca, y los avances hacia la seguridad hídrica, como un proceso de partes interdependientes. El diagrama identifica también cuáles son los componentes clave intermediarios entre la comprensión de la complejidad territorial de la cuenca y las decisiones adecuadas; y señala aquellos en los cuales se puede incidir para evitar círculos viciosos a la vez de retroalimentar círculos virtuosos, en trayectorias de cambio positivo.

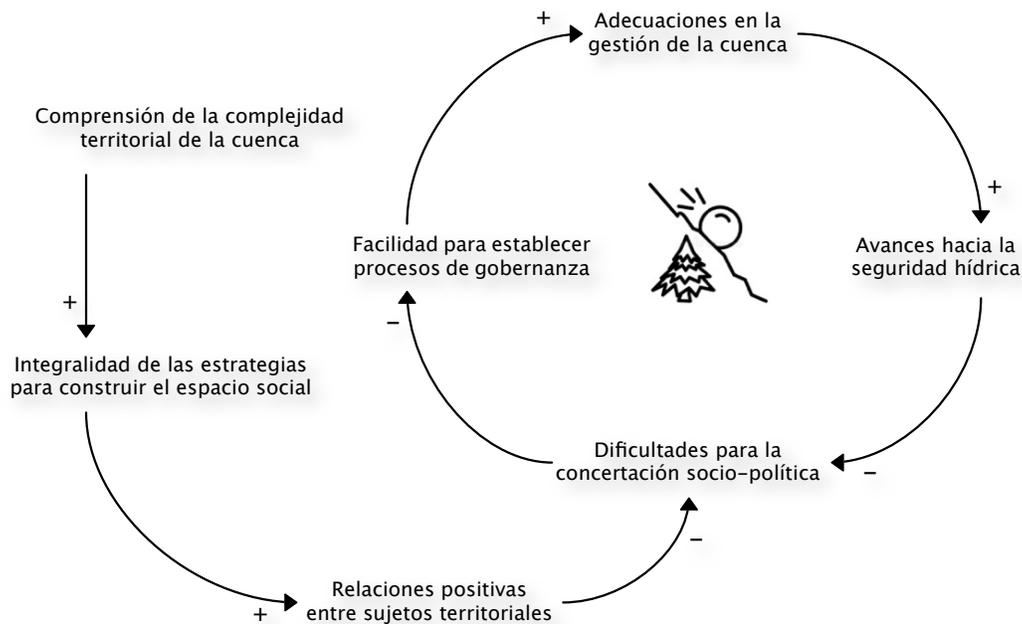


Figura 5.10. Diagrama de bucles causales que señala la relación entre la comprensión de la configuración territorial, y la gobernanza para la seguridad hídrica en cuencas hidrográficas. Explicación en el texto. Fuente: Elaboración propia

El modelo señala que las relaciones entre los componentes clave se encuentran en equilibrio inestable, lo que deriva de la relación de polaridad en las relaciones entre variables (flechas). Es esta relación entre las variables al interior del circuito lo que provoca el desequilibrio. De esta manera el circuito o bucle se explica de la siguiente manera. Mientras más dificultades se tengan para la concertación socio política, menores serán las facilidades para establecer procesos de gobernanza (relación + -, signos contrarios; polaridad -). En consecuencia, la gestión de la cuenca será poco adecuada para las necesidades y expectativas de los actores implicados (relación - -, signos iguales; polaridad +). Luego, cuanto menos adecuada sea la gestión de la cuenca, habrá menores avances hacia la SH (relación - -, signos iguales, polaridad +); y los menores avances hacia la SH, creará mayores dificultades para la concertación socio política (- +, signos opuestos; polaridad -). La aparición de dos polaridades negativas muestra que se trata de un ciclo fuera del equilibrio, que tiende ya sea a incrementar exponencialmente las problemáticas existentes en la cuenca (círculo vicioso), o a atenderlas de manera progresiva hacia una condición de bienestar creciente (círculo virtuoso).

Pero, ¿cómo intervenir en este circuito? El planteamiento es a través de la rama lateral al bucle, que postula que cuanto mejor es la comprensión de la complejidad territorial de la cuenca, más integrales son las estrategias para construir el espacio social (+ +, signos iguales, polaridad +); y cuanto mayor es la integralidad en el diseño del espacio social, habrá más relaciones positivas entre sujetos territoriales (+ +, signos iguales, polaridad +); lo que a su vez repercute en más relaciones positivas que conllevan menores dificultades para la concertación política (+ -; signos opuestos, polaridad -). Con esta intervención se cambia el sentido del circuito, orientando procesos de aprendizaje social, y mejores decisiones en beneficio de todos los involucrados.

Así, uno de los resultados más importantes de este trabajo es que si se desean lograr estrategias integrales para construir el espacio social, esto conlleva imperiosamente a la necesidad de comprender la complejidad territorial en un cuenca hidrográfica debido a que el proceso de gestión de cuencas tiene entre sus retos principales, la dificultad para la concertación socio política; cuando más dificultades hay, menos posibilidades para establecer procesos de gobernanza se tienen. Y cómo concertar con quién no se tiene identificada su presencia, su influencia, así como sus límites territoriales de injerencia.

Llevado a nuestros estudios de caso, la mejor comprensión de la complejidad territorial en las cuencas rurales semiáridas de Aguascalientes y Michoacán brinda un panorama totalmente diferente de cómo construir ese espacio social. Por una parte en la cuenca A. Juan El Grande pese a la presencia de un adecuado número de actores gubernamentales (de acuerdo con la configuración territorial) provenientes de todos los niveles, así como actores de la sociedad civil organizada, estos no trabajaban de manera coordinada (de acuerdo a la percepción social), cada actor trabajaba únicamente la consigna de su agenda (actores de gobierno), lo que impactaba en forma negativa las relaciones entre los sujetos territoriales; esta falta de vínculos de trabajo en conjunto aumentaban las dificultades para la concertación y aplicación de cualquier proceso de gobernanza, lo que terminaba estableciendo una inexistente gestión de cuenca y por consiguiente un nivel bajo y frágil de SH. La presencia de una mayor representación de territorios simbólicos en esta cuenca nos hablaba de procesos sociales con límites difusos, con alta dificultad para establecer a los sujetos territoriales clave para la gestión de un recurso en particular. Esto permitía que los actores de gobierno con límites tangibles fueran los que determinaban las acciones, las cuales no tuvieron los resultados deseados ya que no había una base social comunitaria para la ejecución de los mismos. Adicionalmente esta cuenca tenía la complejidad de los territorios tangibles de dos estados y cinco municipios, lo que complicaba la jurisdicción sobre la misma.

Por su parte en la cuenca A. San Pedro Jorullo es la falta de actores de gobierno de cualquier nivel lo que confiere la inexistente gobernanza. Si bien las relaciones entre los sujetos territoriales locales son adecuadas, no hay un interlocutor para concertar y realizar cualquier proceso de gobernanza, de tal manera que no existe una gestión de cuenca y por consiguiente se tiene un precario nivel de SH. No se encontraba en la percepción de los habitantes la presencia del total de los sujetos territoriales que configuraban el espacio social de la cuenca al momento del estudio. La comprensión de la complejidad territorial de la cuenca como variable inicial para incidir en lograr un mejor nivel de SH, era limitada. La existencia de los actores clave del sector agua por parte del gobierno no era percibida. Aunado a esto, la mayor presencia de territorios en esta cuenca con respecto a la de Aguascalientes originaba una mayor complejidad territorial, principalmente por entidades del sector ambiental de gobierno, que de igual forma no figuraban ni en la percepción de los habitantes de la cuenca, ni en los procesos de solución a la problemática de la falta de agua en la cuenca.

5.6. DISCUSIÓN

El análisis de la complejidad territorial del espacio geográfico realizado en las dos cuencas rurales semiáridas en este trabajo aporta un aspecto novedoso a los estudios de cuencas hidrográficas, los cuales han hecho principal énfasis en zonificar o segmentar las propiedades físicas del espacio de la cuenca (Molle, 2009b; Muste et al., 2012). Si bien los aspectos territoriales son clave para establecer procesos de gobernanza, estos habían sido extrañamente omitidos en el enfoque de la gestión de cuencas hidrográficas e incluso utilizados de manera ambigua y confusa (Molle, 2009a). En tal sentido, un enfoque territorial debe incluir claridad en las definiciones y clasificación de territorios, y diferenciar niveles de organización y escalas. Por ello, el marco conceptual inicial de este trabajo, el cual sin duda puede enriquecerse aún más, constituye un pilar fundamental del análisis presentado. Por otra parte, en este estudio se aplicaron procedimientos de análisis espacial relativamente sencillos para dilucidar las relaciones territoriales dentro del espacio físico de la cuenca. Sin embargo, a pesar de que el análisis espacial de CTs resultó muy útil para espacializar los territorios que se conjuntan en cada cuenca de estudio, este procedimiento analítico es altamente dependiente de la generación y disponibilidad de datos espaciales y no espaciales, así como de su facilidad de acceso. Si bien estas dificultades no son menores, no representan una barrera insalvable para la replicación del análisis en otras cuencas. El SIG como herramienta de integración espacial resulta indispensable ya que mediante capas de información espacial se mejora la comprensión de los procesos territoriales que puedan manifestarse como resultado de la configuración territorial de la cuenca. De este modo, se generan resultados cuantitativos que pueden integrarse con otros enfoques cualitativos en marcos interdisciplinarios, que son los más adecuados para abordar estudios territoriales (Ther Rios, 2006).

Las cuencas analizadas en este estudio presentaron un nivel de complejidad territorial reflejado en el Indicador de conglomeración territorial (Ict) de entre 5 y 13, sobre un total de 22 capas territoriales integradas en el SIG. Dado que estas 22 capas territoriales pertenecen a las unidades territoriales de tipo administrativo, funcional y simbólico con mayor presencia en México, es posible entonces utilizar estos valores como referencia de la complejidad territorial en otras cuencas de interés. Deberá explorarse, sin embargo, en qué medida la superficie de la cuenca y el carácter urbano o rural, inciden en la complejidad territorial del

espacio compartimentado por sus límites físicos. La distribución espacial de los conglomerados territoriales y sus relaciones de vecindad con otros conglomerados de mayor Ict aguas arriba y aguas abajo abre un gran abanico de posibilidades para interpretar las dificultades para alcanzar la gobernanza dentro de la cuenca.

La ocurrencia de procesos incluyentes y participativos de toma de decisiones es en la actualidad el principal reto de la gestión de cuencas hidrográficas (Cohen y Davidson, 2011). En los estudios de caso, el análisis de la configuración territorial y de los sujetos territoriales mostró dos condiciones que parecen estar presentes en la realidad mexicana. Una de ellas remite a un alto número de actores socialmente reconocidos pero con una marcada falta de coordinación y colaboración. Esta Torre de Babel en la gestión de cuencas en México ha sido ampliamente documentada (Velasco y Montesello, 2007; Pacheco-Vega, 2015). Uno de los problemas es que la presencia del Estado se da a través de agendas sectoriales fuertes pero segmentadas, lo que conlleva por un lado a la apatía por participar por parte de la población local (Guerrero de León, 2010), y por el otro a la frecuente ejecución de obras hidráulicas que terminan por no solucionar los problemas de la falta de recursos hídricos (Olvera, 2016). Posiblemente esta falta de una agenda común radica precisamente en la complejidad territorial de la cuenca; al haber muchos actores (principalmente de gobierno), los intereses sectoriales al igual que los límites de sus jurisdicciones no encuentran puntos de convergencia, esto denota la ausencia de una política territorial adecuada por parte del estado (Torres y Delgadillo, 2009).

La otra condición está caracterizada por la ausencia de autoridades de cualquier nivel de gobierno, lo que provoca una debilidad estructural en el proceso de gobernanza (Dourojeanni y Jouravlev, 2001). En estos casos, los pobladores de una cuenca están abandonados a su suerte. Así, la mayoría de las decisiones son tomadas por actores ajenos a la cuenca sin ningún tipo de consulta con los dueños de los territorios locales, aplicando programas que no se sustentan en la realidad local (Pineda et al., 2015). Si bien esto ha ocasionado una estructura de vínculos locales fuerte, no es suficiente para atender el conjunto de rezagos estructurales, y alcanzar un nivel mínimo de SH. Nuevamente un mayor entendimiento de la complejidad territorial nos proporciona elementos para dilucidar el porqué de la situación descrita previamente, en este caso las jurisdicciones del tipo funcional del ámbito ambiental son las de mayor cobertura en la cuenca, esto puede estar ocasionando que otras entidades

gubernamentales se vean dificultadas a operar diversos programas debido a las restricciones en materia de conservación que imperan sobre la superficie de la cuenca (Merino y Segura, 2007).

En ambas condiciones antes mencionadas, el espacio social de la cuenca no está construido, y más bien predomina una ceguera sobre las relaciones territoriales, las cuales conllevan competencias y responsabilidad del Estado-Nación. Al igual que lo reportado por Perramond (2013), en ambas cuencas los actores sociales están desarticulados o aislados, y los actores clave de gobierno no muestran interés en establecer condiciones con aquellas instituciones locales (la mayoría no formales) para una gestión más acorde a las condiciones territoriales específicas de cada cuenca.

El análisis y comprensión de la complejidad territorial de una cuenca aparece como un componente analítico de sumo interés para sortear las dificultades de la concertación socio política para la gestión de los recursos hídricos tan difícil de establecer (Paré et al., 2008; Giraut, 2013). La dimensión territorial bien analizada demuestra que no es suficiente mencionar que existen múltiples usuarios del agua y que estos interactúan, un discurso común en los organismos de cuenca en México (Pacheco-Vega y Vega, 2008). En estos discursos se pierde de vista que el proceso de construcción de territorialidades en las cuencas crea interacciones entre sujetos territoriales, con formas diversas de convivencia dentro del espacio social. La visión sectorial desconoce que las relaciones de poder en torno al agua producen territorialidades que se superponen a otras, lo que resulta por lo general en conflictos sociales del agua cada vez más extendidos en México y el mundo (Becerra, Sáinz y Muñoz, 2006; Kuzdas y Wiek, 2014; Morataya y Bautista, 2020).

La gestión de cuencas hidrográficas es, hoy por hoy, la mejor opción para trabajar hacia el alcance de la seguridad hídrica en México y el mundo. Sin embargo, sus debilidades son ampliamente discutidas (Dourojeanni, 2009; Retamal et al., 2013). En tal sentido, la mejor comprensión de la complejidad territorial de una cuenca hidrográfica permite formular lineamientos para una mejor construcción del espacio social y estructuración de procesos participativos con mayor cooperación horizontal y vertical de actores con intereses compartidos dentro de las cuencas (Hearne y Powell, 2014). Dicha comprensión permitirá dilucidar si se requieren nuevos mecanismos institucionales para estructurar relaciones más

sostenibles (Pahl Wostl, Gupta y Petry, 2008) o si más bien se deben fortalecer estructuras sociales de gestión con base en las existentes en el territorio (Stein, Ernstson y Barron, 2011). En cualquier caso, las cuencas hidrográficas deben de entenderse como producto de una construcción social (Ison, Röling y Watson, 2007), donde la gestión de recursos hídricos debe ser analizada de manera multi escalar y a diferentes niveles de organización, reconociendo el carácter urgente y complejo del logro de la SH.

Finalmente, las relaciones dinámicas entre la mejor comprensión de la complejidad territorial y la adecuación de las decisiones para la SH muestran la importancia de desarrollar estudios de prospectiva que de manera visionaria exploren el futuro, y que ofrezcan bases sustentadas para una mejor gobernanza hacia la seguridad hídrica en las cuencas de México.

5.7. CONCLUSIONES

El marco analítico desarrollado en esta investigación para comprender la complejidad territorial de las cuencas de estudio facilitó la interpretación de las dificultades en los procesos de gobernanza hacia la seguridad hídrica en cuencas rurales semiáridas del Centro Occidente de México. La fortaleza de los tres procedimientos metodológicos permitió visualizar gráficamente la complejidad territorial de cuencas completas y analizarla a profundidad por el tipo de límite y su nivel de organización, dejando al descubierto los procesos territoriales que deberían atenderse para mejorar la construcción de la cuenca como espacio social, una condición para el logro de una buena gobernanza hacia la seguridad hídrica.

Este estudio demostró que el espacio social dentro de los límites físicos de las cuencas estudiadas no está constituido; aquí radica en gran medida el bajo nivel de seguridad hídrica en que se encuentran los habitantes de ambas cuencas de estudio. En ambos estudios de caso, la intervención en las variables clave propuestas en el diagrama causal permitiría atender el problema de la falta de construcción del espacio social, lo que finalmente repercutiría de forma positiva en la consecución de un nivel adecuado de SH en cada cuenca.

La presencia de más actores clave involucrados en la gestión de los recursos hídricos no garantiza una gestión efectiva. Es importante resaltar que la procuración de una adecuada gestión de los recursos hídricos al interior de cualquier cuenca necesita de un mayor conocimiento de su entorno biofísico y de la complejidad de las interacciones sociales.

El marco analítico propuesto en esta investigación puede ser replicado en otras cuencas con condiciones diversas, el análisis de la configuración territorial desde la teoría de jerarquía y la escala geográfica permiten diseccionar la complejidad intrínseca en cualquier proceso de gestión de cuencas. De la misma forma que facilita una ruta para construir o reconstruir puentes entre los actores clave de diferentes niveles con la finalidad de garantizar una gestión del agua a nivel de cuenca hidrográfica más apegada a la realidad, e involucrando a los sujetos territoriales vitales.

Finalmente cabe resaltar que no existe una solución única a los problemas de agua que estos territorios enfrentan, parte del problema ha radicado en tratar de implementar el mismo esquema de gestión sin entender y respetar los arreglos y configuraciones territoriales existentes. Hay una clara necesidad de instituciones efectivas desde el nivel local hasta el nacional, las cuales aseguren políticas territoriales apropiadas a las diversas realidades y necesidades del país, teniendo a la participación ciudadana y los liderazgos comunitarios como la base para garantizar una adecuada adaptación de las capacidades para la atención de los problemas hídricos, cada vez más complejos, inciertos y cambiantes.

5.8. REFERENCIAS

- Abers, R.N. (2007). Organizing for governance: building collaboration in Brazilian river basins, *World Development*, 35(8), pp. 1450-1463.
- Acreman, M. C. (1998). *Overviews: Principles of Water Management for People and the Environment*. Water and population dynamics. IUCN, Inst of Hydrology, UK.
- Allen, J y A. Cochrane. (2007). Beyond territorial fix: Regional assemblages, politics and power. *Regional Studies* 41: 1161–1175.
- Anselin, L. (1995): Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, vol. 27(2), pp. 93-115.

- Atkinson, P. M., y Tate, N. J. (2000). Spatial scale problems and geostatistical solutions: a review. *The Professional Geographer*, 52(4), 607-623.
- Bakker, K. (2012). Water Security: Research Challenges and Opportunities, *Science*, 337(6097), pp. 914-915.
- Becerra, M., Sáinz, J., y Muñoz, C. (2006). Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. *Gestión y política pública*, 15(1), 111-143.
- Bermúdez, O.B. (2010). Agua, territorio y gestión: caminos por recorrer, *Perspectiva Geográfica: Revista del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía*, 15(1), pp. 125-142.
- Bertrand, G. (1972). Les structures naturelles de l'espace géographique. *Rev. Geog. Pyrennes et du Sud – Ouest*. 43 (2) , 175 – 206.
- Biggs, S., y Matsuert, H. (1999). An actor-oriented approach for strengthening research and development capabilities in natural resource systems. *Public Administration and Development: The International Journal of Management Research and Practice*, 19(3), 231–262.
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T., y Mooney, H. A. (2007). The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32, 67–98.
- Brenner, N. (2001). The limits to scale? Methodological reflections on scalar structuration. *Progress in Human Geography*, 25(4), 591–614.
- Bulkeley, H. (2005). Reconfiguring environmental governance: Towards a politics of scales and networks. *Political Geography*, 24(8), 875–902.
- Burgos, A., G. Bocco y J. Sosa. (2014). La gestión del agua y el aporte de la geografía al enfoque de cuencas hidrográficas en México. In F. Pérez Correa (Ed.), *Gestión pública y social del agua en México*, pp. 21–33.
- Burgos, A., y Velázquez, A. (2019). A territory-oriented approach to operationalize sustainable management. *Global Journal of Human-Social Science: B Geography, Geo-Sciences, Environmental Science and Disaster Management*, 19(1), 1–16.
- Calder, I. (2012). *Blue revolution: Integrated land and water resources management*. (2nd ed.). Routledge.
- Cárdenas, C., Suárez S. y Valdéz, F. (2010). Mapeo de actores que intervienen en la gestión ambiental de los humedales Abras de Mantequilla, La Segua e Isla Santay. Quito, Ecuador.
- Cavana, R. Y., y Mares, E. D. (2004). Integrating critical thinking and systems thinking: From premises to causal loops. *System Dynamics Review*, 20(3), 223–235.

- Cohen, A., y Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives*, 4(1), 1–14.
- CONAGUA. (2009). Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Cotler, H., Alcántar, A. G., Mora, I. D. G., López, R. F., y Patrón, E. R. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Cuadernos de Divulgación Ambiental. Guadalajara: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Crampton, J. W. (2011). Cartographic calculations of territory. *Progress in Human Geography*, 35(1), 92–103.
- Chiavassa, S., Ensabella, B., y Deón, J. U. (2017). Territorialidades en conflicto y acciones colectivas: las luchas por el agua en Sierras Chicas, provincia de Córdoba, Argentina. *Agua y Territorio*, (10), 43–57.
- Daily, G.C. (1997). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems, Island Press.
- Diani, M. y Bison, I. (2004). Organizations, coalitions, and movements, *Theory and Society*, 33(3-4), pp. 281-309.
- Dickson, S. E., Schuster-Wallace, C. J., y Newton, J. J. (2016). Water security assessment indicators: the rural context. *Water Resources Management*, 30(5), 1567–1604.
- Diario Oficial de la Federación (2003). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de ordenamiento ecológico. *México, DF*, 39-58.
- Dourojeanni, A. (2009). Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 3 (8): 1-13
- Dourojeanni, A. C. (2009). Análisis crítico de la creación de organismos de cuenca en América Latina y el Caribe. In 1er Encuentro de organismos de cuencas hidrográficas de América Latina y Caribe, Noviembre. Foz del Iguazú (Paraná - Brasil).
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. CEPAL.
- Dourojeanni, A., y Jouravlev, A. (2001). Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua. *Recursos Naturales e Infraestructura* (Vol. 35).
- Elden, S. (2010). Land, terrain, territory. *Progress in Human Geography*, 34(6), 799–817.
- Escamilla, M. (1995). Social participation in the Lerma-Santiago basin: water and social life project, *International Journal of Water Resources Development*, 11(4), pp. 457-66.

- Escamilla, M., Kurtycz, A. y Van Der Helm, R. (2003). Water participation for poverty alleviation--the case of Meseta Purépecha, Mexico, *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 47(6), p. 145.
- European Commission. (2011). Introduction to the new EU Water Framework Directive http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm
- Falkenmark, M., Rockström, J. (2010). Building water resilience in the face of global change: from a blue-only to a green-blue water approach to land-water management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136, 606.
- FAO. 2017. Watershed management in action – lessons learned from FAO field projects. Rome.
- Fernandes, B. M. (2008). Sobre las tipologías de los territorios. Manuscrito. 20 pp. <https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/documentos839/docs/bernardo-tipologia-de-territorios-espanol.pdf>
- Fukuyama, F. (2010). Social capital, civil society and development, *Third World Quarterly*, 22(1), pp. 7-20.
- Galván, M. G., y Tapia, F. H. (2019). La Cuenca Hidrosocial Presa Huapango, México: Un análisis de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y la gobernanza en cuerpos de agua compartidos. *Agua y Territorio*, (14), 69-84.
- Galvis Lagos, M. F. (2006). La generalización en cartografía básica y temática. *Revista Científica*, (9), 207.
- García, L. y Zarco Arista, A. E. (2002). El concepto de la escala y la teoría de las jerarquías en la ecología. *Ciencias*, (067).
- Gerlak, A. K., House-Peters, L., Varady, R. G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., de Grenade, R. R., y Scott, C. A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy*, 82(January), 79–89.
- Getis A. y Ord J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24: 189-206.
- Gibson, C. C., E. Ostrom, y T. Ahn. (2000). The concept of scale and human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics* 32:217-239.
- Giménez, G. (1998). Territorio, cultura e identidades. La región socio-cultural, Instituto de Investigaciones Sociales. Mexico City: UNAM.
- Giraut, F. (2013). Multi-sited territory , territorial complexity and territorial postmodernity : A relevant conceptual toolbox for tackling contemporary territorialities? *L’Espace Géographique*, 42(4), 275–287.

- Governa, F., y C. Salone, 2004. Territories in action, territories for action: the territorial dimension of Italian local development policies. *International Journal of Urban and Regional Research* 28: 796-818.
- Grey, D. y Sadoff, C.W. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development, *Water Policy*, 9(6), pp. 545-71.
- Guerrero de León, A. A., Gerritsen, P. R. W., Martínez-Rivera, L. M., Salcido-Ruíz, S., Meza-Rodríguez, D., y Bustos-Santana, H. R. (2010). Gobernanza y participación social en la gestión del agua en la microcuenca El Cangrejo, en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, (33), 541–567.
- Haesbaert, R. (2013). Del mito de la desterritorialización a la multiterritorialidad. *Cultura y Representaciones Sociales*, 8(15), 9–42.
- Hearne, D., y Powell, B. (2014). Too much of a good thing? Building social capital through knowledge transfer and collaborative networks in the southern Philippines. *International journal of water resources development*, 30(3), 495-514.
- Herner, M. T. (2010). The theory of social representations: an approach from Geography. *Revista Huellas* 34: 150-162.
- Hoffman, O. y Salmerón F. (1997). Entre representación y apropiación, las formas de ver y hablar del espacio. Nueve estudios sobre el espacio. *Representación y formas de apropiación*. CIESAS. México.
- Huntjens, P., Lebel, L., Pahl-Wostl, C., Camkin, J., Schulze, R. y Kranz, N. (2012). Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector, *Global Environmental Change*, 22(1), pp. 67-81.
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda.
- Ison, R., Röling, N. y Watson, D. (2007). Challenges to science and society in the sustainable management and use of water: investigating the role of social learning, *Environmental Science y Policy*, 10(6), pp. 499-511.
- Jauhainen, J. S., y Moilanen, H. (2011). Towards fluid territories in European spatial development: regional development zones in Finland. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 29(4), 728–744.
- Johnston, R.J., Gregory, D. y Smith, D.M. 1994: *The dictionary of human geography* (3rd edn). Oxford: Blackwell.
- Keirle, R., y Hayes, C. (2007). A review of catchment management in the new context of drinking water safety plans. *Water and Environment Journal*, 21(3), 208–216.

- Khan, S., Guan, Y., Khan, F., y Khan, Z. (2020). A Comprehensive Index for Measuring Water Security in an Urbanizing World: The Case of Pakistan's Capital. *Water*, 12(1), 166.
- Koontz, T. M., y Newig, J. (2014). From planning to implementation: Top-down and bottom-up approaches for collaborative watershed management. *Policy Studies Journal*, 42(3), 416–442.
- Kuzdas, C., y Wiek, A. (2014). Governance scenarios for addressing water conflicts and climate change impacts. *Environmental Science and Policy*, 42, 181-196.
- Larson, A. (2010). Making the 'rules of the game': Constituting territory and authority in Nicaragua's indigenous communities. *Land Use Policy* 27: 1143–1152
- Lee, M., Kang, J., y Jeon, S. (2012). Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (1)*, 895–898.
- Loiseau, E., Junqua, G., Roux, P. y Bellon-Maurel, V. (2012). Environmental assessment of a territory: A no overview of existing tools and methods. *Journal of Environmental Management*, 112, 213-225.
- Long, C. (2010). *Participation of the poor in development initiatives: Taking their rightful place*. Routledge.
- López H., F. y Palacios S., M. (2000). Distintos modelos de dependencia espacial. Análisis de Autocorrelación. En: *Anales de Economía Aplicada. XIV Reunión ASEPELT* Universidad de Oviedo. España.
- Machado Aráoz, H. (2010). Territorio, colonialismo y minería transnacional: Una hermenéutica crítica de las nuevas cartografías del imperio. En *III Jornadas del Doctorado en Geografía 29 y 30 de septiembre de 2010 La Plata, Argentina*.
- Maçano Fernandes, B. (2008). Sobre la tipología de los territorios. *Página de Internet*, (1973), 20.
- Manson, S. (2008). Does scale exist? An epistemological scale continuum for complex human-environment systems. *Geoforum*, vol. 39(2), pp. 776-788.
- Marston, S. A. (2000). The social construction of scale. *Progress in Human Geography*, 24(2), 219–242.
- Mazurek, H. (2006). Redefinir el Territorio para definir una constitución. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT--SC, Bolivia Instituto de Investigación Para El Desarrollo, IRD. Extraído de La Web El, 4.

- McMaster, R. y E. Sheppard (2004). Introduction: scale and geographic inquiry. In Sheppard, E. and R. McMaster (eds.), *Scale and geographic inquiry: nature, society and method*, Blackwell Publishing, Oxford, pp. 1-22.
- Meinzen-Dick, R. (2007). Beyond panaceas in water institutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(39), 15200–15205.
- Merino, L., y Segura, G. (2007). Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México. *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales*, 21-49.
- Meza, L.E.R. (2010). La gestión de cuencas en Chiapas, México. ¿Una estrategia exitosa de mitigación, adaptación y reducción de la vulnerabilidad social y ambiental ante los efectos del cambio climático?. Ponencia presentada en GURN – ITUC Workshop “Climate change impact on employment and the labour market. responses to the challenges”. 25 y 26 de marzo de 2010. Bruselas.
- Molle, F. (2009a). River basin planning and management: The social life of a concept. *Geoforum*, 40(3), 484–494.
- Molle, F. (2009b). Water, politics and river basin governance: Repoliticizing approaches to river basin management. *Water International*, 34(1), 62-70.
- Moore, A. (2008). Rethinking scale as a geographical category: From analysis to practice. *Progress in Human Geography*, 32(2), 203–225.
- Morandi, J. L. (2017). El espacio y la multi-territorialidad como fundamentos metodológicos para las prácticas de ordenamiento territorial. VI Seminario Internacional de Ordenamiento Territorial, 358–375.
- Morataya, R., y Bautista, P. (2020). Water Governance and Adaptation to Drought in Guanacaste, Costa Rica. In *Integrated Water Resource Management*, pp. 85-99. Springer, Cham.
- Muste, M. V., Bennett, D. A., Secchi, S., Schnoor, J. L., Kusiak, A., Arnold, N. J. y Rapolu, U. (2012). End-to-end cyber infrastructure for decision-making support in watershed management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(5), 565–573.
- Naiman, R.J. (1996). Water, society and landscape ecology, *Landscape ecology*, 11(4), pp. 193-206.
- Narayan, J. (1998). *Participation and Social Assessment: Tools and Techniques*, V.1 (p. 347). World Bank Publications.
- Neumann, R. P. (2009). Political ecology: the orizing scale. *Progress in human geography*, 33(3), 398-406.

- New Zealand. (2014). National policy statement for fresh water management 2014. Ministry for the Environment.
- O'Neill, R. V. (1989). Perspectives in hierarchy and scale. *Perspectives in ecological theory*, 140-156.
- Olvera, M. (2016). Desnaturalizando la cuenca en México: notas sobre el espacio hidropolítico. *Agua y Territorio*, (7), 11.
- Pacheco-Vega, R. (2015). River basin councils as action arenas: Analyzing rules and norms in the Lerma-Chapala river basin council using the IAD framework, 5(2013), 10.
- Pacheco-Vega, R., y Basurto, F. (2008). Instituciones en el saneamiento de aguas residuales: Reglas formales e informales en el consejo de cuenca Lerma-Chapala. *Revista Mexicana de Sociología*, 70(1), 87-109.
- Pacheco-Vega, R., y Vega, O. (2008). Los debates sobre la gobernanza del agua: hacia una agenda de investigación en México. *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*, 1, 57-86.
- Pahl-Wostl, C., Gupta, J. y Petry, D. (2008). Governance and the global water system: A theoretical exploration, *Global Governance: A Review of Multilateralism and International Organizations*, 14(4), pp. 419-35.
- Paré, L., Fuentes, T., Garcia, I., Gerez, P., Muniz-Castro, M., y Vidriales, G. (2008). Gestión de la cuenca del Río Pixquiac y su interacción con la zona conurbada de Xalapa: esfuerzos desde la sociedad civil. *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*, Soares, D., Vargas, S., and Nuno, MR (Eds.), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Mexico, 228-256.
- Peña, L., López, D., Cejudo, L., Santander, Á., Olavee, M., y Olivas, A. G. (2016). Identificación de áreas potenciales de recarga hídrica en el acuífero Cuauhtémoc (Chihuahua) mediante una evaluación espacial multicriterio. En: *Estudios territoriales en México: percepción remota y sistemas de información espacial* (pp. 339–362). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Perales, V. (2016). La cuenca social como aproximación sociológica a las intervenciones en cuencas hidrográficas. *Temas Sociales*, 39, 221–240.
- Perevochtchikova, M., y Arellano, J. (2008). Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(3), 313–325.
- Perramond, E. P. (2013). Water governance in New Mexico: Adjudication, law, and geography. *Geoforum*, 45, 83-93.

- Pineda, N., Moreno Vázquez, J. L., Salazar Adams, A., y Lutz Ley, A. N. (2015). Derechos de agua y gestión por cuencas en México. El caso del río Sonora. *Espiral Estudios Sobre Estado y Sociedad*, 21(61), 191–225.
- Portilla Rodríguez, M. (2003). Actores Sociales en el desarrollo rural territorial, *Revista Sinopsis* (8).
- Raffestin, C., y S.A. Butler. (2012). Space, territory, and territoriality. *Environment and Planning D: Society and Space* 30(1): 121–141.
- Ramírez, L., y Falcón, V. (2015). Autocorrelación espacial: Analogías y diferencias entre el índice de Moran y el índice de Getis y Ord. Aplicaciones con indicadores de acceso al agua en el norte argentino. Ponencia Presentada En las jornadas Argentinas de Geotecnologías, Universidad Nacional de San Luis, 2.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Stringer, L. C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of environmental management* 90(5), 1933-1949.
- Retamal, M. R., Andreoli, A., Arumi, J. L., Rojas, J., y Parra, O. (2013). Gobernanza del agua y cambio climático: fortalezas y debilidades del actual sistema de gestión del agua en Chile. *Análisis interno. Interciencia*, 38(1), 8-16.
- Richardson, G. (2011). Reflections on the foundations of system dynamics. *System Dynamics Review*, 27(3), 219–243.
- Rincón García, J. J. (2012). Territorio, territorialidad y multiterritorialidad: aproximaciones conceptuales. *Aquelarre. Revista Del Centro Cultural de La Universidad Del Tolima*, 11(22), 231.
- Ruiz R., N. y L. Galicia S. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio- ambientales. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 89, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 137-153
- Salvatore, O., Burgos, A. L., Sosa Ramírez, J. y Bocco, G. (2019). Valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica: Aplicación en cuencas rurales del Centro Occidente de México. *Journal of Latin American Geography*, 18(2), 88–119.
- Sayre, N. (2005). Ecological and geographical scale: parallels and potential for integration. *Progress in Human Geography*, vol. 29(3), pp. 276-290.
- Silva, J., y Burgos, A. (2019). La importancia socio-jurídica de las cuencas hidrográficas. In *Conference: Sistemas sociais complexos e integração de geodados no direito e nas políticas* At: Coimbra, Portugal, pp. 159–180.
- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings Of the American Philosophical Society*, 106(6), 335–361.

- Simon, H. A. (1991). The architecture of complexity. In *Facets of systems science*, pp. 457-476. Springer, Boston, MA.
- Stein, C., Ernstson, H. y Barron, J. (2011). A social network approach to analyzing water governance: The case of the Mkindo catchment, Tanzania, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14), pp. 1085-92.
- Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. *California Management Review*, 43(4), 8–25.
- Ther Ríos, F. (2006). Complejidad territorial y sustentabilidad: notas para una epistemología de los estudios territoriales. *Horizontes Antropológicos*, 12(25), 105–115.
- Tidwell, V. C., Passell, H. D., Conrad, S. H., y Thomas, R. P. (2004). System dynamics modeling for community-based water planning: Application to the Middle Rio Grande. *Aquatic Sciences*, 66(4), 357–372.
- Torres, F., y Delgadillo, J. (2009). Hacia una política territorial del desarrollo rural de México. *Convergencia*, 16(50), 107-131.
- Tortajada, C. (2010). Water Governance: Some Critical Issues. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), 297–307.
- Ulate, G. V. (2004). La escala zonal, regional y local en el análisis del régimen pluviométrico del istmo Centroamericano. *Revista Reflexiones*, 83(1).
- UNDESA, UNDP, y UNECE. (2003). *Governing water wisely for sustainable development. United Nations, World Water Development Report: Water for People, Water for Life.* Paris: UNESCO.
- Velasco, I., y Montesillo Cedillo, L. (2007). Elementos en la gestión de cuencas en condiciones de sequía. *Gestión y Política Pública*, XVI, 5–27.
- Velázquez, S. V. (2017). Territorios hídricos y manejo comunitario de recursos en dos localidades de México. Pp. 59–86. *Cardinalis*, (8).
- Villarroel, E. (2007). Identificación de los espacios socio territoriales administrativos para la gestión del agua: el caso de la cuenca social de la zona Tiquipaya Colcapirhua en Bolivia. En: Yáñez, Nancy y Poats, Susan (Coord.). *Derechos de agua y gestión ciudadana. Agua Sustentable. Visión del agua en los Andes.* La Paz: Agua Sustentable-IDRC. pp. 51-76.
- Vogel, E. (2012). Parcelling out the watershed: The recurring consequences of organising Columbia river management within a basin-based territory. *Water Alternatives* 5(1): 161-190
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., y Liermann, C. R. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561.

- Wu, J. (1999). Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of RemoteSensing*, 25(4), 367–380.
- Wu, J. (2013). Hierarchy Theory: An Overview. In R. R. et al., (Ed.), *Linking Ecology and Ethics for a Changing World: Values, Philosophy, and Action*, pp. 281–301.
- Wu, J., y David, J. L. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. *Ecological Modelling*, 153(1–2), 7–26.
- Zambrano, C. V. (2006). *Ejes políticos de la diversidad cultural*. Bogotá; Colombia: Siglo del hombre Editores - Universidad Nacional de Colombia.

[página intencionalmente en blanco]

CAPÍTULO 6

PROSPECTIVA DE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN

CUENCAS HIDROGRÁFICAS

[página intencionalmente en blanco]

Resumen

La prospectiva, -el estudio de las condiciones futuras-, se ha utilizado en ámbitos de interés científico, social, político y empresarial mostrando resultados de alta relevancia para orientar la toma de decisiones y la acción. No obstante, esta no ha sido empleada en la gestión de cuencas hidrográficas para indagar en la consecución de la seguridad hídrica (SH), pese a que una de las premisas en el enfoque de cuencas es la intervención sobre los procesos y capacidades sociales para lograr los objetivos deseados a nivel de cuenca. Este capítulo presenta un ejercicio prospectivo en dos cuencas rurales semiáridas del Centro Occidente de México en los estados de Aguascalientes y Michoacán, cuya condición en la SH se encontraba bien caracterizada para el año 2014-2015. Se fijó el año 2035 (20 años adelante) para establecer los escenarios posibles en la SH de las cuencas, mediante narrativas cualitativas. La técnica de construcción de escenarios abarcó el análisis estructural para identificar las variables estratégicas, el análisis morfológico, la validación de consistencia cruzada, y la narrativa ambiental para escenarios bajo condiciones optimistas. Los resultados evidencian la contribución de la prospectiva a la gestión de cuencas hidrográficas en México. Si la prospectiva se utiliza de manera técnicamente rigurosa, y mediante procedimientos participativos, induciría un proceso de planificación territorial, condicionando la movilización social para volver real una visión compartida de futuro.

Palabras clave: construcción de escenarios, cuencas semiáridas, seguridad hídrica, gestión de cuencas.

6.1. INTRODUCCIÓN

Sin duda el agua es un factor clave para el desarrollo sostenible. Por ello, la crisis de seguridad hídrica (SH) que enfrenta la humanidad exige a las generaciones presentes la toma de decisiones acertadas para asegurar el agua para el futuro. En tal sentido, son estas generaciones las que tienen la responsabilidad de cuestionarse sobre las condiciones de SH del futuro, y sobre la creación de medios y mecanismos para planificar acciones hacia una mejor condición bajo una creciente incertidumbre ambiental. Para ello, el enfoque de gestión de cuencas hidrográficas es, por el momento, la mejor aproximación para establecer

trayectorias conducentes al logro de la SH para las generaciones presentes y futuras (Wheater y Gober, 2013; Kauffer y Gallardo, 2019). En este enfoque, la cuenca es la entidad geográfica idónea para comprender y explicar las relaciones entre los procesos hidrológicos naturales, los efectos de las actividades y acciones humanas dentro de la cuenca, y las amenazas naturales y antropogénicas sobre los recursos hídricos (Dourojeanni, Jouravlev y Chávez, 2002; Burgos y Bocco, 2015).

La necesidad de mirar hacia el futuro, una característica de la especie humana, ha promovido el desarrollo del campo de la prospectiva, una aproximación abocada a la exploración rigurosa de las posibilidades del futuro bajo altos niveles de incertidumbre (Godet et al., 2000; Godet, 2007; Mera, 2014; Gándara, 2015). La prospectiva permite explorar las tendencias y los diferentes cursos de acción o inacción para alcanzar condiciones futuras deseadas o impedir aquellas no deseadas (Alonso, 2014). Para la prospectiva, el futuro es el resultado de la acción humana, lo que hace posible que pueda ser diseñado y modificado proactivamente (Miklos y Tello, 2006). La prospectiva se ha utilizado en ámbitos de interés científico, social, político y empresarial mostrando resultados de alta relevancia para orientar la toma de decisiones y la acción (Godet y Durance, 2011; Salas, 2013; Tapia y Gándara, 2016). Al decir de Godet (2007), “el futuro de los territorios está abierto y depende menos de las tendencias e incertidumbres del presente que de la capacidad de los actores de reunirse alrededor de proyectos comunes y de construir conjuntamente una verdadera sociedad de proyectos”.

El uso de la prospectiva, sin embargo, se encuentra muy poco representado en los estudios y planes para mejorar la SH a nivel de cuenca hidrográfica. La construcción de escenarios es una técnica analítica y participativa muy utilizada en las ciencias de la sostenibilidad (Bohunovsky et al., 2011; Moreno, 2013), y en proyecciones de cambio global mediante complejos modelos cuantitativos (Gallopín y Raskin, 1998). Sin embargo, pocos trabajos la aplican a la gestión del agua y de cuencas hidrográficas. Ciertamente, la prospectiva es un componente importante en la elaboración de instrumentos de ordenamiento territorial (Suárez et al., 2011; Madrigal, 2016; Pinos, 2016). Pero a pesar de su alto potencial, los ejercicios de prospectiva como los que se desarrollan en el actual modelo de ordenamiento territorial utilizado en México, no aportan suficientemente a la identificación de problemas y a la

síntesis de resultados, limitando así la propia efectividad de la herramienta (Sánchez, Casado y Bocco, 2013).

Como una contribución analítica a la gestión de cuencas hidrográficas, este trabajo indaga en el uso de la prospectiva para proyectar la condición futura de SH a nivel de cuenca hidrográfica, a partir de su condición en el presente y la complejidad territorial de la cuenca. El objetivo de este capítulo es aplicar la prospectiva mediante la construcción de *escenarios de SH* en dos cuencas hidrográficas semi áridas suficientemente bien caracterizadas, y evaluar las contribuciones de la técnica a la gestión de cuencas hidrográficas en México. El ejercicio de construcción de escenarios de SH aquí desarrollado es de carácter exploratorio, y es complementario de los abordajes analíticos previamente desarrollados en dos cuencas semiáridas del Centro-Occidente de México en los Capítulos IV y V de esta tesis. En última instancia, se pone a prueba la prospectiva como una contribución analítica capaz de generar insumos para un mejor desempeño del enfoque de gestión de cuencas hidrográficas hacia la seguridad hídrica. Sin embargo, este no debe asumirse como un ejercicio acabado que pueda derivar de manera directa en directrices de política hídrica para las cuencas de estudio.

En la siguiente sección se presenta una síntesis conceptual de la herramienta de prospectiva territorial y construcción de escenarios, para establecer el estado del arte de su aplicación para la gestión de los recursos hídricos. Posteriormente, en la sección 6.3, se retoman los casos de estudio en dos cuencas rurales semiáridas en Aguascalientes y Michoacán, y las conclusiones sobre su condición de seguridad hídrica (Capítulo IV), y su complejidad territorial (Capítulo V), que sientan las bases para el ejercicio exploratorio de construcción de escenarios aquí presentado. En la sección 6.4 se explica el procedimiento metodológico desarrollado; y, en la sección 6.5 se despliegan los resultados, ejemplificando solamente un escenario para cada cuenca de estudio. Finalmente, se discuten los alcances de este tipo de ejercicios de prospectiva como soporte para una mejor gestión de cuencas hidrográficas hacia la seguridad hídrica.

6.1.1. Prospectiva y construcción de escenarios de SH en la gestión de cuencas y recursos hídricos

En esta sección se presentan algunos postulados generales sobre la prospectiva territorial por un lado; y su aplicación en la gestión de los recursos hídricos y de cuencas hidrográficas, por el otro.

6.1.1.1. Prospectiva territorial

La prospectiva territorial es el campo de aplicación de la planificación y gestión del territorio, y constituye un enfoque de alto potencial, que orienta el pensamiento hacia la indagación de la configuración futura de los territorios. La prospectiva abarca un gran número de técnicas cuantitativas, cualitativas y semi-cuantitativas con alto potencial para indagar en los futuros posibles de espacios geográficos particulares (Fernández, 2011; Gourmelon et al., 2012).

Una de las técnicas más utilizadas es la construcción de escenarios, los cuales se definen como la descripción de los posibles estados o condiciones futuras dentro de un campo temático (Johansen, 2018). Los escenarios no son predicciones de eventos futuros y, aunque a veces se pueden asociar a probabilidades, su función principal es presentar a los tomadores de decisiones un conjunto de futuros alternativos contra los cuales se pueden medir diferentes cursos de acción. En este sentido, los escenarios de cambio conjugan variables clave relacionadas con el uso del suelo, la dinámica de la población, equipamiento y funcionalización del territorio, entre otros atributos (Salas, 2013). De este modo, es viable imaginar los posibles futuros de un territorio considerando de forma integral y coherente, el ámbito espacial en el cual la sociedad en su actuar cotidiano, crea y transforma objetos, se interrelaciona, proyecta intereses y entabla luchas de poder para lograr sus propios objetivos. La prospectiva territorial es un instrumento poderoso para el diseño de estrategias de desarrollo endógeno (Espinosa, 2006).

La madurez en los métodos de prospectiva ha permitido que en los últimos 20 años ésta se emplee en planificación y construcción colectiva del territorio. Los trabajos sobre ordenamiento territorial (O'byrne, 1999; De la Coba et al., 2011; Arrubla, 2017), emplean la

prospectiva para explorar los cambios viables y favorecer la comprensión de la realidad territorial por los diferentes sujetos territoriales. Entre los estudios de prospectiva territorial, destacan los de Loinger, Spohr y Godet (2004); Espinosa (2006); Delgado, Ambrosio y Amador (2015), que exploran la manera en que los actores colaboran para lograr territorios complementarios y resilientes.

En términos metodológicos, la prospectiva territorial dispone de un amplio abanico de métodos y técnicas que permiten realizar estudios del futuro con suficiente rigurosidad. Por un lado, los métodos cuantitativos utilizan algoritmos de mayor o menor complejidad para analizar tendencias, corresponder variables, contrastar series de tiempo, entre otros (Godet y Durance, 2007). Se emplean tratamientos matemáticos y estadísticos de los datos de origen, por lo que requieren información numérica suficiente y confiable sobre la condición presente y pasada del territorio o sistema de interés (Pinos, 2016; Silva et al., 2018). Por el otro, los métodos cualitativos utilizan técnicas como encuestas y entrevistas a expertos, el método Delphi, el diseño de escenarios, y el análisis morfológico entre muchas otras (Espinosa, 2006; Martins y Lopes, 2014; Salas y Campos, 2016).

Cabe señalar que todo proceso de prospectiva reviste aciertos y desaciertos. En cualquier caso, los ejercicios de prospectiva estimulan el pensamiento creativo en torno a cómo imaginar, - con lógica y rigurosidad desde el presente -, el futuro del territorio. El propósito es contribuir a la toma de decisiones pertinentes y evitar el análisis coyuntural como única guía de las actuaciones. Ahora bien, la prospectiva puede transformarse en un ejercicio sin sentido, si no contribuye a mejorar los esquemas de gobierno territorial. Más aún, puede ser un ejercicio ocioso, si no está orientado a diseñar mecanismos de gobernanza territorial, entendida como el proceso dirigido a planificar y gestionar la dinámica del territorio mediante la colaboración, coordinación, corresponsabilidad y custodia del bien común por parte de diferentes actores, dentro y entre distintos niveles institucionales y escalas (Farinós, 2008; Salas, 2014).

6.1.1.2. La seguridad hídrica y la construcción de escenarios

En los últimos 20 años, la preocupación por la situación de los recursos hídricos ha ido en franco crecimiento. En este marco, el concepto de Seguridad Hídrica ha ganado presencia en el discurso científico y público debido a su pertinencia en la actual crisis hídrica bajo el contexto del cambio climático (Vörösmarty et al., 2010). A partir de la definición de SH propuesta inicialmente por Grey y Sadoff (2007), entendida como “la capacidad física e institucional de una población para lograr el abasto de agua para todos sus miembros y necesidades, manejar los riesgos asociados a eventos climáticos extremos, así como resolver conflictos entre usuarios”, se han ido incorporando otras dimensiones. Algunas conceptualizaciones de SH incluyen la dimensión económica (Asian Development Bank, 2013), la dimensión política (UNWater, 2013), y la dimensión social en el concepto de gobernanza (Scott et al., 2013); así como la necesidad de conectar las acciones globales (Grey et al., 2013; OECD, 2013). Esta mayor profundidad en la conceptualización de SH refleja las dificultades crecientes que enfrenta la gestión de los recursos hídricos (Dickson, Schuster y Newton, 2016). Diversos autores puntualizan que modificar positivamente el nivel futuro de SH es solo posible a través del entendimiento de la estructura social y la manipulación de algunas de sus capacidades sociales como la resiliencia y la adaptación (Zeitoun et al., 2016; Jepson et al., 2017).

El uso de la prospectiva en estudios para la gestión de recursos hídricos y cuencas cuenta con un escaso desarrollo. Mestre (2012) abordó un estudio de 26 cuencas en tres continentes, y manifestó la importancia de incorporar la prospectiva en la gestión integrada en cuencas con estrés hídrico, con el fin de garantizar una mayor integralidad y lograr un adecuado desarrollo económico sostenible. Por su parte, Aylward y González (1998) en Costa Rica utilizaron la prospectiva para orientar la implementación de un esquema de gobernanza para mejorar la gestión de cuencas hidrográficas. En Brasil, Demanboro et al. (2013) y Toledo (2017) hicieron uso de la creación de escenarios para hacer una planificación ambiental sostenible con base en la gestión de cuencas hidrográficas; mientras que Silva et al. (2018) bajo un enfoque más técnico y con el uso de las herramientas del SIG, evaluaron posibles escenarios a escala de cuenca hidrográfica con el fin de identificar las mejores aptitudes para conservación, recuperación y aprovechamiento agropecuario o forestal sostenible. Finalmente, en México destacan los estudios de Huerta, Serra y Sandoval (2001), Gándara

(2015) y Medero et al. (2016) quienes hacen uso de la técnica prospectiva de creación de escenarios para evaluar la gestión de los recursos hídricos. En ningún trabajo de los mencionados se incorpora la dimensión territorial de la cuenca, por lo que difícilmente se incorporarán a la planificación los múltiples territorios inscritos en sus límites.

6.2. CUENCAS DE ESTUDIO

El ejercicio de construcción de escenarios hacia la SH se realizó en dos cuencas rurales semiáridas en los Estados de Aguascalientes y Michoacán, dentro de la Región Centro Occidente del país, denominadas cuenca Arroyo Juan El Grande y Arroyo San Pedro Jorullo, respectivamente. Ambas cuencas presentan precipitaciones estacionales por debajo de la media histórica y son de carácter rural, debido a la predominancia de actividades económicas primarias, y el modo de vivir y actuar de sus habitantes (Salvatore et al., 2019). En ambas cuencas se realizó la valoración de su condición de seguridad hídrica para el año 2014, y se determinó su complejidad territorial. Hay que señalar que el análisis de complejidad territorial es un insumo para establecer mecanismos de incremento de la gobernanza de la cuenca, al mismo tiempo que un insumo clave para el ejercicio de construcción de escenarios de SH presentado en este capítulo.

En la cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes) la valoración de la SH en el 2014, presentaba un **nivel sub-óptimo** que podría transitar a una condición de insuficiencia si no se atendían los focos rojos identificados (Salvatore et al., 2019). En aquel momento, el uso de aguas subterráneas se ubicaba en valores muy por encima de los recomendados por instancias internacionales para su clima y actividades productivas. La creación de infraestructura hidráulica predominaba como la única solución a los problemas de la falta de agua. Las fuentes de agua eran pozos profundos básicamente, con tasas de extracción desmedidas, sin control ni monitoreo. La población de la cuenca asumía el abasto de agua como un bien dado, con una absoluta confianza en que los pozos profundos proveerían de agua eternamente, mientras que la producción agrícola caminaba hacia una enorme dependencia de la infraestructura de riego.

Respecto a su configuración territorial, la cuenca Juan El Grande presentaba una mayor

presencia de territorios simbólicos, con una menor frecuencia de territorios sub-nacionales, siendo la zona de almacenamiento de la cuenca la de mayor complejidad territorial (esta tesis, Capítulo V). La mayor presencia de territorios simbólicos fue identificada como una posible causa de la desarticulada acción de actores de gobierno en sus distintos niveles, al no ser fácil la identificación de las competencias y corresponsabilidad. Y pese a la presencia de un buen número de actores clave, no existía en esta cuenca un espacio social construido. De tal forma que los escasos procesos de gobernanza eran insuficientes para sostener al menos, el nivel sub-óptimo de SH en el que se encontraban. La organización comunitaria estaba poco desarrollada, la mala organización y la baja participación ejidal, repercutían en relaciones limitadas entre los habitantes de distintas localidades. Se percibía una total desconfianza en las acciones gubernamentales, al igual que gran desconocimiento sobre cualquier política pública en materia de agua que pudiera traerles beneficios. Por consiguiente, no existían esquemas de gestión de la cuenca, lo que conllevaba al mal uso del agua, desaprovechamiento de la infraestructura, conflictos y sobre explotación de sus fuentes subterráneas.

Respecto a la cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán), los resultados de la valoración de la SH en 2014 denotaban una condición de fuerte **precariedad hídrica** (Salvatore et al., 2019). Esta condición derivaba de la nula inversión pública en infraestructura hidráulica, acompañada de la total ausencia de programas de gobierno, lo que creaba condiciones de alta dificultad para mejorar las condiciones de vida de los pobladores locales. La demanda de agua para uso doméstico y agropecuario así como sus actividades productivas estaban totalmente condicionadas por los volúmenes de lluvia, estando la cuenca en su conjunto expuesta a largos períodos de ausencia de precipitaciones. Los sistemas de producción eran de agricultura de temporal con muy bajos rendimientos agrícolas, con la práctica de la ganadería extensiva de baja escala sometida a las inclemencias de la falta de agua y forrajes en los largos meses de la época seca (diciembre - junio).

La complejidad territorial de la cuenca San Pedro Jorullo es mayor que aquella de la cuenca Juan El Grande en Aguascalientes. Pese a la presencia de una menor cantidad (menos de la mitad) de sujetos territoriales identificados como activos por los actores locales (esta tesis, Capítulo V). A nivel local únicamente se encontraron actores de la sociedad civil organizada, mientras a nivel regional eran básicamente actores de gobierno. Esto propició que los

habitantes locales reforzaran sus redes de colaboración comunitaria para solucionar los problemas de la falta de agua de manera autónoma, como consecuencia del abandono por parte del estado.

6.3. MÉTODO

El ejercicio de prospectiva abarcó la construcción de escenarios a partir de seis componentes que determinan la SH y la complejidad territorial en las cuencas de estudio (Figura 6.1). Los componentes de la SH fueron: 1) las amenazas hidrometeorológicas; 2) la dinámica sociodemográfica y uso del suelo; y 3) la infraestructura hidráulica. Estos componentes son clave en la valoración de la SH (Dickson, Schuster y Newton, 2016; Gerlak et al., 2018; Salvatore et al., 2019) y se desarrollaron en el capítulo IV de esta tesis. Por su parte, los tres componentes de la complejidad territorial fueron: 1) la configuración territorial; 2) los sujetos territoriales, y 3) la gobernanza; apoyados en el marco conceptual de Guerrero de León et al. (2010) y Burgos y Velázquez (2019), desarrolladas en el capítulo V.

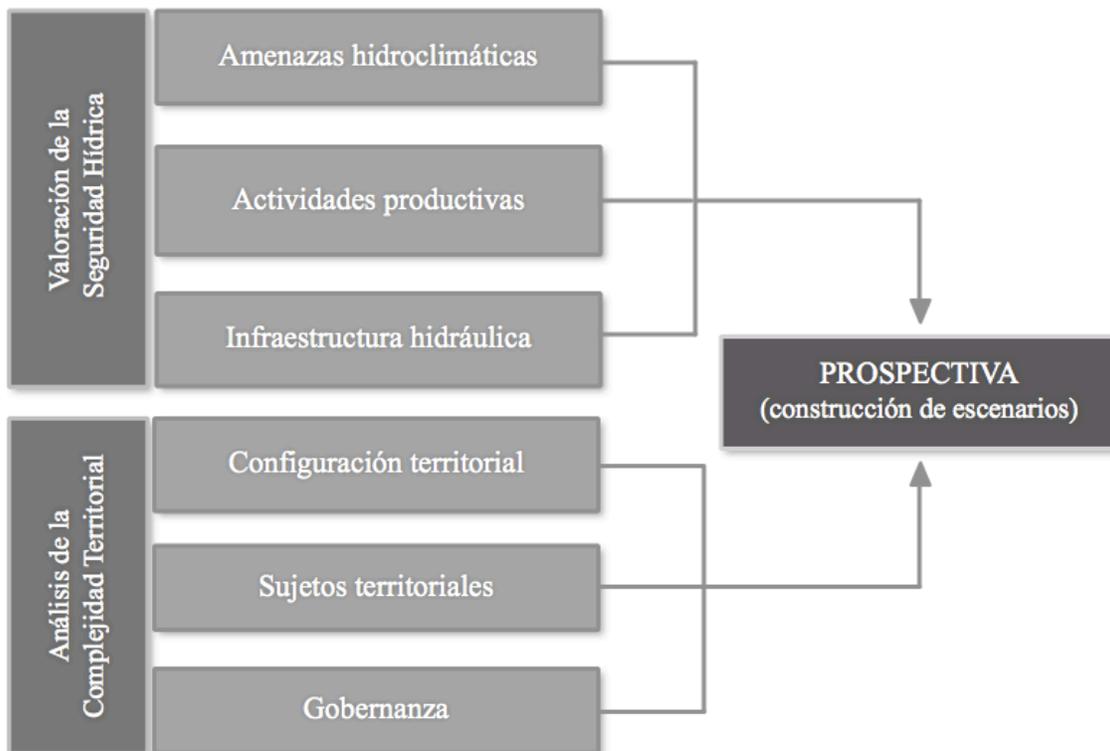


Figura 6.1. Componentes de la SH y la complejidad territorial de cuencas hidrográficas utilizados para el ejercicio de prospectiva de construcción de escenario (cajas claras).

El ejercicio de construcción de escenarios para las cuencas de estudio se realizó para un horizonte temporal de 20 años desde el año 2015, momento en el cual se validó la condición de SH y complejidad territorial, este marco temporal se considera de largo alcance (Ogilvy y Schwartz, 2004). Así, los escenarios se pensaron para el año 2035. La técnica utilizada fue la propuesta por Tapia y Gándara (2016), y Gándara y Vera (2017), la cual emplea cuatro etapas analíticas encadenadas, de modo que los resultados de una etapa son el insumo para la siguiente; de este modo la riqueza de la información va en aumento de una etapa a otra (Figura 6.2).

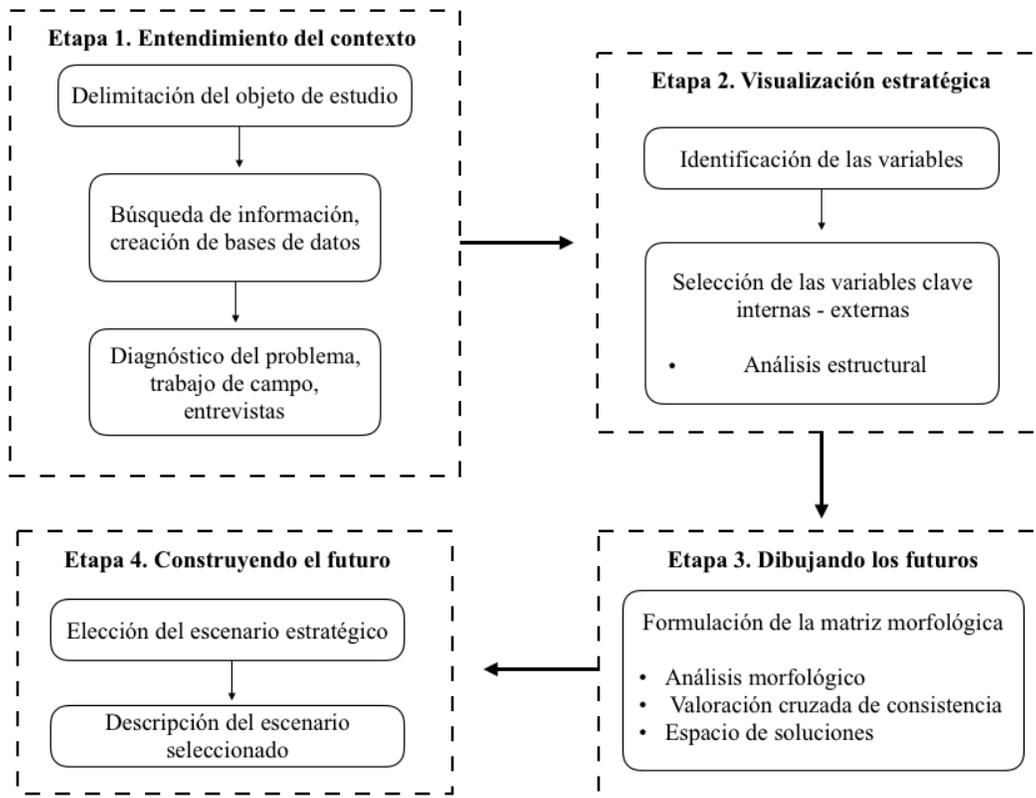


Figura 6.2. Ruta metodológica de la prospectiva estratégica por escenarios. Tomado de Gándara y Vera (2017).

Etapa 1. Entendimiento del contexto

Esta etapa del procedimiento se refiere al entendimiento general del problema y su contexto. El problema de interés es el estado futuro de la SH en dos cuencas rurales semiáridas de mediana superficie en México, el cual puede expresarse con la siguiente

pregunta: ¿Qué condición en la SH de las cuencas de estudio podría estar presente en el año 2035 considerando su condición presente de SH y su complejidad territorial?. El entendimiento del contexto se sustentó de los capítulos IV y V de esta tesis; las restantes tres etapas se desarrollan en este capítulo.

Etapa 2. Visualización estratégica (análisis estructural)

En esta etapa se desarrolla el llamado análisis estructural, el cual consiste en la identificación de variables que puedan incidir en las trayectorias del sistema, y su categorización. Este paso permite la posterior selección de aquellas más influyentes y dependientes (Gándara, 2015), al mismo tiempo busca realizar una reflexión colectiva del grupo de estudio y también reduce la complejidad del sistema a puntos concretos (Arango y Cuevas, 2014).

En este estudio, el análisis estructural se realizó a partir de los 16 descriptores utilizados en la valoración de la SH (Capítulo IV), y de cuatro variables utilizadas en el análisis de la configuración territorial (Capítulo V). A ello, se agregó una nueva variable, denominada *gestión de la cuenca* (GC), la cual es un índice que surge de la integración de las 20 variables anteriores. Así, quedó conformada una batería de 21 variables con comportamiento bien conocido en las cuencas de estudio, que quedaron disponibles para el ejercicio de construcción de escenarios (Cuadro 6.1).

Las 21 variables fueron clasificadas en *Internas* y *Externas*. Las variables *Internas*, son aquellas que dependen en mayor medida de la acción o inacción directa de los sujetos sociales involucrados, de tal forma que pueden asociarse a las fortalezas y debilidades de los colectivos de actores sociales en el sistema de estudio (Godet y Durance, 2011). Las variables *Externas* son aquellas que no dependen de acciones o procesos que ocurran al interior del sistema de estudio, sino que resultan ajenas aunque imponen restricciones a las condiciones endógenas.

En esta investigación, el propósito del ejercicio es evaluar escenarios alcanzables por medio de las capacidades internas de la cuenca, por lo que se asumió el supuesto de que las variables externas son invariantes; y se utilizaron solamente variables internas. Adicionalmente siguiendo las recomendaciones metodológicas de Garza y Cortez (2011), se utilizaron las variables *Internas* con una tasa de cambio rápida. Las variables Internas clasificadas como

de tasa de cambio lenta, e.g. configuración territorial, no fueron seleccionadas. La tasa de cambio es cómo cambia una variable en función de otra variable. Con base en la experiencia de trabajo de campo de los asesores de esta tesis es que se determinó el si una variable era de tasa rápida con respecto a otras. Quedando finalmente delimitadas seis variables consideradas de tasa rápida, debido a que una modificación en su estado es más viable y factible de registrarse durante el rango de tiempo determinado para el ejercicios de prospectiva, en este caso 20 años.

Así las variables seleccionadas se denominan variables clave, y deben tener la misma importancia en relación con el problema que se analiza, ser abstractas, sencillas, independientes y potencialmente con muchas conexiones internas (Stenström, 2013). Godet et al. (2000), recomiendan el uso de un máximo de seis variables clave, ya que, a mayor número de variables, es mayor el número de escenarios posibles, lo que incrementa la dificultad del análisis. La selección de pocas variables reduce la dimensionalidad del análisis si bien se pierde información y realismo. Debido al compromiso entre simplicidad y realismo, es importante realizar una selección bien fundamentada de las variables que se incluirán en el análisis morfológico.

Cuadro 6.1. Variables utilizadas en el análisis estructural (Etapa 2), descripción y clasificación

Componente	Variables	Descripción	Tasa de cambio	Tipo de variable
Amenazas hidroclimáticas	1. Temperatura y precipitación anual	Estas variables reflejan las condiciones hidrometeorológicas de las cuencas de estudio; en las que predominan los episodios de sequía, si bien ocasionalmente se presentan ciclos muy húmedos con afectaciones importantes a la infraestructura hidráulica, las casas y caminos, así como a las zonas agro-productivas.	Lenta	Externa
	2. Frecuencia de años extremos		Lenta	
	3. Precipitación de años extremos		Lenta	
	4. Respuesta hidrológica general		Lenta	
	5. Variabilidad interna de la respuesta hidrológica		Lenta	
Actividades productivas	6. Condición sociodemográfica	Se refieren a las variables demográficas como la densidad de población, marginación por localidades y como estas dinámicas poblacionales pueden impactar a las diversas actividades productivas en la cuenca hidrográfica.	Lenta	Interna
	7. Tipo de actividades productivas primarias		Lenta	
	8. Tendencias en las actividades productivas primarias		Rápida	
	9. Conectividad terrestre		Lenta	
Infraestructura Hidráulica	10. Demanda doméstica de agua	Estas variables establecen la relación entre la oferta y la demanda de agua. Los datos derivaron del inventario de la infraestructura hidráulica existente en el año 2014, de las capacidades sociales y el uso de agua en diversas actividades.	Rápida	Interna
	11. Fuentes de agua y aprovechamiento		Rápida	
	12. Aptitud de la infraestructura hidráulica para la producción		Rápida	
	13. Adecuación agroclimática		Lenta	
	14. Satisfacción hídrica		Lenta	
	15. Control por infraestructura		Lenta	
Configuración territorial	16. Complejidad territorial	Estas variables son los factores que determinan la configuración territorial, y su análisis es un elemento esencial para la gestión de cuencas.	Lenta	Interna
	17. Tipos de territorios		Lenta	
	18. Niveles de organización		Lenta	
Sujetos Territoriales	19. Cantidad de actores clave	Con estos elementos se sustenta el proceso de toma de decisiones a escala de cuenca hidrográfica.	Lenta	Interna
	20. Fortaleza de los vínculos sociales		Rápida	
Gobernanza	21. Gestión de la cuenca	Variable que permite una mejoría en el nivel de seguridad hídrica	Rápida	Interna

Etapa 3. Dibujando los futuros (análisis morfológico)

El análisis morfológico aborda las formas que pueden adquirir los futuros posibles del sistema (Vásquez y Ortegón, 2006). Su objetivo es descomponer el sistema estudiado en componentes. Estos componentes deben ser tan independientes como sea posible y han de poder explicar la totalidad del sistema estudiado (Ramos et al., 2019). De esta forma el análisis morfológico explora el campo de evoluciones posibles, a partir de las variables clave del *análisis estructural*; así como aquellas configuraciones posibles que pueden representar un futuro (en un horizonte temporal dado) y explorando una combinatoria de esas configuraciones.

Este análisis incluye varios pasos, a saber 1) la construcción de la *matriz morfológica o espacio del problema*, 2) la valoración de consistencia cruzada, 3) la definición del espacio de solución.

La matriz morfológica o espacio del problema presenta las condiciones futuras hipotéticas que pueden adquirir cada una de las variables clave empleadas (Figura 6.3). Esas condiciones hipotéticas las formula quien o quienes hacen el ejercicio, y es en este momento donde la visión de los futuros posibles se crean a partir de intereses, deseos e imaginación. Es precisamente en este punto en donde se da la mayor limitación de este ejercicio de creación de escenarios de SH, ya que este ejercicio no se llevó a cabo en un espacio participativo, únicamente el autor de esta tesis llevó a cabo todo el procedimiento descrito.

PARAMETER A	PARAMETER B	PARAMETER C	PARAMETER D	PARAMETER E	PARAMETER F
A1	B1	C1	D1	E1	F1
A2	B2	C2	D2	E2	F2
A3	B3	C3	D3	E3	F3
A4	B4	C4	D4	E4	F4

Figura 6.3. Matriz morfológica. La fila superior muestra las variables clave (parámetros) y en cada columna se presentan las condiciones hipotéticas (estados o valores del rango del parámetro) establecidas por la imaginación, visión de futuro y consensos entre los participantes en el ejercicio. Fuente: Johansen (2018).

La matriz morfológica constituye el espacio del problema, porque plantea las múltiples formas que el futuro podría adquirir considerando las variables clave (a veces llamados parámetros) seleccionadas en el análisis estructural, y las condiciones hipotéticas o v_x

(también llamadas estados o valores, en el rango de valores de un parámetro dado), que son creadas por quienes hacen el ejercicio. La matriz morfológica es la base para el procedimiento denominado *encadenamiento*; que surge de la combinación distinta v_x para cada variable clave (parámetro) (Figura 6.4).

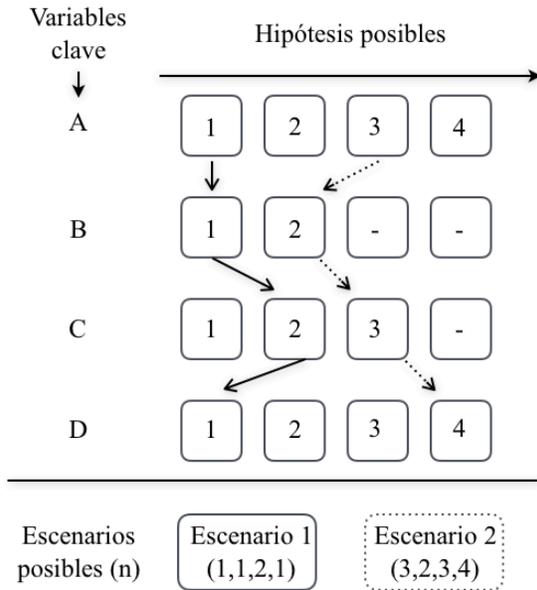


Figura 6.4. Procedimiento de encadenamiento de las condiciones hipotéticas posibles contenidas en la matriz morfológica. Fuente: Godet y Durance (2007).

El número total de combinaciones (T_c), es una combinatoria dada por la siguiente ecuación:

$$T_c = v_1 * v_2 * v_3 \dots * v_n$$

$$T_c = \prod_{i=1}^n v_i \quad \text{O}$$

donde:

T_c es el total de combinaciones posibles,

v_i es el número de valores (condiciones hipotéticas para el parámetro i),

Π (productorio), indica la multiplicación de todos los valores de i , entre 1 y n .

A modo de ejemplo el cálculo de las combinaciones posibles se muestra en la Figura 6.5.

P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
P1v1	P2v1	P3v1	P4v1	P5v1
P1v2	P2v2	P3v2	P4v2	P5v2
P1v3	P2v3	P3v3	P4v3	P5v3
P1v4	P2v4	P3v4		P5v4

Figura 6.5. Ejemplo de una matriz morfológica con $4 \times 4 \times 4 \times 3 \times 4 = 768$ posibles configuraciones. Una de ellas se marca con los cuadros negros. Fuente: Ritchey (2011).

Para simplificar la gran cantidad de combinaciones posibles se realizó una *valoración de consistencia cruzada* (cross-consistency matrix) para eliminar las configuraciones inconsistentes (Ritchey, 2015). Este procedimiento se basa en la presencia de numerosos pares de condiciones posibles en la matriz morfológica que son mutuamente incompatibles. Para realizar la valoración de consistencia cruzada, todos los valores de las variables clave (condiciones) en la matriz morfológica se comparan entre sí, por pares, en la forma de una matriz de impacto cruzado (Figura 6.6). A medida que se examina cada par de condiciones, se juzga en qué medida, el par puede coexistir, es decir, si representa una relación coherente. Ritchey (2011), señala tres tipos de inconsistencias: contradicciones lógicas (es decir, las relaciones internas de los conceptos implicados no pueden ser mutuamente contradictorias); inconsistencias empíricas (es decir, una solución no puede basarse en supuestos empíricamente imposibles o altamente improbables) y limitaciones normativas (relaciones descartadas por ejemplo, por motivos éticos o políticos).

		Geographic priority			Functional priorities			Size and cramming			New construct		Maintenace						
		Metropolises	Cities + 50,000	Suburbs and countryside	No geo-priority	All socio-tech. functions	Tech support systems	Humanitarian aims	Residential	Large, not crammed	Large & crammed	Small, not crammed	Small & crammed	With new construction	Compensation	Only for defence build up	More frequent maintenance	Current levels	No maintenance
Functional priorities	All socio-tech. functions																		
	Tech support systems																		
	Humanitarian aims		X																
	Residential																		
Size and cramming	Large, not crammed		X				X												
	Large & crammed																		
	Small, not crammed																		
	Small & crammed																		
New construction	With new construction		X				X	X											
	Compensation																		
	Only for defence build up																		
Maintenance	More frequent maintenance																		
	Current levels		X				X	X					X						
	No maintenance																		
General philosophy	All get same shelter quality																		
	All take same risk																		
	Priority: Key personnel																		
	Priority: Needy		X				X	X					X					X	

Figura 6.6. Matriz de consistencia. Las X representan inconsistencias entre condiciones posibles de cada variable, de tal modo que se desechan. Fuente: Ritchey (2011).

La valoración de consistencia cruzada permite reducir el conjunto total de configuraciones posibles en el espacio del problema a un conjunto más pequeño de configuraciones internamente consistentes, dado que la mayor parte de combinaciones de la matriz morfológica no reúne las características de plausibilidad, consistencia y relevancia. Al final quedan unas pocas combinaciones que representan un *espacio de soluciones*. De tal forma que el espacio de soluciones, es un subconjunto refinado del *espacio del problema* que solo contiene soluciones que se consideran coherentes o consistentes.

Etapa 4. Construyendo el futuro

Esta etapa es, finalmente, el momento en que se desarrollan narrativas que construyen los escenarios de SH correspondientes a las combinaciones seleccionadas como plausibles, y que son escenarios que desean ser considerados porque son deseables o indeseables. Considerando el interés de este trabajo en valorar la herramienta de construcción de escenarios en cuencas hidrográfica para orientar el alcance de la SH, este estudio solo

desarrolló un escenario al año 2035 para cada cuenca. Con base en el conocimiento del problema de interés, i.e. el alcance de la SH en las cuencas Juan El Grande (Aguascalientes) y San Pedro Jorullo (Michoacán), se seleccionó la combinación de condiciones que produce el escenario más posible, consistente y relevante (Johansen, 2018).

Los escenarios de SH fueron desarrollados utilizando una narrativa cualitativa que integró el conocimiento cuantitativo y cualitativo generado en esta investigación sobre las cuencas Arroyo Juan El Grande en Aguascalientes, y Arroyo San Pedro Jorullo en Michoacán. Cabe aclarar que la narrativa de los escenarios no pretende crear una visión idílica de la situación futura. Por el contrario, pretende determinar el conjunto de acciones que con una actitud proactiva permitirían fortalecer las capacidades locales incrementando la resiliencia y la capacidad de adaptación por parte de los habitantes de las cuencas, así como de sus sistemas productivos. En ambos casos, se plantea como condición la reconstrucción y fortalecimiento de estructuras sociales. Los escenarios construidos en ambas cuencas comparten como variables externas la presencia de un continuo déficit hídrico climático dado por la relación entre bajas precipitaciones y alta demanda evaporativa. Adicionalmente, tomando en cuenta las tendencias demográficas en estas áreas rurales, se considera que no habrá un cambio significativo respecto a la cantidad de población en las localidades de ambas cuencas de estudio.

6.4. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados parciales de cada una de las etapas del análisis estructural (etapa 2), el análisis morfológico (etapa 3) y la construcción de narrativas (etapa 4) para los casos de la cuenca Juan El Grande (Aguascalientes); y la cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán), para un horizonte temporal al año 2035.

6.4.1. Análisis estructural: selección de variables clave

Considerando la sugerencia de mantener un número manejable de variables clave se seleccionaron solamente seis de las 21 variables inicialmente disponibles (Cuadro 6.2); las cuales pertenecieron a cuatro de los seis componentes que inciden en la transición de una

cuenca hacia diferentes futuros posibles en la SH. Naturalmente la pérdida de dos componentes limita de cierta forma los posibles resultados posibles, sin embargo uno de los componentes es considerado externo de tal forma que únicamente se podría considerar al componente de la configuración territorial como aquel excluido de este ejercicio. No obstante con la finalidad de poder manejar la complejidad de este procedimiento metodológico es que finalmente se delimito a seis las variables clave.

Cuadro 6.2. Variables clave empleadas en la construcción de escenarios sobre seguridad hídrica en las cuencas de estudio

Componente	Variable clave	Descripción
Actividades productivas	1. Tendencias en las actividades productivas primarias	Cambios de cubierta/uso del suelo dados por el tipo de actividad primaria
	2. Demanda doméstica de agua	Volumen de agua (m ³) demandado por la población de la cuenca para satisfacer las necesidades domésticas
Infraestructura Hidráulica	3. Fuentes de agua y aprovechamiento	Tipo y cantidad de fuentes de agua aprovechadas, considerando la capacidad instalada en la infraestructura de aprovechamiento
	4. Aptitud de la infraestructura hidráulica para la producción	Condición y tipo de infraestructura hidráulica disponible para la producción agrícola y pecuaria
Sujetos territoriales	5. Fortaleza de los vínculos sociales	Cantidad e intensidad de las relaciones de colaboración entre actores
Gobernanza	6. Gestión de la cuenca	Capacidad social e institucional para realizar acciones colaborativas a nivel de cuenca

6.4.2. Análisis morfológico: espacio del problema

La matriz morfológica quedó integrada por seis variables clave y tres hipótesis posibles para cada una (Cuadro 6.3). Considerando la matriz morfológica, el número de configuraciones posibles para este ejercicio fue de 729 (3x3x3x3x3x3).

La definición de las condiciones hipotéticas para cada variable clave pretende dar un posible estado de esta condición a futuro. Por supuesto, no hay respuestas únicas sobre cómo exactamente este problema se puede enmarcar, cuáles son las variables esenciales, o cómo se puede establecer la consistencia interna en el campo morfológico. Sin embargo, se consideraron condiciones hipotéticas contrastantes, de lo que sucedería si dicha variable

clave es intervenida o olvidada.

El sustento de las hipótesis posibles para cada variable se describe a continuación:

1. *Tendencias en las actividades productivas primarias*, las condiciones posibles desarrolladas para esta variable responden al siguiente cuestionamiento. Para que se dé una adecuada gestión de las actividades agropecuarias a nivel de cuenca, ¿qué acciones deberían darse? y ¿quiénes sustentarían estas acciones?.

2. *Demanda doméstica de agua*, las condiciones posibles se sustentan en el trabajo de Pittock y Lankford (2010); quienes señalan que la demanda de agua para uso humano debe de estar lo más apegada a la oferta natural de las propias fuentes del recurso.

3. *Fuentes de agua y aprovechamiento*, para esta variable clave sus condiciones posibles se basan en sí se tiene la capacidad de anticipar la variación temporal en el acceso, así como garantizarse una cierta calidad del agua. Considerados estos dos aspectos como principales retos de la actual crisis de los recursos hídricos (Hope y Rouse, 2013).

4. *Aptitud de la infraestructura hídrica para la producción*, Lautze y Manthritlake (2012) refieren que un país o región tiene cierta SH en la medida en que la capacidad de almacenamiento de agua es adecuada en relación al nivel de la variabilidad interanual de sus precipitaciones.

5. *Fortaleza de los vínculos sociales*, el trabajo de Falkenmark y Molden (2008), enfatiza que para sustentar una gobernanza del agua la cuenca debe ser vista como un sistema social, donde los vínculos entre diversos actores sociales en los procesos de toma de decisiones son fundamentales para la adecuada gestión de los recursos compartidos.

6. *Gestión de la cuenca*, por lo general se piensa que la mejora en los procesos de gestión de cuenca deben de ser encabezados desde niveles superiores a los de la cuenca, sin embargo Falkenmark (2012), demuestra que los principales procesos impulsores para mejorar el nivel de la SH están dentro de la capacidad de los gestores ambientales de las propias cuenca.

Cuadro 6.3. Matriz morfológica o espacio del problema para el estudio de escenarios para la seguridad hídrica en cuencas semiáridas, con tres condiciones hipotéticas para cada variable clave seleccionada.

Componente	Variable clave	Condición 1 (empeora)	Condición 2 (se mantiene)	Condición 3 (mejora)
Actividades productivas	1. Tendencias en las actividades productivas primarias	Las actividades agropecuarias presentes en la línea-base se expanden sin regulación, reduciendo la cobertura de vegetación natural de la cuenca	El abandono del campo sigue presente y por ello se mantienen las actividades productivas reportadas para la línea-base	Se produce una reconversión productiva orientada a las condiciones hídricas de la cuenca dada por asociaciones de productores informados y organizados, quienes logran aplicar un modelo innovador de cultivos resistentes a la sequía y el manejo estabulado del ganado en toda la cuenca
	2. Demanda doméstica de agua	A consecuencia del abandono de actividades agropecuarias, la permuta de derechos de extracción de agua aumenta la oferta doméstica en igual proporción a su demanda	La demanda de agua se mantiene en su línea-base	La demanda de agua se reduce al ser considerada un bien compartido y escaso. El volumen de dotación es ahora acorde con los valores internacionales para ambientes semiáridos
Infraestructura Hidráulica	3. Fuentes de agua y aprovechamiento	Se pierden fuentes superficiales por deforestación y contaminación pecuaria.	No hay cambios en el aprovechamiento de las fuentes de agua respecto a la línea-base. Se mantienen las fuentes actuales	El aprovechamiento de las fuentes de agua se adecua y mejora, se incorporan tecnologías innovadoras de aprovechamiento de agua de lluvia (captación de lluvia) y re-uso de aguas residuales para procesos productivos
	4. Aptitud de la infraestructura hidráulica para la producción	La infraestructura actual es abandonada, y su deterioro la hace obsoleta	La única infraestructura para la producción sigue siendo la reportada para la línea-base	Se implementan técnicas de optimización de riego y usos productivos del agua disponible
Sujetos territoriales	5. Fortaleza de los vínculos sociales	La falta de oportunidades de desarrollo local incrementa la migración a localidades urbanas, por lo que los vínculos entre los sujetos territoriales se debilitan	La vinculación entre actores se mantiene igual que en la línea-base	Se orientan mejores estrategias de vinculación entre sujetos territoriales gracias al conocimiento de la complejidad territorial de la cuenca
Gobernanza	6. Gestión de la cuenca	Organizaciones de productores y empresas privadas con alta capacidad económica se apropian de los pocos recursos naturales, lo que genera cotos de poder	Se mantienen las acciones individuales o grupales desvinculadas de un enfoque de cuenca	Se establecen acciones para fortalecer la apropiación social de la cuenca como espacio común. Por lo que CONAGUA como parte de una nueva política de gobernanza incluye a algunos actores locales como representantes en los comités de cuenca

6.4.3. Valoración de consistencia cruzada

Mediante esta valoración, se identificaron las inconsistencias entre pares de condiciones de cada variable. El número de pares en los cuales se valoró la consistencia cruzada fueron $3 \times 15 + 3 \times 12 + 3 \times 9 + 3 \times 6 + 3 \times 3 = (135)$.

Durante este procedimiento se examinó cada par de valores en un bloque de variables (conectado), se juzgó sí, o en qué medida, son consistentes. La Figura 6.7 muestra un ejemplo de inconsistencia por contradicción lógica; no puede darse una mejora en las actividades productivas si la condición de la infraestructura empeora con respecto a la línea base.

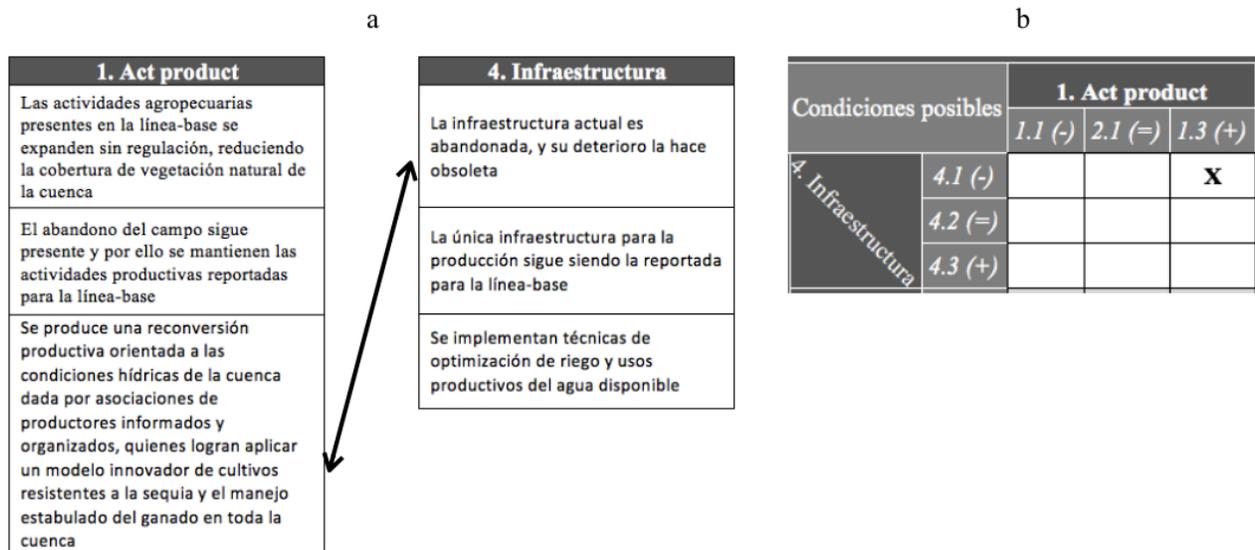


Figura 6.7. Ejemplo de inconsistencia lógica entre condiciones posibles (a), valor de inconsistencia marcado en la matriz de consistencia (b).

Otro ejemplo de inconsistencias empírica se aprecia en la Figura 6.8, en donde se aprecia que para que suceda la condición de una mejora en la demanda de agua doméstica, esta requiere una mejora en la gestión de los recurso hídricos; por consiguiente ocurre una inconsistencia con las condiciones 1 y 2 de la variable de gestión.

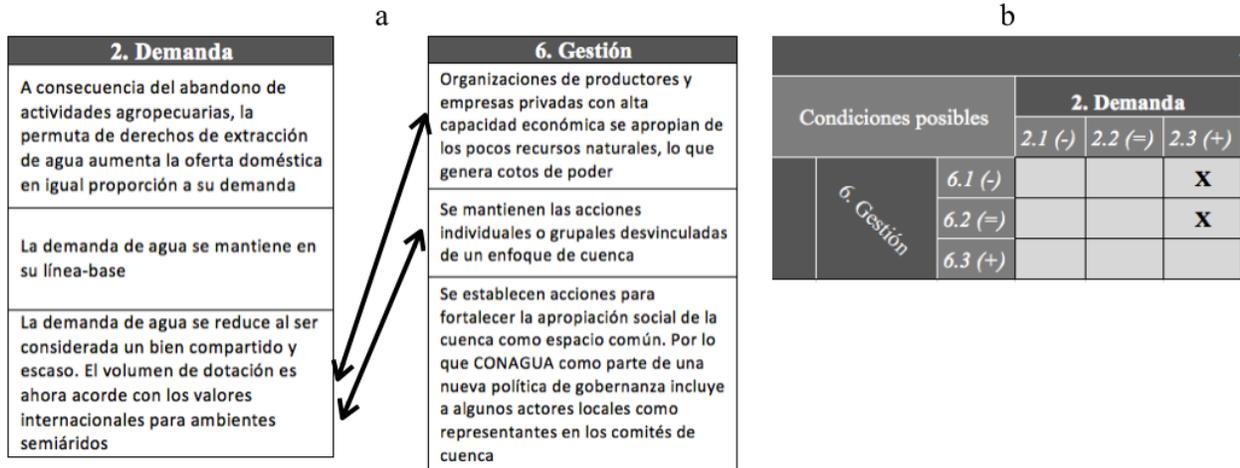


Figura. 6.8. Ejemplo de inconsistencias empíricas entre condiciones posibles (a), valores de inconsistencia marcados en la matriz de consistencia (b).

De este proceso de depuración de combinaciones posibles finalmente se logró definir aquellas combinaciones consistentes (Cuadro 6.4), las cuales integraron el espacio de soluciones.

Cuadro 6.4. Matriz de consistencia. Las X señalan inconsistencias entre las condiciones posibles, las celdas vacías denotan las condiciones posibles consistentes para ser depuradas posteriormente. Los signos (-; =; +) en las condiciones hipotética remarcan la tendencia de dicha condición, (empeora, se mantiene o mejora) respectivamente.

VARIABLES CLAVE																	
Condiciones posibles		1. Act product			2. Demanda			3. Fuentes			4. Infraestructura			5. Vínculos			
		1.1 (-)	2.1 (=)	1.3 (+)	2.1 (-)	2.2 (=)	2.3 (+)	3.1 (-)	3.2 (=)	3.3 (+)	4.1 (-)	4.2 (=)	4.3 (+)	5.1 (-)	5.2 (=)	5.3 (+)	
VARIABLES CLAVE	2. Demanda	2.1 (-)	X	X	X												
		2.2 (=)															
		2.3 (+)	X	X													
	3. Fuentes	3.1 (-)			X	X		X									
		3.2 (=)			X	X		X									
		3.3 (+)	X	X		X	X										
	4. Infraestructura	4.1 (-)		X	X			X		X	X						
		4.2 (=)			X				X			X					
		4.3 (+)	X	X		X	X		X								
5. Vínculos	5.1 (-)			X						X			X				
	5.2 (=)			X			X	X		X	X		X				
	5.3 (+)	X	X		X			X	X		X	X					
6. Gestión	6.1 (-)	X		X			X			X			X			X	
	6.2 (=)			X			X			X			X			X	
	6.3 (+)	X	X		X	X		X	X		X	X		X	X		

6.4.4. Espacio de soluciones

Luego de la validación de consistencia cruzada, el espacio de soluciones quedo integrado por 23 combinaciones posibles (Cuadro 6.5).

Cuadro 6.5. Combinaciones posibles como resultado del proceso de validación de consistencia cruzada. En cursivas las combinaciones duplicadas o incompletas.

ESPACIO DE SOLUCIONES						
VARIABLES CLAVE						
1	2	3	4	5	6	
1.1	2.2	3.1	4.1	5.1	6.1	Combinación posible validada No. 1
<i>1.1</i>	<i>2.2</i>	<i>3.1</i>	<i>4.1</i>	<i>5.1</i>	<i>6.1</i>	<i>Combinaciones duplicadas de la No. 1, se descartan</i>
<i>1.1</i>	<i>2.2</i>	<i>3.1</i>	<i>4.1</i>	<i>5.1</i>	<i>6.1</i>	
<i>1.1</i>	<i>2.2</i>	<i>3.1</i>	<i>4.1</i>	<i>5.1</i>	<i>6.1</i>	
<i>1.1</i>	<i>2.2</i>	<i>3.1</i>	<i>4.1</i>	<i>5.1</i>	<i>6.1</i>	
<i>1.1</i>	<i>2.2</i>	<i>3.1</i>	<i>4.1</i>	<i>5.1</i>	<i>6.1</i>	
1.1	2.2	3.1	4.2	5.1	6.1	Combinación posible validada No. 2
1.1	2.2	3.2	4.2	5.1	6.1	Combinación posible validada No. 3
1.2	2.2	3.2	4.2	5.1	6.2	Combinación posible validada No. 4
<i>1.2</i>	<i>2.2</i>	<i>3.2</i>	<i>4.2</i>	<i>5.1</i>	<i>6.2</i>	Combinación posible validada No. 5
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	
<i>1.2</i>	<i>2.2</i>	<i>3.2</i>	<i>4.2</i>	<i>5.2</i>	<i>6.2</i>	
1.2	2.3	3.2	4.2	5.2	6.2	Combinación posible validada No. 6
<i>1.2</i>	<i>2.3</i>	<i>3.2</i>	<i>4.2</i>	<i>5.2</i>	<i>6.2</i>	Combinación posible validada No. 7
<i>1.2</i>	<i>2.3</i>	<i>3.2</i>	<i>4.2</i>	<i>5.2</i>	<i>6.2</i>	
1.2	2.3	3.2	4.3	5.2	6.2	Combinación posible validada No. 8
1.3	2.3	3.3	4.3	5.2	6.2	Combinación posible validada No. 9
<i>1.3</i>	<i>2.3</i>	<i>3.3</i>	<i>4.3</i>	<i>5.3</i>	<i>6.3</i>	<i>Combinaciones incompletas, se descartan</i>
<i>1.3</i>		<i>3.3</i>	<i>4.3</i>	<i>5.3</i>	<i>6.3</i>	
<i>1.3</i>		<i>3.3</i>	<i>4.3</i>	<i>5.3</i>	<i>6.3</i>	
<i>1.3</i>				<i>5.3</i>	<i>6.3</i>	
				<i>5.3</i>		

Sin embargo de estas posibles combinaciones se realiza un proceso de depuración de combinaciones duplicadas así como incompletas; finalmente se llegaron a nueve combinaciones posibles, lo que representa una reducción del 99 % de las 729 combinaciones

iniciales posibles de no llevarse a cabo el procedimiento de validación de consistencia cruzada. Los nueve escenarios consistentes se presentan en el espacio de soluciones (Cuadro 6.6).

Cuadro 6.6. Espacio de soluciones. Se muestran los estados posibles que forman cada uno de las nueve combinaciones finales posibles.

ESPACIO DE SOLUCIONES							
VARIABLES CLAVE							
	1 <i>ACT</i> <i>PRODUCT</i>	2 <i>DEMANDA</i>	3 <i>FUENTES</i>	4 <i>INFRAEST</i>	5 <i>VÍNCULOS</i>	6 <i>GESTIÓN</i>	
C O M B I N A C I O N E S	<i>I</i>	1.1	2.2	3.1	4.1	5.1	6.1
	<i>II</i>	1.1	2.2	3.1	4.2	5.1	6.1
	<i>III</i>	1.1	2.2	3.2	4.2	5.1	6.1
	<i>IV</i>	1.2	2.2	3.2	4.2	5.1	6.2
	<i>V</i>	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2
	<i>VI</i>	1.2	2.3	3.2	4.2	5.2	6.2
	<i>VII</i>	1.2	2.3	3.2	4.3	5.2	6.2
	<i>VIII</i>	1.3	2.3	3.3	4.3	5.2	6.2
	<i>IX</i>	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3

Luego de la depuración del espacio de soluciones, se consideraron nueve configuraciones posibles. De éstas, las combinaciones *I* al *VI* del espacio de soluciones (Cuadro 6.6) se excluyeron del análisis, debido a que pueden considerarse poco plausibles y relevantes, más bien pesimistas. Por ejemplo, la combinación *I* muestra un retroceso en básicamente todas las variables clave, cuyas condiciones al momento del estudio se sustentaban en inversiones económicas importantes, así como relaciones sociales con cierta madurez, por lo que difícilmente habrá un retroceso en estas condiciones.

Asimismo, la configuración *IX* puede considerarse onírica porque describe una sociedad ideal respecto a la gestión de sus recursos hídricos. Difícilmente esta condición puede darse en el contexto actual del país y de la cuenca de estudio.

Finalmente las combinaciones *VII* y *VIII* fueron las más viables para el desarrollo de los escenarios. La combinación *VII*, se configura con cuatro variables que no muestran cambio de tal forma que casi en la totalidad el escenario que se desarrollaría a partir de esta combinación sería muy cercana a la documentada como línea-base de esta cuenca de estudio. Si bien las condiciones sociales, ambientales e institucionales son disímiles en ambas cuencas se decidió emplear el escenarios de la combinación *VII* debido a que en éste se trazan condiciones de mejora en aquellas variables consideradas asequibles a un cambio real y a la temporalidad del escenario. La intención es apearse al resultado más viable de aquellos propuestos por la metodología empleada, asimilando cómo sería este ejercicio en un contexto de participación real en cada una de las cuencas de estudio.

6.4.5. Escenarios de SH para el año 2035

El Cuadro 6.7 muestra la composición de la configuración seleccionada (*VIII* del espacio de soluciones), derivada de las hipótesis 1.3, 2.3, 3.3, 4.3, 5.2 y 6.2.

Cuadro 6.7. Matriz del escenario explorado para ambas cuencas de estudio, en casillas oscuras las hipótesis que configuran el escenario seleccionado.

Variable clave	Condición 1 (empeora)	Condición 2 (se mantiene)	Condición 3 (mejora)
1. Tendencias en las actividades productivas primarias	Las actividades agropecuarias presentes en la línea-base se expanden sin regulación, reduciendo la cobertura de vegetación natural de la cuenca	El abandono del campo sigue presente y por ello se mantienen las actividades productivas reportadas para la línea-base	Se produce una reconversión productiva orientada a las condiciones hídricas de la cuenca dada por asociaciones de productores informados y organizados, quienes logran aplicar un modelo innovador de cultivos resistentes a la sequía y el manejo estabulado del ganado en toda la cuenca
2. Demanda doméstica de agua	A consecuencia del abandono de actividades agropecuarias, la permuta de derechos de extracción de agua aumenta la oferta doméstica en igual proporción a su demanda	La demanda de agua se mantiene en su línea-base	La demanda de agua se reduce al ser considerada un bien compartido y escaso. El volumen de dotación es ahora acorde con los valores internacionales para ambientes semiáridos
3. Fuentes de agua y aprovechamiento	Se pierden fuentes superficiales por deforestación y contaminación pecuaria.	No hay cambios en el aprovechamiento de las fuentes de agua respecto a la línea-base. Se mantienen las fuentes actuales	El aprovechamiento de las fuentes de agua se adecua y mejora, se incorporan tecnologías innovadoras de aprovechamiento de agua de lluvia (captación de lluvia) y re-uso de aguas residuales para procesos productivos
4. Aptitud de la infraestructura hidráulica para la producción	La infraestructura actual es abandonada, y su deterioro la hace obsoleta	La única infraestructura para la producción sigue siendo la reportada para la línea-base	Se implementan técnicas de optimización de riego y usos productivos del agua disponible
5. Fortaleza de los vínculos sociales	La falta de oportunidades de desarrollo local incrementa la migración a localidades urbanas, por lo que los vínculos entre los sujetos territoriales se debilitan	La vinculación entre actores se mantiene igual que en la línea-base	Se orientan mejores estrategias de vinculación entre sujetos territoriales gracias al conocimiento de la complejidad territorial de la cuenca
6. Gestión de la cuenca	Organizaciones de productores y empresas privadas con alta capacidad económica se apropian de los pocos recursos naturales, lo que genera cotos de poder	Se mantienen las acciones individuales o grupales desvinculadas de un enfoque de cuenca	Se establecen acciones para fortalecer la apropiación social de la cuenca como espacio común. Por lo que CONAGUA como parte de una nueva política de gobernanza incluye a algunos actores locales como representantes en los comités de cuenca

Cuenca Juan El Grande (Aguascalientes): “Madurando hidro-emocionalmente”

El escenario en esta cuenca se plantea como un futuro posible alternativo a la apatía y abandono en 2014 por las causas comunes que muestran los sujetos territoriales locales de la cuenca derivado de la gran desconfianza sobre las acciones de gobierno, las cuales son desarticuladas sin una mejora real en la condición de vida de los pobladores de la cuenca. Para el año 2035 los trabajos realizados en materia prospectiva 15 años atrás con la finalidad de mejorar su condición de SH, han tenido buenos resultados, con los eventos y consecuencias narrados a continuación.

En el año 2035 los productores agrícolas reorientaron sus *actividades productivas (variable clave 1)* hacia cultivos acordes a las condiciones climáticas locales, mostrándose ahora interesados y abiertos al cambio, porque han recibido estímulos e información para transitar en la reconversión productiva que ha tenido éxito, por lo que el menor empleo de agua agrícola ha permitido un mejor abasto a la población, logrando un aumento considerable en la cobertura continua de las viviendas; de este modo, ahora en la cuenca se utilizan cultivos y variedades que requieren menos agua y que son más redituables económicamente.

Esto repercute favorablemente en la *demanda doméstica de agua (variable clave 2)*, ésta se ha moderado sustancialmente, ajustándose a la oferta natural de ambientes semiáridos. Esto es el resultado de los talleres de prospectiva realizados 15 años atrás que promovieron un giro sustancial en la cultura del agua y la percepción en relación con el consumo de agua doméstica, lo que se considera el principal logro del proceso social que ha sido posible, únicamente, por el reconocimiento de una vida social compartida en un mismo espacio físico, ya que la población se ha concientizado y ha asumido que la demanda de agua en el año 2014 era insostenible. Asimismo, se han realizado inversiones en conjunto con el estado y la federación para proyectos y obras de prevención y adaptación a la sequía; de esta forma la madurez social colectiva en el uso y manejo de sus recursos hídricos trajo como beneficios una revalorización del agua como bien común y lo que alguna vez llegó a valores de la oferta doméstica de 400-450 l persona día⁻¹, en este escenario se encuentra entre los 150-200 l persona día⁻¹.

Lo anterior detonó una mejora sustancial del *aprovechamiento de las fuentes de agua (variable clave 3)*, ya que la revalorización del agua como bien común de la población de la cuenca modificó la percepción de vivir en una cierta opulencia de agua debido al abasto

continuo desde fuentes subterráneas. Ahora, el agua subterránea es percibida como algo que si bien estará ahí, no debe ser la primera opción como fuente de abastecimiento permanente. Lo que ha detonado en un continuo programa de conservación y aprovechamiento de las fuentes superficiales, mejorado sustancialmente la calidad del agua con acciones de reforestación de la cobertura de galería, y la recuperación de la vegetación ribereña en los bordos.

Adicionalmente el mejor aprovechamiento de las fuentes superficiales de agua contribuye a reducir la necesidad del incremento sostenido en la infraestructura de irrigación, la cual ha sido sustituida por ecotecnias tales como líneas de piedra transversales a las parcelas para evitar el arrastre de suelo y fosos Zai con inclusión de composta; como parte del mejoramiento de la *infraestructura hidráulica para la producción (variable clave 4)*.

Ahora bien, *los vínculos sociales entre actores (variable clave 5)* no han cambiado sustantivamente. Si bien los talleres de prospectiva realizados 15 años atrás facilitaron el completo reconocimiento de la complejidad territorial de la cuenca, lo que permitió ubicar tanto a los sujetos territoriales como a los actores clave, las acciones necesarias para lograr una mejoría de los vínculos de colaboración no se han llevado a cabo. Y pese a que el espacio social de la cuenca hidrográfica esta en continua construcción, los habitantes locales así, como los actores clave externos a la cuenta aún no se asumen como parte de una colectividad territorial; resultado en una *gestión de cuenca (variable clave 6)* aún incipiente.

En resumen, en este escenario para el año 2035, el conjunto de las acciones antes descritas repercutió positivamente en lo que podemos llamar *la vida en la cuenca*, con efectos que podrían sustentar una mejora considerable en la condición de SH. Los habitantes de la cuenca son plenamente conscientes de su situación respecto a la crisis de recursos hídricos que viven, a las amenazas hidrometeorológicas y la necesidad de reducir la vulnerabilidad de la población y los sistemas de producción ante la incertidumbre climática. El agua es el tema central en las decisiones colectivas cada vez más frecuentes pero aún insuficientes. Los diversos programas desarticulados por parte del gobierno ponen en riesgo la condición de seguridad hídrica. Sin embargo el éxito en los diversos programas de reconversión productiva realizados por los productores de la cuenca han estimulado a que el limitado recurso económico que el Estado de Aguascalientes o de la Federación sean dirigidos a obras hídricas

prioritarias para mejorar la condición de vida de la mayoría de sus habitantes. Este incipiente empoderamiento social que ha vivido esta cuenca no ha pasado desapercibido, cuencas vecinas están replicado algunos de sus logros.

Cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán): “Mejor solos que mal acompañados”

El escenario al 2035 para la cuenca de Michoacán, refleja un proceso de re-apropiación territorial por parte de los actores que habitan la cuenca, la precaria presencia del estado en todos sus niveles de gobierno así como la infame ausencia de inversión hidráulica para aliviar el marginal estado de vida de los habitantes de la cuenca impedían tanto la construcción social del espacio como una mínima SH, prácticamente los habitantes de esta cuenca estaban a su suerte.

Adicional a esto y a diferencia de la cuenca de Aguascalientes, la cual cuenta ya con una inversión importante en infraestructura hidráulica, en esta cuenca de Michoacán difícilmente se modificarán las desatenciones en esta materia por parte del gobierno; de tal suerte que las acciones que puedan planificar y emprender los habitantes de la cuenca para aliviar su situación de SH son más limitadas. En esta cuenca las variables externas están frenando considerablemente las posibilidades del desarrollo local. Sin embargo, la colaboración social existente es mucho mayor a la encontrada en la cuenca Juan El Grande. A partir de este contexto es que se desarrolla a continuación el escenario de la cuenca.

A partir de los talleres de prospectiva realizados en el 2020 y sustentados en una cultura auto-gestiva ya existente, es que los habitantes de la cuenca lograron en 15 años un proceso de ordenamiento territorial a nivel de cuenca, el cual promovió un cambio en las *actividades productivas primarias (Variable clave 1)*. Entre las medidas más importantes resalta que todo el ganado de los distintos productores de la cuenca está ubicado en las zonas con mayor aptitud pecuaria para una producción estabulada, en donde se controla su capacidad de carga, alimentación mediante forrajes ensilados, esquemas de comercialización de pie de cría, leche, carne y demás productos bajo una adecuada planificación frente a los ciclos secos; lo que permitió con los años la propia tecnificación de la actividad reduciendo los impactos y aumentando los beneficios. Una consecuencia benéfica de esta acción fue que los conflictos por invasión de ganado a zonas agrícolas y ribereñas ya desaparecieron, lo que permitió recuperar zonas productivas para destinarlas a su reconversión; se dio un cambio paulatino

en el desarrollo de diversos cultivos con mayor adaptación a la sequía, entre ellos destacaron el girasol, la linaza, el cártamo y el cacahuete; lo que aunado a prácticas de mejoramiento de humedad en las parcelas ha permitido una mejora en el ingreso de los habitantes.

Estas dos acciones arrojaron enormes beneficios ya que las fuentes superficiales de agua al ya no ser contaminadas con excretas o ganado muerto, mejoraron drásticamente en su calidad por lo que el abasto a la *demanda doméstica de agua (Variable clave 2)* se ha visto favorecido en una pequeña magnitud, al destinar agua que antes se daba al ganado y que ahora es dirigida al uso doméstico aliviando un poco el déficit, principalmente durante el estiaje; sin embargo la falta de sistemas de captación, almacenaje y conducción no permiten sostener durante todo el año los valores referidos internacionalmente para no comprometer el desarrollo humano (50-100 l persona día⁻¹) principalmente en las localidades de la zona de captación de la cuenca, consideradas las más vulnerables a la sequía.

Para mitigar este déficit de agua si bien las *fuentes de agua (Variable clave 3)* siguen siendo las mismas que en el 2014 (a falta de inversión por parte del estado), con recursos propios se construyeron un par de presas de arena sobre un cauce de río subyacente a un lecho de roca impermeable; de este modo la presa aumentó la capacidad de almacenamiento natural del acuífero del lecho del río durante eventos de tormenta (de entre un 25 - 40 %), a partir de la arena saturada de agua. Lo que junto con la adopción de medidas de captación de agua de lluvia y el reúso de agua, han permitido el sostenimiento de pequeños huertos comunitarios de baja escala, principalmente de hortalizas o plantas aromáticas los cuales han ayudado en las carencias alimenticias de las familias.

Los sistemas productivos tradicionales se mantienen en la cuenca, sin embargo se han implementado distintas eco-tecnologías. Entre las mejoras de la *infraestructura hidráulica para la producción (Variable clave 4)* destacan las micro presas desmontables con las que se capta y almacena agua de precipitaciones anticipadas a la temporada de lluvias; estas han permitido dar un par de riegos a pequeñas parcelas favoreciendo la germinación previa a las lluvias, y una vez que éstas se presentan se remueve la presa para evitar su pérdida. En algunas localidades con disponibilidad de agua subterránea a poca profundidad, las bombas *flexi emas* han sido de gran ayuda en el apoyo a la producción en pequeñas parcelas, así como para el propio abasto en las viviendas. A esto se le suman el riego mediante construcción de labranza en surco, acequias de retención e infiltración de agua, captación de agua con

camellones de piedra siguiendo las curvas de nivel, agroforestería o árboles dentro de la parcela para brindar cobertura al suelo, barreras vivas y captación de agua por bacheo; lo que en conjunto ha permitido un avance muy importante en la capacidad de producir bajo las condiciones restrictivas de agua.

Por otra parte, la *fortaleza de los vínculos sociales (Variable clave 5)* entre los habitantes de la cuenca reforzaron el valor de sus acciones comunitarias (su ordenamiento territorial es una prueba de ello), empoderando las redes de solidaridad a partir de aquellas cooperativas de producción orgánica de jamaica, ajonjolí y cacahuete como la primera línea para enfrentar las amenazas e incertidumbres a las que están expuestos. Y pese a reconocer y entender qué sujetos territoriales y de qué forma configuran su espacio territorial la ausencia continua del estado termina por limitar los vínculos sociales de forma global. Esto se ve reflejado en la *gestión de la cuenca (Variable clave 6)*, en donde las acciones en materia de conservación, captación y distribución de aguas, así como la producción agropecuaria responden a un plan establecido por los actores locales a la cuenca, que terminan por chocar o ser interferidos por los distintos programas de gobierno; los cuales de acuerdo a su propia agenda no se benefician de la auto-organización comunitaria lograda por los habitantes de la cuenca.

Finalmente *la vida en la cuenca* ha ido cambiando, el poco nivel de SH con que contaban sus habitantes 20 años atrás ha ido mejorando poco a poco, las condiciones hidro climáticas deficitarias siguen siendo la principal restricción junto con la precaria inversión en infraestructura hidráulica por parte del estado; sin embargo, los pobladores de la cuenca han fortalecido, por mucho, el tejido social existente dos décadas atrás; llegando a procesos auto-gestivos a nivel de toda la cuenca y con resultados prometedores en la colaboración con los consejos de cuencas vecinas. Las condiciones de vida siguen siendo duras ya que la emigración, el crimen organizado, el poco desarrollo local son considerados como factores estructurales, más que condiciones desfavorables. No obstante, en este crudo escenario, los pobladores que aún habitan al interior de la cuenca han mejorado paulatinamente su condición de vida a consecuencia de las acciones realizadas en SH, los diversos productos agropecuarios de las distintas asociaciones de productores son reconocidos nacional e internacionalmente; por lo que a pesar de estas restrictivas condiciones de vida, gran parte de los pobladores se reconocen orgullosos de ser habitantes de tierra caliente y salir adelante en

un ambiente hídrico tan hostil.

6.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El principal resultado de este capítulo fue la aplicación ordenada y sistemática de la técnica prospectiva de construcción de escenarios de SH a nivel de cuenca hidrográfica. El ejercicio desarrolló todos los pasos indicados en la técnica, incluyendo la definición de variables clave que inciden en la condición de SH y gobernanza en las cuencas de estudio; la construcción de la matriz morfológica o espacio del problema, la aplicación de la valoración de consistencia-cruzada, la identificación del espacio de solución, y las narrativas sobre escenarios seleccionados dentro de este último. La selección de variables clave, así como la valoración cruzada de consistencia, fueron los pasos del procedimiento que presentaron una mayor dificultad e incertidumbre. El ejercicio mostró que se requiere de un conocimiento actual, completo, integral y multidisciplinario del problema, a fin de precisar todos los factores y procesos clave junto con la posibilidad de que las diferentes condiciones se manifiesten de manera conjunta, como debe ser establecido en la valoración de consistencia cruzada. Por ello, es recomendable seguir las rutas metodológicas propuestas por especialistas en el tema (Godet y Durance, 2007; Gándara, 2014; Mera, 2014), a fin de que un grupo más grande de expertos (académico y ajenos) y con los tiempos y análisis pertinentes interactúen con sus conocimientos expertos para dar mas confianza y certidumbre al ejercicio; a diferencia de este ejercicio el cual fue realizado únicamente por el autor de esta tesis.

Aunque el ejercicio presenta dificultades operativas e incertidumbres en las decisiones de quien lo realizo, los escenarios narrados en los estudios de caso son plausibles, y representan condiciones futuras alcanzables. Los escenarios narrados están sustentados en aquellas variables clave que para ser intervenidas precisan concretarse desde la base local de la cuenca, lo que significa mayor colaboración de los actores locales con interés común en procesos y problemas específicos (Koontz y Newing, 2014). En este ejercicio, se promovió la aproximación territorial a nivel de cuenca, al igual que el trabajo de Demanboro et al. (2013). Ello incorpora a los sujetos territoriales como actores concretos para transitar de la

cuenca como un espacio físico a la cuenca como un espacio social en continua creación. Aunado a lo anterior es importante señalar que para alcanzar el escenario narrado en ambas cuencas, algunas condiciones externas deberían modificarse para propiciar una conciliación socio-política. Entre la más relevante está considerar la fortaleza, la precariedad o la ausencia de lazos sociales existentes al interior de una cuenca, como factor indispensable de la gobernanza (Scott et al., 2012).

La contribución de la prospectiva a la gestión de cuencas hidrográficas en México radica en que esta técnica permite orientar el trabajo colaborativo hacia la indagación de la configuración futura de un territorio y con ello el diseño de estrategias de desarrollo endógeno (Espinosa, 2006). En consecuencia lo que podría mejorar en la gestión de la cuenca, si la prospectiva se utilizara de manera técnicamente rigurosa, y mediante procedimientos participativos, sería principalmente el inducir un proceso de planificación territorial, condicionando la movilización social para volver real una visión compartida de futuro (Mera, 2014). Y siendo la cuenca la unidad geográfica más adecuada para la valoración y ejecución de acciones en materia de SH (Zende, Patil y Patil, 2018), el uso de la prospectiva de la SH de la cuenca permitiría integrar activamente aspectos sociales, culturales y económicos, soluciones científicas y técnicas (Jensen y Wu, 2018), así como atención a la dinámica social, lo que resultaría en una aproximación metodológica rigurosa para lidiar con la complejidad e incertidumbre de la gestión del agua en diferentes espacios y tiempos a fin de garantizar un mejor nivel de SH.

6.6. REFERENCIAS

- Alonso, C. A. (2014). Prólogo. In G. Gándara, y J. Osorio (Eds.), *Métodos Prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro*, pp. 11-16. México: Paidós.
- Arango Morales, X. A., y Cuevas Pérez, V. A. (2014). *Método de análisis estructural: matriz de impactos cruzados multiplicación aplicada a una clasificación (MICMAC)* (Doctoral dissertation, Tirant Lo Blanch).
- Arrubla, A. P. (2017). Diseño de modelos prospectivos de ordenamiento territorial, utilizando SIG. Una propuesta metodológica. *Revista de Topografía Azimut*, 8(1), 25-40.
- Asian Development Bank (2013) *Asian water development outlook 2013*. Asian development

bank and Asia- Pacific water forum. <http://www.adb.org/publications/asian-water-development-outlook-2013>.

Aylward, B., y González, A. F. (1998). *Institutional Arrangements for Watershed Management: A Case Study of Arenal, Costa Rica*. London. International Institute for Environment and Development.

Bohunovsky, L., Jäger, J., y Omann, I. (2011). Participatory scenario development for integrated sustainability assessment. *Regional Environmental Change*, 11(2), 271–284.

Burgos, A., y Bocco, G. (2015). *La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*, México: CIGA-UNAM. pp, 11-29.

Burgos, A., y Velázquez, A. (2019). A territory-oriented approach to operationalize sustainable management. *Global Journal of Human-Social Science: B Geography, Geo-Sciences, Environmental Science and Disaster Management*, 19(1), 1–16.

De la Coba, A., Varela, D., Domínguez, M., Lois, F., y Escribano, P. (2011). Aplicación de técnicas prospectivas para un estudio de ordenamiento territorial en la provincia de Cienfuegos. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (159).

Delgado, M., Ambrosio, M., y Amador, F. (2015). Exploring prospective structural analysis to assess the relevance of rural territorial development in Spain and Nicaragua. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(76), 35-56.

Demanboro, A. C., Laurentis, G. L., Bettine, S. C., Longo, R. M., y Mediondo, E. M. (2013). Watershed management of the Atibaia River Basin based on the elaboration of environmental scenarios. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 175, 149–160.

Dickson, S.E., Schuster-Wallace, C.J. y Newton, J.J. (2016). Water security assessment indicators: The rural context. *Water resources management* 30(5), 1567–1604.

Dourojeanni A., Jouravlev A., y Chávez G. (2002). *Gestión del Agua a Nivel de Cuencas. Recursos naturales e infraestructura*. CEPAL (Vol. 47) 83 pp.

Espinosa, J. O. (2006). La prospectiva territorial: Un camino para la construcción social de territorios de futuro. *Región, espacio y territorio en Colombia*, 301-337.

Falkenmark, M. (2012). Adapting to climate change: towards societal water security in dry-climate countries. *International Journal of Water Resources Development*, 29(2), pp.123–136.

Falkenmark, M. y Molden, D. (2008). Wake up to realities of river basin closure. *Water Resources Development*, 24(2), pp.201–215.

Farinós, J. (2008). *Gobernanza territorial para el desarrollo sostenible: estado de la cuestión y*

- agenda. Boletín de la Asociación de Geógrafos de España, (46), pp. 11-32.
- Fernández, J. (2011). Recuperación de los estudios del futuro a través de la prospectiva territorial. *Ciudad y Territorio - Estudios Territoriales*, (167), 11–32.
- Gallopín, G. C., y Raskin, P. (1998). Windows on the Future: Global Scenarios and Sustainability. *Environment*, 40(3), 6–11.
- Gándara, G. (2014). Proceso Metodológico para estudios de futuro. In G. Gándara, y J. Osorio (Eds.), *Métodos Prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro* (Capítulo 1, pp. 23-36). México: Paidós.
- Gándara, G. (2015). Strategic prospective methodology to explore sustainable futures. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, 11(11), 606–614.
- Gándara, G., y Vera, F. (2017). *Métodos prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro*. Paidós. 337 pp.
- Garza, J., y Cortez, D. (2011). El uso del método MICMAC y MACTOR análisis prospectivo en un área operativa para la búsqueda de la excelencia operativa a través del Lean Manufacturing. *Innovaciones de Negocios*, 8(16), 335–356.
- Gerlak, A. K., House-Peters, L., Varady, R. G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., de Grenade, R. R., Cook, C. y Scott, C. A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy* (82), 79–89.
- Godet, M. (2007). *La Caja de Herramientas de la prospectiva estratégica*. España. Laboratorio de investigación en prospectiva estratégica, CNAM, Paris, Instituto Europeo de Prospectiva estratégica
- Godet, M. y Durance, P. (2011). *La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios*. Dunod, UNESCO. 156 pp.
- Godet, M., Régine M., Francis Meunier y Fabrice Roubelat. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Centre national de l'entrepreneuriat (CNE). 102 pp.
- Godet, M., y Durance, P. (2007). *Prospectiva Estratégica: problemas y métodos*. Cuadernos de LIPSOR, 104.
- Gourmelon, F., Houet, T., Voiron-Canicio, C., y Joliveau, T. (2012). La géoprospective, apport des approches spatiales à la prospective. *Le space géographique*, 41(2), 97-98.
- Grey, D., Garrick, D., Blackmore, D., Kelman, J., Muller, M. y Sadoff, C. (2013). Water security in one blue planet: twenty- first century policy challenges for science. *Phil Trans R Soc A* 371.
- Guerrero de León, A. A., Gerritsen, P. R. W., Martínez-Rivera, L. M., Salcido-Ruiz, S.,

- Meza-Rodríguez, D., y Bustos-Santana, H. R. (2010). Gobernanza y participación social en la gestión del agua en la microcuenca El Cangrejo, en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, (33), 541–567.
- Hope, R. y Rouse, M. (2013). Risks and responses to universal drinking water security. *Risks and responses to universal drinking water security. Phil. Trans. R. Soc. A*, 371
- Huerta, J. M., Serra, M., y Sandoval, R. (2001). A system dynamics approach for the design of sustainable water use strategy in the Middle Lerma-Chapala Basin. In *The Lerma – Chapala Watershed, Evaluation and Management*, Edited by Anne M. Hansen and Manfred van Afferden, Kluwer Academic / Plenum Publishers, the Netherlands.
- Jensen, O., y Wu, H. (2018). Urban water security indicators: development and pilot. *Environ. Sci. Pol.* 83, 33–45.
- Jepson, W., Budds, J., Eichelberger, L., Harris, L., Norman, E. S., O’Reilly, K., y Young, S. (2017). Advancing human capabilities for water security: A relational approach. *Water Security*, 1, 46–52.
- Johansen, I. (2018). Scenario modelling with morphological analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 126(May 2017), 116–125.
- Kauffer, E.F. y Gallardo, V.A. (2019). Policy Brief 4: Seguridad Hídrica en México: ¿cómo y para quienes?, resultados del proyecto 2489S4: Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Seguridad Hídrica : un análisis de los pilares de la política hídrica mexicana desde las experiencias locales, CONACyT, CIESA5. INECOL A. C. C015AN.
- Koontz, T. M., y Newig, J. (2014). From Planning to Implementation: Top-Down and Bottom-Up Approaches for Collaborative Watershed Management. *Policy Studies Journal*, 42(3), 416–442.
- Lautze, J. y Manthritilake, H. (2012). Water security: Old concepts, new package, whatvalue? *Natural Resources Forum*, 36, pp.76–87.
- Loinger, G., Spohr, C., y Godet, M. (2004). Prospective et planification territoriales: état des lieux et propositions. *Notes du Centre de prospective et de veillescientifique. Equipement*, (19).
- Madrigal, S. (2016). *Prospectiva territorial: una mirada al caso peruano. Construyendo desarrollo territorial*, 8-13.
- Martins, W. y Lopes, M. (2014) La prospectiva para el desarrollo estratégico de los territorios del DF en Brasil. En: Mera, C. *Prospectiva Territorial y Urbana “Retos y Desafíos para la Construcción Social de territorios del Futuro.”* Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, pp 33-49.
- Medero, Á., Jiménez, A., Rica, S. C., Sánchez, A., Panamá, G., López, B. y Rica, C. (2016).

- La Prospectiva en Iberoamérica : Pasado, Presente y Futuro. Millennium Project, Red Iberoamericana de Prospectiva (RIBER) y Universidad del Valle. 285 pp.
- Mera, C. W. (2014). Prospectiva Territorial y Urbana “Retos y Desafíos para la Construcción Social de territorios del Futuro.” Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 371 pp.
- Mestre JE. (2012). Análisis y prospectiva de la gestión integrada en cuencas transfronterizas con estrés hídrico. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. 12 pp.
- Miklos, T., y Tello, M. E. (2006). Planeación Prospectiva: Una Estrategia para el Diseño del Futuro. México: Limusa
- Moreno, M. (2013). Una lectura prospectiva de la agenda rio+20:La emergencia de la gobernanza para el desarrollo sostenible Revista Xihmai VIII (15), 57-74.
- O'byrne, J. M. G. (1999). Plan de ordenamiento territorial: manual prospectivo y estratégico. U. Jorge Tadeo Lozano.
- OECD. (2013) Water security for better lives. OECD Publishing.
<http://www.oecd.org/env/resources/watersecurity.htm>.
- Ogilvy, J., y Schwartz, P. (2004). Plotting Your Scenarios. Learning from the future: competitive foresight scenarios, 1–18.
- Pinos, N. (2016). Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el Ordenamiento Territorial - Caso cantón Cuenca. Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, 5(9), 7-19.
- Pittock, J., y Lankford, B. A. (2010). Environmental water requirements: demand management in an era of water scarcity. Journal of Integrative Environmental Sciences, 7(1), 75-93.
- Ramos, J. D., León, A. M., Gómez, L. X. R., Villota, W. C., y Cortez, J. S. (2019). La prospectiva estratégica como herramienta de planeación a largo plazo. Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación, 4(3), 01-18.
- Ritchey, T. (2011). General morphological analysis (GMA). In Wicked problems–Social messes (pp. 7-18). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ritchey, T. (2015). Principles of Cross-consistency assessment in general morphological modelling. Acta Morphologica Generalis, 4(2), 1–20.
- Salas, I. y Campos, W. (2016). Variables estratégicas para el Quindío: un estudio de prospectiva territorial. Sinapsis (8), 2, 1- 21.

- Salas, M. (2013). *Prospectiva Territorial. Aproximación a una base conceptual y metodológica*. Universidad de los Andes, Venezuela. 174 pp.
- Salas, M. (2014). *Prospectiva Territorial: Acercamiento a los Territorios Posibles*. En Mera, C. W. *Prospectiva Territorial y Urbana “Retos y Desafíos para la Construcción Social de territorios del Futuro.”* Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 371 pp.
- Salvatore, O., Burgos, A. L., Ramírez, J. S., y Bocco, G. (2019). *Valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica: Aplicación en cuencas rurales del Centro Occidente de México*. *Journal of Latin American Geography*, 18(2), 88–119.
- Sánchez, S. M. T., Casado, I. J. M. y Bocco, G. (2013). *La política de ordenamiento territorial en México: de la teoría a la práctica. Reflexiones sobre sus avances y retos a futuro» en La política de Ordenamiento Territorial en México: de la teoría a la práctica (Sánchez Salazar, M. T.; Bocco Verdinelli, G.; Casado Izquierdo, J. M., coords.)*. México, D. F., UNAM-SEMARNAT, 1ª ed., 19-44.
- Scott, C. A., Meza, F. J., Varady, R. G., Tiessen, H., McEvoy, J., Garfin, G. M., Montaña, E. (2013). *Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas*. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 280–289.
- Scott, C. A., Varady, R. G., Meza, F. J., Montaña, E., de Raga, G. B., Luckman, B., y Martius, C. (2012). *Science-Policy Dialogues for Water Security: Addressing Vulnerability and Adaptation to Global Change in the Arid Americas*. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 54(3), 30–42.
- Silva, M., Abril, A. G., Hernando, A., Mauro, F., y de la Vega, J. A. M. (2018). *Prospectiva territorial aplicando teledetección y evaluación multicriterio: Escenarios de cambio en la cuenca del río Sabinal (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México)*. In *América Latina en las últimas décadas: procesos y retos* (pp. 865-882). Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Stenström, M. (2013). *Morphological Analysis in Groups: A Personal Guide*. (FOI-R–3678–SE 85 pp.).
- Suárez de la Coba, Rodríguez V., A. Domínguez, B. Lois y Hernández E. (2011). *Aplicación de técnicas prospectivas para un estudio de ordenamiento territorial en la provincia de Cienfuegos*. *Observatorio de la Economía Latinoamericana* (159).
- Tapia, M., y Gándara, G. (2016). *Working to Ward sustainable development of sugarcane in the agro industrial sector: Scenarios to Veracruz 2030*. *Athens Journal of Business and Economics*, 2(4), 357-374.
- Toledo, A. (2017). *Escenarios para crear comités de subcuenca en la Amazonía (fundamentos-conceptos-proceso de creación): contribución a la hermenéutica en gestión de recursos hídricos*. *Agua y Más - Revista de la Autoridad Nacional del Agua, Perú*.

UNWater. (2013). Water security y the global water agenda. a UN-Water analytical brief. Hamilton, ON: UN University.

Vásquez, J., y Ortegón, E. (2006). Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe: CEPAL.

Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, y P., Liermann, C. R. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561.

Wheater, H., y Gober, P. (2013). Water security in the Canadian Prairies: science and management challenges. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371.

Zeitoun, M., B. Lankford, T. Krueger, T. Forsyth, R. Carter, A.Y. Hoekstra, y R. Boelens. (2016) Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges, *Global Environ. Change* 39: 143–154.

Zende, A. M., Patil, R. A., y Patil, V. M. (2018). Water security assessment in semi-arid region using geospatial techniques. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 620–627.

CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

[página intencionalmente en blanco]

7.1. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los efectos del cambio climático a escalas locales y regionales ya se hacen evidentes en cada rincón del planeta, y amenazan dramáticamente la seguridad hídrica (SH) en el futuro cercano (Honkonen, 2017). Es por ello por lo que la SH como concepto y como abordaje sobre la crisis hídrica, ha cobrado relevancia, y se ha redefinido y completado a medida que la gravedad de la situación mundial ha avanzado (Wade, 2018; Octavianti y Staddon, 2021). La SH incorpora dos grandes dimensiones de la gestión de los recursos hídricos: 1) la disponibilidad justa y equitativa del agua en cantidad y calidad suficiente para todos los habitantes, sus actividades productivas, y la vida silvestre; y 2) el manejo razonable de los riesgos por déficit (sequías), excedentes (inundaciones), cambios en la calidad (contaminación) o conflictos hidro-territoriales (Falkenmark, 2013; Link, Scheffran y Ide, 2016; Eekhout et al., 2018).

Como todo proceso ligado al clima, la SH conlleva altos niveles de incertidumbre, por lo que se requieren mecanismos de adaptación capaces de anticipar y adecuarse a condiciones cambiantes e inesperadas en la ocurrencia de precipitaciones y la demanda evaporativa determinada por la temperatura ambiente (Allan, Xia y Pahl-Wostl, 2013). Asimismo, el logro de la SH requiere de procesos de aprendizaje social para conciliar intereses, necesidades y visiones, que ocurren en espacios de diálogo y negociación; y que permitan incorporar nuevos procedimientos de adaptación a nivel individual, de grupos sociales y de instituciones, (Pahl-Wostl y Hare, 2004; Sholz y Melthner, 2020). La preocupación de la sociedad contemporánea por el logro de la SH es un objetivo prioritario que está plasmado en los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (Peña, 2016, Vörösmarty et al., 2018; Moumen et al., 2019, Nshimbi et al., 2019). En este contexto, esta tesis propone la renovación y reactivación del enfoque de gestión de cuencas hidrográficas mediante abordajes que incorporen a la SH como un eje rector.

El objetivo de esta tesis fue instalar a la SH como parte esencial de la gestión de cuencas. Así, la SH ocupa el lugar de un concepto articulador como una condición actual y futura, que es valorable y evaluable a nivel de cuenca hidrográfica, considerando las restricciones y oportunidades biofísicas, así como aquellos atributos territoriales, sociales e institucionales de las cuencas que determinan la efectividad de los procesos de gobernanza del agua. Para

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

tal fin, se diseñaron y pusieron a prueba tres marcos analíticos: 1) la valoración de la seguridad hídrica a nivel de cuenca hidrográfica para establecer diagnósticos, líneas-base y esquemas de monitoreo de mediano plazo; 2) la identificación de la complejidad territorial dentro de los límites de una cuenca; y 3) la prospectiva mediante escenarios normativos para el logro de SH a nivel de cuenca. Las tres contribuciones recogieron marcos conceptuales y metodológicos derivados del pensamiento geográfico que han permanecido ajenos o poco incluidos en el enfoque de gestión de cuencas. Los marcos analíticos desarrollados enfatizan aspectos territoriales, sociales e institucionales que son adecuados para contribuir en la construcción de la cuenca como espacio social, y a la gobernanza como una propiedad emergente de dicho espacio, requerida para el logro de SH (Rogers, 2006; Bakker y Morinville, 2013). Los marcos contribuyen a relacionar ordenada y sistemáticamente información cuantitativa y cualitativa en marcos interdisciplinarios, siendo estos los más propicios para estudios territoriales (Ther Rios, 2006).

En relación con valoración de la SH con enfoque de cuenca hidrográfica (Capítulo IV), esta propuesta analítica fue retomada y aplicada a una cuenca en el estado mexicano de Veracruz (De la Rosa et al., 2021). Algunos de los descriptores propuestos por esta investigación fueron empleados en el trabajo antes mencionado. Si bien los autores señalan que la cuenca demostró ser un elemento de interacción natural para analizar y medir la SH, estos no logran sortear un producto con una métrica estática basada en un *índice* por lo que el trabajo pierde profundidad en la narrativa social, así como la valoración funcional del espacio geográfico. De esta manera la gran cantidad de información técnica especializada resulta poco asequible a un público no especialista por lo que limita su operatividad.

Por su parte, el marco analítico que revela la complejidad territorial de cuencas hidrográficas (Capítulo V), ofrece una solución metodológica a la denominada “brecha administrativa” que refiere a los desajustes entre unidades territoriales-administrativas y funcionales, y las fronteras hidrológicas (OCDE, 2013). Muchos estudios han documentado las grandes dificultades de alinear las competencias jurisdiccionales, los intereses políticos, y los compromisos con los territorios que componen las cuencas (Torres y Delgadillo, 2009; Guerrero de León et al., 2010; Pacheco-Vega, 2015; Pineda et al., 2015). Ciertamente, la

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

articulación de límites territoriales y físicos en cuencas permite operativizar de mejor manera la participación pública en la toma de decisiones, y sustituir la tradicional representación sectorial (Martínez, Díaz y Moeller, 2019). En contraste con un actual entendimiento ambiguo y confuso de la dimensión territorial (Vajari, Veiskarami y Attar, 2014), este marco analítico da claridad en las definiciones y clasificaciones de territorios, distingue niveles de organización y escalas, así como las relaciones espaciales entre estos. Este análisis permite estructurar y legitimar espacios sociales para la coordinación y colaboración entre actores públicos y privados, incluyendo pobladores e instituciones de gobierno lo que es clave para el diseño de estrategias de participación, representación y resolución de conflictos. Esta investigación va más allá de sólo concebir el espacio social de la cuenca como un territorio generalizado; define los distintos tipos de territorios que intersectan a la cuenca, la complejidad que se deriva de ésta configuración y su estructura espacial a nivel de cuenca, para finalmente entender cómo ésta CT repercute en la gobernanza del agua.

Finalmente, la construcción de escenarios para el logro de la SH en cuencas completas (Capítulo VI) ofrece alta aplicabilidad y un gran potencial para orientar la planificación y la toma de decisiones, como parte del ciclo de gestión de cuencas hidrográficas. Pero sobre todo, ofrece un instrumento de alto valor aplicado para consolidar el espacio social de la cuenca, concertando a los actores y desarrollando sus capacidades para pensar en un futuro común. Actualmente la construcción de escenarios se aplica con mayor frecuencia a los estudios sobre transiciones energéticas particularmente como soporte a la toma de decisiones a la anticipación de riesgos, y al diseño de estrategias de mitigación (Wang, Wennersten y Sun, 2017; Poganietz y Weimer, 2020; Pregger et al., 2020). Además de los escenarios tecno-cuantitativos, los escenarios cualitativos que narran historias de futuros posibles mediante dibujos o simulaciones con piezas de historias cotidianas de personas habitando mundos futuros (storytelling), ofrecen también interesantes alternativas que mejoran la comunicabilidad (Carbonell, Sánchez y Carro, 2017). Es de esperar que la aplicación de la construcción de escenarios a la condición de SH en cuencas completas como la desarrollada en este trabajo, sea una práctica incluida en la gestión de cuencas en el futuro cercano.

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

En nuestro país la herramienta de política ambiental orientada a hacer uso racional del espacio terrestre es el Ordenamiento Ecológico. Este instrumento es el encargado de regular e inducir el uso del suelo y las actividades productivas (LGEEPA, art 3º). Siendo una de sus cuatro etapas la prospectiva con la cual se pueden atender distintas problemáticas con base en regulaciones que reduzcan los conflictos socio ambientales, así como orientar la ocupación territorial y el uso de los recursos fuera de los centros urbanos (Oseguera, Rosete y Sorani, 2007). Sin embargo una de las limitaciones importantes identificadas para su mayor operatividad es la carencia de información base a detalle a nivel local. El enfoque de cuencas en el proceso del ordenamiento ecológico permite entender el territorio de manera sistémica de tal forma que resulta de alta pertinencia el empleo de esta aproximación teórico metodológica (Bunge et al., 2015).

Es por lo anterior que en términos de la aplicación práctica de los marcos analíticos propuestos por este trabajo, y su potencial para ser desarrollados en el seno de organismos de cuenca en México, se identificaron tres potenciales dificultades: 1) la disponibilidad de información sobre las cuencas de interés, 2) las capacidades técnicas para su integración y 3) la apertura de los actores de los organismos de cuencas para ser protagonistas activos de los ejercicios participativos, particularmente, la construcción de escenarios.

Primero, en cuanto a la disponibilidad de información, es frecuente que los datos espaciales y estadísticos que se usaron en esta tesis, para cuencas de mediana y gran superficie estén dispersos o sean inexistentes, o que se requiera procesamiento de algún nivel de dificultad para constituir bases de datos espaciales y estadísticas confiables. En tal sentido, estos marcos analíticos pueden ser un motivo suficiente para crear, recabar, organizar, sistematizar y pre-procesar información mediante SIG y otras técnicas como las utilizadas en esta tesis, para ir más allá de las tradicionales bases de datos utilizadas en la caracterización biofísica de cuencas y el despliegue de modelos hidrológicos.

Segundo, la aplicación de estos marcos analíticos requieren capacidades técnicas para analizar bases de datos espaciales y analíticas con criterios y conceptos derivados del pensamiento geográfico y de las ciencias sociales. Sin duda los SIGs han sido adoptados como soporte a la toma de decisiones para la gestión de cuencas desde hace más de tres décadas, pero las técnicas analíticas se han especializado en la aplicación de modelos

hidrológicos o de pérdida de suelo de los cuales hay innumerables ejemplos (Muste et al., 2012; Dou et al., 2021). Por el contrario, hay pocos ejemplos publicados del análisis de relaciones espaciales entre elementos territoriales, o que permitan comprender la estructura social a nivel de cuenca, como el análisis de la complejidad territorial desarrollado en esta tesis.

Y finalmente, en cuanto a la dificultad de la participación y apropiación de la información y conocimiento generado, ciertamente, los organismos de cuenca en México aún constituyen estructuras verticales y cerradas, no propensas a aceptar la participación multi-actoral genuina y legítima (Pacheco-Vega, 2020). Ello reduce en gran medida el potencial de aplicación de métodos como el de construcción de escenarios aquí desarrollado. Sin embargo, de llevarse a cabo estos ejercicios analíticos en los organismos de cuenca, se haría posible que múltiples actores que comparten espacios geográficos sean partícipes de procesos de aprendizaje social, que son clave para concebir a la SH como un bien público y social (Mishra et al., 2021), y para transitar a modelos adaptativos de gestión del agua (Allan, Xia y Pahl-Wostl, 2013).

Para coadyuvar en la superación de las dificultades mencionadas, el papel de la academia recaería en tres aspectos principales. Primero, la creación, ordenación y sistematización de datos; segundo la transformación de estos datos a información con la finalidad de contestar preguntas y resolver problemas; y tercero y último la facilitación del conocimiento a usuarios no expertos con acciones claras en un espacio delimitado, integrando información para construir significados completos para múltiples audiencias que comparten una cuenca (Muste et al., 2012). El compromiso del sector académico en procesos de gestión de cuencas requiere una mejor comprensión sobre la perspectiva de los decisores. Bremer et al. (2020), identificaron que, desde la perspectiva de los manejadores, la información técnico-científica debe inspirar y dar soporte a la acción, comprometer a potenciales participantes, y priorizar la ubicación espacial y los tipos de actividades necesarias, entre otras. Asimismo, se requieren un mayor compromiso de los grupos académicos con la coproducción de conocimientos con los actores que habitan las cuencas, y con la apropiación social y utilización de dicho conocimiento para la vida cotidiana y la toma de decisiones.

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

Por último, cabe mencionar las debilidades del enfoque de gestión de cuencas que *no fueron atendidas en esta tesis* y quedan por ser subsanadas con futuros desarrollos conceptuales, metodológicos y analíticos. En este tenor, destacan cuatro aspectos de urgente atención. El *primero* es el análisis y aplicación de la gobernanza policéntrica, un modelo que ha sido conceptualizado y teorizado ampliamente para la gestión de aguas y cuencas (Carlisle y Gruby, 2018; Kellner, Oberlack y Gerber, 2019), pero inexistente en la realidad mexicana (Pacheco-Vega, 2014). *Segundo*, se requiere ubicar los caminos posibles para atenuar la verticalidad de las políticas públicas a la vez de fortalecer la gestión de cuencas a nivel local (Cohen y Davidson, 2011). *Tercero*, se requieren marcos conceptuales, normativos y operativos serios y transparentes para el ordenamiento y la toma de decisiones sobre la asignación de concesiones de aguas superficiales y subterráneas (Austria, y Martínez, 2017). Finalmente, se deben explorar nuevos marcos de análisis espacial para profundizar en las relaciones espaciales implicadas en la estructura social de las cuencas, y en los procesos demográficos y socio-económicos que impactan sobre la disponibilidad temporal, espacial y la calidad de los recursos hídricos (Akhmouch y Correia, 2016).

A manera de cierre es importante señalar que la Seguridad Hídrica como paradigma del desarrollo ha ido remplazándose en la literatura académica por otras nociones más *novedosas* como “inseguridad hídrica” entre otras (Loftus, 2015; Jepson et al., 2017). Sin embargo, lejos de ser una noción con un marco analítico y conceptual propio, reconocido y robusto, sigue latente en su ambigüedad conceptual y metodológica, de tal forma que pese a estar presente en planes de desarrollo de diversos países como el nuestro (Diario Oficial, 2020), no se han logrado avances importantes en esta materia. Impera el sesgo de una visión hidráulica, la cual basa sus soluciones en infraestructura principalmente (Semarnat, 2019), y denota el aspecto social y territorial de la noción de SH. Es por lo anterior que esta investigación aporta una visión novedosa basada en casos empíricos que pretenden incentivar una mejora en la ejecución de un mejor enfoque de gestión de cuencas que transite como meta a un mayor nivel de SH, y con ello una mejora en la calidad de vida de los habitantes del país o de cualquier cuenca hidrográfica en donde se lleve a cabo el procedimiento.

7.2. REFERENCIAS

- Akhmouch, A., y Correia, F. N. (2016). The 12 OECD principles on water governance – When science meets policy. *Utilities Policy*, 43.
- Allan, C., Xia, J., y Pahl-Wostl, C. (2013). Climate change and water security: Challenges for adaptive water management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 625–632.
- Austria, P., y Martínez. (2017). Seguridad hídrica en México. *Academia de Ingeniería Mexicana*. 48 pp.
- Bakker, K., y Morinville, C. (2013). The governance dimensions of water security: A review. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002).
- Bremer, L. L., Hamel, P., Ponette-González, A. G., Pompeu, P. V., Saad, S. I., y Brauman, K. A. (2020). Who are we measuring and modeling for? Supporting multilevel decision-making in watershed management. *Water Resources Research*, 56(1), 1-17.
- Bunge, V., Cotler, H., Iura González, D. y Enríquez, C. (2015). Incorporación del enfoque de cuencas en los ordenamientos ecológicos. En *Dimensiones Sociales en el Manejo de Cuencas*; Burgos, A., Bocco, G., Sosa Ramírez, J., Eds; Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (Morelia), Universidad Nacional Autónoma de México: Morelia, Mexico.
- Carbonell, J., Sánchez-Esguevillas, A., y Carro, B. (2017). From data analysis to storytelling in scenario building. A semiotic approach to purpose-dependent writing of stories. *Futures*, 88, 15–29.
- Carlisle, K. M., y Gruby, R. L. (2018). Why the path to polycentricity matters: evidence from fisheries governance in Palau. *Environmental Policy and Governance*, 28(4), 223-235.
- Cohen, A., y Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives*, 4(1), 1–14.
- De la Rosa, A., Valdés-Rodríguez, O. A., Villada-Canela, M., Manson, R., y Murrieta-Galindo, R. (2021). Caracterizando la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrológica: Caso de estudio Veracruz, México. *Ingeniería del agua*, 25(3), 187.
- Diario Oficial (2020). DECRETO por el que se aprueba el Programa Nacional Hídrico 2020-2024. *Semarnat*. 18-61.
- Dou, P., Zuo, S., Ren, Y., Rodriguez, M. J., y Dai, S. (2021). Refined water security assessment for sustainable water management: A case study of 15 key cities in the Yangtze River Delta, China. *Journal of Environmental Management*, 290, 1–13.

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

- Eekhout, J., Hunink, J., Terink, W., y de Vente, J. (2018). Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–16.
- Falkenmark, M. (2013). Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371(September).
- Guerrero de León, A. A., Gerritsen, P. R. W., Martínez-Rivera, L. M., Salcido-Ruíz, S., Meza-Rodríguez, D., y Bustos-Santana, H. R. (2010). Gobernanza y participación social en la gestión del agua en la microcuenca El Cangrejo, en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, (33), 541–567.
- Honkonen, T. (2017). Water security and climate change: The need for adaptive governance. *Potchefstroom Electronic Law Journal*, 20(19).
- Jepson, W., Wutich, A., Collins, S. M., Boateng, G. O., y Young, S. L. (2017). Progress in household water insecurity metrics: a cross-disciplinary approach. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(3), 21.
- Kellner, E., Oberlack, C., y Gerber, J. D. (2019). Polycentric governance compensates for incoherence of resource regimes: The case of water uses under climate change in Oberhasli, Switzerland. *Environmental science and policy*, 100, 126-135.
- Link, P. M., Scheffran, J., y Ide, T. (2016). Conflict and cooperation in the water-security nexus: a global comparative analysis of river basins under climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(4), 495–515.
- Loftus A. (2015). Water (in) security: securing the right to water. *Geogr J.* (181) 350–356.
- Martínez, P.F., Díaz, C. y Moeller, G. (2019). Water security in Mexico: general diagnosis and main challenges. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121.
- Mishra, B.K. Kumar, P. Saraswat, C. Chakraborty, S. y Gautam, A. (2021). Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water* (13) 490.
- Moumen, Z., El Idrissi, N. E. A., Tvaronavičienė, M., y Lahrach, A. (2019). Water security and sustainable development. *Insights into Regional Development*, 1(4), 301-317.
- Muste, M. V., Bennett, D. A., Secchi, S., Schnoor, J. L., Kusiak, A., Arnold, N. J. y Rapolu, U. (2012). End-to-end cyberinfrastructure for decision-making support in watershed management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(5), 565–573.
- Nshimbi, C. C. (2019). SDGs and decentralizing water management for transformation: Normative policy coherence for water security in SADC river basin organizations. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 111, 1-12.
- OCDE. (2013). Making water reform happen in Mexico. Paris: OECD studies on water.

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

- Octavianti, T., y Staddon, C. (2021). A review of 80 assessment tools measuring water security. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(3), 1–24.
- Oseguera, J. a., Rosete, F. a., y Sorani, V. (2007). Reflexiones acerca del Ordenamiento Ecológico en México. *Investigación ambiental*, 2(2), 32–40.
- Pacheco-Vega, R. (2014). Ostrom y la gobernanza del agua en México. *Revista Mexicana de Sociología*, 76(5), 137–166.
- Pacheco-Vega, R. (2015). River basin councils as action arenas: Analyzing rules and norms in the Lerma-Chapala river basin council using the IAD framework, 5(2013), 10.
- Pacheco-Vega, R. (2020). Governing urban water conflict through watershed councils-A public policy analysis approach and critique. *Water (Switzerland)*, 12(7).
- Pahl-Wostl, C., y Hare, M. (2004). Processes of social learning in integrated resources management. *Journal of community and applied social psychology*, 14(3), 193-206.
- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Pineda, N., Moreno Vázquez, J. L., Salazar Adams, A., y Lutz Ley, A. N. (2015). Derechos de agua y gestión por cuencas en México. El caso del río Sonora. *Espiral Estudios Sobre Estado y Sociedad*, 21(61), 191–225.
- Poganietz, W. R., y Weimer-Jehle, W. (2020). Introduction to the special issue ‘Integrated scenario building in energy transition research’. *Climatic Change*, 162(4), 1699–1704.
- Pregger, T., Naegler, T., Weimer-Jehle, W., Prehofer, S., y Hauser, W. (2020). Moving towards socio-technical scenarios of the German energy transition—lessons learned from integrated energy scenario building. *Climatic Change*, 162(4), 1743–1762.
- Rogers, P. (2006). Water governance, water security and water sustainability. *Water crisis: myth or reality*, 3-36.
- Semarnat. (2019). Índices de seguridad hídrica (ish). IMTA. 49 pp.
- Scholz, G., y Methner, N. (2020). A social learning and transition perspective on a climate change project in South Africa. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34, 322-335.
- Ther Ríos, F. (2006). Complejidad territorial y sustentabilidad: notas para una epistemología de los estudios territoriales. *Horizontes Antropológicos*, 12(25), 105–115.
- Torres, F., y Delgadillo, J. (2009). Hacia una política territorial del desarrollo rural de México. *Convergencia*, 16(50), 107-131.

CAPITULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

Vajari, K. A., Veiskarami, G., y Attar, F. (2014). Recognition of Endemic Plants in Zagros Region (Case Study: Lorestan Province, Iran). *Ecologia Balkanica*, 6(1).

Vörösmarty, C. J., Osuna, V. R., Cak, A. D., Bhaduri, A., Bunn, S. E., Corsi, F., y Uhlenbrook, S. (2018). Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs). *Ecohydrology and Hydrobiology*, 18(4), 317-333.

Wade, S. (2018). Is water security just? Concepts, tools and missing links. *Water International*, 43(8), 1026–1039.

Wang, Z., Wennersten, R., y Sun, Q. (2017). Outline of principles for building scenarios – Transition toward more sustainable energy systems. *Applied Energy*, 185, 1890–1898.

ANEXOS

[página intencionalmente en blanco]

1. Actualización datos y cartografía de uso del suelo y vegetación 2021

Al año 2021 y de acuerdo a la reclasificación elaborada por la CONABIO con base en las series de uso del suelo y vegetación producidas por el INEGI (Cuadro A1), los cambios más abruptos que ambas cuencas han sufrido son en la cubierta del tipo de vegetación de pastizal. Las tasas anuales de pérdida son de más de 3 % para la Aguascalientes, mientras en la cuenca en Michoacán este valor es cercano al 6 %.

Cuadro A1. Uso del suelo y vegetación Serie I y VII (INEGI, 1997; 2021)

Tipo vegetación / uso suelo	Cuenca Juan El Grande			Cuenca San Pedro Jorullo		
	Serie I (ha)	Serie VII (ha)	Tasa de cambio (%)	Serie I (ha)	Serie VII (ha)	Tasa de cambio (%)
Bosque	795	1,119	1.4	6,102	7,202	0.7
Selva	-	-	-	24,201	27,776	0.6
Palmar	-	-	-	1,020	919	-0.4
Matorral	6,230	5,880	-0.2	-	-	-
Pastizal	4,817	2,133	-3.3	7,424	1,736	-5.8
Agricultura temporal	19,144	18,598	-0.1	7,223	8,066	0.5
Agricultura riego	3,294	6,550	2.9	-	-	-

En los mapas de las figuras A1 y A2 pueden apreciarse los cambios que ha sufrido las diferentes coberturas vegetales en ambas cuencas. En la cuenca de Aguascalientes puede apreciarse la pérdida de conectividad de la superficie de matorral para dar paso a mayor superficie agrícola. Por su parte en la cuenca de Michoacán es evidente el aumento tanto de vegetación de tipo boscosa como de selva, en las zonas en donde anteriormente cubría el pastizal. Sin embargo se requieren más estudios sobre la calidad ecológica de los tipos de vegetación que han aumentado su cobertura de tal forma que permita entender la salud ambiental de la cuenca en general.

[página intencionalmente en blanco]

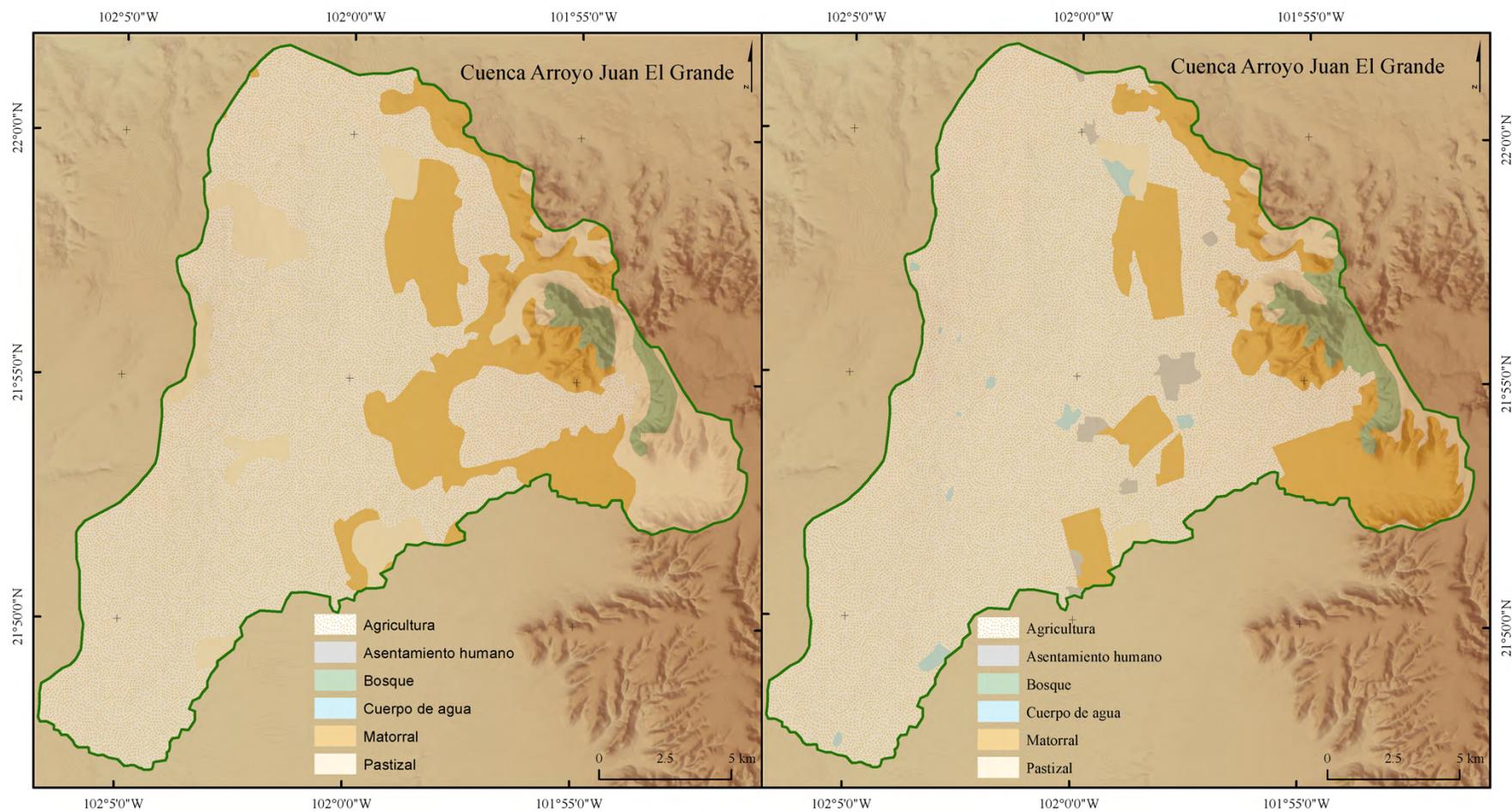


Figura A1. Comparación de superficies de acuerdo al uso del suelo. Cuenca Arroyo Juan El Grande, Aguascalientes. Izquierda cobertura en el año 1997; derecha, año 2021. Fuente: Series uso de suelo y vegetación I y VII, Inegi 1997; 2021.

[página intencionalmente en blanco]

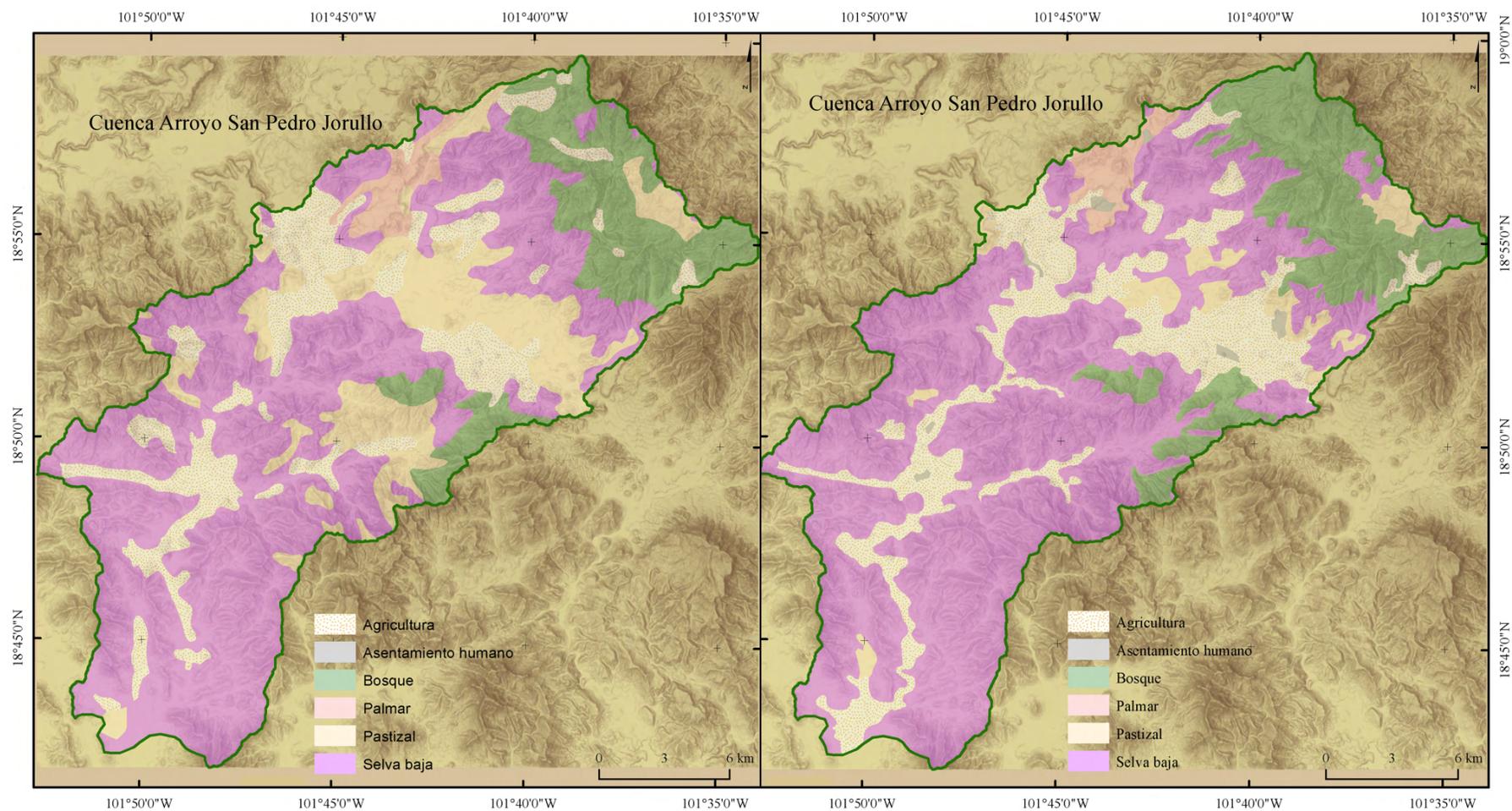


Figura A2. Comparación de superficies de acuerdo al uso del suelo. Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, Michoacán. Izquierda cobertura en el año 1997; derecha, año 2021. Fuente: Series uso de suelo y vegetación I y VII, Inegi 1997; 2021.

[página intencionalmente en blanco]

2. Actualización datos poblacionales 2020

Al momento de la realización de esta tesis el censo de población y vivienda 2020, del INEGI no se había realizado por tal motivo en el capítulo 4 se realizaron estimaciones sobre la población al año 2020. En el cuadro A1 se estimó que al año 2020 la población de la cuenca sería de 18, 950 habitantes, esta cifra representa un 5.5 % por encima de lo reportado oficialmente en el último censo de población. Finalmente los habitantes al interior de la cuenca se han incrementado en casi un 16 % con respecto a los que habían al momento del estudio.

Cuadro A1. Cambio de los valores sociodemográficos en la cuenca en Aguascalientes. Fuente: Censo de población y vivienda Inegi, 2020.

Cuenca Arroyo Juan El Grande (Aguascalientes)					
	Censo 2010	Censo 2020	Diferencia	Tasa de cambio (%)	Cambio total (%)
Población total	15,535	17,971	2,436	1.5	15.7
Viviendas habitadas	3,427	4,499	1,072	2.8	31.3
Población económicamente activa	4,511	7,203	2,692	4.8	59.7
Viviendas con agua entubada	3,219	4,200	981	2.7	30.5
Viviendas con drenaje	3,062	4,318	1,256	3.5	41.0
Viviendas con agua, luz y drenaje	2,924	4,272	1,348	3.9	46.1

Por su parte para la cuenca de Michoacán la población estimada para el año 2020 fue de 7,100 habitantes, una cifra del 18 % por encima de la actual. De acuerdo a los datos oficiales reportados en el último censo de población (Cuadro A2) la población decreció, si bien su tasa de crecimiento al 2010 era muy baja (0.006) ésta es actualmente negativa. Los habitantes decrecieron en un poco más al 9 % del valor reportado al año 2010. Esto pone en evidencia la precariedad de la región y evidencia la emigración de la cuenca, principalmente por aspectos de violencia.

Cuadro A2. Cambio de los valores sociodemográficos en la cuenca en Michoacán. Fuente: Censo de población y vivienda Inegi, 2020.

Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (Michoacán)					
	Censo 2010	Censo 2020	Diferencia	Tasa de cambio (%)	Cambio total (%)
Población total	6,434	5,840	-594	-1.0	-9.2
Viviendas habitadas	1,518	1,602	84	0.5	5.5
Población económicamente activa	1,780	2,513	733	3.5	41.2
Viviendas con agua entubada	741	1,492	751	7.2	101.3
Viviendas con drenaje	950	1,436	486	4.2	51.2
Viviendas con agua, luz y drenaje	509	1,354	845	10.3	166.0

[página intencionalmente en blanco]

Valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica: Aplicación en cuencas rurales del Centro Occidente de México

Oscar Salvatore Olivares

Universidad Nacional Autónoma de México

Ana L. Burgos

Universidad Nacional Autónoma de México

Joaquín Sosa Ramírez

Universidad Autónoma de Aguascalientes

Gerardo Bocco

Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

La valoración de la seguridad hídrica (SH) es clave para el desarrollo territorial, pero su abordaje está en revisión y debate. Como alternativa a los indicadores, este trabajo propone un marco metodológico para valorar la SH con enfoque de cuenca hidrográfica, basado en descriptores ambientales, el cual es aplicado en dos cuencas rurales en Aguascalientes y Michoacán (México). Se consideraron cuatro componentes de la SH: amenazas hídricas, agua para uso doméstico, agua para uso productivo y control del riesgo hídrico; éstos se valoraron mediante 16 descriptores a escala de cuenca y subcuenca. Los resultados sugieren condiciones contrastantes en ambas cuencas: mientras que la de Aguascalientes presenta una condición de SH sub-óptima sostenida en fuerte infraestructura física, la cuenca de Michoacán muestra condiciones precarias por fuertes amenazas hídricas y falta de medios para enfrentarlas. Las ventajas del enfoque de cuenca con descriptores

incluyen la integración de información sin pérdida de significados y la apreciación espacialmente explícita. El marco permite establecer líneas-base de condición de SH en cuencas con información insuficiente para elaborar indicadores confiables.

PALABRAS CLAVE: *seguridad hídrica, gestión de cuencas, indicadores, descriptores*

ABSTRACT

Despite the assessment of Water Security (WS) being key for land-use planning and territorial development, available methodological approaches are controversial. As an alternative to the use of indicators for WS, this paper proposes the use of descriptors at a watershed level. The approach was tested in two rural watersheds in Aguascalientes and Michoacan (Mexico). Four components of WS were analyzed: water threats, domestic water, water for productive use, and control

of hydro-climatic risks; they were assessed by 16 descriptors at the watershed and sub-watershed scales. The descriptors revealed contrasting conditions: while the watershed in Aguascalientes had a sub-optimal condition of WS sustained in a strong physical infrastructure, the Michoacan case presented precarious conditions due to strong water threats and lack of means to face them. The approach proved appropriate to integrate information without a loss of meaning and allowed a sensible use of a spatially explicit analysis. In addition, baseline conditions for the two cases could be established despite the lack of sufficient information.

KEYWORDS: *water security, watershed management, indicators, descriptors*

INTRODUCCIÓN

La seguridad hídrica (SH) es un componente estratégico para el desarrollo territorial. Para los países de América Latina y el Caribe en particular, el alcance de una adecuada SH es de alta prioridad debido al papel central de los recursos hídricos en el desarrollo social y económico de la región (Peña, 2016). Actualmente, la valoración de la SH es reconocida como un punto de partida para establecer escenarios futuros, lo que ha promovido un campo activo de investigación y deliberación (Lemos, Manuel-Navarrete, Willems, Caravantes & Varady, 2016; Sun, Staddon, & Chen, 2016; Wilder, 2016).

México enfrenta enormes retos para alcanzar la SH en el presente y garantizarla para el futuro (Martínez-Austria, 2013). Sin embargo, la valoración de la condición presente de

SH es una práctica poco realizada en el país. Algunas dificultades para realizar esta tarea son la insuficiencia de datos hidrológicos, biofísicos y socio-culturales a la resolución espacial y temporal adecuada, y la falta de aproximaciones más integradoras y prácticas para su aplicación en condiciones de alta complejidad geográfica y social como las presentes en el contexto mexicano.

La valoración de la SH presenta retos conceptuales y metodológicos. En términos operativos, se requiere al menos de tres elementos: una definición de SH (qué medir), una unidad espacial de interés (dónde medir) y un conjunto de instrumentos de medición (cómo medir). Adicionalmente, es deseable integrar la información sobre la condición de SH, a manera de construir significados completos para múltiples audiencias, e.g. funcionarios gubernamentales, grupos sociales, comunidades rurales y empresarios. La información significativa para múltiples actores que comparten espacios geográficos facilita la concepción de la SH como un bien público y social y, consecuentemente, los procesos de negociación y acción colectiva.

La selección de “qué medir” requiere una definición aceptada de SH. En 2007, Grey y Sadoff propusieron dos dimensiones ya clásicas: la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente para las necesidades domésticas y productivas; y un riesgo razonable frente a los efectos destructivos de la falta o exceso de agua. Más recientemente, otras dimensiones han enriquecido el concepto como la preservación de ecosistemas naturales, resolución de conflictos por el agua, promoción de estabilidad política y desarrollo sostenible, entre otras (Cook & Bakker,

2012; UNWater, 2013; Vörösmarty et al., 2013; Varis, Keskinen, & Kummu, 2017).

En relación con el “dónde medir”, la perspectiva geográfica señala a la cuenca hidrográfica como la unidad idónea. Sin embargo, las valoraciones de SH realizadas desde esta aproximación son muy escasas. Basta mencionar que “cuenca hidrográfica” es un término ausente en las definiciones de SH revisadas por Cook y Bakker (2012), así como en los estudios que valoran la SH desde una perspectiva ecológica (Vörösmarty, Green, Salisbury, & Lammers, 2000; Keirle & Hayes, 2007; Warner, Wester, & Bolding, 2008; Cook et al., 2013). Cabe recordar que la cuenca es el contexto natural para establecer la heterogeneidad biofísica que determina los procesos hidrológicos; explicar la distribución espacial de las actividades humanas y capturar las relaciones (cuenca) arriba-abajo que afectan la cantidad y calidad de agua (Jun, & Yongyong, 2008; Cohen & Davidson, 2011; Garrick & Hall, 2014; Pahl-Wostl, Palmer, & Richards, 2013; Burgos & Bocco, 2015). Sobre todo, la cuenca es la unidad para la gestión del agua, de modo que la valoración de la SH debería ser un insumo clave para la gestión de cuencas.

La búsqueda de “cómo medir” se ha apoyado principalmente en el diseño y uso de indicadores (Sullivan, 2002; Sullivan & Meigh, 2007; Xiao, Li, Xiao, & Liu, 2008; Pérez-Foguet, & Garriga, 2011; Norman, Dunn, Bakker, Allen, & De Albuquerque, 2013; Garrick & Hall, 2014; Ding, Wei, Dai, & Tang, 2014; Dickson, Schuster-Wallace, & Newton, 2016); sin embargo estos han mostrado limitaciones, en especial, desde el punto de vista operacional y de interpre-

tación (Lemos et al., 2016; Sun et al., 2016; Wilder, 2016). Otros instrumentos usados en valoraciones ambientales son los descriptores, aunque su uso está ausente en el campo de la SH. Las particularidades de ambos instrumentos son revisadas más abajo.

El objetivo de este trabajo es valorar la SH en dos cuencas rurales del Centro-Occidente de México con base en el enfoque de cuenca hidrográfica y el uso de descriptores ambientales. Sin pretender una revisión exhaustiva, primero se establecen algunas precisiones sobre los indicadores y descriptores como instrumentos para la valoración ambiental. En la siguiente sección, se presentan los casos de estudio y su contexto. Luego se explica detalladamente el método, basado en la selección y análisis de descriptores ambientales. Posteriormente, se presentan los principales resultados y su integración en un relato descriptivo que construye significados completos, más apto para la comunicación a una audiencia no especializada. Finalmente, se discuten los alcances y limitaciones del marco analítico empleado y su pertinencia para articular la valoración de la SH con la gestión de cuencas.

VALORACIÓN DE LA SH: INDICADORES Y DESCRIPTORES

La valoración de la SH es un procedimiento orientado a reconocer la condición presente en las dimensiones determinantes de la SH establecidas por una definición adoptada, en un lugar y momento determinado (línea-base). Los propósitos de esta valoración incluyen la obtención de diagnósticos, la

orientación de prioridades en la planificación, el seguimiento a líneas de acción y la evaluación de cambios en la condición inicial. Esta valoración puede realizarse mediante dos instrumentos principales: los indicadores y los descriptores ambientales.

Los indicadores son los instrumentos más utilizados, pero también los más cuestionados (Lemos et al., 2016; Varady, Zuniga-Teran, Garfin, Martín, & Vicuña, 2016; Wilder, 2016). En términos generales, los indicadores son variables-clave o combinaciones de éstas, que permiten ponderar la condición (estatus) de atributos específicos altamente sensibles a los cambios que desean ser observados (Heink & Kowarick, 2010). Dichas variables quedan resumidas en promedios aritméticos, y requieren ser normalizadas para integrar índices que son expresados en valores adimensionales o categorías. Los indicadores son ampliamente utilizados porque simplifican realidades complejas y pueden ser calculados fácilmente desde datos tabulados, cuando éstos están disponibles. Pero su debilidad radica en su origen en modelos agrupados que simplifican la realidad compleja. Al provenir de datos agrupados, los indicadores e índices no capturan de manera explícita la variabilidad espacial, ni las relaciones espaciales subyacentes. Si bien los indicadores son fáciles de comunicar a usuarios y tomadores de decisiones, hay una pérdida de significados. Así, los indicadores resultan “cajas negras”, de difícil interpretación para no expertos (Mason & Calow, 2012). En países periféricos y áreas rurales, por ejemplo, es muy frecuente la carencia de datos primarios suficientes, o éstos provienen de fuentes poco confiables tales como estadís-

ticas gubernamentales con poco control en la calidad de los datos. Esta carencia usualmente se subsana con valores aproximados o débilmente estimados, lo que conduce a valores finales de indicadores de SH que son aparentemente confiables por ser cuantitativos, pero encierran una alta incertidumbre.

Los descriptores son el segundo instrumento disponible para valorar la SH. En este trabajo se denomina descriptor a un conjunto de atributos cuantitativos y cualitativos afines, que pueden ser integrados mediante la conexión congruente de la información que brindan. Los descriptores permiten capturar la condición de un aspecto o dimensión particular de manera cuantitativa y semi-cuantitativa, logrando significados más completos. Su virtud es la capacidad de encapsular datos (Zimmerman, 2016) y son ampliamente utilizados para la caracterización de cuencas (Kershner, Roper, Bouwes, Henderson, & Archer, 2004). A diferencia de los indicadores, los descriptores no constituyen unidades de medición específicas. Si bien los descriptores tienen una fuerte base cuantitativa, los datos de origen no se desnaturalizan de su significado como ocurre con los indicadores. Los descriptores son más flexibles para relacionar datos cuantitativos y categóricos, datos antecedentes y otros derivados de modelos de simulación. Ello mejora la integración de información disponible y subsana los faltantes sin incrementar la incertidumbre informativa. El uso e interpretación de descriptores requiere conocimiento técnico especializado, de modo que los resultados directos no son tan accesibles a tomadores de decisiones y público

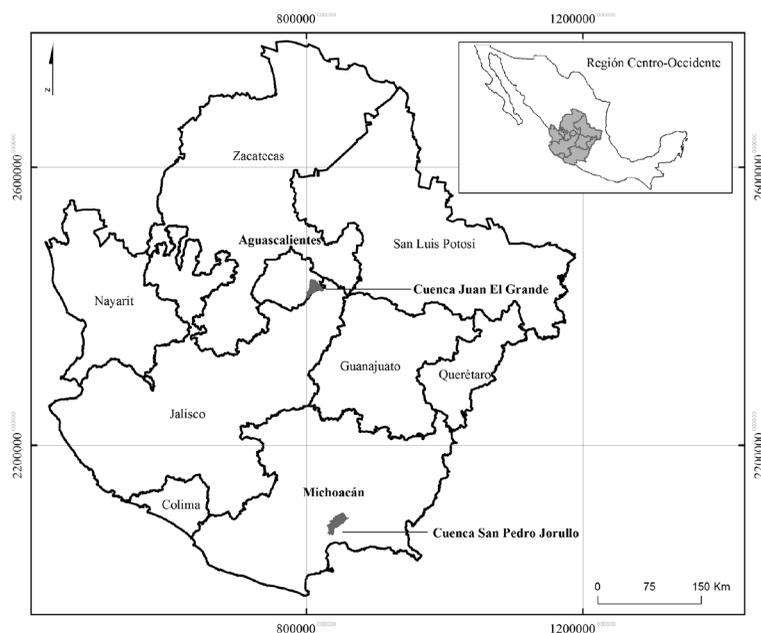


Figura 1. Ubicación de las cuencas de estudio en el Centro-Occidente de México.

no experto. Sin embargo, dichos resultados pueden ser fácilmente integrados en relatos descriptivos más aptos para la comunicación amplia a actores sociales involucrados en la gestión de las cuencas.

CUENCAS DE ESTUDIO

La valoración de la SH se realizó en dos cuencas del Centro-Occidente de México (Figura 1). Esta región abarca nueve estados del país y destaca por la prosperidad de sus polos de innovación, así como por su medio rural que contribuye a la seguridad alimentaria nacional y a la exportación agrícola (Silva, Sergio, & Luis, 2010). Las cuencas se ubicaron en los Estados de Aguascalientes y Michoacán, que presentan condiciones contrastantes. Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI, 2010), Aguascalientes ocupa el segundo lugar en esta región, por sus altos valores de PIB

e Índice de Desarrollo Humano; mientras que Michoacán está último debido a su debilidad institucional, inseguridad y pobreza. Las cuencas de estudio se denominan Juan El Grande en Aguascalientes y San Pedro Jorullo en Michoacán (Figura 1). La primera pertenece a la Región Hidrológica Administrativa (RHA) VIII Lerma-Santiago y la segunda a la RHA IV Balsas. Las cuencas son de mediana extensión (350 a 500 km²), y de tipo rural debido a la preponderancia de pequeños asentamientos y actividades primarias. Su complejidad territorial es baja o moderada por la baja cantidad relativa de unidades y límites territoriales, tales como ejidos, propiedades privadas, municipios o estados (Cuadro 1). Ambas cuencas constituyen sitios de investigación de largo plazo para el diseño y aplicación de modelos de desarrollo territorial; de modo que la valoración de la condición actual de SH es parte esencial de dichas investigaciones (Burgos,

Atributo	Cuenca Juan El Grande (Aguascalientes)	Cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán)
Municipios abarcados	El Llano, Asientos, Lagos de Moreno y Ojuelos	La Huacana y Ario de Rosales
Superficie (km ²)	342.8	459.7
Población total en 2010 (hab.)	15,535	6,682
Densidad de población (hab.km ⁻²)	45.3	14.5
Tasa de crecimiento poblacional (2000 - 2010)	0.02	0.006
# de asentamientos rurales (< 5000 hab.)	91	55
# de asentamientos urbanos (> 5000 hab.)	1	0
Promedio del Índice de Marginación para las localidades dentro de la cuenca (adimensional)	-0.8	0.4
Rango del Índice de Marginación	0.5 a -1.6	1.7 a -0.8
Tenencia de la tierra (%)		
Ejidal:	90	95
Federal:	0	5
Privada:	10	0
Actividades productivas predominantes	agricultura temporal, bajo riego y ganadería extensiva	agricultura temporal y ganadería extensiva

Cuadro 1. Características generales de las cuencas de estudio en la región Centro-Occidente de México.

Páez, Carmona, & Rivas, 2013; Sosa-Ramírez, Meráz Jiménez, Díaz Nuñez, Ponce Montoya, & Galarza, 2011).

MÉTODO

Se adoptó la definición de SH de Grey y Sadoff (2007) que abarca dos dimensiones ampliamente reconocidas (Gerlak et al., 2018; Srinivasan, Konar, & Sivapalan, 2017; Varady et al., 2016; Zeitoun et al., 2016): i) el abasto de agua en cantidad y calidad para el uso humano y las actividades productivas, y ii) el nivel de riesgo hídrico. Cada dimensión se separó en dos componentes: agua

para uso doméstico (AD) y agua para usos productivos (AP), para la primera; y amenazas hídricas (AH) y reducción del riesgo hídrico (RH), para la segunda. Otras dimensiones de SH quedaron fuera de los alcances de este trabajo, pero pueden ser fácilmente incorporadas siguiendo los procedimientos aquí utilizados. Cabe señalar que este estudio no tuvo fines comparativos entre las cuencas rurales de Aguascalientes y Michoacán, sino que se orientó a reconocer el abanico de condiciones de SH bajo contextos geográficos e institucionales marcadamente diferenciados que coexisten en las entidades federativas (Estados) dentro de la

Componente	Clave	Escala	Descriptor	Técnica analítica / Fuente de información	
Amenazas hídricas (AH)	AH ₁	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Rasgos climáticos Frecuencia de años extremos 	<ul style="list-style-type: none"> Climatograma y Balance Hídrico con Modelo USGS Distribución de frecuencias de precipitación total anual, clasificación de Prohaska Análisis pluviométrico de años extremos Parámetros morfohidrométricos básicos Parámetros morfohidrométricos en subcuencas seleccionadas 	
	AH ₂	cuenca			
	AH ₃	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Rasgos pluviométricos de años extremos 		
	AH ₄	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Respuesta hidrológica general Variabilidad interna de la respuesta hidrológica 		
	AH ₅	sub-cuenca			
Agua disponible para uso doméstico (AD)	AD ₁	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Condición socio-demográfica 	<ul style="list-style-type: none"> Densidad de población, distribución de asentamientos, marginación por localidad, cambios demográficos Idem AD-1 para sub-cuencas seleccionadas 	
	AD ₂	subcuenca	<ul style="list-style-type: none"> Variabilidad interna en la condición socio-demográfica 		
	AD ₃	subcuenca	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes de agua y aprovechamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo y cantidad de fuentes de agua, condición de la infraestructura de aprovechamiento Población actual y futura; volumen de abasto óptimo Nivel de abasto, población conectada a agua entubada, testimonios locales 	
	AD ₄	subcuenca	<ul style="list-style-type: none"> Demanda doméstica de agua Satisfacción hídrica actual 		
	AD ₅	subcuenca			
Agua para actividades productivas (AP)	AP ₁	subcuenca	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de actividades productivas primarias 	<ul style="list-style-type: none"> Datos espaciales de cubierta del suelo actuales, estadísticas oficiales de producción agropecuaria, información sobre sistemas de producción local Cambios de cubierta/uso del suelo 2002–2011 	
	AP ₂	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Tendencias en las actividades productivas primarias 		
	AP ₃	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación agroclimática Infraestructura hídrica para la producción 	<ul style="list-style-type: none"> Demanda hídrica por tipo de cultivo y tipo de ganado Inventario de infraestructura disponible para la producción agrícola y pecuaria 	
	AP ₄	subcuenca			
Reducción del riesgo hídrico (RH)	RH ₁	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Reducción por infraestructura 		<ul style="list-style-type: none"> Contraste ente amenazas hídricas e infraestructura civil e hidráulica presente Tipo de red vial, densidad de vías terrestres
	RH ₂	cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Conectividad terrestre 		

Cuadro 2. Componentes y descriptores para la valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica

región Centro-Occidente de México.

SELECCIÓN DE DESCRIPTORES

La valoración de los componentes de SH se realizó con descriptores elegidos de la siguiente manera: primero se formularon cerca de 40 preguntas sobre los cuatro componentes que, a criterio del grupo de trabajo, eran relevantes para establecer la condición de SH en las cuencas de estudio. Para cada pregunta se identificaron descriptores potencialmente adecuados. Posteriormente, se recabó la cantidad y calidad de datos disponibles para desarrollar cada uno así como su redundancia o complementariedad. Finalmente, se estableció la batería de 16 descriptores mostrada en el Cuadro 2. Este número de descriptores se ubica dentro del rango señalado por Sun et al. (2016) como adecuado para el análisis de la SH sin importar la escala. De los 16 descriptores seleccionados, 11 se aplicaron a escala de cuenca y cinco de subcuenca, siendo esta última la que suscita cada vez mayor interés (Gerlak et al., 2018). La valoración bi-escalar (cuenca, subcuenca) es importante para capturar la heterogeneidad espacial al menos en algunos descriptores seleccionados (Zeitoun et al., 2016, Garfin, Scott, Wilder, Varady, & Merideth, 2016). La generación e integración de información para cada descriptor requirió la aplicación de técnicas analíticas específicas presentadas a continuación.

DESCRIPTORES DE AMENAZAS HÍDRICAS

Las amenazas hídricas (componente AH) fueron reconocidas mediante cinco descrip-

tores, cuatro de éstos aplicados a escala de cuenca y uno de subcuenca (Cuadro 2).

El descriptor AH₁ abarca los rasgos climáticos y se enfoca en detectar el déficit o exceso de agua. Se integró con información derivada del análisis climático y el balance hídrico (BH) a escala de cuenca. Para el análisis climático se utilizaron las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Meteorológico Nacional dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2013). En la cuenca Juan El Grande (Aguas-calientes) se emplearon las estaciones Palo Alto, Jesús Terán y Los Conos, con datos desde 1940 a 2010 (70 años), mientras que en la cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán) fueron las estaciones El Zapote y La Huacana, con datos desde 1950 a 2010 (60 años). Los datos de precipitación y temperaturas (máxima y mínima) se procesaron para obtener valores anuales y promedios mensuales para su posterior uso y representación gráfica. El BH fue estimado con el modelo hidrológico del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que ofrece una interface gráfica de fácil uso (McCabe & Markstrom, 2007). Este modelo utiliza el método de Thornthwaite y Mather y sus datos de entrada son la temperatura media mensual (en °C), la precipitación media mensual (en milímetros) y la latitud (en grados decimales).

El descriptor AH₂ analiza la frecuencia de años con precipitaciones extremas. La precipitación anual (P) de las series históricas se clasificó con base en el promedio (Pm) y desvío estándar (D.S.) de cada serie, reconociendo seis clases de años, desde muy seco a muy húmedo. La clase “año muy seco” abarca valores de P entre Pm-3D.S. y Pm-2D.S, mien-

tras que la clase “año muy húmedo” se ubica entre Pm+2D.S. y Pm+3D.S. La clase “año seco” tiene límites de Pm-2D.S. y Pm-1D.S., y la de “año húmedo” de Pm+2D.S. y Pm+1D.S. El medio del rango de P abarca las clases normal-seco, entre el valor de Pm y Pm-1D.S y normal-húmedo, entre Pm y Pm+1D.S (Prohaska, 1952).

El descriptor AH₃ informa sobre las condiciones climáticas observadas en años extremos. Los datos mensuales de precipitación y temperatura de los años muy secos y muy húmedos identificados en AH₂ fueron promediados para establecer los patrones intraanuales, i.e. con base mensual, de precipitación y temperatura medias bajo estas condiciones extremas.

Los descriptores AH₄ y AH₅ buscan inferir el movimiento del agua superficial y la respuesta hidrológica a escala de cuenca y subcuencas, respectivamente. El descriptor AH-4 analiza parámetros morfométricos que cuantifican el medio físico en términos de la forma de la cuenca (área, perímetro, razón de elongación), relieve (altitudes máximas y rango de elevación) y características del drenaje (densidad de drenaje, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, tiempo de concentración y orden de corriente). Estos parámetros fueron calculados con apoyo de un Sistema de Información Geográfica operado con el programa ArcGis 9.3 y la aplicación de fórmulas ampliamente establecidas en la literatura especializada (Bermúdez & Díaz, 1987; Knighton, 1998). En el descriptor AH-5, los mismos parámetros fueron calculados para subcuencas seleccionadas en los sectores alto, medio y bajo de cada cuenca con el fin de reconocer

la variabilidad interna en la respuesta hidrológica.

DESCRIPTORES DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO

Para valorar el agua para uso doméstico (componente AD), se seleccionaron cinco descriptores de las características de la población actual y la demanda de agua (Cuadro 2).

Los descriptores AD₁ y AD₂ revisan la condición socio-demográfica de las cuencas y subcuencas seleccionadas respectivamente. Para éstos se consideró el tipo de localidad y su distribución espacial, la marginación social y tendencias demográficas. Las fuentes de información fueron las bases de datos censales por localidad para los años 2000 y 2010, del INEGI y los datos del índice de marginación para 2010 del Consejo Nacional de Población de México (CONAPO).

Los descriptores AD₃ a AD₅ se aplican a nivel de subcuencas. El descriptor AD₃ recopila las fuentes de agua para el abasto a localidades, la infraestructura para su aprovechamiento y una estimación de los volúmenes de agua extraída. En los casos analizados, la información sobre tipo y cantidad de fuentes de agua se derivó de artículos y reportes técnicos de proyectos de investigación realizados en el área de estudio (Burgos et al., 2013; Sosa-Ramírez et al., 2011), la cual se complementó con recorridos de campo. Para estimar el rendimiento de norias y manantiales se realizaron entrevistas a habitantes locales con amplio conocimiento de los recursos hídricos locales. Estas referencias informales brindan valores relativos basados en el conocimiento local y la experiencia de largo plazo

de los lugareños. Por su parte, los datos de pozos profundos en operación y los volúmenes de extracción se obtuvieron de reportes de la CONAGUA. El descriptor AD₄ estima la demanda hídrica para uso doméstico de la población presente y futura. Éste fue calculado con base en el número de habitantes del último censo disponible (2010) y para el 2020, a partir de las tendencias demográficas derivadas del descriptor AD₂. El número de habitantes fue multiplicado por un volumen de 100 l.día⁻¹.persona⁻¹, considerado como satisfacción hídrica óptima (Howard & Bartram, 2003; Gleick, 1996; WHO-UNICEF, 2010).

Finalmente, el descriptor AD₅ valora el nivel de satisfacción hídrica actual mediante dos atributos. El primero es la satisfacción hídrica potencial actual, basada en el volumen estimado de agua extraída establecido en AD₃ dividido entre el número de habitantes del último censo. La clasificación de la satisfacción hídrica potencial abarcó los niveles de óptima, sub-óptima (cuando el volumen se ubicó entre 50 y 100 l.día⁻¹.persona⁻¹), e insuficiente (volúmenes menores a 50 l.día⁻¹.persona⁻¹). El segundo atributo fue el acceso a agua entubada en las viviendas y su abasto a lo largo del año, datos obtenidos de registros censales y complementados con testimonios locales recogidos en campo.

DESCRIPTORES DE AGUA PARA ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Para valorar el agua disponible para las actividades productivas (componente AP) se seleccionaron cinco descriptores de las acti-

vidades productivas que sostienen la economía de las cuencas, básicamente actividades primarias (Cuadro 2).

El descriptor AP₁ es informativo de las actividades productivas primarias a partir de datos espaciales sobre la cubierta del suelo para la fecha disponible más reciente. Para derivar los usos del suelo y los sistemas de producción presentes, la información de cubiertas se completó con estadísticas oficiales del sector agropecuario y económico, estudios publicados y conocimiento experto sobre el área de estudio. Por su parte, el descriptor AP₂ analiza los cambios en la cubierta ocurridos en un periodo determinado para identificar las tendencias en el abandono o expansión de las actividades productivas primarias. Para estos descriptores se utilizaron datos espaciales de cubierta del suelo para los años 2002 y 2011 disponibles en las Series III y V del INEGI, respectivamente.

El descriptor AP₃ reconoce la correspondencia agroclimática de las actividades primarias preponderantes en las cuencas. Se recopilaron los requerimientos climáticos de los cultivos dominantes (Ruíz et al., 2013) y de consumo de agua por tipo de ganado (Fernández, Martínez, Tavarez, Castillo, & Salas, 2012) y se los comparó con los descriptores de amenazas hídricas climáticas AH₁ y AH₂. Por último, el descriptor AP₄ reúne información disponible sobre la infraestructura hídrica instalada en la cuenca, que brinda medios para respaldar las actividades productivas primarias.

DESCRIPTORES DE LA

REDUCCIÓN DEL RIESGO HÍDRICO

La reducción del riesgo hídrico (componente RH) se valoró con dos descriptores (Cuadro 2): determinantes tecnológicos (RH₁) y conectividad terrestre (RH₂). En RH₁, las amenazas y oportunidades hídricas identificadas en el componente AH se contrastaron con la infraestructura instalada (AD₃ y AP₄). Para el descriptor RH₂, los datos espaciales vectoriales de carreteras a escala 1:250,000 fueron procesados en SIG para determinar la densidad de caminos al interior de cada cuenca. Las vías terrestres y su estado de mantenimiento advierten sobre la capacidad instalada para asistir a la población ante emergencias hidroclimáticas. La falta de vías pavimentadas y puentes, por ejemplo, agrava la situación de aislamiento en los asentamientos ante episodios de exceso de agua, deslaves e inundaciones; y dificulta el movimiento de camiones cisterna para el abasto de agua en periodos de sequía extrema.

INTEGRACIÓN DE DESCRIPTORES

Como fue antes señalado, uno de los requisitos deseables en la valoración de la SH es la generación de información significativa para múltiples audiencias, que facilite su incorporación en la toma de decisiones y en la acción colectiva. Con este fin, los resultados de todos los descriptores analizados fueron integrados en un relato descriptivo, inmerso en información de contexto, que convierte a la información científica resultante en un insumo más accesible para la gestión de cuencas. El relato fue integrado desde la perspectiva del investigador, con los siguientes elementos: i) la condición presente en la cuenca y subcuencas, ii) las amenazas hídricas y iii) la incertidumbre (el futuro).

pectiva del investigador, con los siguientes elementos: i) la condición presente en la cuenca y subcuencas, ii) las amenazas hídricas y iii) la incertidumbre (el futuro).

RESULTADOS

El análisis de los 16 descriptores para los cuatro componentes de la SH, generó un volumen de resultados que excede las posibilidades de extensión de este artículo, de modo que solamente se muestran los resultados más relevantes para sustentar la valoración de la SH en ambas cuencas. Al final de esta sección se presenta la integración de los descriptores en forma de un relato descriptivo con información de contexto, desde la perspectiva del investigador.

AMENAZAS HÍDRICAS (AH)

El descriptor de rasgos climáticos (AH₁) indicó la ocurrencia de regímenes de precipitación escasa, con precipitaciones medias anuales (Pm) y D.S. de 507.5 (± 139) y de 626.5 (± 168) mm, para las cuencas Juan El Grande y San Pedro Jorullo, respectivamente. La precipitación anual (P) del año más seco fue de 306 mm en 2011 en la cuenca Juan El Grande, y de 220 mm en 2008 en la cuenca San Pedro Jorullo, mientras que la condición más húmeda se presentó con volúmenes de 772 mm en 2008, y de 869 mm en 1983, respectivamente. En ambas cuencas el patrón de lluvias es estacional, con una concentración de precipitaciones entre junio y noviembre, aunque en la cuenca Juan El Grande el contraste estacional es ligeramente menor (Figura 2).

El régimen térmico, en cambio, mostró

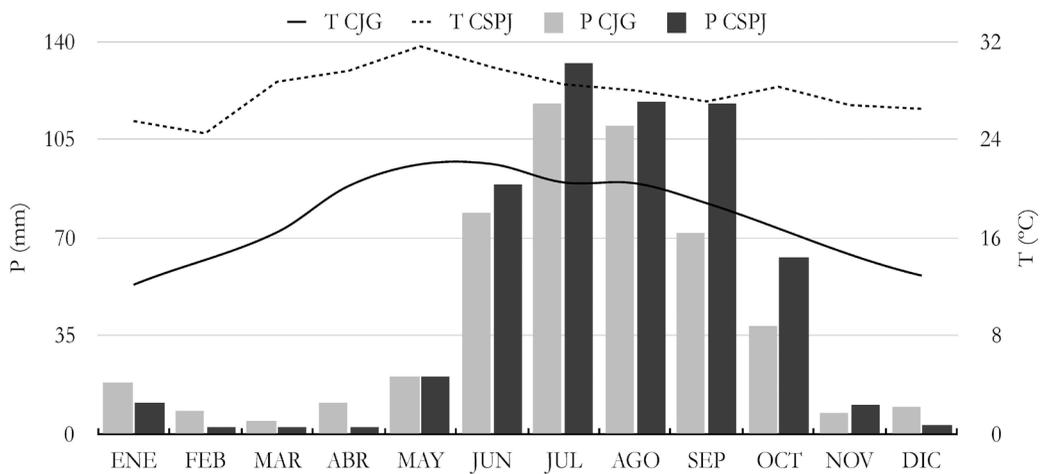


Figura 2. Climatograma de las cuencas Juan El Grande (CJG) y San Pedro Jorullo (CSPJ). Precipitación media mensual (P; eje izquierdo) y Temperatura media mensual (T; eje derecho).

fuertes diferencias. En la cuenca Juan El Grande la temperatura media mensual histórica (T_m) y su D.S., fueron de $17.0^{\circ}\text{C} (\pm 1.5)$, con temperatura máxima media histórica (T_{max}) de $21.8 (\pm 1.6)$ y mínima (T_{min}) de $19^{\circ}\text{C} (\pm 1.4)$. En la cuenca San Pedro Jorullo, T_m fue de $28.5^{\circ}\text{C} (\pm 3.3)$, con T_{max} de $35.6 (\pm 3.8)$ y T_{min} de $21.3^{\circ}\text{C} (\pm 2.9)$. Estas diferencias térmicas se reflejaron en el BH (Figura 3). La evapotranspiración potencial media anual (PET_m) en la cuenca Juan El Grande arrojó un valor de $800 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, equivalente al 160% de P_m; mientras que en la cuenca San Pedro Jorullo, PET_m fue de $2,206 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, equivalente al 352% de P_m. Bajo estas condiciones, en la primera cuenca, la humedad del suelo resulta más propicia para la actividad agrícola, con limitados momentos de déficit hídrico del suelo y un mayor volumen y duración de agua excedente (Figura 3). La cuenca San Pedro Jorullo, por su parte, muestra condiciones de humedad del suelo muy desfavorables para la agricultura, con

períodos continuos de sequía estacional bien marcados y excedencias ocasionales. En Juan El Grande, en un año promedio se producen escurrimientos de 62 mm que representan el 12% de P_m, mientras que en San Pedro Jorullo dicho excedente es de 25 mm, equivalente al 4% de P_m.

La distribución de frecuencias de P (descriptor AH₂) mostró que ambas cuencas reciben con mayor frecuencia una precipitación anual que clasifica como año normal-seco (Figura 4). La probabilidad de años en el extremo seco fue del 11 y 33% en las cuencas Juan El Grande y San Pedro Jorullo, pero el extremo húmedo mostró frecuencias de 13 y 9% respectivamente, sin registro de años muy húmedos en la cuenca San Pedro Jorullo. La pluviometría de años extremos (descriptor AH₃) mostró que en años muy húmedos, los incrementos en P llegaron al 52% para la cuenca Juan El Grande y 39% de P_m para San Pedro Jorullo; mientras que en años muy secos, la reducción de P fue del 40 y 65% de

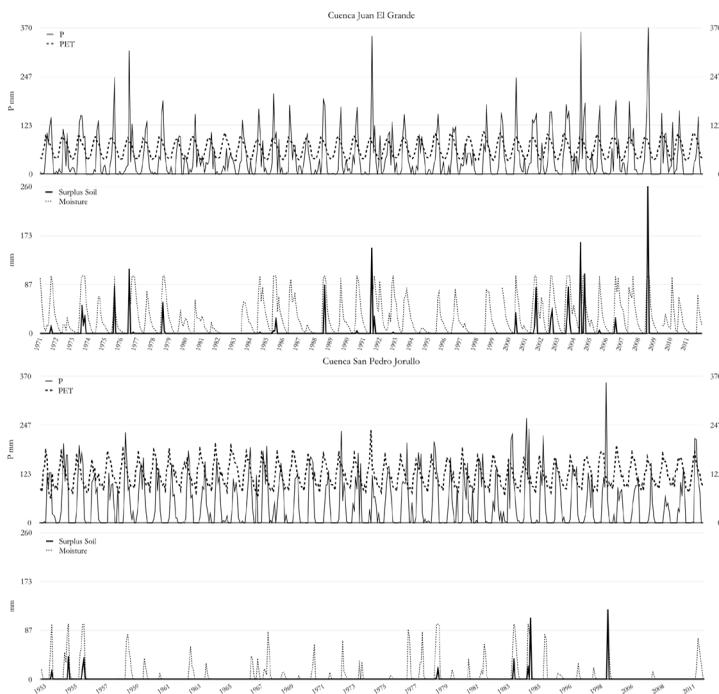


Figura 3. Balance hídrico climático para la cuenca Juan El Grande, y San Pedro Jorullo. Precipitación (P), evapotranspiración potencial (PET), humedad del suelo (soil moisture) y excedente (surplus). Fuente: Normales climáticas (CONAGUA) y modelo del USGS empleando Thornthwaite y Mather (1959).

Pm, respectivamente. En los años húmedos se incrementa sustancialmente la cantidad de agua en Juan El Grande y sólo de manera moderada en San Pedro Jorullo; en los años más secos la reducción de P es más moderada en Juan El Grande pero realmente drástica en San Pedro Jorullo.

La respuesta hidrológica a escala de cuenca (descriptor AH₄) se interpretó a partir de los parámetros morfométricos del Cuadro 3. La cuenca Juan El Grande es ligeramente ovalada, presenta un relieve suave con baja densidad de drenaje, escasa pendiente en el cauce principal y tiempo rápido de concentración de flujos superficiales. Estos rasgos favorecen las crecidas de agua e inundaciones en las zonas media y baja de la cuenca, en aquellos años húmedos cuya probabilidad de ocurrencia es del 13% (Figura 4). Por su parte, la cuenca San Pedro Jorullo es alargada

y de relieve fuerte, con densidad de drenaje igualmente baja pero con mayor pendiente del cauce principal y mayor rapidez en el tiempo de concentración. Los parámetros de esta cuenca favorecerían caudales de altas velocidades, alta energía cinética y capacidad de arrastre cuando ocurren años húmedos o eventos de precipitación abundante. Sin embargo, los años muy húmedos estuvieron ausentes en el periodo de 60 años analizado, y la probabilidad de ocurrencia de años húmedos ($795 < P < 962$ mm) fue solamente del 9%.

El descriptor AH₅ se aplicó a tres sub-cuencas en cada cuenca, en los sectores alto, medio y bajo (Figura 5). En la cuenca Juan El Grande, la subcuenca Las Maravillas ubicada en la sección media, se destacó por una morfometría que favorece escurrimientos superficiales de mayor energía cinética

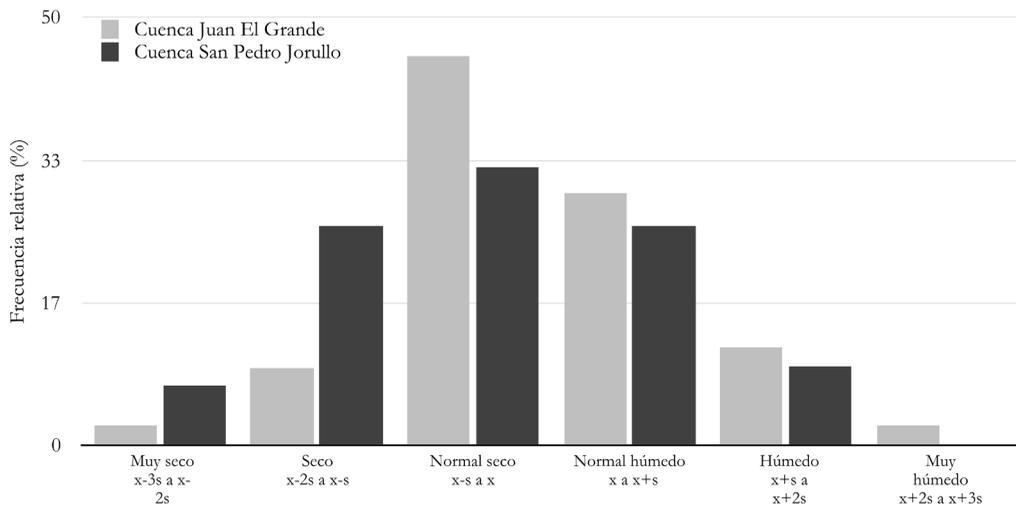


Figura 4. Clasificación de la precipitación anual (P) para las series históricas en la cuenca Juan El Grande (1940–2010) y en la cuenca San Pedro Jorullo (1960–2010).

que las dos restantes (Cuadro 4). La cuenca San Pedro Jorullo, en cambio, mostró baja variabilidad morfométrica interna, con una respuesta hidrológica similar a las escalas de subcuenca y cuenca.

AGUA PARA USO DOMÉSTICO (AD)

El descriptor AD₁ que establece la condición socio-demográfica de la cuenca, mostró que se trata de cuencas de muy baja densidad poblacional (Dp), en relación con los respectivos promedios estatales. La Dp en Juan El Grande fue en 2010, de 43.5 hab.km⁻² (Cuadro 5); ello representa el 19% de la Dp promedio en Aguascalientes (234 hab.km⁻²). La cuenca San Pedro Jorullo mostró una Dp de 14.5 hab.km⁻², equivalente al 18% del promedio estatal de Michoacán (78 hab.km⁻²).

2). Similarmente, el crecimiento poblacional es muy leve en ambas cuencas. La población proyectada para el 2020 en la cuenca Juan el Grande es de 18,950 habitantes, mientras que para la cuenca San Pedro Jorullo es de 7,100. En la cuenca de Aguascalientes, poco más de la tercera parte de las 92 localidades (33%), mostró niveles bajo y muy bajo de marginación. Sin embargo, la inspección del descriptor AD-2 a nivel de subcuenca alerta sobre una alta variabilidad interna en sus atributos socio-demográficos (Figura 5). La subcuenca La Colorada (sector alto) cuenta con muy escasos poblados; la subcuenca Las Maravillas (sector medio) muestra la mayor concentración poblacional, y la subcuenca Encarnación (sector bajo) reportó un alto número de poblados pequeños de alta marginación (Cuadro 5). Para la cuenca San Pedro Jorullo, la condición socio-demográfica gene-

Atributo		Cuenca Juan El Grande	Cuenca San Pedro Jorullo	Valores de referencia y fuente
Parámetros de forma	Área (km ²) Tamaño	342.8 Intermedio-pequeño	459.7 Intermedio-pequeño	Superficie intermedia- pequeña: 250–500 km ² (Aranda, 1984)
	Perímetro (km)	99.3	159.8	No aplica
	Razón de elongación Forma	0.64 Ligeramente ovalada	0.42 Ligeramente alargada	Varía entre 0 y 1. Si X <0.5 es alargada, si X >0.5 es ovalada (Schumm, 1956)
Parámetros de relieve	Altitudes extremas (m.s.n.m.)	1,978 / 2,350	160 / 1,836	Suave: < 200, Moderado: 200–1000, Fuerte: >1000 (Parra & Zorrilla, 2007)
	Rango de elevación (m) Grado del relieve	380 Moderado-suave	1,676 Fuerte	
Parámetros de drenaje	Longitud del cauce principal (km) Extensión	32.9 Largo	57.8 Largo	Corto: < 10, Medio: 11 a 15, Largo: >15 (Parra & Zorrilla, 2007)
	Pendiente del cauce principal (%) Grado	1.2 Suave	2.8 Suave	Suave: < 10, Moderada: 10 a 30, Fuerte: 30 (Gaspari, 2007)
	Tiempo de concentración (hr) Rapidez	6.2 Rápido	6.0 Rápido	Rápido: < 40, Moderado: 40–80, Lento: >80 (Kirpich, 1940)
	Densidad de drenaje (km.km ⁻²)	1.8 Baja	2.0 Baja	Baja: < 5, Moderada: 5–10, Alta: >10 (López, 1998)
	Orden de corriente	6 Alto	5 Medio	Bajo: < 2, Medio: 3–5, Alto > 5 (Stralher, 1964)

Cuadro 3. Parámetros morfométricos de las cuencas de estudio.

ral (descriptor AD-1) destacó la presencia de pequeños asentamientos rurales con niveles alto y muy alto de marginación, con ausencia de localidades de marginación baja y muy baja. El descriptor AD-2 mostró que dicha condición general se extiende en las tres subcuencas (Figura 5), con una baja variabilidad interna en la condición socio-demográfica. Las fuentes de agua para uso doméstico

Atributos morfohidrométricos	Cuenca Juan El Grande			Cuenca San Pedro Jorullo		
	La Colorada	Las Maravillas	Encarnación	Copales	El Algodón	Hacienda Vieja
Sector de la cuenca	alto	medio	bajo	alto	medio	bajo
Parámetros de forma						
Área (km ²)	27	32	68	87	62	91
Perímetro (km)	24	29	50	47	41	45
Razón de elongación	0.8	0.4	0.8	0.4	0.5	0.6
Parámetros de relieve						
Rango altitudinal (m.s.n.m)	2049 / 2024	2358 / 2006	1992 / 1978	1896 / 457	1240 / 261	261 / 160
Rango de elevación (metros)	25	352	14	1,439	963	101
Parámetros de drenaje						
Longitud cauce principal (km)	7.5	14.8	11	24	18	16.5
Pendiente del cauce principal (%)	0.3	2.4	0.3	6.0	5.4	1.0
Tiempo de concentración (horas)	2.7	2.1	2.7	2.3	1.9	4.6
Densidad de drenaje (km.km ⁻²)	1.9	3.4	1.0	2.0	1.9	2.0
Orden de corriente	4	4	6	4	4	5

Cuadro 4. Parámetros morfométricos de las subcuencas de estudio.

y la infraestructura de aprovechamiento (descriptor AD₃) corresponden a dos condiciones claramente diferentes. En la cuenca Juan El Grande, las tres subcuencas se abastecen de aguas subterráneas mediante pozos de 80 a 150 m de profundidad en operación (Cuadro 5). El 89% de las viviendas cuenta con agua entubada de buena calidad; y durante averías o escasez se abastece de agua con camiones cisterna. En la cuenca San Pedro Jorullo, la situación es muy distinta. La subcuenca Los Copales (sector alto) cuenta con áreas de descarga de

aguas subterráneas (manantiales), con rendimiento constante, asociados a la estructura geológica del Volcán Jorullo ubicado en el parteaguas de la cuenca. Pero en los sectores medio y bajo no hay áreas de descarga de los flujos subterráneos locales; por ello la población utiliza el agua subterránea almacenada transitoriamente en las zonas aluviales, con una abrupta disminución del nivel freático a medida que avanza la estación seca. En esta cuenca, la infraestructura de captación y aprovechamiento tanto en el sector alto, como medio y bajo es mínima, y consta

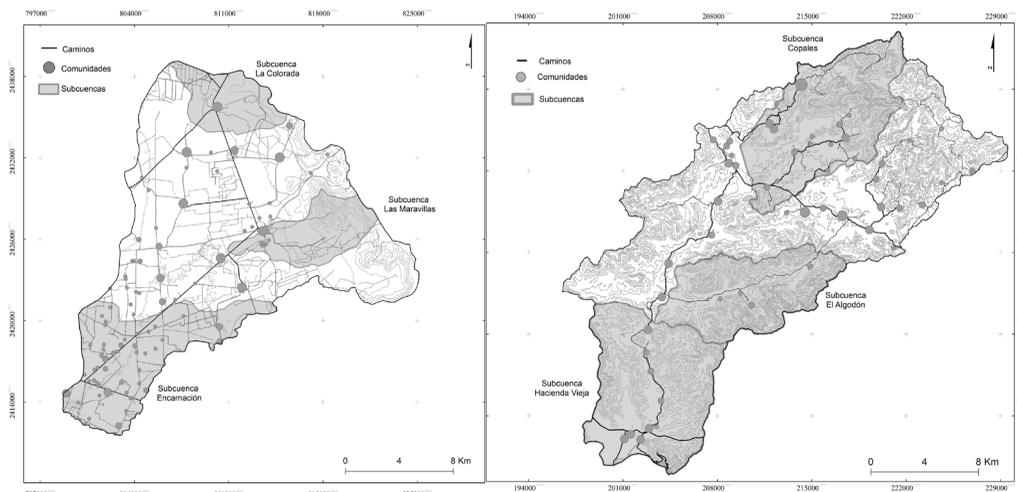


Figura 5. Subcuencas seleccionadas en la sección alta, media y baja de las cuencas Juan El Grande en Aguascalientes (izquierda) y San Pedro Jorullo en Michoacán (derecha).

de cajas de captación precarias y norias de escasa profundidad (5-6 m). En la cuenca no existen pozos profundos en operación. Los sistemas de abasto de agua en las localidades son precarios con infraestructura para el almacenamiento de agua que es insuficiente y está en mal estado. La vida útil de mangueras, equipos de bombeo y mampostería es menor dada las altas temperaturas que en el mes de mayo superan los 40 C. Las crecidas intempestivas de arroyos en época de lluvias producen frecuentemente la destrucción de norias y casetas de bombeo; y es frecuente el deterioro de equipos de bombeo por un inadecuado suministro de energía eléctrica. Los sistemas de abasto de agua comunitarios han sido mejorados lentamente desde el año 2010 con el apoyo de una organización no gubernamental (Grupo Balsas A.C.) y financiamiento privado (Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.) junto a gran esfuerzo de las propias comunidades, pero sin atención gubernamental (A. Burgos, comunicación

personal).

La demanda de agua para uso doméstico (descriptor AD-4) correspondiente a un nivel óptimo de satisfacción hídrica (i.e. 100 l.persona⁻¹.día⁻¹) es de 31, 106, y 200, para las tres subcuencas de Aguascalientes. Por su parte, esta demanda es de apenas 5, 55, y 64 m³.año⁻¹ para las tres subcuencas de Michoacán. Pero la satisfacción de esta demanda (descriptor AD-5) presenta condiciones contrastantes entre casos. En la cuenca Juan El Grande, dichos volúmenes están garantizados por pozos profundos, con extracción reportada en datos oficiales de 481 m³.año⁻¹. Los datos indican una satisfacción hídrica suficiente en al menos dos de sus tres subcuencas (Cuadro 5). Solamente en la subcuenca Encarnación ubicada en el sector bajo, la satisfacción resultó sub-óptima porque la extracción reportada apenas alcanza en promedio para cubrir 50 l.persona⁻¹.día⁻¹. La estimación de crecimiento poblacional al año 2020 muestra que

Cuadro 5. Descriptores del componente de agua disponible para uso humano (AD) en las subcuencas de estudio.

Atributos	Subcuencas Juan El Grande			Subcuencas San Pedro Jorullo		
	La Colorada	Las Maravillas	Encarnación	Copales	El Algodón	Hacienda Vieja
Rasgos socio-demográficos						
Población en 2010 (hab.)	870	5,485	2,912	1,767	128	1,512
Población estimada en 2020 (hab.)	1,044	6,582	3,494	1,873	136	1,603
Densidad de población (hab.km ⁻²)	32	171	43	20	2	17
Asentamientos Rurales y Urbanos (#)	1 y 0	4 y 1	48 y 0	17 y 0	4 y 0	9 / 0
Índice de marginación (promedio)	-0.9	-1.1	-0.8	-0.1	0.8	0.4
Fuentes de agua e infraestructura para uso doméstico						
Pozos profundos en operación (#)	12	5	25	0	0	0
Norias existentes (#)	7	10	0	9	4	32
Norias en uso (#)	0	0	0	5	4	28
Manantiales aprovechados (#)	0	0	0	4	0	0
Agua extraída para uso doméstico						
De pozos profundos para uso público (m ³ .año ⁻¹) ^a	121,135	305,669	53,956	0	0	0
De norias y manantiales (m ³ .año ⁻¹)	0	0	0	26,462.5	3,650	25,550
Agua extraída por habitante en 2010 (l.persona ⁻¹ . día ⁻¹)	381.5	152.7	50.8	41	78.1	46.3
Suficiencia del abasto 2010 ^d	Suficiente	Suficiente	Sub-óptimo	Insuficiente	Sub-óptimo	Insuficiente
Agua extraída por habitante en 2020 (l.persona ⁻¹ . día ⁻¹)	317.9	127.2	42.3	38.7	73.7	43.7
Suficiencia del abasto 2020 ^d	Suficiente	Óptimo	Insuficiente	Insuficiente	Sub-óptimo	Insuficiente
Viviendas sin agua entubada (%) ^c	7.6	23.2	4.4	30	84	45.5

a Fuente: CONAGUA (2010).

b Se estima la extracción promedio de agua en norias de 2,500 l día⁻¹ y en manantiales de 15,000 l día⁻¹, fuente: información recabada de entrevistas en las localidades, el valor en norias varía de 500 l día⁻¹ en secas a 5,000 l día⁻¹ en lluvias e igualmente varía dependiendo la ubicación espacial de la noria en la zona media o baja de la cuenca, se debe tomar como un valor de referencia únicamente.

c Censo de población y vivienda 2010 (INEGI, 2010)

d Suficiencia de abasto (l.persona.día⁻¹): >150 suficiente, 101–150 óptimo, 50–100 subóptimo y <50 insuficiente.

Tipo de cubierta	Cuenca Juan El Grande					Cuenca San Pedro Jorullo				
	Superficie 2002 (ha)	%	Superficie 2011 (ha)	%	Diferencia (ha)	Superficie 2002 (ha)	%	Superficie 2011 (ha)	%	Diferencia (ha)
Bosque	715.8	2.1	725.1	2.1	9	6,322.9	13.8	6991.7	15.2	669
Selva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23,161.4	50.4	24,086.7	52.4	925
Palmar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	907.6	2.0	815.2	1.8	-92
Matorral	806.2	2.4	728.1	2.1	-78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pastizal	8,316.2	24.3	6,960.4	20.3	-1,356	6,772.3	14.7	4,369.5	9.5	-2,403
Agricultura temporal	18,903.6	55.1	18,729.7	54.6	-174	8,703.9	18.9	9,604.8	20.9	901
Agricultura riego	5,017.9	14.6	6,535.8	19.1	1,518	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Asentamientos humanos	520.3	1.5	600.9	1.8	81	101.9	0.2	101.9	0.2	0
Total	34,280.0	100.0	34,280.0	100.0	0.0	45,970.0	100.0	45,969.8	100.0	0.0

Cuadro 6. Cubierta del suelo en los años 2002 y 2011 en las cuencas Juan el Grande (Aguascalientes) y San Pedro Jorullo (Michoacán).

la subcuenca La Colorada en el sector alto, mantendrá la satisfacción hídrica óptima de su población, pero no es el caso de las subcuencas Las Maravillas y Encarnación en donde se verán mermados sus niveles actuales de satisfacción hídrica para uso doméstico. En la cuenca San Pedro Jorullo en Michoacán la situación es distinta. La variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad de agua es alta y no hay fuentes continuas de abasto. El volumen de agua que se puede obtener de una noria abarca entre 500 l.día^{-1} en época de secas a $5,000 \text{ l.día}^{-1}$ en lluvias. Aún en el caso de la subcuenca Los Copales en el sector alto, donde hay zonas de descarga de flujos subterráneos locales (manantiales), el agua disponible no es bien administrada por la falta de infraestructura para el almacenamiento y la distribución eficiente. En esta cuenca, la larga estación seca y la falta de pozos profundos revela que, a escala anual, la satisfacción hídrica potencial es insuficiente al menos para dos de las tres subcuencas analizadas (Cuadro 5).

AGUA PARA ACTIVIDADES PRODUCTIVAS (AP)

Para el año 2011, la cubierta y uso del suelo (descriptor AP₋₁) mostraron actividades productivas diferenciadas en ambas cuencas (Cuadro 6). La cuenca Juan El Grande está transformada en más del 95% de su superficie, con un remanente de bosque y matorral localizado en su sección media donde el relieve es más quebrado. La principal actividad productiva era en dicho año la agricultura de temporal, pero con una participación importante de agricultura de riego

en más del 20% de la superficie. Los cultivos dominantes son, en orden de importancia el maíz, frijol, avena y alfalfa forrajera. La actividad ganadera es sostenida por pastizales que cubrían poco más del 20% de la superficie total en el 2011 además de los cultivos forrajeros. Las existencias ganaderas en dicho año eran de 18,880 cabezas, que equivale al 70% de lo reportado para el municipio de El Llano (INEGI, 2009). De estas, 48% correspondían a ganado bovino, y las restantes a ganado ovino (26%), caprino (13%) y porcino. El descriptor AP₋₂ reveló que en el periodo 2002-2011 hubo un incremento cercano al 4% de la superficie destinada a agricultura de riego, a expensas de los pastizales y matorrales. En esta cuenca las actividades productivas son sostenidas y diversificadas, con incremento del nivel tecnológico, y consecuentemente, de los rendimientos agropecuarios.

En la cuenca San Pedro Jorullo, la cubierta del suelo para el año 2011 (descriptor AP₋₁) mostró que solamente el 30.5% de su superficie correspondía con actividades agropecuarias, sin presencia de agricultura bajo riego (Cuadro 6). La agricultura de temporal que cubría en el 2011 el 21% de la cuenca, se concentra en maíz, flor de jamaica, ajonjolí y sorgo. La cubierta de vegetación natural abarca el 55.1% de la superficie con dominancia de selva baja caducifolia; esta sostiene la cría extensiva de ganado vacuno con bajo nivel de tecnificación y rendimientos. Para ese año, las existencias ganaderas alcanzaron las 3,520 cabezas lo que equivale al 10.3% de lo reportado para el municipio de La Huacana (INEGI, 2009), de las cuales el 60% correspondía con ganado bovino y lo

restante con caprino (19%), porcino (13%) y ovino (6%). El cambio de cubierta entre 2002-2011 (descriptor AP₋₂) mostró un incremento de selvas y bosques a expensas de la cubierta de pastizal, lo que señala el abandono de la ganadería más tecnificada. La superficie de agricultura de temporal mostró un incremento del 9% en dicho periodo, pero su representación en la superficie de toda cuenca es menor al 2%.

El descriptor AP₋₃ referido a la correspondencia agroclimática de las actividades primarias, reveló que en la cuenca Juan El Grande los principales cultivos están continuamente amenazados por la escasez de precipitaciones. Los rangos de lluvias óptimos para el maíz y frijol son de 500-1,100 mm y 600-2,000 mm, respectivamente; estos volúmenes se presentan en años húmedos y muy húmedos de baja ocurrencia (Figura 4). Aun así, los años más favorables proporcionarían lluvias cercanas al límite inferior del rango óptimo de los cultivos, asociado a bajos rendimientos agrícolas. La alfalfa, un cultivo en expansión, requiere lluvias de entre 880-1,000 mm, una condición inexistente en esta cuenca. Dada esta situación, los cultivos se realizan con un alto riesgo de siniestro agrícola o son completamente dependientes del riego. La producción de forrajes ocurre en praderas inducidas complementadas con cultivos forrajeros que son sostenidos por riego. Por su parte, en la cuenca San Pedro Jorullo los requerimientos hídricos son de 600-900 mm para la flor de jamaica, 500-1,200 mm para el ajonjolí y 450-650 mm para el sorgo, por lo que tienen una mayor correspondencia con las condiciones promedio de precipitación anual. Sin embargo, debido a la alta incidencia de años

secos debajo del promedio, la incertidumbre en la viabilidad de la cosecha y los rendimientos finales es muy alta. Las altas temperaturas y escasez de agua provocan altos niveles de deshidratación en el ganado, particularmente en época seca, lo que reduce sustancialmente la fertilidad, provocando hatos de baja productividad de crías y leche.

La infraestructura para sostener las actividades productivas (descriptor AP₋₄) evidencia que la atención histórica para dar soporte a las actividades productivas ha sido diferente en los estados de Aguascalientes y Michoacán. La cuenca Juan El Grande cuenta con el bordo de Santa Ana ubicado en la subcuenca La Colorada construido en la década de 1980, con capacidad de almacenamiento de 6 millones de m³, además de 676 bordos distribuidos en toda la cuenca; que almacenan los escurrimientos ligeros de la estación de lluvias y soportan el abasto de agua de las especies de ganado mayor. La suficiencia de agua en las viviendas permite el mantenimiento de ganado menor en los traspatios. En la cuenca hay 6,461 ha de cultivos bajo riego que son soportados por 49 pozos profundos destinados al uso agrícola con extracción de más de 3,200,000 m³.año⁻¹. Las subcuencas Las Maravillas y Encarnación disponen de varios kilómetros de canales y acequias. En cambio, la cuenca San Pedro Jorullo no cuenta con infraestructura más allá de unos pocos bordos que reciben altas cantidades de azolve y sufren daños recurrentes por la velocidad del agua entrante. El ganado mayor requiere volúmenes de agua del orden de los 42,000 m³.año⁻¹ que no logran estar disponibles, especialmente en la larga estación seca. Debido a la escasez

de agua en las viviendas, los corrales para animales de traspatio son poco comunes. De acuerdo a testimonios locales, a lo largo de la cuenca son insuficientes las aguadas y los abrevaderos para el ganado, con fuertes dificultades para mantenerlos con agua durante la estación seca.

REDUCCIÓN DEL RIESGO HÍDRICO (RH)

La capacidad instalada para reducir el riesgo hídrico por infraestructura civil e hidráulica (RH₁) mostró dos condiciones diferenciadas. Ciertamente ambas cuencas presentan déficit hídrico una gran parte del año y sus escurrimientos superficiales son escasos (descriptor AH₁, Figura 3). Pero en un año promedio en la cuenca Juan El Grande, el BH proporciona 62 mm de agua excedente, lo que representa 21 millones de m³ de agua en circulación; este excedente es almacenado en el bordo de Santa Ana y las obras de captación y almacenamiento ubicadas en toda la cuenca. La vida útil de las obras de captación es favorecida por el relieve suave de la cuenca que propicia escurrimientos lentos de bajo poder destructivo. Dado que la demanda evaporativa es relativamente baja, el agua permanece almacenada hasta cinco meses desde el fin de la estación de lluvias (Figura 2). Adicionalmente, los pozos profundos en operación respaldan el abasto de agua para uso público y agrícola, aún bajo condiciones extremas en años secos. Por su parte, en la cuenca San Pedro Jorullo, los excedentes en un año promedio son de 25 mm, equivalente a 11.5 millones de m³. El relieve montañoso de la cuenca genera

escurrimientos rápidos de alta energía cinética, y la alta demanda evaporativa reduce drásticamente el tiempo de permanencia del agua que logra ser almacenada. La cuenca no cuenta con infraestructura adecuada para retener agua más allá de pequeñas ollas en las que la permanencia es muy corta y no se extiende por más de dos meses desde el fin de las lluvias.

Respecto a la conectividad terrestre (descriptor RH₂), la cuenca Juan El Grande cuenta con 623.8 km de carreteras y caminos rurales, con una densidad de vías de 1.8 km.km⁻² (Figura 5). El relieve predominantemente plano y las distancias relativamente cortas entre localidades facilitan el traslado, aún en momentos de grandes caudales en los años de mayores volúmenes de lluvia. La cuenca San Pedro Jorullo cuenta con carreteras y caminos rurales con una longitud de 221.9 km, lo que representa una densidad de vías de 0.5 km.km⁻². Las vías terrestres son de terracería o pavimento en mal estado, vados precarios y falta de puentes. En los meses de mayores precipitaciones es frecuente la crecida repentina de caudales, lo que produce aislamiento de las poblaciones y arrastre de vehículos que se arriesgan al cruce de vados.

INTEGRACIÓN DE DESCRIPTORES

Los relatos descriptivos que son presentados a continuación integran los resultados con información de contexto, en un lenguaje técnicamente preciso pero accesible a actores sociales no-académicos.

CUENCA JUAN EL GRANDE: ¿EN LA OPULENCIA DEL AGUA?

El Estado de Aguascalientes es uno de los más ricos de México. Es pequeño en extensión y población y tiene recursos naturales limitados, pero ha logrado promover su desarrollo y llegar a una excelente posición a nivel nacional. La cuenca Juan El Grande en el Municipio de El Llano, es parte de esa condición de bienestar. Aunque el clima presenta lluvias escasas, que en algunos años producen sequías, el relieve es plano y apto para la agricultura. Por ello la cuenca es altamente productiva, con una gran superficie de tierras utilizadas para cultivos y cría de ganado, pero con escasa superficie conservada con vegetación natural. Su alta productividad se debe a una importante cantidad de infraestructura como bordos, canales de riego y pozos profundos, así como la distribución de carreteras transitables en toda la cuenca. Debido a las temperaturas relativamente bajas, el agua de lluvia almacenada está disponible gran parte del año, y además es complementada por agua extraída del subsuelo.

La población de la cuenca manifiesta una alta satisfacción hídrica, dado que raramente se observan carencias importantes de agua. El agua en las localidades está asegurada, pues depende de un servicio concesionado por el municipio a un organismo operador. La población paga una cuota mensual sin importar el volumen utilizado. Las personas no se cuestionan sobre el origen de dicho bienestar, lo que las vuelve ciegas ante las amenazas. Pero la cuenca sí presenta amenazas. La sección media denominada Las Maravillas concentra la mayor cantidad de habitantes y muestra el mayor crecimiento poblacio-

nal; ello advierte sobre acciones necesarias para mantener en el futuro la satisfacción hídrica que se disfruta en el presente. En la parte baja de la cuenca, nombrada Encarnación, se ubican las localidades rurales con mayor marginación social, donde también hay menor extracción de agua. Es el sector de la cuenca más vulnerable ante sequías o lluvias extremas.

Si bien la infraestructura disponible asegura el abasto continuo desde fuentes subterráneas, también le confiere una alta dependencia del equipamiento de bombeo y del mantenimiento de los niveles de agua de los acuíferos. Pero la percepción de opulencia de agua impide que los pobladores locales valoren el agua subterránea como un bien de propiedad común; más bien lo perciben como algo dado, que estará ahí por siempre. Por ejemplo, en el sector Las Maravillas se registran valores excesivamente altos en la extracción de agua para uso humano, los cuales superan por lejos el volumen de satisfacción óptima de $100 \text{ l.persona}^{-1}.\text{día}^{-1}$.

Otras características de la cuenca contrastan con esa percepción de alta seguridad hídrica. El siniestro agrícola por sequías es altamente frecuente, pero se persiste en el mismo modelo de producción agrícola con cultivos inapropiados y dependientes del riego, sin desarrollar esquemas alternativos de mayor eficiencia hídrica. Aunque los años con sequías extremas son raros, las lluvias anuales son, con frecuencia, inferiores al promedio. Sin embargo, los pobladores no promueven acciones para mejorar sus sistemas de producción. La incertidumbre climática es alta, pero faltan mecanismos de adaptación tecnológica y canales para la orga-

nización de instituciones. De igual forma, no se cuenta con registros confiables del volumen de agua extraída de pozos ni de su calidad, por lo que no se conoce la condición de los acuíferos y los efectos de la extracción. En resumen, la cuenca Juan El Grande muestra un *nivel sub-óptimo* de SH que puede transitar a una condición de insuficiencia si no se atienden los focos rojos identificados. Para mantener su nivel de SH, los pobladores de la cuenca deberían hacer un uso más eficiente de sus recursos hídricos, con actividades agropecuarias acordes a su situación climática; gestionar de mejor manera su infraestructura hidráulica; y establecer redes de cooperación. Ello daría mayores capacidades para atender las amenazas, y crear respuestas para un mejor manejo de los recursos hídricos disponibles.

**CUENCA SAN PEDRO JORULLO:
LA INCERTIDUMBRE DEL
AGUA, DÍA A DÍA.**

El Estado de Michoacán enfrenta verdaderos retos para atender las necesidades de su población. A pesar de contar con innumerables recursos naturales y culturales, desde el año 2000 la situación general dentro de este estado ha empeorado. Ello se ha reflejado en mayores niveles de marginación en relación al resto del país, mayor inseguridad, emigración y falta de capacidad financiera para gestionar los problemas. La cuenca San Pedro Jorullo en el Municipio La Huacana está envuelta en este panorama. Su clima es cálido con lluvias acotadas a cinco meses, y en los siete meses de estación seca la vida cotidiana y las actividades productivas se hacen real-

mente difíciles. Las condiciones de relieve y las características sociales son similares en toda su extensión, de modo que conforma una unidad relativamente homogénea. El agua para el consumo doméstico proviene de fuentes precarias y de bajo rendimiento como norias y manantiales. De modo que los años con lluvias escasas auguran estaciones secas de gran sufrimiento para la población, con pérdida de patrimonio familiar. La cuenca cuenta con una pequeña superficie productiva utilizada para cultivos de temporal que son apropiados para las condiciones climáticas. Las parcelas son también el soporte, junto con vegetación nativa y transformada, de pequeños hatos ganaderos que son manejados de forma extensiva sin mayor tecnología. La cuenca cuenta con una gran superficie de selva baja caducifolia, con alta biodiversidad, endemismos y adaptaciones a los contrastes estacionales. La mayor amenaza sentida por la población es la alta probabilidad de lluvias por debajo del promedio, y de años excepcionalmente secos; esto repercute en los medios de vida y las diversas actividades productivas agropecuarias. La población vive en condiciones duras, con verdaderas dificultades para el incremento del patrimonio familiar y una alta vulnerabilidad ante emergencias hídricas. El paisaje montañoso y las pendientes dificultan el manejo de los escurrimientos cuando estos ocurren en época de lluvias. Cualquier inversión en infraestructura es costosa. El aislamiento geográfico y el nulo apoyo de las instituciones gubernamentales que frecuentemente dejan obras inconclusas, hacen que los pobladores de esta cuenca vivan pendientes de las condiciones climáticas que condicionarán sus vidas.

La línea base en la cuenca San Pedro Jorullo muestra un *nivel muy bajo* de SH y una marcada precariedad para asegurar la disponibilidad de agua para la población y las actividades productivas, así como una baja capacidad instalada para sobrellevar el riesgo hídrico, por lo que está fuertemente comprometido su desarrollo sostenible. La escasa atención gubernamental ha enseñado a los habitantes que la principal fuente de soluciones a los problemas de SH son las fuerzas autogestivas. El apoyo de actores externos no-gubernamentales (academia, ONGs) y el mantenimiento de redes de solidaridad dentro de la cuenca son la primera línea para enfrentar las amenazas e incertidumbres a los que la cuenca está expuesta.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La valoración de la SH basada en el enfoque de cuenca y el uso de descriptores, junto con la integración de un relato descriptivo inmerso en el contexto, pusieron en evidencia los desafíos diferenciados en la gestión de cada cuenca. En el caso de la cuenca Juan El Grande (Aguascalientes), la alta dependencia de la infraestructura hidráulica para mantener el agua para la población y las actividades productivas ha conducido a una baja percepción de la importancia de los recursos hídricos disponibles, y a una sensación social de suficiencia (Sophocleous, 2004). Por ello la infraestructura disponible representa al mismo tiempo una herramienta de adaptación y una amenaza para la SH local (Scott et al., 2013). Los principales retos para asegurar la buena gestión de la infraestructura y el uso eficiente de recursos disponibles son de

carácter institucional y socio-cultural. Por su parte, la condición de la cuenca San Pedro Jorullo (Michoacán) muestra fuertes similitudes con áreas semiáridas de África (Calow, MacDonald, Nicol, & Robins, 2010). Bajo estas condiciones, los medios de vida rurales se ven afectados por el estrés hídrico continuo y sus efectos en la seguridad alimentaria. En este caso, los retos abarcan la creación de infraestructura adecuada, principalmente el uso de tecnologías ecológicamente amigables (ecotecnologías), el combate a la pobreza, la auto-organización comunitaria y la cultura del agua.

Los casos de estudio mostraron las ventajas para valorar la SH con enfoque de cuenca basado en descriptores, frente a los tradicionales indicadores e índices. El trabajo ilustró de qué modo este abordaje permite reconocer las características funcionales del espacio geográfico, y hacer una lectura de los elementos geográficos de la cuenca que son determinantes de su condición de SH, tal como se ha sugerido en otros estudios (Sun et al., 2016). La cuenca facilita el cambio de escala en la apreciación del problema, así como el tránsito del análisis funcional al espacial, una necesidad ya señalada para mejorar la valoración de SH (Jun & Yongyong, 2008; Cohen & Davidson, 2011; Garrick & Hall, 2014). El procedimiento aplicado se enfocó en las dimensiones básicas de SH, e.g. disponibilidad de agua y reducción del riesgo hídrico; pero otras dimensiones de la SH como gobernanza del agua, resolución de conflictos, preservación de los ecosistemas y vida silvestre (Vörösmarty et al., 2000; Cook & Bakker, 2012; Norman et al., 2013), quedaron fuera de los alcances de este estudio.

Sin embargo, el enfoque propuesto permite incorporar fácilmente otras dimensiones de SH mediante la cuidadosa selección de sus descriptores, sin alterar ni perder la capacidad informativa de los ya analizados. De este modo, la valoración de la condición de SH puede ganar solidez a medida que se genera información más detallada, logrando un procedimiento más flexible y dinámico que aquel propiciado por el uso de indicadores. Por último, la elaboración de un relato descriptivo a partir de la integración de los resultados de los descriptores con información de contexto es un punto de partida de gran potencial para integrar narrativas ambientales. Estas son historias que se alimentan de datos, observaciones, entrevistas y otra información cualitativa de sujetos estrechamente asociados a un lugar particular, que crean significados desde hechos aislados para relatar lo que ocurrió y lo que podría

ocurrir, e.g. escenarios posibles (Leach, Scoones, & Stirling, 2010; Lejano, Ingram, & Ingram, 2013). La integración de descriptores en relatos descriptivos y su ampliación con otras voces en narrativas ambientales es un campo de trabajo futuro para mejorar la generación de insumos más adecuados para la acción colectiva y la toma de decisiones en la gestión de cuencas.

AGRADECIMIENTOS:

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para este proyecto, a Grupo Balsas para Estudio y Manejo de Ecosistemas A.C. por asistencia en campo e información sobre la cuenca San Pedro Jorullo. La revisión por pares y la labor editorial permitió mejorar la calidad del manuscrito original.

REFERENCIAS

- Aranda, D. F. C. (1984). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Bermúdez, F. L., & Díaz, M. A. R. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. *Papeles de Geografía*, 12, 47–62.
- Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., & Rivas, H. (2013). A systems approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. *Environmental monitoring and assessment*, 185(12), 10297–10316.
- Burgos, A., & Bocco, G. (2015). La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. En A. Burgos, G. Bocco, y J. Sosa-Ramírez (coord.), *Dimensiones Sociales en el Manejo de Cuencas* (pp. 11–29). México: CIGA-UNAM.

- Calow, R. C., MacDonald, A. M., Nicol, A. L., & Robins, N. S. (2010). Ground water security and drought in Africa: linking availability, access, and demand. *Ground Water*, 48(2), 246–256.
- Cohen, A., & Davidson, S. (2011). The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. *Water Alternatives*, 4(1), 1–14.
- Comisión Nacional del Agua. (2013). Eric III Versión 3.2. Estaciones climatológicas de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Comisión Nacional de Población. (2010). Índice de marginación para 2010. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010
- Cook, B. R., Atkinson, M., Chalmers, H., Comins, L., Cooksley, S., Deans, N., & Litke, S. (2013). Interrogating participatory catchment organisations: Cases from Canada, New Zealand, Scotland and the Scottish-English Borderlands. *The Geographical Journal*, 179(3), 234–247.
- Cook, C., & Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, 22, 94–102.
- Dickson, S.E., Schuster-Wallace, C.J., & Newton, J.J. (2016). Water security assessment indicators: The rural context. *Water resources management*, 30(5), 1567–1604.
- Ding, Y., Wei, Y., Dai, H., & Tang, D. (2014). Human-Water harmony index: A new approach to assess the human water relationship. *Water Resources Management*, 28(4), 1061–1077.
- Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., & Salas, R. (2012). Estimación de las demandas de consumo de agua. SAGARPA, Colegio de posgraduados, México. Recuperado de: http://www.sagarpa.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf
- Garfin, G. M., Scott, C. A., Wilder, M., Varady, R. G., & Merideth, R. (2016). Metrics for assessing adaptive capacity and water security: common challenges, diverging contexts, emerging consensus. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 86–89.

- Garrick, D., & Hall, J. W. (2014). Water security and society: risks, metrics, and pathways. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 611–639.
- Gaspari F.J. (2007). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica*. Huelva. España. Ediciones Cooperativas, Buenos Aires.
- Gerlak, A. K., House-Peters, L., Varady, R. G., Albrecht, T., Zúñiga-Terán, A., de Grenade, R. R., Cook, C., & Scott, C. A. (2018). Water security: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy*, 82, 79–89.
- Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International*, 21(2), 83–92.
- Grey, D., & Sadoff, C. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545–571.
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584–593.
- Howard, G., & Bartram, J. K. (2003). *Domestic water quantity, service level, and health*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2002). Mapas de uso del suelo y vegetación. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2009). Censo agropecuario 2007, VIII Censo agrícola, ganadero y forestal, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). Censo de población y vivienda, México.
- Jun, X., & Yongyong, Z. (2008). Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), 359–363.
- Keirle, R., & Hayes, C. (2007). A review of catchment management in the new context of drinking water safety plans. *Water and Environment Journal*, 21(3), 208–216.

- Kershner, J. L., Roper, B. B., Bouwes, N., Henderson, R., & Archer, E. (2004). An analysis of stream habitat conditions in reference and managed watersheds on some federal lands within the Columbia River basin. *North American Journal of Fisheries Management*, 24(4), 1363–1375.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering*, 10(6), 362.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial forms and processes*. London. Edward Arnold.
- Leach, M., Scoones, I., & Stirling, A. (2010). Governing epidemics in an age of complexity: narratives, politics and pathways to sustainability. *Global Environmental Change*, 20(3), 369–377.
- Lejano, R., Ingram, M., & Ingram, H. (2013). *The Power of Narrative in Environmental Networks*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lemos, M. C., Manuel-Navarrete, D., Willems, B. L., Caravantes, R. D., & Varady, R. G. (2016). Advancing metrics: models for understanding adaptive capacity and water security. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 52–57.
- López Cadenas, L. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental*. Madrid: Editorial Mundi Prensa.
- Martínez-Austria, P. F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(5), 165–180.
- Mason, N., & Calow, R. (2012). Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An Initial Overview of Options. *Overseas Development Institute*. Recuperado de <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/7865.pdf>
- McCabe, G.J., & Markstrom, S.L. (2007). A monthly water-balance model driven by a graphical user interface: U.S. Geological Survey Open-File report. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1088>.
- Norman, E., Dunn, S., Bakker, G., Allen, K., & De Albuquerque, R. C. (2013). Water security assessment: integrating governance and freshwater indicators. *Water Resources Management*, 27(2), 535–551.

- Pahl-Wostl, C., Palmer, M., & Richards, K. (2013). Enhancing water security for the benefits of humans and nature-the role of governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 676–684.
- Parra, C., & Zorrilla, E. (2007). *Gestión de cuencas hidrológicas*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Peña, H. (2016). *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*. Serie recursos naturales e infraestructura No. 178. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Pérez-Foguet, A., & Garriga, R. G. (2011). Analyzing water poverty in basins. *Water Resources Management*, 25(14), 3595–3612.
- Prohaska, F. J. (1952). Regímenes estacionales de la precipitación de Sudamérica y mares vecinos (desde 15 S hasta Antártida). *Revista Meteoros*, 11(1), 66–100.
- Ruiz, C., Medina, G., González, A., Flores, L., Ramírez, O., Ortiz, T., Byerly, M., & Martínez P. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Schumm, S. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboi, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597–646.
- Scott, C. A., Meza, F. J., Varady, R. G., Tiessen, H., McEvoy, J., Garfin, G. M., & Montaña, E. (2013). Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 280–289.
- Silva, L. I., Sergio, G. C., & Luis, R. P. (2010). *Panorama del desarrollo territorial en América Latina y el Caribe: Pactos para la igualdad territorial*. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Sophocleous, M. (2004). Global and regional water availability and demand: prospects for the future. *Natural Resources Research*, 13(2), 61–75.
- Sosa-Ramírez J., Meráz Jiménez A. de J., Díaz Nuñez, V., Ponce Montoya, A., & Galarza, J. L. (2011). La Actividad ganadera en un sistema agrosilvopastoril en región árida: el ejido La Luz, Aguascalientes, México. En M. J. Sánchez (coord.), *La encrucijada del México rural: Contrastes regionales en un mundo desigual* (pp. 277–307). México: Universidad Autónoma Metropolitana.

- Srinivasan, V., Konar, M., & Sivapalan, M. (2017). A dynamic framework for water security. *Water Security*, 1, 12–20.
- Strahler, A. N. (1964). Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Sullivan, C. A. (2002). Calculating a water poverty index. *World Development*, 30(7), 1195–1210.
- Sullivan, C. A., & Meigh, J. R. (2007). Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: Addressing water problems at different scales. *Water Resources Management*, 21(1), 111–128.
- Sun, F., Staddon, C., & Chen, M. (2016). Developing and applying water security metrics in China: experience and challenges. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 29–36.
- UNWater. (2013). *Water Security and the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief*. Hamilton, ON: UN University.
- Varady, R. G., Zuniga-Teran, A. A., Garfin, G. M., Martín, F., & Vicuña, S. (2016). Adaptive management and water security in a global context: definitions, concepts, and examples. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 70–77.
- Varis, O., Keskinen, M., & Kummu, M. (2017). Four dimensions of water security with a case of the indirect role of water in global food security. *Water Security*, 1, 36–45.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289(5477), 284–288.
- Vörösmarty, C. J., Guenni, L. B. De, Wollheim, W. M., Bjerklie, D., Cardoso, M., Almeida, C. D., & Pellerin, B. (2013). Extreme rainfall, vulnerability and risk : a continental-scale assessment for South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 371(2002), 1–17.
- Warner, J., Wester, P., & Bolding, A. (2008). Going with the flow: river basins as the natural units for water management. *Water Policy*, 10(2), 121–138.

- Wilder, M. (2016). Metrics: moving beyond the adaptation information gap — introduction to the special issue. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 90–95.
- WHO-UNICEF. (2010). Geneva: World Health Organization. Progress on sanitation and drinking-water: Joint Monitoring Programme 2010 update. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241563956/en/
- Xiao, S. C., Li, J. X., Xiao, H. L., & Liu, F. M. (2008). Comprehensive assessment of water security for inland watersheds in the Hexi Corridor, Northwest China. *Environmental geology*, 55(2), 369–376.
- Zeitoun, M., Lankford, B., Krueger, T., Forsyth, T., Carter, R., Hoekstra, A. Y., Richard Taylor, R., Varis, O., Cleaver, F., Boelens, R., Swatuk, L., Tickner, D., Scott, C. A., Mirumachi, N., & Matthew, N. (2016). Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges. *Global Environmental Change*, 39, 143–154.
- Zimmerman, J. (2016). *Python Descriptors*. Berkeley, CA: Apress.