



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO EN HIDROCIENCIAS

**REGIONALIZACIÓN
SOCIOHIDROLÓGICA PARA LA
GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA
DEL RÍO CUITZMALA**

LUZ MARÍA RAMÍREZ ARMAS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **“Regionalización sociohidrológica para la gestión del agua en la cuenca del río Cuitzmala”** realizada por la estudiante: **“Luz María Ramírez Armas”** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. MARTÍN ALEJANDRO BOLAÑOS GONZÁLEZ

CO-DIRECTOR

DR. FERMÍN PASCUAL RAMÍREZ

ASESOR

DR. ADOLFO LÓPEZ PÉREZ

ASESOR EXTERNO

DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, septiembre de 2022

REGIONALIZACIÓN SOCIOHIDROLÓGICA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA.

Luz María Ramírez Armas, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022.

RESUMEN

La creciente presión sobre los recursos hídricos en la cuenca del Río Cuitzmala (RC), localizada en la Costa sur del estado de Jalisco, demanda una estrategia de planificación que permita impulsar un manejo sustentable del agua, para mitigar los efectos del cambio climático, además de reducir y prevenir los conflictos socioambientales. En el presente estudio se utilizó un enfoque de investigación mixto con base en el análisis e integración de datos cuantitativos y cualitativos, con el objetivo de desarrollar un esquema de regionalización socio-hidrológico para la gestión integral del agua de la cuenca del RC. El estudio se llevó a cabo en dos etapas: 1) el diagnóstico socio-hidrológico participativo; y 2) la priorización de áreas en donde podría ser pertinente impulsar una transición hacia la gestión integral del agua. Los resultados indican que: a) en la cuenca del RC hay 12 actores sociales, de los sectores público, privado y de la sociedad civil, con diferentes grados de influencia en la gestión local del agua, b) los problemas de acceso al agua y escasez en temporada de secas estuvieron de manifiesto en el 100% de los entrevistados, lo que podría agravarse debido al incremento del turismo y la actividad agrícola, c) entre las principales estrategias implementadas está la creación de comités de agua que trabajan de manera autogestiva y, d) se identificaron dos subcuencas de prioridad alta, las cuales se proponen como espacios adecuados para iniciar los procesos de co-construcción de propuestas para la gestión del agua. Desde una visión integral, la interacción, poca participación de los actores alrededor de la gestión de los recursos hídricos, y los principales problemas percibidos, podrían responder a la implementación de un modelo de gobernanza que ha resultado deficiente. Una estrategia de planificación viable para el RC debería incorporar las variables geomorfológicas, biofísicas y sociales, para impulsar de manera integral la gestión local del agua. Es primordial que se implemente un nuevo modelo de gobernanza de los recursos hídricos en el que se incluya activamente la participación de los actores locales de la cuenca desde el diseño hasta la evaluación de las propuestas.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Subcuencas, Actores sociales, Gestión adaptativa, Organización autogestiva, Priorización de áreas, Morfometría de cuencas, Análisis integral de cuencas.

SOCIOHYDROLOGICAL REGIONALIZATION FOR THE MANAGEMENT OF WATER IN THE CUITZMALA RIVER BASIN.

Luz María Ramírez Armas, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022.

ABSTRACT

The increasing pressure on water resources in the Cuitzmala River basin (CR), located on the South Coast of the state of Jalisco, urgently demands a planning strategy that allows promoting sustainable water management, mitigating the effects of climate change, in addition to reducing and preventing socio-environmental conflicts. The present study used a mixed research approach based on the analysis and integration of quantitative and qualitative data, with the aim of developing a socio-hydrological regionalization scheme for the integral management of water in the CR basin. The study was carried out in two stages: 1) The participatory socio-hydrological diagnosis; and 2) the prioritization of the areas in which it could be pertinent to impulse a transition to integral water management. The results indicate: a) In the river basin of the CR there are 12 key actors from public, private and civil society, with different degrees of influence in local water management, b) The problems of water access and shortage in dry season were present in the 100% of the interviewed, which could be aggravated due to the increase in tourism and agricultural activity, c) Among the main strategies implemented is the creation of water committees that work self-managed, and d) two high priority sub-basins were identified, which are proposed as adequate spaces to start the processes of co-construction of proposals for water management. From an integrative view, the interaction, little participation of the actors around the management of water resources, and the main problems perceived, could respond to the implementation of a governance model that has been deficient. A viable planning strategy for CR should incorporate geomorphological, biophysical and social variables, to comprehensively promote local water management. It is essential to implement a new model of governance of water resources in which the participation of local actors in the basin is actively included from the design to the evaluation of the proposals.

Key words: Hydrographic basin, Sub-basins, Social actors, Adaptive management, Self-management organization, Prioritization of areas, Morphometry of basins, Integral analysis of basins

DEDICATORIA

A mi familia. Porque me han dado su amor y respeto en la búsqueda de mi propio ser.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, posgrado en Hidrociencias y a la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Morelia, Instituto de Estudios en Ecosistemas y Sustentabilidad, por mi formación académica.

A los integrantes del consejo particular: Dr. Martín Bolaños, Dr. Fermín Pascual, Dr. Adolfo López y Dr. Manuel Maass. Gracias por creer en mí y orientarme en este proyecto.

A la Dra. Amayrani Meza de ECOSUR, por compartirme sus conocimientos y orientarme en los momentos más difíciles de este proceso.

Al Programa UNAM-PAPIIT IA 102621 "Investigación socio-hidrológica para el manejo sustentable del agua en sistemas socio-ecológicos" y al PRONAI 318956 "Ecohidrología para la sustentabilidad y gobernanza del agua y cuencas para el bien común". por el financiamiento para la elaboración del presente trabajo.

A los habitantes de la cuenca del río Cuitzmala, por compartir un poco de su entorno a través de sus experiencias.

También deseo agradecer a todas y cada una de las personas que estuvieron a mi lado a lo largo de este viaje:

A mi mamá, mis hermanos y sobrinos. Porque su cariño y confianza son mi mayor soporte.

A Pablo, quien me acompañó de principio a fin con amor, paciencia y comprensión.

A mis amigos y amigas, quienes aún en la distancia siempre han estado conmigo.

A la parte de mí que decidió vivir esta aventura. Porque a pesar de los momentos difíciles, hoy solo puedo decir ¡gracias por este logro!

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos particulares	4
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Relación sociedad naturaleza: los socioecosistemas	5
Los actores en el socioecosistema	6
Regionalización y priorización de áreas en cuencas	7
Modelos de gestión hídrica y gobernanza	8
La socio-hidrología.....	11
La gestión del agua en México	11
La cuenca hidrográfica en la GIRH	12
La cuenca del río Cuitzmala.....	14
CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO SOCIO-HIDROLÓGICO PARTICIPATIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA	16
1.1. RESUMEN	16
1.2. ABSTRACT	17
1.3. INTRODUCCIÓN	18
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	20
1.4.1. Área de estudio	20
1.4.2. Colecta de información	22
1.4.3. Procesamiento de datos	23
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
1.5.1. Mapeo de actores.....	23

1.5.2. Percepción sobre los problemas y estrategias de autoorganización	30
1.6. CONCLUSIONES	37
CAPÍTULO II. PRIORIZACIÓN DE ÁREAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA	39
2.1. RESUMEN	39
2.2. ABSTRACT	40
2.3. INTRODUCCIÓN	41
2.4. MATERIALES Y MÉTODO	42
2.4.1. Área de estudio	42
2.4.2. Obtención y análisis de la información morfométrica	44
2.4.3. Obtención y análisis de la información biofísica	46
2.4.4. Obtención y análisis de la información social	46
2.4.5. Priorización de total de las subcuencas.....	47
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
2.5.1. Análisis y priorización morfométrica	48
2.5.2. Análisis y priorización biofísica	55
2.5.3. Análisis y priorización social	59
2.5.4. Priorización total	63
2.6. CONCLUSIONES	66
CONCLUSIONES GENERALES.....	68
LITERATURA CITADA.....	70

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Actores sociales en la cuenca del RC y su grado de influencia actual en la gestión del agua.....	26
Cuadro 2. Fórmulas para el análisis morfométrico de las subcuencas.	45
Cuadro 3. Características morfométricas generales de las diez subcuencas del río Cuitzmala.....	49
Cuadro 4. Parámetros morfométricos lineales y de forma calculados para las subcuencas.....	51
Cuadro 5. Priorización de subcuencas basado en su análisis morfométrico.....	54
Cuadro 6. Coberturas de uso de suelo y tipos de suelo por subcuenca	56
Cuadro 7. Valores de la pendiente media de las subcuencas.....	58
Cuadro 8. Priorización biofísica de subcuencas.....	59
Cuadro 9. Calificación de importancia de la problemática socio-hidrológica por subcuenca.....	60
Cuadro 10. Calificación de importancia de las estrategias de autoorganización por subcuenca.....	61
Cuadro 11. Número de habitantes por subcuenca.....	62
Cuadro 12. Priorización social de subcuencas.....	63
Cuadro 13. Priorización total de subcuencas	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pasos para seguir en el proceso de gestión adaptativa en cuencas.....	10
Figura 2. Ubicación, localidades y número de habitantes por subcuenca.....	22
Figura 3. Mapa de actores y sus relaciones entre sí.....	29
Figura 4. Ubicación de las subcuencas, localidades y habitantes.....	43
Figura 5. Priorización total de las subcuencas del río Cuitzmala	64

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los problemas relacionados con la gestión del agua adquieren mayor relevancia a nivel internacional debido al crecimiento demográfico y su rápido proceso de urbanización e industrialización, a la expansión de la agricultura, al turismo y al cambio climático que, todos juntos, ejercen cada vez mayor presión sobre la disponibilidad hídrica a nivel mundial (ONU, 2020; Cap-Net, 2019). De ahí que diversos tratados internacionales reafirman el derecho humano al agua y al saneamiento en el contexto de las estrategias para el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible (Rahaman y Varis, 2005).

Tradicionalmente, las propuestas de gestión surgen desde un modelo dominante que asume al sistema hídrico como altamente predecible y controlable, por lo que omite la incertidumbre y los eventos emergentes derivados de la relación entre sociedad y naturaleza (Pahl-Wostl *et al.*, 2006). Este modelo ha llevado a la centralización del recurso, y se caracteriza porque los objetivos para el suministro público de agua de calidad y cantidad se vuelven difícilmente alcanzables (Knieper *et al.*, 2010; Pahl-Wostl y Kranz, 2010).

A partir de la década de los 90's surgieron modelos alternativos de gestión hídrica a nivel de cuenca hidrográfica tales como la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) (GWP, 2000) y la Gestión Adaptativa (GA) (Pahl-Wostl, 2020; Pahl-Wostl *et al.*, 2006); sin embargo, aún se encuentran en transición.

En este contexto, se vuelve crucial avanzar hacia el desarrollo de estudios inter y transdisciplinarios que contemplen los aspectos biofísicos del ciclo hidrológico y su vinculación con la sociedad, particularmente con las personas que residen en áreas rurales dispersas y comunidades dedicadas a la agricultura familiar, pues son las que se encuentran más susceptibles a la escasez y mala calidad del agua (Recabarren, 2016).

La cuenca del río Cuitzmala (RC) -localizada en la Costa Sur del estado de Jalisco- es una de las cuencas decretadas como Reserva de Agua (DOF, 2018), por lo que es prioritario ampliar el conocimiento sobre las interacciones del ciclo hidrológico y su relación con la población involucrada en esta y en todas las cuencas en situación similar;

en ella están asentados poco más de 8,300 habitantes distribuidos en cerca de 92 localidades, la mayoría de las cuales (68) están habitadas por menos de 20 personas (INEGI, 2020) . La tenencia de la tierra de tipo ejidal se encuentra presente en el 40% de la superficie, donde la mitad aún conserva la categoría de tierras de uso común (RAN, 2021). Dado que, la mayor parte de los habitantes (80%) se dedican a actividades agropecuarias y turismo (particularmente en la desembocadura del río) (IIEG, 2019a y 2019b), el servicio de agua dulce es de alto valor, tanto para fines productivos, como domésticos, siendo uno de los recursos estratégicos para el bienestar humano y de los ecosistemas de la región (Maass *et al.*, 2005).

A pesar de tratarse de una cuenca con evidentes cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo, que afectan principalmente el escurrimiento y la tasa de infiltración, la baja densidad de población asentada en ella, podría facilitar el proceso de toma decisiones en torno al agua, así como el diseño de intervenciones y la ejecución de actividades de un plan de manejo integral de la cuenca.

La dinámica económica manifestada en el avance de la agricultura y ganadería extensiva, en la parte media y alta de la cuenca, propician problemas de contaminación por agroquímicos y disposición de residuos producidos por dicha actividad. En la parte baja de la cuenca los problemas están focalizados en el incremento de la actividad turística que demanda servicios, así como la agricultura intensiva.

Diversos estudios han identificado los aspectos biofísicos que determinan la calidad y disponibilidad espacial y temporal del agua en la cuenca y sus proximidades (Maass *et al.*, 2018; Carrillo *et al.*, 2015; Maass y Burgos, 2011; López-Tapia *et al.*, 2008) utilizando una amplia gama de herramientas que aportan bases para el seguimiento a largo plazo, como la regionalización eco-hidrológica (Piña, 2007). Sin embargo, las estrategias de manejo planteadas en estos trabajos vienen desde la academia y su elaboración no ha contado con suficiente participación por parte de los actores sociales de los diferentes sectores. Es en este contexto que se realiza el presente trabajo, el cual buscó atender la necesidad de incorporar, de manera efectiva, la perspectiva de los actores locales en la elaboración de estrategias conjuntas de gestión integral del agua en la cuenca,

identificando de manera más eficiente los problemas a los que se enfrentan, al mismo tiempo que se aprovecha su experiencia lidiando con los mismos.

El Capítulo I se presenta como un artículo científico derivado de la investigación, el cual tiene como principal objetivo identificar los actores involucrados en la gestión local del agua, la problemática socio-hidrológica y las principales estrategias de autoorganización implementadas por los actores, así como su grado de importancia. La investigación se desarrolló a través de un trabajo de campo en donde se colectó información por medio de entrevistas semiestructuradas.

El Capítulo II está integrado por un segundo artículo científico que tiene por objetivo priorizar las áreas en donde es conveniente iniciar los procesos de construcción de propuestas intersectoriales que permitan la transición hacia la gestión integral del agua. Se realizó un ejercicio para conjuntar la información resultado de la caracterización morfométrica y biofísica, con la percepción de los actores clave entrevistados en el capítulo I. Los resultados permitieron generar un mapa que muestra las subcuencas y su orden de prioridad con base en la necesidad de atención de problemas socio-hidrológicos.

En el apartado de Conclusiones generales se resaltan los hallazgos más importantes de este trabajo en relación a la hipótesis y objetivos planteados.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Desarrollar un esquema de regionalización para la gestión integral del agua, a través de la co-construcción de un diagnóstico socio-hidrológico en la cuenca del río Cuitzmala, Jal., México.

Objetivos particulares

1. Identificar a los actores involucrados en la gestión local del agua en la cuenca, sus principales problemáticas y estrategias de autoorganización, a través de entrevistas que permitan conocer sus experiencias.
2. Priorizar y jerarquizar las áreas en donde es conveniente iniciar los procesos de co-construcción de propuestas intersectoriales que permitan la transición hacia una gestión integral del agua, a través de un análisis que incluya aspectos morfométricos, biofísicos y sociales.

Hipótesis

El diagnóstico socio-hidrológico co-construido a partir de las experiencias de los actores, permitirá la identificación de áreas prioritarias de intervención, como parte del proceso para implementar una gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca.

REVISIÓN DE LITERATURA

Relación sociedad naturaleza: los socioecosistemas

La relación sociedad-naturaleza puede abordarse desde diversas perspectivas, de acuerdo a la manera en cómo se entiende y se concibe el mundo. El enfoque analítico reduccionista, que aún predomina en la ciencia, tiene limitaciones que obstaculizan el entendimiento de la realidad compleja (Morin, 2008).

Contrario al enfoque reduccionista, el enfoque sistémico propone entender la complejidad a través de las interrelaciones que existen entre los elementos que componen la realidad, así como de las propiedades que de estos emergen; con lo cual, el todo se convierte en algo más que la simple suma de las partes (Cathalifaud *et al.*, 1998; Bertalanffy, 1989). Interpretar la realidad bajo este enfoque, plantea un comportamiento anidado en el que todo sistema forma parte de un sistema más grande (suprasistema), y a su vez este se encuentra formado por distintos subsistemas entrelazados en diferentes escalas espacio-temporales (Jianguo *et al.*, 2002). La dinámica funcional de un sistema depende de la complejidad de sus componentes estructurales, por lo que es posible diferenciar clara y significativamente entre un sistema físico (sólo componentes abióticos), un ecosistema (componentes bióticos y abióticos) y un socioecosistema (componentes humanos, bióticos y abióticos) (Maass, 2019).

Los socioecosistemas (SE) se definen como aquellos sistemas complejos, dinámicos y de alta incertidumbre, que surgen de la interrelación de un tejido de factores sociales (políticos, económicos, culturales, entre otros) y biofísicos (componentes abióticos y bióticos) (Challenger *et al.*, 2014; Binder *et al.*, 2013). Bajo este enfoque, se plantea que las personas son dependientes del funcionamiento de los ecosistemas y sus contribuciones al bienestar humano y el desarrollo social. Es un campo relativamente nuevo pero respaldado por una larga historia de investigación empírica sobre los bienes comunes, las instituciones y la acción colectiva (Partelow, 2018).

Una de las principales características del enfoque de los SE es que promueve un cambio tanto en las formas de generación de conocimiento, como en las metodologías de investigación. Uribe *et al.*, (2014) proponen cuatro cambios desde la academia, que

contribuyen a la disminución de limitaciones para abordar la ya mencionada complejidad de la relación sociedad-naturaleza: i) ontológico, que presenta el concepto de “socioecosistemas”; ii) epistemológico, el cual propone a la transdisciplina como la forma de entenderlos, iii) metodológico, que sugiere intervenir en ellos de forma adaptativa y participativa y iv) cambios institucionales que facilitarían la adopción de esta propuesta.

Los actores en el socioecosistema

Los actores son todas aquellas personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados con o por las actividades que estos mismos desarrollan en el sistema del que forman parte. Este concepto, derivado del trabajo de Freeman (1984) sobre *stakeholders*, busca analizar la complejidad correspondiente a las relaciones humanas, lo que a su vez facilita la toma de decisiones (Bernal y Rivas, 2012) en los socioecosistemas. Hufty y Guardiola (2006) analizan este concepto mediante el marco analítico de la gobernanza (MAG) y clasifica a los actores en tres grupos de acuerdo con su nivel de influencia y poder: los actores estratégicos (tienen alto poder de decisión y generan movilizaciones sociales), los actores relevantes (tienen poder medio de decisión y dinero y se ven involucrados en algunas instituciones) y los actores secundarios (tienen bajo poder para cambiar las reglas y los procesos establecidos).

En los SE los actores se encuentran en un proceso continuo de interacciones bajo la interpretación del mundo que los rodea. Las interpretaciones (ya sea dentro del marco de una organización, cultura o territorio) son las que determinan el actuar de las personas (Taylor y Bogdan, 1987), por esta razón es necesario conocer sus valores, preocupaciones y visiones a futuro (León y Muñoz, 2019). Se considera que la identificación de actores sólo está completa cuando ellos están representados con su propia voz en los escenarios de participación (Bernal y Rivas, 2012).

En este estudio se utilizó el concepto de actores locales para hacer referencia a todas las personas, grupos y organizaciones (componente social) de los sectores público, privado y de la sociedad civil, que se encuentran interactuando en la cuenca hidrográfica del río Cuitzmala (RC). Dentro de los actores locales se pueden distinguir a los actores

clave, quienes por su rol dentro del SE proporcionaron su testimonio a través de las entrevistas realizadas.

Regionalización y priorización de áreas en cuencas

Para la Geografía Regional, la región representa un área dentro del territorio, la cual es el objeto de estudio, mientras que la Regionalización se refiere al ejercicio de clasificación, de identificación de taxonomías y representación de los elementos, atributos y componentes o fenómenos que interesa destacar (Gasca, 2009). No existen límites ni criterios definitivos que determinen la frontera de lo que es o representa una región, sin embargo, su delimitación es importante tanto en la práctica intelectual y académica como en el diseño de políticas a diferentes escalas (Gasca, 2009).

En las cuencas, muchos de los procesos de planificación implican una difícil toma de decisiones relacionada principalmente con la disponibilidad de recursos (Cotler, 2015), por lo que, en la mayoría de los casos es necesario priorizar las áreas de intervención.

Las áreas prioritarias dentro de una cuenca son aquellas que tienen un papel especialmente importante para sus ecosistemas, sus habitantes o para ambos (Olguín y Pineda, 2010; Cotler *et al.*, 2004). Existen diferentes métodos para priorizar áreas en cuencas, según los objetivos establecidos en cada caso (Benegas y León, 2009). De acuerdo con Richters (1986), las metodologías aplicadas para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas utilizan el siguiente esquema general:

- Definición del objetivo para la priorización
- Selección de criterios y parámetros en relación con el objetivo
- Determinación de la prioridad relativa de cada criterio
- Valoración de las cuencas según los criterios
- Ajuste de valores absolutos según la importancia relativa de cada criterio
- Comparación de cuencas
- Priorización

En el caso del presente trabajo de investigación, se elaboraron criterios y parámetros para la clasificación y definición de prioridades a partir de la información proporcionada

por los actores involucrados en el uso del agua en la cuenca, quienes contribuyeron en la identificación de las áreas con características más vulnerables asociadas a la gestión del recurso hídrico en la cuenca.

Modelos de gestión hídrica y gobernanza

Durante los siglos XIX y XX, la gestión de los recursos hídricos se centró en problemas específicos que fueron surgiendo conforme aumentó la población y se incrementó la actividad agrícola e industrial, por lo que los esfuerzos estuvieron dirigidos a atender las problemáticas, sobre todo, de las áreas urbanas e industrializadas (Romero y Olvera, 2019). Las soluciones de base tecnológica implementadas funcionaron únicamente a corto plazo y no se tomaron en cuenta las consecuencias que estas acciones pudieran tener a futuro (Pahl-Wostl *et al.*, 2006).

Este tipo de gestión “tradicional” está basado en un paradigma de “predicción y control” (Pahl-Wostl *et al.*, 2006). Su funcionamiento consiste en dividir las actividades de gestión del agua en áreas temáticas altamente especializadas (por ejemplo, control de inundaciones, suministro de agua, riego y tratamiento de aguas residuales) que han llevado a la creación de instituciones diversas que hoy en día presentan problemas sobre su capacidad para cumplir con las necesidades de un mundo caracterizado por cambios rápidos (Pahl-Wostl, 2002). Es así como a finales del siglo XX surgieron nuevas ideas acerca de la necesidad de realizar una gestión de los recursos hídricos bajo un enfoque “integral y adaptativo” (Pahl-Wostl, 2020; Pahl-Wostl *et al.*, 2006), el cual considera que todos los sistemas de agua bajo gestión deben caracterizarse como sistemas adaptativos complejos (Pahl-Wostl, 2007).

Por otro lado, según la Asociación Mundial por el Agua (GWP por sus siglas en inglés), *“la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”* (Global Water Partnership, 2000). La GIRH promueve la colaboración de todas las partes involucradas bajo un enfoque descentralizado, sin embargo, es una realidad que las estructuras

legales siguen favoreciendo la administración y la toma de decisiones centralizadas, con base en la ideología de predicción y control que ha dominado por décadas (Pahl-Wostl *et al.*, 2006; Pahl-Wostl *et al.*, 2010). La insuficiente implementación del enfoque integrado puede no estar relacionado con el concepto en sí, sino más bien con los procesos mentales que estructuran su puesta en marcha (Pahl-Wostl *et al.*, 2006; Pahl-Wostl, 2002).

Así mismo, la Gestión Adaptativa (GA) de los recursos hídricos se refiere al proceso sistemático para mejorar las políticas y las prácticas de gestión de los recursos hídricos, mediante el aprendizaje resultado de las estrategias implementadas (Pahl-Wostl *et al.*, 2006). Su objetivo principal es aumentar la capacidad de adaptación del sistema hídrico en una cuenca, a partir de una comprensión amplia de los determinantes de la vulnerabilidad y la resiliencia del ecosistema ubicado en la cuenca (Pahl-Wostl, 2020; Huntjens, 2011).

Maass y Cotler (2007) diseñaron un protocolo de manejo integral de cuencas a partir de la idea propuesta por Stanford y Poole (1996). En esta propuesta los autores plantean el desarrollo de un proceso que parte de la definición del socioecosistema y la cuenca de trabajo; permitiendo la simulación de escenarios donde se establezcan metas y objetivos diseñados de manera participativa con los actores sociales; continuando con la implementación de intervenciones y acciones específicas; las cuales, son acompañadas por un monitoreo continuo que genera conocimiento y retroalimenta al programa en cada una de sus diferentes etapas (Figura 1).

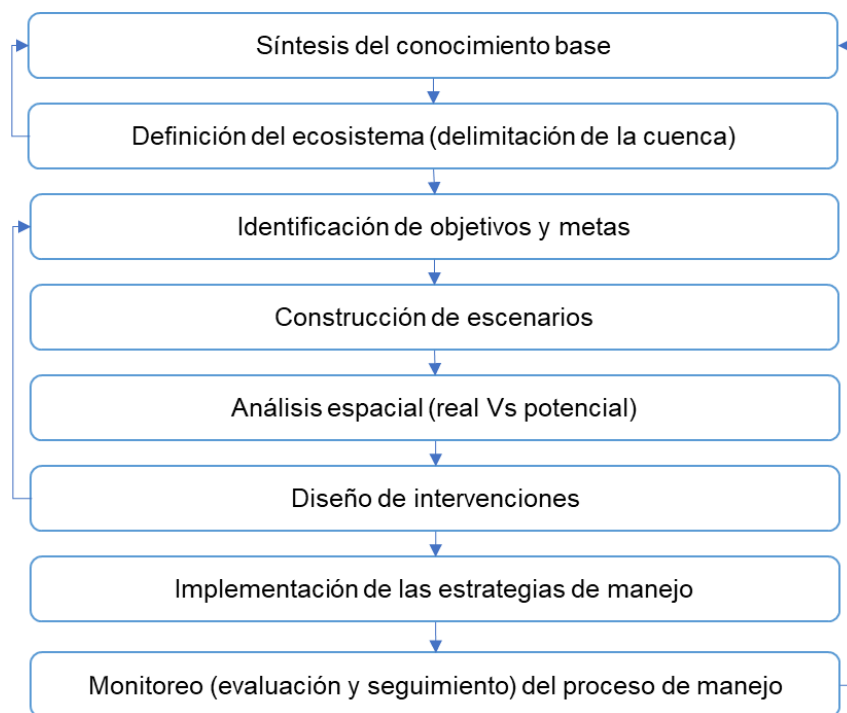


Figura 1. Pasos para seguir en el proceso de gestión adaptativa en cuencas. Fuente: Maass y Cotler (2007); Stanford y Poole (1996).

Otro concepto relevante es la Gobernanza del agua, el cual ha sido escasamente definido en la escala nacional, ya que comúnmente se usa de manera similar al de gestión del agua. Sin embargo, de acuerdo con Domínguez (2006) la gobernanza del agua incluye los temas relacionados con el mejoramiento institucional, los marcos legales, y la distribución de los recursos, además de los procesos y comportamientos que influyen en el ejercicio de poder y la inclusión de actores en la toma de decisiones. Al tratarse de un tema complejo, compuesto de varios elementos como los ya mencionados, implica un riesgo constante de generación de conflictos en torno al agua (por su propia naturaleza de uso común existe una amplia competencia entre los usuarios de los diferentes sectores y regiones), y son de hecho los esquemas de gobernanza los que buscan abordarlos de manera efectiva (Aguilar Benitez, 2020).

Como señala Jones (2002), se requiere enfatizar las relaciones sociales como espacio de construcción de distintas visiones del mundo, que proporcionen soluciones factibles; en este caso, para lograr los objetivos establecidos para una gestión integral y adaptativa del agua.

La socio-hidrología

El concepto de Socio-hidrología fue incorporado por primera vez por Sivapalan en el año 2012, y hace referencia a la “comprensión de la dinámica y co-evolución de los sistemas integrados humano-biofísicos”, incluyendo las diversas interrelaciones no lineales y retroalimentaciones que pueden ocurrir entre los componentes del sistema, así como las situaciones emergentes derivadas de los cambios en las normas y los valores sociales, en diferentes escalas espacio-temporales (Sivapalan y Blöschl, 2015; Sivapalan *et al.*, 2014). Estas variaciones en el sistema a menudo son factores determinantes en el surgimiento de diversas problemáticas socio-hidrológicas, que de no ser atendidas de manera oportuna pueden conducir a graves conflictos socio-ambientales (Srinivasan *et al.*, 2017).

Generalmente los modelos son creados por expertos en el tema hidrológico que los entregan a los tomadores de decisiones para que los implementen, sin tomar en cuenta las fuerzas externas sobre los recursos hídricos locales. Los modelos socio-hidrológicos dan cuenta explícitamente de la retroalimentación entre el agua y la sociedad a múltiples escalas y facilitan la participación de las partes interesadas a la hora de abordar estas preocupaciones. Así, los estudios socio-hidrológicos pueden ayudar con la gestión hídrica de tres maneras (Sivapalan y Blöschl, 2015):

1. Facilitando la participación de los actores involucrados.
2. Ayudando a los tomadores de decisiones a través de la generación y evaluación de futuras alternativas.
3. Aprendiendo de las experiencias de otros lugares similares y avanzar hacia generalizaciones más allá de los casos individuales de estudios.

La gestión del agua en México

El conjunto de aspectos que rodean a la gestión del agua en México resulta especialmente importante para determinar la viabilidad de las acciones emprendidas desde varios sectores sociales (usuarios del agua, organizaciones de la sociedad civil, productores, comunidades, etc.), así como de las instituciones públicas.

La gestión del agua en México está instituida por medio de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), la cual es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. Tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo sustentable y propone la gestión integral en cuencas hídricas por medio de instituciones reconocidas como consejos de cuencas. En esta ley se menciona que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAT encargado de ejercer las atribuciones técnicas, normativas y consultivas referentes a la gestión del agua de la federación (DOF, 2004).

La LAN se basa en el principio de GIRH; sin embargo, su instrumentación aún muestra una fuerte intervención en los procesos del ciclo hidrológico, que afecta la calidad y disponibilidad del recurso (Romero y Olvera, 2019). Asimismo, pone en evidencia una política “ofertista” con base en la construcción de grandes obras de infraestructura para el abasto, dejando de lado el cuidado de las fuentes propias. Estos hechos generan desigualdades sociales y una sobreexplotación de los recursos hídricos (Olvera-Molina, 2016).

El marco normativo federal del sector hídrico es más amplio que la LAN y su Reglamento. La Ley Agraria, la Ley Federal de Derechos y la Ley General de Salud también contienen disposiciones alrededor del agua de uso personal y doméstico, así como de los servicios públicos (Zamudio, 2020).

La cuenca hidrográfica en la GIRH

La cuenca hidrográfica es el espacio territorial delimitado por la línea divisoria de aguas (parteaguas) que se forma a partir de los puntos más altos de las montañas y que capta y concentra el agua que proviene de las precipitaciones (Cotler *et al.*, 2013). En la cuenca se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto en común, que puede ser un lago o laguna (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica) (Cotler *et al.*, 2013; DOF, 2004).

La cuenca hidrográfica, es un socioecosistema considerado como la unidad territorial más adecuada para la GIRH, ya que en estos territorios las interacciones sociedad-naturaleza se desarrollan en un espacio en particular bajo un contexto socio- ambiental determinado por las dinámicas que emergen de los subsistemas biofísico, socio-político-cultural, y económico-productivo, los cuales varían a través de escalas espaciales y temporales (Cotler *et al.*, 2013; Sánchez Vélez *et al.*, 2003; Dourojeanni, *et al.*, 2002).

Las cuencas están organizadas jerárquicamente, de tal forma que pueden subdividirse en subcuencas y microcuencas dependiendo de los objetivos, del problema o los problemas que se busquen resolver y de los alcances del manejo y gestión, ya que esta subdivisión permite el establecimiento de estrategias a diferentes escalas espaciales y temporales (Cotler *et al.*, 2013; Sarukhán y Maass, 1990).

La dinámica hidrológica es distinta a lo largo de la cuenca, por lo que se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas, las cuales se describen a continuación (Cotler *et al.*, 2013; Garrido *et al.*, 2010):

1. Cuenca alta, cabecera o zona de captación. Son áreas aledañas al parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad.
2. Cuenca media, zona de transición o zona de almacenamiento. En esta zona los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca; es un área de transporte y erosión que se da en la transición de la zona alta y baja de la cuenca.
3. Cuenca baja, zona de emisión o zona de descarga. Es el sitio donde el río principal desemboca en un lago, laguna o el mar. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros, es muy productiva para el uso agrícola y es donde se acumulan los impactos de toda la cuenca.

La cuenca del río Cuitzmala

La cuenca del río Cuitzmala (RC) se localiza al noreste de la Sierra Madre del Sur en el estado de Jalisco. Sus límites geográficos son 19° 29' y 19° 34' de latitud norte y 104° 58' y 105° 04' de longitud oeste (Cotler y Lazos, 2020). Cuenta con una superficie aproximada de 1,080 km² (DOF, 2018) y pertenece a la Región Hidrológica número 15 (RH15) Costa de Jalisco (SINA, 2021). El cauce principal de la cuenca es el río Cuitzmala, con una longitud estimada de 105 km, que se origina en las derivaciones del cerro Bramón a 1,770 msnm y desemboca en el océano Pacífico, cerca de las localidades de Cuixmala, Francisco Villa y Emiliano Zapata, Jalisco (SARH, 1969).

La cuenca tiene suficiente disponibilidad hídrica (DOF, 2018), por lo que es considerada una Reserva de Agua estratégica para satisfacer la demanda hídrica de la región, y de lugares adyacentes. A nivel local la demanda se caracteriza por el incremento en las actividades turísticas y el crecimiento poblacional, a nivel regional el crecimiento de la demanda urbana y de la frontera agrícola caracterizada por el modelo agroexportador de las explotaciones agrícolas, estresan la disponibilidad local y requieren de estrategias para garantizar la seguridad hídrica, por lo que la planeación a corto, mediano y largo plazo del uso del agua en la cuenca es de suma importancia.

Aunque la ganadería ha propiciado la transformación de la selva en praderas ganaderas, gran parte de la superficie se encuentra cubierta por el bosque tropical seco, con cerca del 40% de su territorio en régimen de propiedad ejidal y, de éstas, la mitad son tierras de uso común (RAN, 2021). La baja densidad poblacional, que ahí se asientan, tiene relación directamente proporcional con la calidad del agua por lo que sus aguas son apreciadas por los núcleos de población mayores como Villa Purificación, que la tienen como su fuente de abasto estratégica para el mediano plazo.

El relieve es predominantemente montañoso (85% del área de la cuenca), con pendientes mayores al 10%, formada por rocas ígneas intrusivas y extrusivas (80%) y, en menor proporción, sedimentarias (20%) (Meléndez, 1999; De Ita, 1983). Los suelos predominantes en la región son del tipo Regosol éutrico, característicos de las superficies con mayor pendiente (INEGI, 2007).

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 25.6 °C y la precipitación media anual de 834 mm, pero con un periodo bien marcado de lluvias durante los meses de junio a octubre, seguido por otro periodo de intensa sequía durante los meses de febrero a abril (Maass *et al.*, 2018).

En cuanto a la cobertura vegetal, la superficie se distribuye de la siguiente manera: bosque tropical seco con diferentes grados de conservación (47%), praderas inducidas (31%), bosques templados (18%); el 4% restante está ocupado por superficies netamente agrícolas y de vegetación acuática (INEGI, 2017). El uso del suelo es principalmente de tipo agropecuario, en la parte baja de la cuenca se encuentra la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, un área natural protegida con una extensión de 131.4 km² (DOF, 1993). La tenencia de la tierra es federal, ejidal, comunal y privada (RAN, 2021). Dentro de las principales actividades productivas se encuentran las del sector agropecuario y el turismo (IIEG, 2019a y 2019b).

La cuenca está asentada en los municipios de La Huerta (en la zona costera) y de Villa Purificación (en la parte alta y media de la cuenca), con alrededor de 90 comunidades rurales, sumando un aproximado de 8,300 habitantes. El 36.5% de población en La Huerta y el 57.6% en Villa Purificación viven en condiciones de “pobreza multidimensional”, es decir, no tienen un ingreso suficiente para satisfacer sus necesidades básicas y presentan al menos una carencia social en cuanto a: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y servicios básicos en la vivienda o acceso a la alimentación (CONEVAL, 2016).

CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO SOCIO-HIDROLÓGICO PARTICIPATIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA

1.1. RESUMEN

La cuenca del río Cuitzmala, Jal., se ubica en una de las regiones hidrológicas prioritarias del país, cuyas características unidas al crecimiento demográfico ponen en riesgo la satisfacción de las necesidades de agua básicas de la población. El presente trabajo tiene por objetivo identificar los problemas socio-hidrológicos y las principales estrategias de autoorganización implementadas por los actores, así como su grado de importancia. El proceso metodológico se realizó bajo un enfoque de Gestión Adaptativa, usando como principal fuente de información las experiencias proporcionadas por actores clave a través de la aplicación de entrevistas semiestructuradas. Se identificaron 12 actores en total, de los sectores público, privado y de la sociedad civil, con diferentes grados de influencia en la gestión local del agua. Las problemáticas y estrategias de autoorganización identificadas se agruparon en seis categorías: accesibilidad, contaminación, eventos meteorológicos extremos, gobernanza, participación comunitaria, entre otros. Los problemas de acceso al agua estuvieron de manifiesto en el 100% de los entrevistados, lo que podría agravarse debido al incremento del turismo y la actividad agrícola. El diagnóstico realizado plantea la importancia de cambiar las formas de gestión del agua en México hacia una gestión integral y adaptativa, para garantizar su disponibilidad y sustentabilidad a largo plazo.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Actores sociales, Gestión adaptativa, Organización autogestiva.

1.2. ABSTRACT

The Cuitzmala river watershed is located in one of the priority hydrological regions of the country whose characteristics added to the demographic growth in the last years puts at risk the basic needs satisfaction of the population. This investigation has the goal to identify the socio hydrological problems and the main strategies of auto-organization implemented by Stakeholders and the degree of importance. The methodological process was implemented by a scope of adaptive management using as principal source of information the experiences provided by key Stakeholders through semi-structured interviews. A total of 12 Stakeholders were identified, from the public, private and civil society sectors, with different degrees of influence on local water management. The problems and self-organization strategies identified were grouped into six categories: Accessibility/ Pollution/ Extreme weather events/ Governance/ Community participation/ Others. The problems of access to water were evident in 100% of the interviewees, which could be aggravated due to the increase in tourism and agricultural activity. The carry out diagnosis raises the importance of changing the ways of water management in Mexico towards an Integral and Adaptive Management, this in order to guarantee its availability and sustainability in the long term.

Keywords: Hydrographic basin, Stakeholders, Adaptive management, Self-managed organization.

1.3. INTRODUCCIÓN

La situación actual del agua en el mundo enfrenta problemáticas relacionadas con la disponibilidad, la contaminación, y la desigualdad en su distribución y uso (CONAGUA, 2018). El agua es considerada uno de los recursos naturales estratégicos para las naciones, por lo que su gestión está determinada por diferentes relaciones de poder (Díaz, 2018) que, tradicionalmente, se han basado en un enfoque de predicción y control que ha llevado a la centralización del recurso (Pahl-Wostl *et al.*, 2006).

Las relaciones sociales que se articulan alrededor del agua se han vuelto cada vez más complejas debido a las disputas entre los niveles de gobierno, los organismos operadores, y las comunidades o grupos en resistencia que mantienen una constante relación de tensión (Díaz, 2018). De ahí que diversos tratados internacionales reafirman el derecho humano al agua y al saneamiento en el contexto de las estrategias para el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Rahaman y Varis, 2005). Así surgen modelos alternativos de gestión hídrica a nivel de cuenca hidrográfica que buscan considerar las aportaciones de usuarios y actores con incidencia local en la toma de decisiones, entre ellos se cuenta a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) (Pochat, 2008) y la Gestión Adaptativa (GA) (Pahl-Wostl, 2020; Pahl-Wostl, 2007; Pahl-Wostl *et al.*, 2006).

La GIRH, desde un contexto económico y social, promueve la gestión y el desarrollo del agua, el suelo y los recursos relacionados, para maximizar los beneficios de forma equitativa buscando garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000); por otro lado, la GA se refiere al proceso sistemático para mejorar las políticas y las prácticas de gestión del agua, mediante el aprendizaje que resulta de las estrategias implementadas (Pahl-Wostl, 2020; Pahl-Wostl, 2007; Pahl-Wostl *et al.*, 2006).

Estos conceptos se retoman en la Socio-hidrología (SH), cuando propone el estudio y comprensión de la dinámica y co-evolución de los sistemas acoplados entre la humanidad y el agua, incluyendo las diversas interrelaciones no lineales y retroalimentaciones que pueden ocurrir entre los componentes del socioecosistema (Ortega *et al.*, 2014). La SH aporta elementos para mejorar la toma de decisiones y ejecución del proceso de manejo del agua, puesto que también atiende las situaciones

emergentes derivadas de los cambios en las normas y los valores sociales, en diferentes escalas espacio-temporales (Sivapalan y Blöschl, 2015; Sivapalan *et al.*, 2014).

Bajo ese marco conceptual, es importante continuar avanzando hacia el desarrollo de estudios inter y transdisciplinarios, que valoren los aspectos biofísicos del ciclo hidrológico y su vinculación con la sociedad con la que interactúa directa e indirectamente (Ortega *et al.*, 2014). En particular, los aliados estratégicos son los habitantes de las cuencas que conforman núcleos de personas que residen en áreas rurales dispersas y comunidades dedicadas a la agricultura familiar, que se encuentran más susceptibles a la escasez y mala calidad del agua (Orozco y Quesada, 2010).

Una manera de involucrar a los actores sociales es a través de conocer su percepción sobre la problemática hídrica del entorno, así como la capacidad de reacción y disposición para involucrarse en la gestión. La entrevista semiestructurada es un instrumento para acceder a los actores locales y sus puntos de vista. Se caracteriza por facilitar la comunicación directa, así como por la posibilidad de aclarar dudas y obtener datos complementarios en caso de ser necesario, siendo apropiada para obtener rasgos sobre hechos que permitan realizar análisis posterior, así como captar percepciones o emociones de los entrevistados (Monje, 2011). Las técnicas de aplicación de las entrevistas difieren en función del objeto de estudio, pero es el método cualitativo en cadena o “bola de nieve” (Sandoval, 2002) el que se prefiere cuando se desconoce el entramado social y las relaciones de poder del objeto de estudio, porque permite un crecimiento sostenido de actores hasta lograr la saturación teórica.

La información proporcionada por los actores locales considerados informantes clave, permite entender la problemática hídrica y constituye un insumo valioso para la gestión del agua. Por ello, la presente investigación pretende identificar los lazos entre la problemática hídrica y social para conocer las problemáticas, estrategias de autoorganización adoptadas, su grado de importancia, así como las relaciones del tejido social en torno al agua, con la finalidad de garantizar su disponibilidad y equidad en el largo plazo.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Área de estudio

La cuenca del río Cuitzmala (RC) se localiza en el estado de Jalisco, al noreste de la Sierra Madre del Sur (Figura 2). Tiene una superficie de 1,080 km² (DOF, 2018) y pertenece a la región hidrológica número 15 (RH15): Costa de Jalisco (SINA, 2021). Mediante el empleo de un modelo digital de elevaciones, con resolución espacial de 15m (INEGI, 2013), se delimitó y dividió la cuenca en diez subcuencas a través del módulo de delimitación de cuencas del modelo SWAT para QGIS (versión QSWAT 1.1.1) considerando como punto de salida las coordenadas 19° 21' 43.2" de latitud norte y 104° 59' 42" de longitud oeste.

Es una cuenca exorreica con elevaciones de 0 a 1770 metros de altitud (SARH, 1969). La mayor parte de la superficie de la cuenca está dominada por relieve montañoso con pendientes mayores al 10%, en donde predominan los suelos de tipo regosol (INEGI, 2007).

La cuenca presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un valor medio anual de 25.6 °C. La precipitación en la zona es fuertemente estacional, con un periodo bien marcado de lluvias durante los meses de junio a octubre, seguido por otro periodo de intensa sequía durante los meses de febrero a abril. En la Costa de Jalisco, en particular en la Estación de Biología Chamela, se ha encontrado, cada vez con mayor frecuencia, una fuerte influencia de canículas (periodo de sequía en medio de la época húmeda) que afectan la disponibilidad de agua para las actividades productivas y el consumo humano; aun así, el valor de precipitación media anual es de 834 mm (Maass *et al.*, 2018). La distribución anual, está influida por la incidencia de ciclones y tormentas tropicales con impacto directo sobre la zona de estudio y cuyos efectos se pueden observar luego de cinco años de incidencia, así como por el fenómeno de El Niño (García-Oliva *et al.*, 2002).

En cuanto a la cobertura vegetal, en la cuenca del RC predomina el bosque tropical seco (con diferentes grados de conservación), que se extiende por aproximadamente el 47% del territorio, le siguen las praderas ganaderas inducidas (31%), los bosques templados

(18%), y solo el 4% restante está ocupado por terrenos netamente agrícolas y vegetación acuática (INEGI, 2017). El uso del suelo es principalmente de tipo agropecuario (INEGI, 2017); dentro de las principales actividades productivas se encuentran la ganadería, la agricultura y el turismo (IIEG, 2019a y 2019b). La tenencia de la tierra es federal, ejidal, comunal, y privada (RAN, 2021). Hacia la parte baja de la cuenca se encuentra la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, un área natural protegida con una extensión de 131.4 km² (DOF, 1993).

Es una cuenca con baja densidad poblacional pues habitan poco más de 8,300 habitantes. Administrativamente, se ubica en los municipios de La Huerta (desembocadura y parte media) y Villa Purificación (parte media y alta), que suman cerca de 90 asentamientos rurales. El 36.5% de población en La Huerta y 57.6% en Villa Purificación viven en condiciones de “pobreza multidimensional” (CONEVAL, 2016). Del municipio de La Huerta, las mayores localidades por cantidad de habitantes son Francisco Villa y Emiliano Zapata, situadas muy próximas entre sí y ubicadas en la parte baja de la cuenca sumando más de 2,000 habitantes; por el lado de Villa Purificación, en la parte alta de la cuenca, los mayores asentamientos son: Pabelo, La Eca, San Miguel y Jirosto, que juntos suman 1,312 habitantes en localidades alejadas entre sí (INEGI, 2021). La cabecera municipal de Villa Purificación se ubica en el parteaguas y la población asentada en la cuenca es de aproximadamente 2,500 habitantes. Los servicios públicos urbanos son evidentes solo en Villa Purificación, Emiliano Zapata y Francisco Villa.

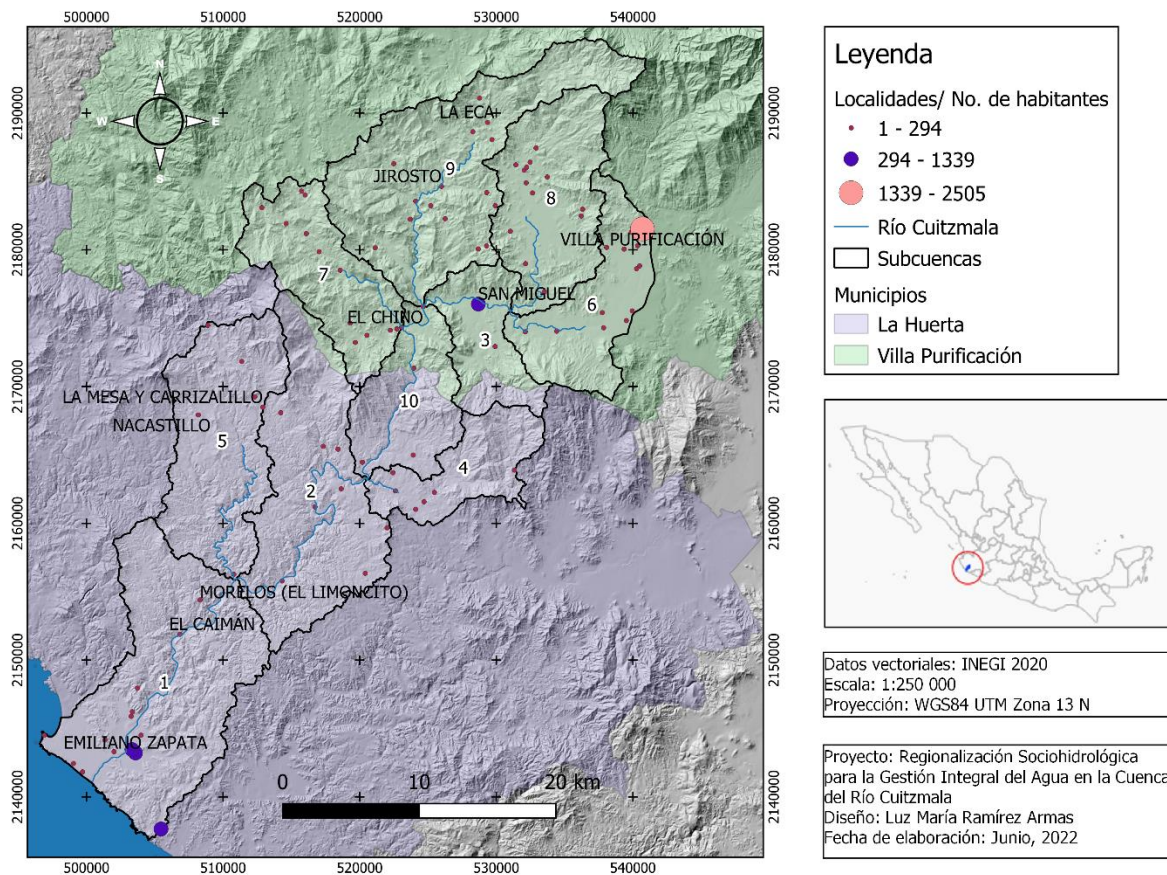


Figura 2. Ubicación, localidades y número de habitantes por subcuenca. Fuente: elaboración propia (2022), con base en datos del portal del INEGI (2020).

1.4.2. Colecta de información

En recorridos por la cuenca y buscando representatividad por cada una de las subcuencas, se realizaron entrevistas semiestructuradas con preguntas abiertas para conocer sus experiencias en cuanto a los problemas y estrategias de autoorganización relacionadas a la gestión local del agua, así como su participación en la solución de los conflictos y los principales acuerdos tomados para su uso. Se realizaron dos recorridos de campo, el primero en el verano de 2020 para establecer contacto con las autoridades de las comunidades de mayor población y en el verano de 2021, cuando se llevaron a cabo las entrevistas.

Se realizó un muestreo no probabilístico, bajo el criterio de conveniencia (Hernández-Samperi *et al.*, 2014), tomando las unidades de muestreo accesibles en función de la

disponibilidad de recursos (monetarios, humanos y tiempo), así como la seguridad de los investigadores en campo. Para la aplicación de entrevistas se utilizó el método cualitativo en cadena o “bola de nieve” (Sandoval, 2002), el cual inició abordando un caso perteneciente al grupo del marco muestral que llevó al siguiente y así sucesivamente hasta lograr la saturación teórica.

1.4.3. Procesamiento de datos

Como una primera etapa, se realizó un mapeo de actores a partir de la observación, aplicación de entrevistas semiestructuradas y revisión bibliográfica. Una vez identificados, los actores fueron clasificados en tres grupos de acuerdo con su nivel de influencia y poder en la gestión local del agua: los actores estratégicos (tienen alto poder de decisión y generan movilizaciones sociales), los actores relevantes (tienen poder medio de decisión y dinero y se ven involucrados en algunas instituciones) y los actores secundarios (tienen bajo poder para cambiar las reglas y los procesos establecidos), esto de acuerdo con la metodología del marco analítico de la gobernanza (MAG).(Hufty y Guardiola, 2006).

Los datos obtenidos en las entrevistas fueron sistematizados conforme al método comparativo continuo (Strauss y Corbin, 2002), el cual consistió en la construcción de seis categorías de problemas y estrategias de autoorganización (Accesibilidad/ Contaminación/ Eventos meteorológicos extremos/ Gobernanza/ Participación comunitaria/ Otros). Se incluyó una calificación de importancia para los elementos mencionados, de acuerdo con los siguientes valores numéricos: 1) nada importante, 2) poco importante, 3) moderadamente importante, 4) importante y 5) muy importante.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1. Mapeo de actores

Se identificaron 12 actores sociales de mayor relevancia involucrados en la gestión del agua a lo largo de la cuenca: 5 del sector de la sociedad civil, 6 del sector público y 1 del sector privado. Estos actores se clasificaron de acuerdo a su grado de influencia (alto,

medio o bajo) en la gestión del agua, con base en la metodología MAG (Hufty y Guardiola, 2006) como se aprecia en el Cuadro 1.

Actores con alto grado de influencia. En la mayoría de las subcuencas los ejidatarios cooperan en la administración del agua, ya sea a través del comisariado, los delegados municipales o por su participación en los comités de agua, mismos que no están presentes en todas las comunidades. En su mayoría, su organización es autogestiva, actúan con recursos propios, no interviene el gobierno en la toma de decisiones y cuentan con suficiente poder para promover movilizaciones sociales.

Un caso particular de alta influencia es el complejo turístico Cuixmala (en la subcuenca 1), el cual se percibe por los pobladores como un actor con alto poder económico y aliado con miembros del sector público. Son evidentes las relaciones de conflicto con actores de la sociedad civil (cooperativa pesquera, encargados de agua, agente municipal y con usuarios agropecuarios y domésticos) y con la CONANP por el uso desmedido que hace del agua para satisfacer la prestación de servicios turísticos de alta demanda de recursos hídricos (Rienschke *et al.*, 2015; Tello, 2013).

Actores con medio grado de influencia. Los usuarios agropecuarios (ganaderos, agricultores y pescadores) son actores relevantes, ya que, a través de las asambleas, toman decisiones importantes respecto a la distribución del agua disponible en los pozos y manantiales, existiendo en algunos casos el acaparamiento del agua.

Aunque la mayoría de los usuarios se organizan de manera independiente, el gobierno municipal es quien tiene, como parte de sus funciones, el aprovisionamiento de servicios de agua segura para la población y la administración del presupuesto público municipal designado a obras e infraestructura hidráulica; pero sólo ocasionalmente otorga apoyos financieros a los usuarios cuando éstos los soliciten y mantiene una relación indirecta con la sociedad civil a través del agente municipal.

La Comisión Estatal del Agua Jalisco (CEA) se relaciona en directo con los gobiernos municipales de La Huerta y Villa Purificación, pues es quien autoriza la ejecución de obras hidráulicas en todo el estado y se encarga del otorgamiento de concesiones y capacitaciones a los usuarios agropecuarios y no agropecuarios (CEA Jalisco, 2021). Sin

embargo, según lo mencionado en las entrevistas, existe una relación de conflicto entre la CEA y el municipio-usuarios locales, debido a la falta de atención a sus solicitudes. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es un actor a nivel federal que, aunque no mantiene una relación directa con los usuarios locales de la cuenca, se mantiene en el ideario colectivo como la entidad que rige la gestión del agua en todo el país (DOF, 2004).

Existen actores localizados en puntos particulares de la cuenca. Por ejemplo, en la parte baja se encuentra la Cooperativa Pesquera de Cuitzmala, un actor no gubernamental que influye medianamente en la gestión del agua a la desembocadura del río. Entre sus funciones está la conservación del RC como fuente de producción de peces de agua dulce y organizar los roles de pesca en el cuerpo de agua. Los actores del ámbito académico se encuentran ubicados fuera de la cuenca, a la altura de la parte baja y, mediante procesos de investigación científica de académicos y sus estudiantes (principalmente en la Estación de Biología Chamela de la UNAM), se han encargado de promover el manejo racional y sostenible agua, así como su protección y conservación a través de estudios a largo plazo (López Tapia *et al.*, 2008) y cómo se podrían incorporar estos conocimientos a las políticas públicas de la región (Juárez Hernández, 2021). Esta institución mantiene una relación directa con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) a través de la Reserva de la Biósfera Chamela- Cuixmala.

Actores con bajo grado de influencia. En este caso se refiere a los usuarios pobladores no organizados.

Cuadro 1. Actores sociales en la cuenca del RC y su grado de influencia actual en la gestión del agua.

Nivel de organización	Sector	Actor	Rol del actor	Grado de influencia
Local	Sociedad civil	Pobladores no organizados	● Preservación de las fuentes de agua. ● Preservación de la identidad y las tradiciones respecto al manejo del agua.	Bajo
	Sociedad civil	Comités de agua/ Encargados de agua	● Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica. ● Cobro y administración de las tarifas de agua. ● Distribución equitativa del agua a los usuarios ● Preservación de las fuentes de agua. ● Participación activa e influencia permanentemente en la gestión del agua.	Alto
	Sociedad civil	Comisariado ejidal	● Protección del recurso hídrico para su uso en actividades agrícolas	Alto
	Sociedad civil	Productores Agropecuarios (Agricultura, ganadería y pesca)	● Protección del recurso hídrico para su uso en actividades agrícolas	Medio
	Sociedad civil	Asociación pesquera	● Protección de fuentes de producción pesquera	Medio
	Privado	Complejo turístico Cuixmala	● Protección del recurso hídrico para su uso en actividades agrícolas	Alto
	Público	Agente municipal	● Protección del recurso hídrico.	Medio

Nivel de organización	Sector	Actor	Rol del actor	Grado de influencia
	Público	Municipio	• Aprovechamiento de servicios de agua segura para la población. • Participación en la gestión del agua. • Administración de la inversión pública regional en infraestructura hidráulica	Medio
	Público	Universidades	• Investigación y formación profesional. • Educación ambiental para la conservación de los RN	Medio
Estatat	Público	Aguas del estado	• Autorización de ejecución de estudios, obras y capacitación. • Otorgamiento de licencias de uso de agua.	Medio
Federal	Público	CONAGUA	• Dirección en la gestión de los recursos hídricos en el marco de las políticas y normas dictadas por la Ley General del Agua	Medio
	Público	CONANP	• Promoción y aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales a nivel del ANP Chamela-Cuixmala	Medio

Fuente: elaboración propia con los datos recopilados en el presente estudio

Las relaciones existentes entre los diferentes actores y su grado de interacción varían a lo largo de la cuenca. Ello provee una imagen heterogénea sobre las relaciones entre la población y su entorno hídrico, particularmente el grado de influencia que tienen los actores en la gestión del agua en la cuenca, tanto en la percepción de usuarios en general, como en la capacidad de reacción ante eventos extraordinarios

Los vínculos entre los actores obedecen a su naturaleza y tipo de actividades por las que surgieron. En general, se percibe una relación conflictiva de la mayoría de ellos en torno al complejo turístico de Cuixmala. En algunas ocasiones, los informantes locales evitan hablar del tema por temor a represalias pues perciben cooptación de actores locales relevantes en la defensa de sus actividades (Figura 3).

Los resultados coinciden con el estudio hecho por Castillo y colaboradores (2005), quienes encontraron que los actores de la región, como ejidatarios y la industria turística, toman decisiones sobre el uso de los recursos naturales (incluida el agua) con base en entendimientos diferentes basados en sus propias necesidades. También mencionan que las diferencias de poder político y económico entre actores han influido en sus interacciones.

Sociedad civil	●
Sector Público	●
Sector Privado	●
Influencia baja	●
Influencia media	●
Influencia alta	●
Vínculo estrecho	—
Vínculo Débil	...
Relación de conflicto	- - -
Relación desconocoda	?

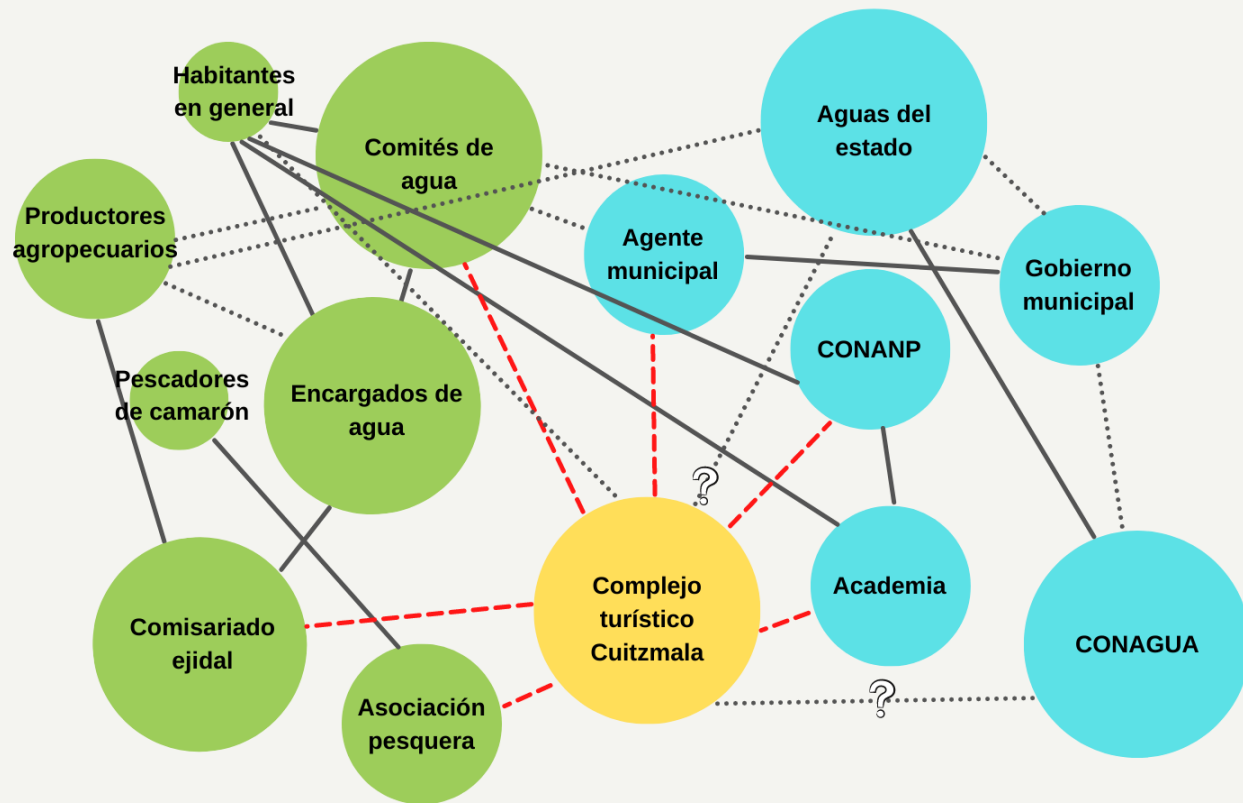


Figura 3. Mapa de actores y sus relaciones entre sí. Fuente: elaboración propia con los datos recopilados para el presente estudio.

1.5.2. Percepción sobre los problemas y estrategias de autoorganización

Los problemas detectados con la información proporcionada por los actores se agruparon en seis categorías: Accesibilidad, Contaminación de aguas, Eventos hidrometeorológicos extremos, Gobernanza, Participación comunitaria y Otros.

Accesibilidad al agua. El total de los entrevistados (26) mencionaron que han sufrido por falta de agua, tanto para sus actividades domésticas como para sus actividades productivas, siendo los meses de marzo, abril y mayo los más difíciles debido a la poca disponibilidad. Este problema se debe, entre otras cosas, al aumento de la demanda y a los cambios en la dinámica hidrológica producto de la transformación del ecosistema (Maass *et al.*, 2018), lo que ha llevado a la pérdida de la capacidad de captación y almacenamiento de agua en los ecosistemas, propiciando erosión y agua de flujo rápido en eventos comunes lo que disminuye la recarga de los acuíferos subterráneos. En algunas localidades esta situación ha provocado severas afectaciones, como la pérdida de cultivos o animales de ganado, lo cual se puede apreciar en los testimonios de los diferentes encuestados, por ejemplo: *“en las secas se acaba el agua del pozo y no alcanza, por eso mismo, hace como 2 años se me murieron varios animales de sed”* (informante de la localidad de San Miguel, subcuenca 3). Las estrategias mencionadas en esta categoría son pocas, pero cabe destacar que, en la localidad de La Meza y Carrizalillo, correspondiente a la subcuenca 5, es donde se mencionaron estrategias de mayor relevancia, como la construcción de represas que se llenan durante la época de lluvias y se utilizan principalmente como abrevaderos para el ganado en la época de secas.

Otra estrategia mencionada fue el cambio a riego tecnificado. Esto se aplica únicamente por los ejidatarios con mayores posibilidades económicas, debido a que este tipo de tecnologías requieren de una alta inversión inicial y posterior mantenimiento; sin embargo, comentan que ha funcionado favorablemente para el ahorro de agua, tal como se mencionó en la localidad de Emiliano Zapata: *“antes regábamos con agua rodada ¿cuánta agua no crees que se consumía? pero ahora ya metimos riego por aspersión y así se ahorra mucha agua, con tres horas que riegue lo que da el cañón ya dura el riego para 15 días”*.

El ayuntamiento de Villa Purificación, ha enviado diversas propuestas a los gobiernos estatal y federal para la construcción de una presa y la perforación de dos pozos más, que abastezcan a las diferentes localidades de este municipio. En voz del presidente municipal, *“la solución al problema de disponibilidad de agua es perforar un pozo”*, sin embargo, no han recibido respuesta de parte de CONAGUA.

Contaminación del agua. Seis de los entrevistados han percibido, en su comunidad, problemas relacionados a la contaminación del agua, sobre todo de los ríos. Una de las principales fuentes de contaminación que mencionaron son las aguas negras, ya que ninguna localidad de la cuenca cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales ni drenaje: *“el drenaje es algo que nos preocupa, porque como no hay donde echar las aguas, todo eso se va al río y se contamina con todas las aguas negras que van cayendo, por eso les decimos a los niños que no se bañen ahí, porque les sale un granero”* (informante de la localidad de La Eca, subcuenca 9). En respuesta a esta situación, en la cabecera municipal de Villa Purificación, las aguas negras son vertidas en parcelas no utilizadas para evitar la contaminación del río. El resto de las localidades cuentan con fosas sépticas.

Otra fuente de contaminación de agua son los agroquímicos, los cuales son utilizados sin ningún tipo de manejo, así lo mencionó un informante de la localidad de San Miguel: *“la gente rocía con químicos los potreros y todo eso llega al río y pues se va todo para abajo”*. Solo en las localidades de Emiliano Zapata y Francisco Villa mencionaron que *“evitan, en la medida de lo posible, el uso de agroquímicos”*.

El problema de la basura se mencionó, sobre todo, en las zonas con mayor número de habitantes, donde el manejo de residuos sólidos es considerado *“ineficiente”*, así lo comentaron en las localidades de Emiliano Zapata y Francisco Villa: *“aquí tenemos el problema de que la gente no entiende de no tirar basura. A pesar de que tenemos servicio de recolección, se les permite que tiren ramas y naturaleza que no contamine, pero desgraciadamente hay mucha gente tan inconsciente que lleva toda su basura al río”*. Para contrarrestar esto, en las mismas localidades realizan campañas para informar a las personas que está prohibido tirar desechos en el río, así como para difundir que cuentan con servicio de recolección de residuos en sus domicilios.

Eventos meteorológicos extremos. Para los habitantes de la cuenca, los problemas más preocupantes, derivados de los eventos meteorológicos extremos son, en un grado mayor de importancia, las sequías y, enseguida, las inundaciones. Informantes de las localidades de San Miguel y Nacastillo mencionaron que durante los años de poca lluvia se han visto orillados a modificar sus actividades productivas; aquellos que se dedicaban a la agricultura han perdido cultivos de temporal y aquellos dedicados a la ganadería se han visto en la necesidad de vender su ganado en edades juveniles para evitar que estos mueran de sed o de hambre al no tener suficiente pasto, por falta de lluvia.

En el caso de las inundaciones, habitantes de la localidad de El Limoncito, mencionaron que los pasados huracanes, Jova en 2011 y Patricia en 2015, provocaron la crecida de arroyos y con esto la inundación de algunas casas cercanas a las orillas, perdiendo con esto varias de sus pertenencias y quedando sus casas inhabitables por un tiempo, esto acompañado de bloqueos de caminos por arrastre de sedimentos y ramas, así como la incomunicación temporal debido a la caída de señales telefónicas. También, ejidatarios de Emiliano Zapata han perdido cultivos debido a inundaciones de parcelas, tal como lo comenta un informante de Emiliano Zapata: *“ahorita llueve mucho y se anega la parcela, por eso no conviene sembrar otra cosa más que forraje para darle de comer al ganado”*.

Al tratarse de situaciones que quedan fuera de su control, las estrategias implementadas son pocas y se realizan al momento. Por ejemplo, a partir de la organización comunitaria, realizan reparaciones a los caminos y a las redes de distribución de agua. Ocasionalmente reciben apoyo del municipio, quienes proporcionan maquinaria pesada para limpieza de caminos y materiales para las reparaciones, cuando se requiere.

Gobernanza del agua. Con relación a la presencia del gobierno, en los temas hídricos de la cuenca, se encontró que el principal problema que las personas perciben tiene que ver con la falta de suministro de agua potable para uso doméstico, más bien se trata de agua entubada que en la mayoría de los casos es administrada por el ejido y/o por la comunidad. Solamente en la localidad de Emiliano Zapata (a partir del año 2010), la administración del agua la lleva el municipio; sin embargo, esto conlleva diferentes inconformidades, entre las que destacan: la falta de mantenimiento a la red hídrica, los

altos costos por el servicio, y los largos tiempos de espera cuando se trata de realizar alguna reparación al sistema.

Para el tema del financiamiento, una informante de la localidad de Francisco Villa, (subcuenca 1) comentó: *“no tenemos ningún apoyo económico del gobierno, ésta es la segunda vez que viene CONAGUA con nosotros en casi 3 años, vinieron a darnos una capacitación para lo del cloro y obviamente que nosotros lo vamos a aplicar, pero hasta enero que juntemos más recursos”*. Algunos más comentaron que *“el apoyo del gobierno es con materiales como mangueras y tubos, pero la mano de obra corre a cuenta de la comunidad”* (informante de la localidad de La Meza, subcuenca 5).

En el caso de las actividades agropecuarias, comentaron haber recibido cursos de capacitación en el uso de materiales para construcción de represas, por ejemplo, con arcillas, pero esos materiales no se consiguen con facilidad y por lo tanto consideran que los cursos proporcionados les son “poco importantes”, así lo mencionó la autoridad local de la localidad de San Miguel.

Otra de las situaciones mencionadas por un informante de la presidencia municipal de Villa Purificación, se refiere a falta de apoyo de los gobiernos estatal y federal para atender la “necesidad” de construir una presa para almacenar agua y perforar “por lo menos” dos pozos más para abastecer a las localidades del municipio.

Participación y organización comunitaria. Los principales problemas que se mencionaron en cuanto a la gestión local del agua son: la poca participación comunitaria, falta de pago de la cuota anual de agua, falta de personal para mantenimiento de redes de distribución y los diferentes puntos de vista entre actores; por ejemplo, en la localidad de San Miguel un informante opinó que la solución a la escasez de agua es construir una presa, mientras que otro actor entrevistado, de la misma localidad, expresó ideas extremas pues mencionó que la solución era suspender el suministro de agua durante un mes para que las personas “aprendan a valorarla”.

Este tipo de conflictos son frecuentes en las localidades con mayor número de habitantes, tales como Emiliano Zapata, San Miguel y Villa Purificación, pues la demanda es mayor, mientras que, en localidades pequeñas con pocos habitantes, como es el caso

de El Chino, La Eca, Nacastillo, Jirosto y El Caimán, mencionaron que la organización se da con facilidad y consideran que problemas de gestión del agua a nivel local son poco o moderadamente importantes, pues de manera general, las reglas las pone el ejido y/o comunidad por usos y costumbres.

En esta categoría, la estrategia considerada de mayor importancia fue la creación de comités de agua, que varía ligeramente en su organización dependiendo de la localidad. Así mismo, en todas las entrevistas se mencionó el pago de una cuota anual, como se aprecia en la siguiente cita: *“nos cooperamos una cuota cada año para pagar a alguien que se encargue de hacer las reparaciones cuando se necesite y solo a veces el municipio nos apoya con material, pero aun así luego está difícil para ponerse de acuerdo”* (informante de la localidad El Chino, subcuenca 10).

En la localidad de la Meza, se observó una organización bastante clara, donde durante varios años la misma comunidad se ha encargado de realizar trabajos de mantenimiento al manantial que les provee de agua. Esto lo han logrado a través de la formación de grupos de trabajo conformados por cuatro integrantes de las diferentes familias, quienes se encargan de hacer los trabajos necesarios de manera turnada, como se aprecia en el testimonio: *“Para el mantenimiento nos organizamos por grupos y cada grupo paga por la reparación, aparte, cada mes o mes y medio se está lavando el pozo y se le pone cloro”*. (informante de La Meza, subcuenca 5 y 6).

Otros. Las personas entrevistadas mostraron estar conscientes en que la pérdida de cobertura vegetal afecta la cantidad de agua disponible en los pozos y ojos de agua, por lo que la deforestación es el problema más mencionado y que consideran muy importante, como se muestra en el siguiente comentario: *“a raíz de que empezamos a pelar todos los cerros notamos un cambio en el agua que venía para acá, era un manantial que nos abastecía a todos, pero desde que empezaron a quitar el monte de ahí cerca ya no nos alcanza”* (informante de la localidad de San Miguel, subcuenca 3).

Como estrategia, hay algunos ejidatarios que están dispuestos a permitir la revegetación: *“tengo mi reserva de monte y no me interesa destruirla ahorita”* (informante de la localidad de El Chino, subcuenca 10), pero esto es una solución a corto plazo o *“mientras se*

pueda”, ya que las actividades de ganadería se basan en el cambio de uso de suelo de selva a potreros, y no están dispuestos a sacrificar su fuente de ingresos: “ya se ha dicho que no está bien pelar los potreros, porque también se ocupa para que llueva, pero no siempre se puede, porque si no también ¿de dónde va a sacar uno? Aquí es zona ganadera y por eso se han aumentado los pastizales” (informante de la localidad El Limoncito, subcuenca 1).

Otro problema mencionado es la erosión del suelo, lo cual los hace sentir “inseguros” ante un desastre provocado por el deslave de cerros, así lo comentó un informante de la localidad de El Chino (subcuenca 10).

La pérdida de biodiversidad en ríos también fue uno de los problemas mencionados recurrentemente, específicamente hablando del langostino de río, localmente conocido como “chacal”. En la desembocadura de la cuenca existe una cooperativa pesquera y sus integrantes son quienes han sufrido más fuertemente esta problemática, como se aprecia en la siguiente cita: *“hace 50 años que yo era niña, recuerdo que mi papá decía que el río era demasiado productivo en cuestiones de peces y camarón de río, nosotros los conocemos como chococos o chacales. También había lisas, guabinas y cuatetes, eran peces grandes, pero en la actualidad ya no. Obviamente ya no respetamos las vedas, pero el problema viene desde allá* (señala la parte alta de la cuenca) *y que cada día somos más gente y que ya no alcanza la producción para todos”* (informante de la localidad de Francisco Villa, subcuenca 1).

Existen inconformidades entre los habitantes de la subcuenca 1 y las empresas de turismo de lujo, aledañas a su comunidad, pues consideran que estas últimas consumen grandes cantidades de agua: *“Si Careyes tiene un pozo de 70 u 80 m y si ellos meten un popote chupa el agua y va a llegar un día en el que nos van a quitar toda el agua”* (informante de la localidad de Francisco Villa, subcuenca 1). También se mencionó que las mismas empresas turísticas han desplazado el cauce del río Cuitzmala, artificialmente, para evitar inundaciones en sus terrenos, lo cual ha provocado que sean las casas y parcelas más cercanas al río las que se inunden cuando el nivel del agua aumenta.

La falta de conciencia ambiental es otro problema que consideran importante, al que atribuyen muchas de las situaciones difíciles que enfrentan, lo cual se puede ver en el siguiente testimonio: *“la gente rocía con químicos los potreros y todo eso llega al río, yo digo que por eso ya casi no hay chacal, pero la gente no entiende, no sabe del daño que le hace al ambiente pues, entonces yo creo que estamos condenados a quedarnos sin nada”* (informante de la localidad de San Miguel, subcuenca 3).

De manera general, las diversas relaciones entre actores y los procesos de apropiación de los recursos generan conflictos ambientales (Del Moral y Mateos, 2002), los cuales se entienden como aquellos procesos complejos que se desarrollan entre los actores sociales al existir posturas incompatibles respecto a un tema particular (PNUD México-INECC, 2017), en este caso se observa por la opinión generalizada respecto al complejo turístico Cuixmala y su relación con el agua así como por las luchas de poder entre esta entidad y los pobladores circundantes. A partir del diagnóstico socio- hidrológico hecho en este estudio, se pueden reconocer diversas incompatibilidades entre las acciones de unos y otros actores por la posesión y uso del agua para el desarrollo de sus actividades. Existe entre los pobladores locales una visión del sistema socio-hidrológico como un ambiente difícil debido a la alta variabilidad climática y el escaso apoyo del gobierno, lo cual no ha permitido que logren la satisfacción de necesidades básicas en cuanto a cantidad y calidad del agua, así como el saneamiento (CONAGUA, 2011), lo que a su vez no les permite a las familias campesinas tener una calidad de vida digna y sustentable.

Por otro lado, el acceso al agua es diferencial; mientras en los complejos turísticos cuentan con agua ilimitada durante todo el año, en los hogares y ejidos la falta de agua para el uso doméstico y para las actividades productivas es un problema que se agudiza durante los meses de secas (Castillo *et al.*, 2009), lo cual es más grave en lugares de mayor densidad poblacional; por ello, las asociaciones específicas de los actores entorno a la fuente de agua así como la comprensión de sus interrelaciones podrían ser de importancia para los tomadores de decisiones (Gómez *et al.*, 2019) y representa una veta de oportunidad para la gestión del agua a nivel de toda la cuenca RC.

Aunque en los órganos de gobierno reconocen el valor esencial del agua y la necesaria comprensión de las relaciones locales, se recurre al modelo de gestión tradicional, pues consideran que la solución al problema del agua es la construcción grandes obras hidráulicas, sin considerar los posibles impactos ambientales, ya que alteran los flujos de agua, bloquean las rutas de migración de los peces, devastan los hábitats de las especies en peligro de extinción y atrapan los sedimentos ricos en nutrientes y necesarios para reabastecer a los deltas río abajo (Castillo *et al.*, 2009). Este es un claro ejemplo de cómo el gobierno, a través de contradicciones como ésta, puede constituirse en el principal generador de conflictos socioambientales. Por ello, es urgente promover alianzas entre diferentes sectores sociales, el sector privado, las comunidades y los diferentes niveles de gobierno, que contribuyan a la creación de nuevas instituciones para aumentar las decisiones colaborativas y facilitar la participación pública, como los Comités de Cuenca, los Observatorios Ciudadanos del Agua y los Consejos Consultivos (Cotler *et al.*, 2022).

Por estas razones es necesario cambiar los modelos actuales de gobernanza y gestión hídrica en la cuenca del RC hacia el enfoque integral y adaptativo. Es decir, incluir mecanismos, procesos y espacios donde los ciudadanos participen y puedan expresar sus intereses, ejerzan sus derechos y donde se resuelvan sus diferencias. Estos procesos deben expresarse mediante marcos políticos, jurídicos, estrategias y planes de acción, para lo cual, el presente trabajo representa una base inicial hacia la transición. Involucrar a todos los actores interesados en la toma de decisiones significa no sólo escuchar sus puntos de vista, sino lograr que sus argumentos influyan efectivamente en la toma de decisiones. Todos aquellos miembros de una comunidad cuya vida, personal o social, se ve afectada por el manejo del agua deben ser parte de la decisión sobre la gestión del recurso.

1.6. CONCLUSIONES

El mapeo de actores (Figura 3) brinda los fundamentos para fomentar la participación social en el diseño e implementación de los proyectos, programas y/o políticas de desarrollo. Asimismo, el hecho de que la información se resume visualmente facilita la tarea de identificación de aliados y opuestos actuales y potenciales, y genera pautas para la planificación de líneas de acción estratégicas.

El mapa de actores revela las relaciones cordiales entre órganos de gobierno, la sociedad organizada y los tomadores de decisiones, pero la mayoría de los actores mostraron una relación de conflicto con el Complejo Turístico Cuixmala, debido a que sus acciones, principalmente en la parte baja, podrían provocar en el corto plazo mayores problemas de acceso al agua de consumo doméstico en cantidad y calidad, principalmente en la época de mayor demanda.

La problemática socio-hidrológica identificada, expresa, por un lado, la inconformidad social ante los usos unilaterales del agua y la débil comunicación entre los actores vinculados en la gestión; por el otro, evidencia la reconfiguración de las relaciones de poder entre las disposiciones gubernamentales y el reclamo social por la distribución eficiente y equitativa del agua. La lucha por el agua adquiere su punto más crítico al confrontar las necesidades básicas de las comunidades rurales poseedoras del recurso y las demandas de una población urbana en aumento.

Los problemas de acceso al agua estuvieron de manifiesto en el 100% de los entrevistados, lo que podría agravarse de conformidad con los actuales procesos de incremento de la actividad turística y ampliación de la frontera agrícola. Por otro lado, los eventos hidrometeorológicos extremos traen consigo inundaciones y pérdida de propiedades, lo que contribuyen a incrementar la pobreza en la región; sin embargo, no se encontraron evidencias entre los pobladores de acciones encaminadas a prevenir daños por estos eventos, puesto que la captación de agua para uso doméstico y acciones para prevenir la erosión están pobremente arraigadas.

CAPÍTULO II. PRIORIZACIÓN DE ÁREAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA

2.1. RESUMEN

En la cuenca del río Cuitzmala (RC), el agua para consumo humano está limitada debido al crecimiento demográfico, las actividades productivas que implican una transformación de bosque original en praderas ganaderas y parcelas agrícolas, así como diversas situaciones derivadas de los efectos del cambio climático, todo lo cual constituye una fuente potencial de graves conflictos socioambientales en el corto a mediano plazo. Su abordaje requiere de nuevas herramientas de gestión que posibiliten definir prioridades y estrategias de actuación más integrales y adaptativas. El presente trabajo tuvo por objetivo priorizar las áreas (subcuencas) en donde es conveniente iniciar los procesos de co-construcción de propuestas intersectoriales, que permitan la transición hacia la gestión integral del agua en la cuenca del RC. El proceso metodológico se realizó integrando aspectos morfométricos, biofísicos y sociales. La priorización tuvo resultados disímboles: en la morfometría, cinco fueron las subcuencas de alta prioridad; en lo biofísico, fueron seis; y en lo social, fueron cuatro. Al realizar el ejercicio de síntesis considerando los tres aspectos, se identificaron sólo dos subcuencas de prioridad alta, tres de prioridad media y cinco con baja prioridad. Este modelo de regionalización es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en el ámbito local y regional. Los resultados son importantes porque contribuyen a mejorar la toma de decisiones considerando a los actores locales como aliados estratégicos en el manejo del agua a nivel de la cuenca.

Palabras clave: Río Cuitzmala, Morfometría de cuencas, Caracterización biofísica de cuencas, Socio Hidrología, Modelo hidrológico SWAT.

2.2. ABSTRACT

Water for human consumption at the Cuitzmala river basin is limited due to population growth, productive activities that involve a transformation of the original forest into cattle pastures and agricultural plots, as well as various situations derived from the effects of climate change, all of which constitute a potential source of serious socio-environmental conflicts in the short to medium term. Its approach requires new management tools that make it possible to define more comprehensive and adaptive priorities and action strategies. This study has as objective to prioritize the areas (sub-basins) where it is convenient to start the processes of co-construction of intersectoral proposals, that allow the transition towards integrated water management in the CR basin. The methodological process was carried out integrating morphometric, biophysical and social aspects. The prioritization had different results: in the morphometry, five were the sub-basins of high priority; in the biophysical, there were six; and in the social, there were four. When carrying out the synthesis exercise considering the three aspects, only two sub-basins of high priority, three of medium priority and five of low priority were identified. This regionalization model is a support tool for decision-making at the local and regional level. The results are important because they contribute to improvement on decision-making considering local actors as strategic allies in water management at the basin level.

Key words: Cuitzmala River, Morphometry of basins, Biophysical characterization of basins, Sociohydrology, SWAT hydrological model.

2.3. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son unidades del territorio que drenan sus aguas de escurrimiento hacia una salida única, estructurada de manera jerárquica que funciona a diferentes niveles de organización y donde interactúan los elementos del ciclo hidrológico (Cotler *et al.*, 2013). Al interior de las cuencas se desarrollan relaciones humano-biofísicas acopladas en el espacio-tiempo que constituyen socioecosistemas (Uribe *et al.*, 2014). Así que la cuenca es un socioecosistema donde las interacciones sociedad-naturaleza se desarrollan bajo un contexto determinado por las dinámicas que emergen de los componentes biofísico, socio-político-cultural, y económico-productivo, los cuales varían a través de escalas espaciales y temporales (Cotler *et al.*, 2013; Sánchez *et al.*, 2003; Dourojeanni, *et al.*, 2002).

La morfometría de la cuenca describe las interacciones físicas de sus elementos y define las características de ésta con base en parámetros que describen su estado y evolución en el tiempo (Rai *et al.*, 2017), para conocer la temporalidad y calidad de los escurrimientos (Kulkarni, 2013; Nongkynrih y Husain, 2011). Las características edáficas influyen en la permeabilidad, con ello modifican el régimen hidrológico de las corrientes y, condicionan la infiltración y retención de humedad en el suelo. La cobertura vegetal controla la capacidad de retención, evapotranspiración y el escurrimiento dentro de una cuenca (Antonela *et al.*, 2018), presenta variaciones temporales y espaciales, que gobiernan la función de respuesta de las cuencas ante eventos de precipitación.

En el Decreto Nacional de las Reservas de Agua, la Cuenca del Río Cuitzmala localizada en la Costa Sur del estado de Jalisco, es una de las cuencas prioritarias ya que tiene suficiente disponibilidad de agua para permitir concesiones actuales y futuras (DOF, 2018). Aunque su estado de conservación ecológica es moderadamente bueno, en la región existe una fuerte presión sobre el agua a causa del crecimiento demográfico y de las dos principales actividades económicas: la ganadería y el desarrollo turístico (escasez, contaminación, deforestación, acaparamiento de agua, etc.). Aunado a esto, existen situaciones adversas derivadas de los efectos del cambio climático (alteración de los flujos de agua, tanto en cantidad como en calidad) (Murray-Tortarolo *et al.*, 2017) que

son una fuente potencial de conflictos hidro- socioambientales, en el corto y mediano plazo (Gavito *et al.*, 2014; Castillo *et al.*, 2009).

Las áreas prioritarias dentro de una cuenca son aquellas que tienen un papel especialmente importante para sus ecosistemas, sus habitantes o para ambos (Olguín y Pineda, 2010; Cotler *et al.*, 2004). Existen diferentes métodos para priorizar áreas en cuencas, según los objetivos establecidos en cada caso (Benegas y León, 2009). La priorización de áreas de intervención es importante en la formulación de estrategias de manejo, puesto que el éxito depende de la capacidad de apropiación por parte de los actores locales, quienes son los ejecutores de la mayoría de las acciones que benefician a la colectividad; pero es precisamente ésta la principal contradicción, el trabajo de pocos y el beneficio de muchos (Cortina-Villar y Soto-Pinto, 2015). Por lo que más allá de conocer las propiedades geomorfológicas y biofísicas a detalle, resulta importante incluir los conocimientos, saberes, haberes y filiaciones locales en el estudio de las cuencas, con base en la distribución territorial por subcuencas (Cotler *et al.*, 2013). El objetivo del presente trabajo fue conjuntar el conocimiento de las variables morfométricas, biofísicas y sociales para priorizar áreas de intervención que permitan mejorar la gestión del agua en la cuenca del río Cuitzmala.

2.4. MATERIALES Y MÉTODO

2.4.1. Área de estudio

La cuenca del río Cuitzmala (CRC) se localiza en el estado de Jalisco, al noreste de la Sierra Madre del Sur (Figura 4), tiene una superficie 1,080 km² (DOF, 2018) y pertenece a la región hidrológica 15 (RH15) Costa de Jalisco (SINA, 2021). El territorio comprende parte de los municipios de La Huerta (parte baja y media) y Villa Purificación (parte media y alta). Las principales actividades son la ganadería, la agricultura y el turismo (IIEG, 2019a y 2019b). La tenencia de la tierra es de tipo federal, ejidal, comunal, y privada (RAN, 2021).

La distribución de la precipitación es muy similar a la de la Estación de Biología Chamela, caracterizada por fuertes lluvias durante los meses de junio a octubre y un periodo de intensa sequía durante los meses de febrero a abril. Presenta un valor de precipitación

medio anual de 834 mm. (M. Maass *et al.*, 2018). Hay evidencia de afectaciones por el cambio climático debido a la incidencia de ciclones y tormentas tropicales, así como del fenómeno de El Niño (García-Oliva *et al.*, 2002). La disponibilidad media anual de agua en la superficie es de 229.78 millones de m³ de escurrimiento, de los cuales 13.37 millones de m³ es volumen anual de extracción concesionado (DOF, 2018).

Para las actividades productivas y consumo humano, los habitantes se abastecen de agua subterránea (pozos y manantiales/ojos de agua) y superficial (ríos y arroyos) (CONAGUA, 2019a). Entre los principales usos del agua están el agrícola, abastecimiento público e industria autoabastecida y conservación ecológica (CONAGUA, 2019b).

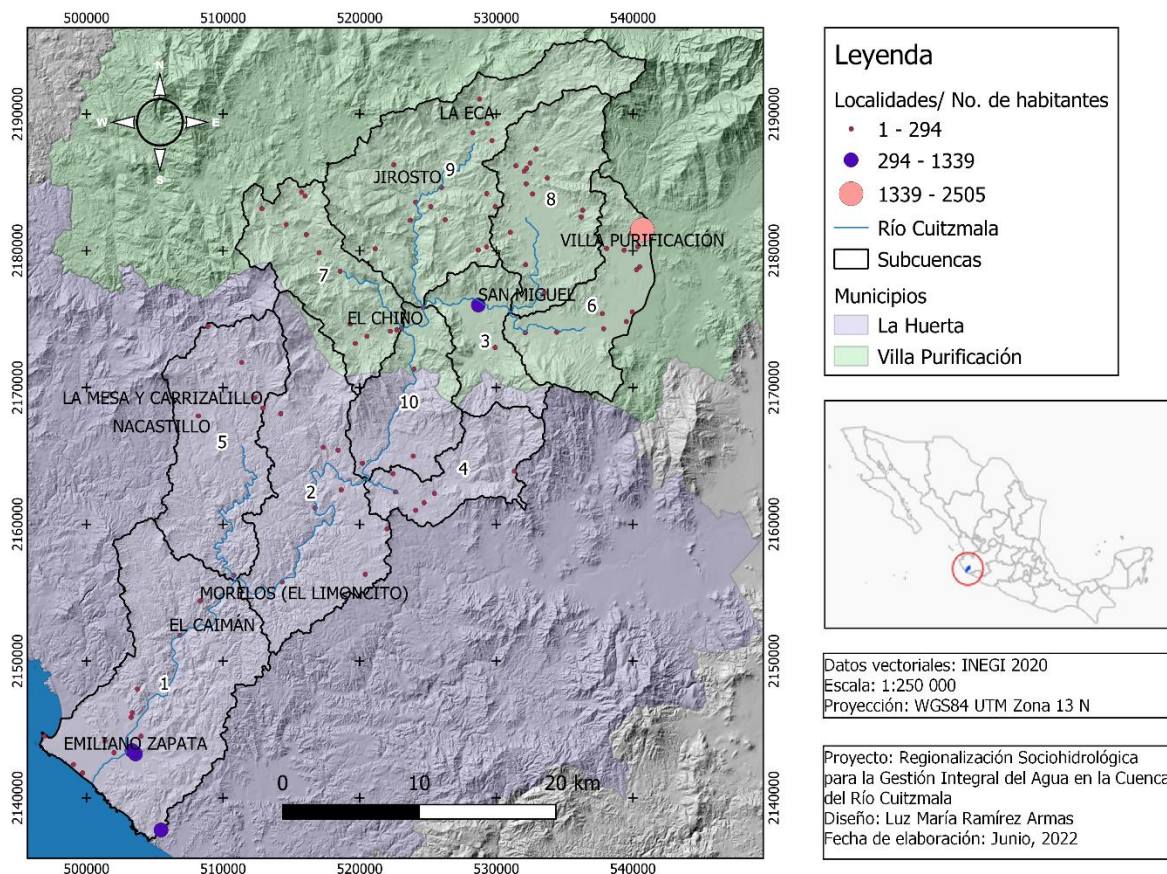


Figura 4. Ubicación de las subcuencas, localidades y habitantes.

2.4.2. Obtención y análisis de la información morfométrica

La delimitación de la cuenca del río Cuitzmala (RC) y sus diez subcuencas, se realizó a partir de un modelo digital de elevaciones con resolución espacial de 15 m (INEGI, 2013), con el uso del módulo de delimitación de cuencas del modelo SWAT para QGIS (versión QSWAT 1.1.1), considerando como salida las coordenadas 19° 21' 43.2" de latitud norte y 104° 59' 42" de longitud oeste. Con esta misma herramienta, se obtuvieron los parámetros morfométricos generales de las subcuencas, que se usaron para calcular los parámetros lineales y de forma (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fórmulas para el análisis morfométrico de las subcuencas.

Parámetros		Fórmula	Autor
De forma			
Relación de forma	Rf	$Rf = \frac{A}{Lc^2}$	Horton (1932)
Coeficiente de compacidad	Cc	$Cc = 0.2821 + \frac{P}{A^{0.5}}$	Gravelius (1914)
Relación de circularidad	Rc	$Rc = \frac{4\pi A}{P^2}$	Miller (1953)
Razón de elongación	Re	$Re = \frac{2}{Lc} \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0.5}$	Schumn (1956)
Lineales			
Orden de corrientes	Nu	Orden jerárquico de corrientes	Strahler (1957)
Relación de bifurcación media	Rbm	Promedio de la relación de bifurcación de cada uno de los órdenes	Strahler (1957)
Tiempo de concentración	Tc	$Tc = 0.95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	Kirpich
Longitud del cauce principal	Lc		Horton (1945)
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	Dd	$Dd = \frac{Ltc}{A}$	Horton (1945)
Longitud del flujo superficial	Lg		Horton (1945)
Densidad Hidrográfica (cauces/Km ²)	Dh	$Dh = \frac{Lu}{A}$	Horton (1945)

Donde A es el área (km²); P, el perímetro (km); L_c, la longitud del cauce principal (km); L_u, el número total de cauces (adimensional.), y N_u es el número de orden.

En la priorización de las subcuencas, de acuerdo con los valores de los parámetros morfométricos, se consideraron como lineales: relación de bifurcación media (R_{bm}), densidad de drenaje (D_d), densidad hidrográfica (D_h), y longitud del flujo superficial (L_g), ya que tienen relación directa con la degradación específica de las subcuencas (López-Pérez *et al.*, 2015); por lo tanto, de los valores de los parámetros morfométricos calculados para cada subcuenca, se identificó el máximo y se le asignó el valor 1, al siguiente valor en orden descendente se le asignó el valor 2, y así sucesivamente. Los parámetros con relación a la “forma” utilizados para el análisis fueron: relación de forma

(R_f), coeficiente de compacidad (C_c), relación de circularidad (R_c) y relación de elongación (R_e). Éstos presentan una relación inversa con la degradación específica de las subcuencas (López-Pérez *et al.*, 2015); así, al valor más bajo de estos parámetros se le asignó el número 1, al siguiente valor en orden ascendente se le asignó el número 2 y así continuó.

2.4.3. Obtención y análisis de la información biofísica

Se conformó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con los datos de cobertura vegetal y uso de suelo que se obtuvieron de la Serie VI (INEGI, 2017), con el tipo de suelo a partir de la Serie II (INEGI, 2007) y se integró la pendiente media de la cuenca (P_{cm}) como elemento detonante del flujo de agua.

La priorización de acuerdo con la cobertura y uso del suelo se realizó considerando la exposición del suelo a eventos erosivos: la prioridad 1 fue para el suelo agrícola, 2 para la cobertura de praderas ganaderas, 3 para el bosque tropical seco, 4 el bosque templado y, 5 para la vegetación acuática.

El suelo se priorizó con base en la textura y su condición hidrodinámica: los suelos de textura arenosa fueron prioridad 1 por su mayor susceptibilidad a la erosión hídrica; la textura fina fue prioridad 2 debido a la baja tasa de infiltración; y prioridad 3, fue la textura media. Estos valores fueron ponderados considerando el porcentaje de cobertura por subcuenca.

Con respecto a la pendiente, la prioridad se asignó con base en los valores de la pendiente media de las subcuencas: a mayor valor de P_{cm} , mayor es la prioridad (número 1).

2.4.4. Obtención y análisis de la información social

Se realizaron 26 entrevistas semiestructuradas a actores clave, durante el mes de agosto del 2021 (ver Capítulo I). Se determinaron categorías de problemas y estrategias de autoorganización relacionados a la gestión local del agua, conforme al método comparativo continuo (Strauss y Corbin, 2002), y su importancia relativa: 1) nada importante, 2) poco importante, 3) moderadamente importante, 4) importante y 5) muy

importante. Así, se obtuvo una puntuación por cada problema P_i y por cada estrategia E_i , luego una puntuación por categoría (promedio de $P_i = P_c$ y promedio de $E_i = E_c$) y finalmente una puntuación de importancia por subcuenca [promedio de P_c (de todas las categorías) = P_s y promedio de E_c (de todas las categorías) = E_s].

La priorización con base en los aspectos sociales se realizó considerando el grado de importancia de los problemas identificados, de tal manera que se le asignó la prioridad 1 al valor más alto de P_s , al siguiente valor en orden descendente se le asignó el valor 2 y así sucesivamente. En el caso de las estrategias de organización mencionadas por los actores clave, se asignó la prioridad 1 al valor más bajo de E_s , al siguiente valor en orden ascendente se le asignó el número 2 y así sucesivamente. Como tercer elemento se consideró la población total por subcuenca, asignando la prioridad 1 a la subcuenca con mayor número de habitantes, prioridad 2 a siguiente número de habitantes, en orden descendente, hasta ordenar las 10 subcuencas.

2.4.5. Priorización de total de las subcuencas

Los diferentes parámetros se clasificaron de acuerdo con el grado de afectación en su punto de incidencia: morfométricos (grado de afectación en la degradación específica de las subcuencas), biofísicos (grado de exposición a eventos erosivos) y sociales (grado de importancia de acuerdo a la experiencia de los actores). Estos valores se promediaron para generar un valor compuesto para cada componente (morfometría: PC_m , biofísicos: PC_b , sociales: PC_s). Los valores compuestos se integraron en un valor total (PC_t) para cada subcuenca, que finalmente fueron clasificadas considerando 3 categorías de priorización: alta, media y baja, mediante el cálculo de los intervalos de clase (Ic), como se muestran a continuación:

$$Ic \text{ alto} = \left[PC_{t_{min}}, PC_{t_{min}} + \left(\frac{PC_{t_{max}} - PC_{t_{min}}}{3} \right) \right] \quad (1)$$

$$Ic \text{ medio} = \left[PC_{t_{min}} + \left(\frac{PC_{t_{max}} - PC_{t_{min}}}{3} \right), PC_{t_{min}} + 2 \left(\frac{PC_{t_{max}} - PC_{t_{min}}}{3} \right) \right] \quad (2)$$

$$Ic \text{ bajo} = \left[PC_{t_{min}} + 2 \left(\frac{PC_{t_{max}} - PC_{t_{min}}}{3} \right) + PC_{t_{max}} \right] \quad (3)$$

En donde $PC_{t_{min}}$, $PC_{t_{max}}$ corresponden a los valores del límite inferior y superior de los PC_t .

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Análisis y priorización morfométrica

Los valores cuantitativos de las características morfométricas generales se muestran en el Cuadro 3. Las áreas de drenaje de las subcuencas van desde los 56.45 a los 179.45 km², con un coeficiente de variación del 40%, con perímetros de hasta 111.40 km. Dentro de los valores morfométricos generales de las subcuencas, destaca la importancia del número de orden, se encontró que predomina el orden IV y en menor medida el V; puesto que el orden sirve para señalar el tamaño y escala de las subcuencas, esto implica a nivel de toda la cuenca que las subcuencas tienen alto potencial erosivo, de transporte de sedimentos y de volumen de escurrimientos (CEPAL, 2013). La variación en el orden y dimensiones de las subcuencas se asocia a las condiciones fisiográficas de la región.

Cuadro 3. Características morfométricas generales de las diez subcuencas del río Cuitzmala

Subc	A (Km ²)	P (Km)	Lc (Km)	Ltc (Km)	Elevación de la cuenca (msnm)			P _{lc} (%)	P _{mc} (%)	H (m)	T _c (h)	Nu
					Mín	Med	Máx					
1	143.63	97.15	21.10	197.76	9.00	134.64	482.00	0.18	13.09	473.00	8.18	5
2	158.11	111.40	23.92	171.71	39.00	296.17	1389.00	0.51	14.05	1350.00	6.02	5
3	56.45	57.40	7.44	62.31	301.00	537.53	1163.00	0.47	14.78	862.00	2.53	5
4	58.58	65.88	19.52	50.06	170.00	510.35	1064.00	2.89	13.78	894.00	2.65	3
5	126.44	87.74	29.05	138.99	39.00	324.81	1389.00	3.05	13.77	1350.00	3.52	4
6	78.94	75.17	24.39	68.40	338.00	512.14	1185.00	1.14	9.23	847.00	4.49	4
7	88.65	72.24	17.67	74.79	283.00	594.04	1258.00	1.43	17.58	975.00	3.22	4
8	105.83	72.39	24.51	109.09	338.00	564.76	1694.00	3.22	11.93	1356.00	3.03	4
9	179.45	110.17	38.08	159.11	301.00	671.91	1769.00	2.75	17.46	1468.00	4.51	4
10	73.25	58.83	18.36	71.56	170.00	436.38	1066.00	0.72	15.83	896.00	4.31	5
Min	56.45	57.40	7.44	50.06	9.00	134.64	482.00	0.18	9.23	473.00	2.53	
Máx	179.45	111.40	38.08	197.76	338.00	671.91	1769.00	3.22	17.58	1468.00	8.18	
$\bar{x}$	106.93	80.84	22.40	110.38	198.80	458.27	1245.90	1.64	14.15	1047.10	4.25	
δ	43.13	19.84	7.98	52.79	131.44	162.14	361.34	1.21	2.50	318.23	1.74	
CV	0.40	0.25	0.36	0.48	0.66	0.35	0.29	0.74	0.18	0.30	0.41	

Donde P_{lc} es la pendiente del cauce principal (%); P_{mc} , la pendiente media de la subcuenca (%); *Elev.* mín, máx, med, es la elevación mínima, máxima y media (m), respectivamente; *H*, el desnivel (m); T_c , el tiempo de concentración de Kirpich (h) de las subcuencas; Nu, el número de orden. Fuente: elaboración propia.

Las longitudes de los cauces principales (L_c) van de 7.44 a 38.08 km, pero predominan valores mayores de 15 km y menores de 30 km, con promedio de 22.4 km, el CV es de 36%, pero si se excluyen los dos valores extremos resulta de 17%, con una media muy similar, lo que implica que ocurren procesos de escorrentía rápidos en la mayoría de las subcuencas. La longitud total de cauces (L_{tc}) está entre los 50.06 y los 197.76 km. Se presentan pendientes medias de la cuenca desde 9.23 hasta el 17.58% y desniveles entre los 473 y los 1468 m, lo cual indica que existen variaciones litológicas y pendientes moderadamente importantes. Con esta información fue posible obtener los tiempos de concentración (T_c), que fluctúan entre 2.53 h para la subcuenca 3 y 8.18 h en la subcuenca 1. Aunque el tiempo de concentración es mayor en la subcuenca 1, geográficamente se ubica a la desembocadura de la cuenca, por lo que recibe las aportaciones de las subcuencas de la parte alta; en estas condiciones para eventos de lluvia extremos, la precipitación ocurrida en la subcuenca 5 estará aportando agua al cauce desde las 3.52 horas que se sumará al flujo emitido por las cuencas aledañas, provocando altos volúmenes de escurrimientos. Esta situación se vuelve especialmente crítica ante eventos ciclónicos o lluvias de muy alta intensidad que provocan escurrimientos inusitados en toda la cuenca, así que resulta de poca utilidad el largo tiempo de concentración de la subcuenca en comparación con la rápida reacción de las inmediatas.

En el Cuadro 4 se muestran los valores de los parámetros morfométricos lineales y de forma calculados para las 10 subcuencas. Los parámetros lineales involucran, básicamente, mediciones de longitud y tienen una relación directa con la viabilidad de la erosión (González, 2004).

Cuadro 4. Parámetros morfométricos lineales y de forma calculados para las subcuencas

Parámetros lineales				Parámetros de forma			
Subcuen- ca	D _d (Km/ Km ²)	D _h (Corr/ Km ²)	R _{bm}	R _f	R _c	R _e	C _c
1	1.38	1.23	3.23	0.32	0.19	0.64	2.29
2	1.09	0.89	3.40	0.28	0.16	0.59	2.50
3	1.10	0.97	2.27	1.02	0.22	1.14	2.16
4	0.85	0.80	1.55	0.15	0.17	0.44	2.43
5	1.10	1.00	1.68	0.15	0.21	0.44	2.20
6	0.87	0.89	1.69	0.13	0.18	0.41	2.39
7	0.84	0.80	8.13	0.28	0.21	0.60	2.16
8	1.03	0.88	2.02	0.18	0.25	0.47	1.99
9	0.89	0.85	1.73	0.12	0.19	0.40	2.32
10	0.98	1.08	1.72	0.22	0.27	0.53	1.94
Min	0.84	0.80	1.55	0.12	0.16	0.40	1.94
Máx	1.38	1.23	8.13	1.02	0.27	1.14	2.50
$\bar{x}$	1.01	0.94	2.74	0.29	0.20	0.57	2.24
δ	0.17	0.14	2.00	0.27	0.03	0.22	0.18
CV	0.16	0.14	0.73	0.94	0.17	0.39	0.08

Dónde D_d es la densidad de drenaje (km / km²); D_h, densidad hidrográfica (corrientes / km²); R_{bm}, relación media de bifurcación (adimensional); R_f, relación de forma (adimensional); R_c, relación de circularidad (adimensional); R_e, relación de elongación (adimensional); C_c, coeficiente de compacidad (adimensional). Fuente: elaboración propia.

La D_d describe la estabilidad de la red hidrográfica y la respuesta de la cuenca ante eventos de lluvia de alta intensidad; se asocia directamente a la susceptibilidad de los suelos a la erosión (Mishra y Rawat, 2015), de tal forma que, una mayor densidad de drenaje se relaciona con suelos menos permeables, de vegetación escasa o con pendientes muy pronunciadas, lo cual es evidente con el valor del CV en 14% que significa que las subcuencas están bien drenadas y de rápida respuesta hidrológica. La subcuenca número 1 presenta una mayor densidad de drenaje (1.38), debido a la poca permeabilidad del suelo dominante (Regosol), mientras que la subcuenca 7 presenta la menor densidad de drenaje (0.84) debido a la densa cobertura vegetal y su buen estado de conservación.

La densidad hidrográfica (D_h) presenta valores entre los 0.8 (subcuenca 4) y 1.23 (subcuenca 1), Este parámetro se refiere al número de corrientes por km^2 , por lo tanto, el valor más alto sugiere alto potencial de escorrentía (Lama *et al.*, 2015). Los valores de la relación de bifurcación media (R_{bm}) para las subcuencas del río Cuitzmala oscilan entre 1.55 (subcuenca 4) y 8.13 (subcuenca 7); en ese sentido cuanto mayor sea la bifurcación en una cuenca se reduce el tiempo de concentración de los escurrimientos superficiales (González, 2004), por lo que está asociado con la respuesta del sistema hidrológico ante las crecidas.

En el análisis de los parámetros de forma se consideran mediciones planimétricas y lineales, sin considerar su relieve, y tienen una relación inversa con la degradación de las áreas de drenaje. Así, las subcuencas más alargadas tienden a una respuesta más difusa, en comparación con las respuestas de tormentas de caudales altos en cuencas compactas. Esto se debe a que el escurrimiento que drena todos los límites de una cuenca compacta tiene distancias similares de trayecto desde todos los cuadrantes y llega al colector principal prácticamente al mismo tiempo, mientras que en cuencas de forma alargada al agua le cuesta bastante más circular desde la parte alta de la cuenca hasta el final (Ratnam *et al.*, 2005).

El valor del factor de forma (R_f) indica qué tan alargada es una cuenca; a menor factor de forma es más alargada y está menos sujeta a crecidas que una de la misma área, pero con mayor factor de forma. Un valor de R_f superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento o sugiere que se trata de un río principal corto y por consiguiente con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa rápidamente formando grandes crecidas (Ward y Robinson, 2000). En este caso, los valores de R_f están en un rango entre 0.12 (subcuenca 9) y 1.02 (subcuenca 3).

La relación de circularidad (R_c) es el cociente entre el área de una cuenca y la de un círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca (Miller, 1953). Este parámetro está influenciado por la duración y frecuencia de los cauces, la estructura geológica, el uso del suelo, el clima, el relieve y la pendiente de la cuenca (Carrión *et al.*, 2017). Los valores de R_c para las subcuencas de estudio fluctúan entre 0.16 y 0.27 para las subcuencas 2 y 10, respectivamente.

La relación de elongación (R_e) se refiere a la relación entre el diámetro de un círculo que tiene la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal (Schumm, 1956). Este parámetro es importante porque controla las características de entrega del escurrimiento, debido a que determina la forma de la cuenca y se pueden clasificar de la siguiente manera: circular (0.9 -), oval (0.8 – 0.9), menos alargada (0.7 – 0.8), alargada (0.5 – 0.7), más alargadas (<0.5) (Parveen *et al.*, 2012). Se encontró que: las subcuencas 1, 2, 7 y 10 son alargadas; la subcuenca 3 es la más circular y las subcuencas 4, 5, 6, 8 y 9 son más alargadas, lo que indica que son más susceptibles a erosión bajo este criterio (Pareta y Pareta, 2011).

El coeficiente de compacidad (C_c) fue definido por Gravelius (1914), y hace referencia a la relación entre el perímetro de una cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie de la cuenca, de tal manera que su valor es igual a 1 cuando la cuenca tiene la forma de un círculo casi perfecto y se hace mayor a 1 en la medida en que la cuenca es más alargada (González, 2004). Los valores de este parámetro cercanos a la unidad se asocian con mayor vulnerabilidad, ya que, al tener una forma más redonda, el tiempo de concentración de los escurrimientos es muy parecido y por lo tanto puede generarse una crecida súbita, mientras que valores altos indican menores riesgos (González, 2004). Los valores de C_c , para las subcuencas de estudio, muestran que la subcuenca 10 presenta un mayor riesgo de incremento en las avenidas, lo cual también indica la presencia de posibles inundaciones en lugares aledaños al cauce principal, por el poco tiempo que tardan los escurrimientos superficiales en llegar a él. Cuando se analizan subunidades, nuevamente, los elementos aguas abajo reciben las aportaciones de las que se encuentran hidrológicamente por encima de ellas y, en consecuencia, su condición morfológica tiene importancia secundaria al describir la hidrodinámica de la cuenca en ese punto por el cauce principal.

De manera general, este análisis permite conocer las características físicas de las subcuencas estudiadas y hacer comparaciones entre ellas, que ayudan a entender el funcionamiento hidrológico y orientan sobre los aspectos que se deben atender para su manejo (Kulkarni, 2013). Sin embargo, se debe complementar este análisis con uno que

incluya la totalidad de la cuenca y sus subunidades para mejorar la comprensión de los fenómenos hidrológicos que ocurren en el drenaje principal.

En el Cuadro 5 se muestran los valores de priorización asignados a cada parámetro morfométrico en correspondencia con cada subcuenca y con los criterios adoptados para este análisis. Los parámetros morfométricos lineales indican la exposición a la erosión; así, mientras más alto el valor numérico más viable es la erosión. Por otro lado, aquellos parámetros relacionados con la forma se consideran inversamente proporcionales a la erosión en las subcuencas, por lo que, a mayor valor numérico menor erosión (Ratnam *et al.*, 2005).

Cuadro 5. Priorización de subcuencas basado en su análisis morfométrico.

Subcuen- ca	Parámetros lineales			Parámetros de forma				Pc _m	Np _m	Gp _m
	D _d	D _h	R _{bm}	R _f	R _c	R _e	C _c			
1	1	1	3	9	5	9	6	4.86	2	ALTO
2	4	5	2	7	1	7	10	5.14	3	ALTO
3	2	4	4	10	8	10	3	5.86	6	MEDIO
4	9	9	10	4	2	4	9	6.71	7	BAJO
5	3	3	9	3	6	3	5	4.57	1	ALTO
6	8	6	8	2	3	2	8	5.29	4	ALTO
7	10	10	1	8	7	8	4	6.86	8	BAJO
8	5	7	5	5	9	5	2	5.43	5	MEDIO
9	7	8	6	1	4	1	7	4.86	2	ALTO
10	6	2	7	6	10	6	1	5.43	5	MEDIO

Dónde D_d es la densidad de drenaje; D_h, densidad hidrográfica; R_{bm}, relación media de bifurcación; R_f, relación de forma; R_c, relación de circularidad; R_e, relación de elongación; C_c, coeficiente de compacidad; Pc_m, parámetro compuesto (morfometría); Np_m, nivel de prioridad (morfometría); Gp_m, grado de prioridad (morfometría). Fuente: elaboración propia.

Una vez asignadas las prioridades a los diferentes parámetros morfométricos, se obtuvo un parámetro compuesto (promedio por subcuenca) nombrado Pc_m, a partir del cual se ordenaron las subcuencas considerando que: a menor valor de Pc_m, mayor es su nivel de prioridad (Np_m), es decir, Np_m = 1, el cual fue aumentando conforme al valor de Pc_m.

Se puede observar cómo los valores de P_{cm} fueron utilizados también para definir los grados de prioridad (G_{pm}) alto, medio y bajo.

Las subcuencas de prioridad alta son las número 1, 2, 5, 6 y 9; lo que indica que son altamente susceptibles a la erosión, colocándolas como áreas preferenciales para manejo y conservación. De prioridad media están las subcuencas 3, 8 y 10. Solo las subcuencas 4 y 7 corresponden al grado de priorización bajo, que, si bien no tienen un riesgo alto de erosión en las condiciones actuales, también requieren de atención para evitar su degradación en el futuro.

2.5.2. Análisis y priorización biofísica

Los cambios en la cobertura y uso del suelo inciden sobre el comportamiento hidrológico de las subcuencas; dichos cambios se reflejan en buena medida en la cantidad y calidad del agua que fluye dentro de las áreas de drenaje debido a que favorece la presencia y desarrollo de los suelos, la cantidad de agua que se evapora a la atmósfera y la cantidad que escurre a los ríos y arroyos (Cotler y Ortega, 2006). Como se aprecia en el Cuadro 6, el bosque tropical seco (FRSD) predomina en la mayoría de las subcuencas (1, 2, 4, 5, 7 y 10), mientras que el pastizal (PAST) se encuentra en mayor proporción en las subcuencas 3, 6 y 8, por último, solo en la subcuenca 9 la cobertura dominante es el bosque de pino- encino (FRST).

Cuadro 6. Coberturas de uso de suelo y tipos de suelo por subcuenca

	Variable	Clasificación	Área (ha)	% de la subcuenca
Subcuenca 1	Uso de suelo	FRSD	12463.13	86.78
		PAST	947.93	6.60
		AGRL	988.18	6.88
	Suelo	Regosol	12494.63	86.99
		Cambisol	916.43	6.38
		Phaozem	988.18	6.88
Subcuenca 2	Uso de suelo	FRST	1276.96	8.08
		FRSD	10356.89	65.50
		PAST	4181.28	26.44
	Suelo	Phaozem	4170.43	26.38
		Regosol	11644.70	73.65
Subcuenca 3	Uso de suelo	FRSD	1165.52	20.65
		PAST	3039.90	53.85
		FRST	1440.63	25.52
	Suelo	Regosol	3480.76	61.66
		Leptosol	620.50	10.99
		Phaozem	1544.79	27.37
Subcuenca 4	Uso de suelo	FRST	1885.21	32.18
		FRSD	2531.51	43.21
		PAST	1450.57	24.76
	Suelo	Regosol	5867.30	100.15
Subcuenca 5	Uso de suelo	FRST	788.83	6.24
		FRSD	8416.65	66.57
		PAST	3453.66	27.31
	Suelo	Phaozem	1481.63	11.72
		Regosol	11177.50	88.40
Subcuenca 6	uso de suelo	FRST	956.65	12.12
		PAST	4744.22	60.10
		FRSD	2207.95	27.97
	Suelo	Regosol	4905.19	62.14
		Phaozem	1073.05	13.59
		Cambisol	1930.58	24.46
Subcuenca 7	Uso de suelo	FRST	2267.05	25.57
		FRSD	3803.46	42.90
		PAST	2796.99	31.55
	Suelo	Regosol	4739.64	53.46
		Phaozem	3060.81	34.53

	Variable	Clasificación	Área (ha)	% de la subcuenca
Subcuenca 8	Uso de suelo	Leptosol	1067.06	12.04
		FRST	3351.64	31.67
		PAST	5271.02	49.81
		FRSD	1964.21	18.56
	Suelo	Cambisol	1786.07	16.88
		Regosol	5455.30	51.55
		Phaozem	3345.51	31.61
Subcuenca 9	Uso de suelo	FRST	7634.45	42.54
		PAST	6111.57	34.06
		FRSD	4205.40	23.44
	Suelo	Cambisol	3417.76	19.05
		Luvisol	4810.78	26.81
		Regosol	7605.07	42.38
		Leptosol	2117.81	11.80
Subcuenca 10	Uso de suelo	AGRL	431.52	5.89
		FRSD	4674.35	63.82
		PAST	687.69	9.39
		FRST	1531.27	20.91
	Suelo	Leptosol	1212.49	16.55
		Regosol	4604.59	62.86
		Phaozem	1507.75	20.58

Donde: FRSD bosque tropical seco, FRST bosque templado, PAST pastizal y AGRL agricultura. Fuente: elaboración propia con información del portal de INEGI (2007) e INEGI (2017).

Los suelos predominantes en las 10 subcuencas son del tipo Regosol éutrico (INEGI, 2007), que se consideran como poco desarrollados, con poca capacidad de almacenar agua y con alto potencial de erosión (Cotler y Lazos, 2020). Asociados a éstos se encuentran, en menor medida, suelos del tipo Feozem, en sitios con menor pendiente, planicies abiertas o en zonas altamente intemperizadas. En proporciones aún menores y asociados a los suelos descritos, se encuentran Cambisoles, Leptosoles y Luvisoles.

Las subcuencas de mayores pendientes tienen velocidades de escurrimiento altas; por lo tanto, responden rápidamente a la precipitación, incrementando los caudales pico en menor tiempo (Kulkarni, 2013; Strahler, 1964; Horton, 1945; Sherman, 1932). Las pendientes en las subcuencas son superiores al 10% (Cuadro 7) lo que influye en el

grado de erosión hídrica, ya que a pesar de que la cobertura vegetal predominante es el bosque tropical seco, existe un grado alto de deforestación debido a las actividades productivas predominantes en la cuenca, como es la ganadería (Cotler y Lazos, 2020). Los efectos erosivos son mayores si se da una combinación de superficie expuesta y eventos de lluvia de alta intensidad, lo cual ocurre al principio de la época de lluvias, cuando el suelo se encuentra más desprotegido en la mayoría de los ecosistemas de la CRC; por otro lado, las altas tasas de escurrimientos se esperan al final de la época de lluvia, cuando el suelo se encuentra saturado de humedad. Si la intensidad de la lluvia es muy alta, el contenido de humedad en el suelo resulta secundario por la preponderancia de la fuerza de gravedad sobre las del potencial hídrico y ocurre eventos de escurrimiento con pobre humedecimiento del suelo.

Cuadro 7. Valores de la pendiente media de las subcuencas

Subcuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pendiente media	13.09	14.05	14.78	13.78	13.77	9.23	17.58	11.93	17.46	15.83

Fuente: elaboración propia.

Para conocer el nivel de degradación del suelo en la cuenca, mediante las variables de cobertura de suelo y tipo de suelo, se procedió a la priorización de las subcuencas mediante la ponderación al considerar el porcentaje de cobertura por subcuenca. Para el relieve se usaron los valores de la pendiente media. Así se obtuvo una puntuación promedio (P_{cb}), la cual ayudó a conocer el nivel de prioridad (N_{pb}) de cada subcuenca (ordenándose de mayor a menor) y su grado de priorización (G_{pb}) de acuerdo con los tres rangos de clasificación: alto, medio y bajo, como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Priorización biofísica de subcuencas

Subcuen- ca	Uso de suelo	Suelo	Pendiente	Pc _b	Np _b	Gp _b
1	4	3	8	5.00	3	ALTO
2	5	4	5	4.67	2	ALTO
3	2	6	4	4.00	1	ALTO
4	8	1	6	5.00	3	ALTO
5	6	2	7	5.00	3	ALTO
6	1	7	10	6.00	4	MEDIO
7	9	8	1	6.00	4	MEDIO
8	3	9	9	7.00	5	BAJO
9	10	10	2	7.33	6	BAJO
10	7	5	3	5.00	3	ALTO

En donde Pc_b es el parámetro compuesto (biofísico); Np_b, nivel de prioridad (biofísico) y Gp_b, grado de prioridad (biofísico). Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que las subcuencas con mayor vulnerabilidad a la degradación, de acuerdo con los parámetros considerados, son la 1, 2, 3, 4, 5 y 10; las de prioridad media son la 6 y 7; y finalmente las subcuencas 8 y 9 mantienen una baja prioridad. Conociendo el grado y nivel de priorización se puede definir el orden de intervención para aplicar medidas de conservación del suelo mediante prácticas agronómicas, vegetativas, mecánicas y de regulación hídrica. Estos mismos resultados, muestran que la mayor parte de la superficie de la cuenca se encuentra estresada por los cambios antropogénicos que propician mayor exposición a la erosión y a la generación de grandes volúmenes de escurrimiento ante eventos de lluvia. Además, cuando los suelos pasan por enormes periodos de secado, adquieren hidrofobicidad cambiando sus propiedades hidrodinámicas, por lo que es frecuente que en los primeros eventos de lluvia ocurran mayores escurrimientos; esto se vuelve importante si los primeros eventos de lluvia ocurren con alta intensidad.

2.5.3. Análisis y priorización social

Los componentes “problemas” y “estrategias de autoorganización” se calificaron según su grado de importancia y se agruparon en seis categorías: Accesibilidad, Contaminación de aguas, Eventos hidrometeorológicos extremos, Gobernanza, Participación

comunitaria y Otros. De esta forma, el análisis de priorización se realizó de manera cuantitativa.

En el Cuadro 9 se observan los valores de P_c , que corresponden al grado de importancia de las diferentes categorías en las que se agruparon los problemas identificados en las diez subcuencas. También, se presentan los valores de P_s , es decir, la calificación de importancia promedio para cada subcuenca. Considerando todas las categorías, la subcuenca número 3 tiene mayor importancia ($P_s = 4.28$) en cuanto a los problemas mencionados.

Cuadro 9. Calificación de importancia de la problemática socio-hidrológica por subcuenca.

Subc	Accesi- bilidad	Contami- nación	Eventos e	Gober- nanza	Partici- pación	Otros	P_s
1	4.00	3.40	4.30	4.60	3.50	4.50	4.05
2	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.67
3	4.70	3.80	5.00	4.70	3.00	4.50	4.28
4	3.00	4.00	4.70	4.50	3.00	4.50	3.95
5	4.00	1.00	2.00	4.00	3.50	3.50	3.00
6	3.30	4.00	4.50	4.70	4.00	1.00	3.58
7	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.83
8	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	4.00	2.00
9	1.00	4.00	1.00	1.00	2.00	3.00	2.00
10	3.00	4.00	1.00	4.00	2.00	4.50	3.08

Se muestran los valores de P_c de las seis categorías de problemas identificados; el valor de P_s es el promedio por subcuenca. Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 10 se muestran los valores de E_c y E_s correspondientes a las estrategias de autoorganización identificadas; en el número dos hay un valor más alto de E_s (2.23) y por lo tanto se puede decir que es donde hay una mejor organización y aplicación de estrategias de autoorganización.

Cuadro 10. Calificación de importancia de las estrategias de autoorganización por subcuenca

Subc.	Accesi- bilidad	Conta- minaci- ón	Eventos e	Gober- nanza	Partici- pación	Otros	Ps
1	2.00	2.00	1.00	2.00	1.80	1.00	1.63
2	4.00	1.00	1.00	2.00	4.40	1.00	2.23
3	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.33
4	4.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00
5	3.00	1.00	1.00	1.00	3.50	1.00	1.75
6	2.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.67
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.50
8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.33
9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.50
10	3.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.67

Se muestran los valores de *Ec* de las seis categorías de estrategias identificadas; el valor de *Es* corresponde al promedio por subcuenca. Fuente: elaboración propia.

El principal problema socio-hidrológico mencionado, aunque en diferentes grados de importancia, es la escasez hídrica; a mayor escasez por el agua, es previsible que surgirán formas de competencia que pueden exceder la capacidad institucional de los gobiernos. En el caso de la contaminación, aunque no lo consideran grave (hasta el momento) su intensidad puede incrementar, principalmente por las descargas de aguas negras y los residuos de agroquímicos, así como de los establos ganaderos ubicados en los márgenes del RC. Asociado a esto, se encuentran otros problemas como lo son la pérdida de cobertura vegetal por actividades antropogénicas como el sobrepastoreo y la tala de árboles en las partes altas de la cuenca (zonas de recarga hídrica y cabecera de cuenca). Las consecuencias de estos problemas son inundaciones en las localidades de las partes bajas de la cuenca y escasez en pozos debido a la baja infiltración.

Como se aprecia en el Cuadro 11, la población se concentra en las subcuencas seis y uno, con 6,174 y 2,388 habitantes respectivamente.

Cuadro 11. Número de habitantes por subcuenca

Subcuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Población Total	2288	49	666	231	321	2711	631	411	955	50

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2020).

Es en estas localidades, con mayor número de habitantes, en donde predominan los problemas derivados de la escasez de agua, los cuales pueden actuar como catalizadores de conflictos (Becerra Pérez *et al.*, 2006). Los pobladores no cuentan con un abastecimiento de agua potable y en temporada de secas les hace falta el agua para uso agropecuario. Entre otras razones debido a que el gobierno municipal destina parte del acuífero a los usos de los habitantes de las cabeceras municipales. El agua de las corrientes superficiales de la cuenca se destina principalmente al uso agropecuario y doméstico.

El Cuadro 12 muestra los resultados de la matriz de priorización con base en los valores de P_{cs} ; donde a menor valor de P_{cs} , mayor es la prioridad. También se encuentra el nivel de priorización (N_{ps}) el cual se obtuvo a partir del orden jerárquico de menor a mayor de P_{cs} . Se puede observar que las subcuencas 1,3,6 y 9 tienen prioridad alta para su intervención, con valores de P_{cs} de 2.33, 2.00, 3.00 y 4.00 respectivamente. Esto se puede explicar ya que en esta subcuenca es donde se mencionaron mayores problemas asociados a la escasez de agua debido a la alta demanda y a las pocas acciones implementadas por el gobierno; por lo tanto, requieren de atención inmediata para evitar que los problemas socio-hidrológicos sigan incrementando.

Cuadro 12. Priorización social de subcuencas

Subcuenca	Ps	Es	Pob	Pcs	Nps	Gps
1	2	3	2	2.33	2	ALTO
2	9	6	10	8.33	8	BAJO
3	1	1	4	2.00	1	ALTO
4	3	7	8	6.00	7	MEDIO
5	6	5	7	6.00	7	MEDIO
6	4	4	1	3.00	3	ALTO
7	8	2	5	5.00	6	MEDIO
8	7	1	6	4.67	5	MEDIO
9	7	2	3	4.00	4	ALTO
10	5	4	9	6.00	7	BAJO

En donde Ps es la calificación de importancia promedio de los problemas para cada subcuenca; Es, la calificación de importancia promedio de las estrategias de autoorganización para cada subcuenca; Pob, población total por subcuenca; Pcs, parámetro compuesto (social); Nps, nivel de prioridad (social) y Gps grado de prioridad (social). Fuente: elaboración propia.

2.5.4. Priorización total

La identificación de las áreas prioritarias de gestión integral del agua en la cuenca del RC se realizó en función de los tres componentes definidos anteriormente (morfométricos, biofísicos y sociales). Los resultados se observan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Priorización total de subcuencas

Subcuenca	Pcm	Pcb	Pcs	PCt	NPt	GPt
1	4.86	5.00	2.50	4.12	2	ALTA
2	5.14	4.67	7.50	5.77	9	BAJA
3	5.86	4.00	1.00	3.62	1	ALTA
4	6.71	5.00	5.00	5.57	8	BAJO
5	4.57	5.00	5.50	5.02	4	MEDIA
6	5.29	6.00	4.00	5.10	5	MEDIA
7	6.86	6.00	5.00	5.95	10	BAJO
8	5.43	7.00	4.00	5.48	6	BAJA
9	4.86	7.33	4.50	5.56	7	BAJA
10	5.43	5.00	4.50	4.98	3	MEDIO

En donde Pcm es el parámetro compuesto de morfometría; Pcb, parámetro compuesto biofísico; Pcs, parámetro compuesto social; PCt, parámetro compuesto total; NPt, nivel de prioridad total y GPt, grado de prioridad total. Fuente: elaboración propia.

La prioridad alta corresponde a las subcuencas 1 y 3, las cuales ocupan el 22.3% de la superficie de la cuenca. Por otro lado, las subcuencas de prioridad media son las número 5, 6 y 10, que abarcan 25.06% de la superficie. Finalmente, las subcuencas de prioridad baja son la mayoría (2, 4, 7, 8 y 9) y corresponden al 52.14% de la superficie y se distribuyen sobre todo en la parte alta y media de la cuenca (Figura 5).

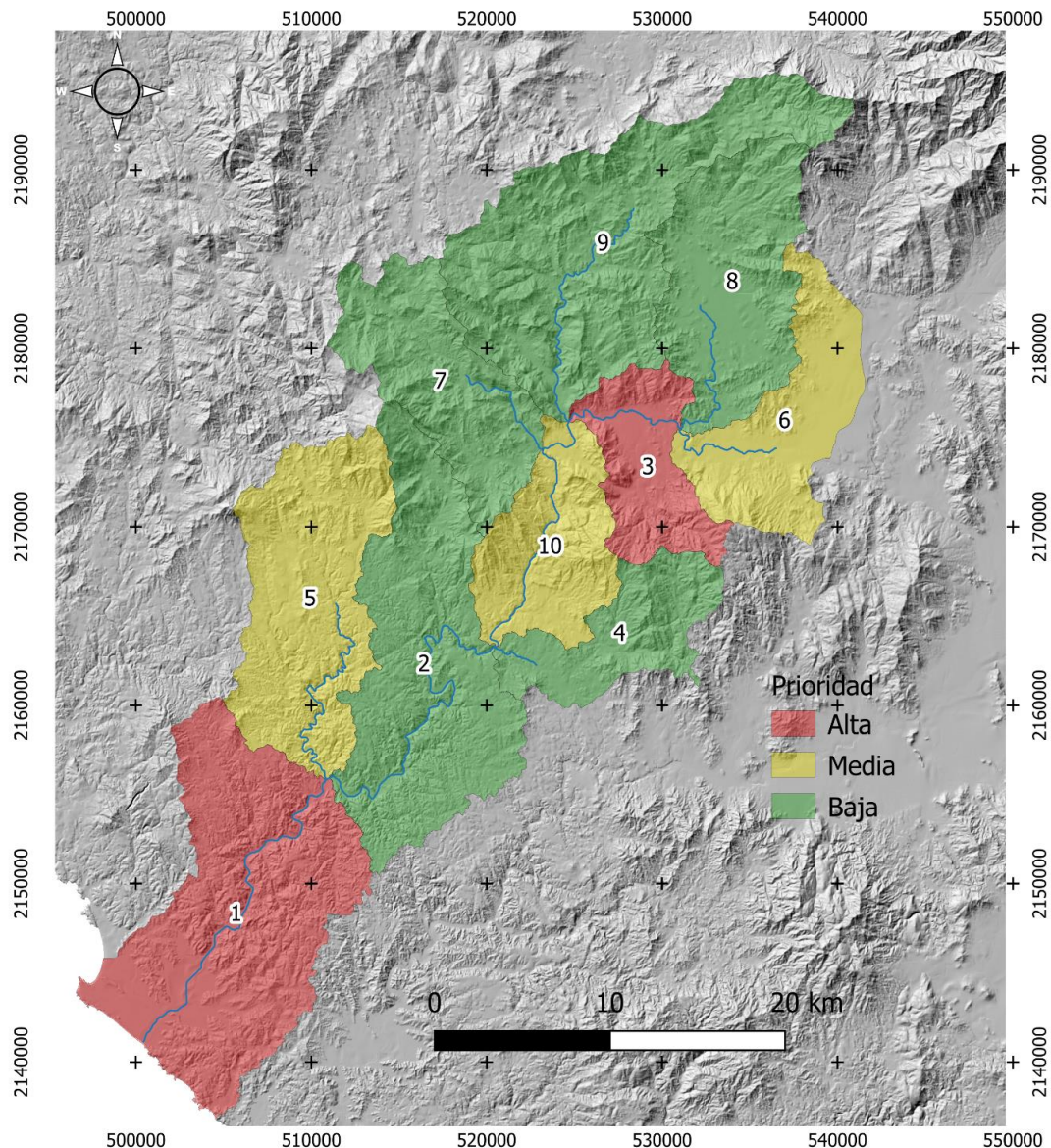


Figura 5. Priorización total de las subcuencas del río Cuitzmala. La clase 1 incluye las subcuencas de prioridad alta (color rojo); clase 2, son aquellas de prioridad media (amarillo); clase 3, corresponde a las subcuencas de prioridad baja (verde). Fuente: elaboración propia.

Diversos estudios han utilizado los componentes morfométricos y biofísicos para la priorización de cuencas (López-Pérez y Fernández-Reynoso, 2021; Setiawan y Nandini, 2021; Carrión *et al.*, 2017; López-Pérez *et al.*, 2015; Mishra y Rawat, 2015; (Piña- Poujul, 2007; Ratnam *et al.*, 2005), los cuales han aportado información valiosa que permite explicar el comportamiento hidrológico de las cuencas desde el punto de vista geomorfológico y biofísico; sin embargo, es importante incluir herramientas de gestión que consideren las relaciones del tejido social para definir prioridades y estrategias de actuación más eficientes, integrales y sostenibles (Belmonte *et al.*, 2021), estos enfoques comienzan a tomar importancia en la literatura.

Sanchez *et. al.* (2004) determinaron áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico, a través de criterios de prioridad en tres escenarios: calidad actual del agua (9 criterios); cantidad aprovechable de agua (4 criterios) y recuperación de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos (9 criterios). Se apoyaron de técnicas cualitativas (entrevistas semiestructuradas) y la estimación del beneficio percibido por los usuarios del recurso; aunque importantes sus resultados, adolecen de la integración con las variables geomorfológicas y biofísicas, que gobiernan el flujo de agua principalmente en eventos extremos.

Posteriormente, Saldaña (2008) realizó una prospección general sobre la capacidad de distintas unidades ambientales para brindar servicios ecosistémicos (SE) de corte hidrológico (infiltración, regulación de la erosión hídrica y suministro de agua dulce) en la cuenca del RC, a fin de identificar las áreas que tienen una mayor prioridad para las acciones de restauración ecológica (en su modalidad de rehabilitación), así como los conflictos asociados al uso del agua. Encontró que, al ser el regosol el suelo dominante en la cuenca, éste le confiere una baja capacidad de retención de agua que favorezca la prestación del SE de infiltración a un nivel superficial y subsuperficial. Sólo en el 40% de su superficie el SE está presente en valores relativos más altos, debido principalmente a la presencia de coberturas mejor conservadas, por lo tanto, la poca accesibilidad al agua, que mencionan los actores, tiene que ver con que existe poca disponibilidad en los acuíferos, sobre todo en secas.

Otro caso de estudio reciente, donde se muestra la posibilidad de incluir el aspecto social a los estudios hidrológicos en Argentina, es el trabajo hecho por Belmonte *et. al.* (2021), donde, a través de un proceso de Investigación Acción Participativa y una metodología de Evaluación Multi-Criterio, como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en el ámbito local y regional, integró variables socioambientales para el análisis espacial de la accesibilidad al agua, las acciones institucionales en el territorio y la calidad del recurso hídrico.

Es por ello que, en el presente trabajo, la identificación de las áreas prioritarias toma en cuenta la participación activa de los actores sociales de los diferentes sectores. La regionalización obtenida, si bien incluye criterios morfométricos y biofísicos de la cuenca hidrográfica, muestra también una priorización incluyente respecto a las percepciones de los usuarios locales del agua. Contar con este esquema de priorización ayuda a segmentar el espacio de la cuenca con fines de simplificación de análisis para la transición hacia la gestión integral del agua.

2.6. CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió priorizar las áreas donde es conveniente iniciar los procesos de co-construcción de propuestas intersectoriales que permitan la transición hacia la gestión integral del agua en la cuenca del río Cuitzmala.

Los problemas y posibles soluciones en cuanto al manejo del recurso hídrico, deben abordarse necesariamente con un enfoque integral que reconozca el carácter multisectorial de su aprovechamiento. Puesto que, aunque se considera que gran parte de la cuenca se encuentra en buen estado de conservación, la priorización biofísica reportó seis subcuencas que representan más de la mitad de la superficie total de la cuenca, con alta prioridad de atención.

La identificación de áreas prioritarias en categorías jerárquicas brinda información de hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos a corto, mediano y largo plazo para la adecuada gestión del recurso hídrico. Cuando se analizan de manera integral las variables geomorfológicas, biofísicas y sociales, los resultados mostraron prioridad para

realizar acciones en las subcuencas 1 y 3, lo que coincide con la mayor distribución de habitantes entre las subcuencas.

CONCLUSIONES GENERALES

Existe un total de 12 actores sociales involucrados en la gestión del agua en la cuenca de estudio, con diferentes grados de influencia en la gestión del agua de acuerdo a su rol: 3 de alta influencia, 8 de influencia media y 1 de baja influencia.

La “subcuenca 1” es el espacio con mayor diversidad de actores con alto grado de influencia y complejidad en la gestión del agua. Tal es el caso del complejo turístico Cuixmala, el cual se percibe por los pobladores como un actor con alto poder económico y aliado con miembros del sector público.

Se definieron seis categorías de problemas y soluciones en la gestión del agua: accesibilidad, contaminación, eventos hidrometeorológicos extremos, gobernanza, participación comunitaria y otros, los cuales fueron calificados con diferente grado de importancia, de acuerdo con las vivencias de los habitantes de cada localidad en particular.

En las localidades con mayor número de habitantes (Emiliano Zapata, Francisco Villa, San Miguel y Villa Purificación), los problemas calificados como “muy importantes” tienen que ver principalmente con la distribución, usos del agua y gobernanza, mientras que, en zonas rurales aisladas, los problemas de sequías, inundaciones y contaminación del agua afectan principalmente a la agricultura y ganadería familiar; pues se trata de poblaciones vulnerables, relegadas por el gobierno.

La mayor fortaleza del ámbito de participación comunitaria es que cuentan con comités locales de agua, quienes tienen una participación permanente en la gestión hídrica, siendo la localidad de la Meza donde existen grupos de trabajo bien definidos y autoorganizados, que se encargan de realizar los trabajos necesarios de mantenimiento al pozo y red de distribución de agua.

La priorización con base en las percepciones de los actores locales, permitió establecer tres categorías de priorización (alta, media y baja) y asociar a ellas las principales problemáticas y estrategias de autoorganización relacionadas a la gestión local del agua en la cuenca del RC y, con ello, identificar aquellos espacios propicios para iniciar

procesos de construcción de propuestas intersectoriales para garantizar la transición hacia la gestión integral del agua en estos territorios delimitados de manera natural.

Consideraciones finales

El mapeo de actores permitió hacer una identificación preliminar de cuáles de ellos están involucrados en la gestión del agua, así como las interacciones entre los mismos. Lo cual aportó información valiosa acerca del modelo de gestión presente en localidades rurales con pequeños autoabastecimientos de agua, que han sido escasamente abordados, ya que, por lo general, suelen ser aplicados a grandes organizaciones o instituciones de gobierno.

El agua es un factor determinante en el desarrollo económico y social de la cuenca y, al mismo tiempo, cumple la función básica de mantener la integridad del entorno natural. Proporcionar acceso al agua no significa que automáticamente habrá una mejora de la calidad de vida de los habitantes; la financiación por sí sola no es suficiente si las instituciones técnicas, administrativas y de investigación continúan trabajando de manera aislada.

Los gobiernos deben invertir en la adecuación de mecanismos de representación ciudadana y la generación de capacidades, a nivel local, para gestionar de manera eficiente y sostenible el recurso hídrico. Estas acciones deberán ir acompañadas de mayores espacios para dar voz a la población en la toma de decisiones, que permitan el aprendizaje colectivo y la justicia social como ejes transversales a lo largo del proceso.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Benitez, I. (Coord. (2020). *Gestión del agua en México: sustentabilidad y gobernanza* (Primera ed). El Colegio de la Frontera Norte.
- Antonela, V., Gil, V., y Ferreras, A. (2018). Estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 59, 13.
- Arnold Cathalifaud, M.; Osorio, F. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de Moebio*, 3, 12. <https://www.redalyc.org/pdf/101/10100306.pdf>
- Becerra Pérez, M., Saíenz Santamaria, J., y Munoz Pina, J. (2006). Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. *Gestión y Política Pública*, xv, 111–144. <https://www.redalyc.org/pdf/133/13315104.pdf> <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13312101>
- Belmonte, S., López, E., y García, M. (2021). Identification of priority areas for water management in the Chaco salteño, Argentina. *Agua y Territorio*, 17, 7–32. <https://doi.org/10.17561/at.17.4868>
- Benegas, L., y León, J. (2009). Criterios para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas. *Serie Técnica*, 378, 60.
- Bernal, A. y Rivas, L. (2012). Modelos para la identificación de *Stakeholders* y su aplicación a la gestión de los pequeños abastecimientos comunitarios de agua. *LIBERT*, 4(2145–5996), 251–273.
- Bertalanffy, L. Von. (1989). Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones (Issue 65). <https://archivosociologico.files.wordpress.com/2010/08/teoria-general-de-los-sistemas-ludwig-von-bertalanffy.pdf>
- Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W. G., y Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Cap-Net. (2019). Climate change adaptation and integrated water resources management. *Change*, December, 1–114. <http://www.cap-net.org/wp-content/uploads/2019/01/Cap-Net-CCA-and-IWRM.pdf>
- Carrillo Gonzalez, F., Cornejo López, V., Gonzalez Ruelas, M. E., y Morales Haernandez, U. (2015). *Estudio del potencial hidrológico de la cuenca Cuitzmala, Costa suroeste de Jalisco, México* (U. de Guadalajara (ed.); 1a ed.).
- Castillo, A., Godínez, C., Schroeder, N., Galicia, C., Pujadas-botey, A., y Martínez, L. (2009). El bosque tropical seco en riesgo: Conflictos entre uso agropecuario, desarrollo turístico y provisión de servicios. *Interciencia*, 34(1), 844–850.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110000315047/>

- Castillo, A., Magaña, A., Pujadas, A., Martínez, L., y Godínez, C. (2005). Understanding the interaction of rural people with ecosystems: A case study in a tropical dry forest of Mexico. *Ecosystems*, 8(6), 630–643. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0127-1>
- CEA Jalisco. (2021). *Atribuciones de la Comisión Estatal del Agua en Jalisco*. <http://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/atribuciones/>
- CEPAL. (2013). *Guía de análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial* (p. 43). Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE).
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L., y Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 6(2), 1–21. <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/227>
- Comisión Nacional del Agua. (2011). *Agenda del Agua 2030*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Temas/AgendadelAgua2030.pdf>.
- CONAGUA. (2018). *Atlas del Agua en México*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- CONAGUA. (2019a). *Fuente predominante para usos consuntivos por municipio*. Registro Público de Derechos de Agua. Volúmenes Inscritos. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua>
- CONAGUA. (2019b). *Intensidad de usos consuntivos por municipio*. Registro Público de Derechos de Agua. Volúmenes Inscritos. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=1&n=nacional>
- CONEVAL. (2016). *Metodología medición de la pobreza México*.
- Cortina-villar, S., y Soto-pinto, L. (2015). *La construcción de la acción colectiva en una comunidad del Área Natural Protegida: La Frailescana, Chiapas, México*. *Viridiana*. 79–96.
- Cotler, H., Priego, A., Rodríguez, C. y Enríquez Guadarrama, C. (2004). Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma-Chapala1. *Gaceta Ecológica*, 79–92.
- Cotler, H., Alántara Galindo, A., González Mora, I., Raúl, P. L., y Ríos Patrón, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión* (SEMARNAT (ed.); 1a ed.).
- Cotler Ávalos, H., y Lazos Chavero, E. (2020). La multifuncionalidad de agroecosistemas en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*,

- 16(4), 513–537. <https://doi.org/10.22231/asyd.v16i4.1280>
- Cotler, H., y Ortega-Larrocea, M. P. (2006). Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena*, 65(2), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.11.004>
- Cotler, H. (2015). Incidencia del enfoque de cuencas en las políticas públicas de México. In A. Burgos, G. Bocco, y J. Sosa-Ramírez (Eds.), *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas* (pp. 31–44).
- Cotler, H., Cuevas, M. L., Landa, R., y Frausto, J. M. (2022). Environmental governance in urban watersheds: The role of civil society organizations in Mexico. *Sustainability*, 14(2), 988. <https://doi.org/10.3390/su14020988>
- Damián Carrión, D. A., Márquez, C. O., García, V. J., Recalde Moreno, C. G., Rodríguez Llerena, M. V., y Ayala, J. E. (2017). Priorización de microcuencas en los Andes ecuatorianos usando parámetros morfométricos, WSA y GIS. *Revista Geográfica Venezolana*, 58(1), 38–61.
- De Ita Martínez, C. (1983). *Patrones de producción agrícola en un ecosistema tropical estacional de la costa de Jalisco*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Del Moral Ituarte, L., y Mateos; Pedregal, B. (2002). Nuevos planteamientos científicos y participación ciudadana en la resolución de conflictos ambientales. *Documents d'Analisi Geografica*, 41, 121–134. www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/download/.../31608
- Díaz Santos, M. G. (2018). *Relaciones de poder en la gestión comunitaria del agua. El territorio y lo social como fuerzas*. <http://eduepb.uepb.edu.br>
- DOF. (1993). DECRETO por el que se declara área natural protegida con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Chamela-Cuixmala, ubicada en el Municipio de La Huerta, Jal. En *Diario Oficial de la Federación* (pp. 5–29). <http://132.248.65.10/infjur/leg/docleg/fed/indices/2000/oct/26102000.pdf>
- DOF. (2004). *Ley de Aguas Nacionales*. (pp. 1–91). http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf
- DOF. (2018). *Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Río Ipala, Río Tomatlán A, Río Tomatlán B, Río San Nicolás A, Río San Nicolás B, Río Cuitzmala, Río Purificación y Mar* (pp. 1–11).
- Dominguez, J. (2006). *La gobernanza del agua en México y el reto de la adaptación en zonas urbanas: el caso de la ciudad de México* (pp. 273–296).
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica* (CEPAL (ed.)). Recursos Naturales e Infraestructura.
- Freeman, R. (1984). *Strategic management: a stakeholder approach*. Pitman.

- García-Oliva, F., Camou, A., Maass, J. M. (2002). El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. En: F.A. Noguera, J.H. Vega-Rivera, A.N. García-Aldrete y M. Quezada-Avendaño (Eds). *Historia natural del bosque caducifolio de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM. Pp:3-10.
- Garrido, A., Pérez, J., y Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. *Las Cuencas Hidrográficas de México*, 14–17.
- Gasca Zamora, J. (2009). *Geografía regional: la región, la regionalización y el desarrollo regional en México* (U. Instituto de Geografía (ed.); Primera ed).
- Gavito, M. E., Martínez-Yrizar, A., Ahedo, R., Araiza, S., Ayala, B., Ayala, R., Balvanera, P., Benítez, J., Cotler, H., Maass, M., Martínez-Hernández, L., Martínez-Meyer, E., Nava-Mendoza, M., Ortega, M. A., Renton, K., y Siddique, I. (2014). *La vulnerabilidad del socio-ecosistema de bosque tropical seco de Chamela, Jalisco, al cambio global: un análisis de sus componentes ecológicos y sociales*. 2014. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública* 6(2):109-126. <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/236#.VStd0WB0zml>. ISSN:2007-4492.
- Global Water Partnership. (2000). Integrated Water Resources Management. *The Background Papers*, No 4, 911–925. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29104-3_35
- Gómez, M., Perdiguero, J., y Sanz, A. (2019). Socioeconomic Factors Affecting Water Access in Rural Areas of Low and Middle Income Countries. *Water*, 11(2), 202. <https://doi.org/10.3390/w11020202>
- González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de La A.G.E.N.*, 38(July 2004), 311–329.
- Gravelius, H. (1914). Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. *In Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German*.
- Hernández Samperi, R., Fernandez Collado, C., Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGraw-Hill/ Interamericana Editores S.A. de C.V. (ed.); Sexta edición).
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *GSA Bulletin*, 56(3), 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Hufty, M., y Guardiola- Jiménez, P. (2006). Una propuesta para concretizar el concepto de gobernanza: El marco analítico de la gobernanza. *Universidad de Murcia*, 1–30. http://www.um.es/docencia/pguardio/documentos/doc_1.pdf
- Huntjens, P. M. J. M. (2011). *Water management and water governance in a changing climate : experiences and insights on climate change adaptation in Europe, Africa, Asia and Australia* (Issue September) [Universität Osnabrück]. https://eburon.nl/product/water_management_and_water_governance_in_a_changi

ng_climate/?language_code=en

- INEGI. (2007). *Conjunto de datos vectorial Edafológico. Escala 1:250 000. Serie II Continuo Nacional Manzanillo. Edafología.* <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Descargas>
- INEGI. (2013). *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM).* <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. (2017). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Conjunto Nacional. Uso de Suelo y Vegetación.* <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2019a). *La Huerta. Diagnóstico del municipio.* <https://www.iiieg.gob.mx/>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2019b). *Villa Purificación. Diagnóstico del municipio.*
- Jianguao, W., y John, L. D. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. *Ecological Modeling*, 153, 7–26. https://ac.els-cdn.com/S0304380001004999/1-s2.0-S0304380001004999-main.pdf?_tid=633c4df3-6f7c-4ca5-9d34-42744c7911b3&acdnat=1541423603_59ae3419a5d76099c079dcef8a83e03a
- Jones, S. (2002). Social constructionism and the environment: Through the quagmire. *Global Environmental Change*, 12(4), 247–251. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00062-6)
- Juárez Hernández, J. A. (2021). *Análisis de la Aplicación de los Conocimientos Socio-Ecológicos en las Políticas Públicas en la Costa Sur de Jalisco: el Caso de la Gestión del Agua.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Knieper, C., Holtz, G., Kastens, B., y Pahl-Wostl, C. (2010). Analyzing water governance in heterogeneous case studies—Experiences with a database approach. *Environmental Science & Policy*, 13(7), 592–603. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.09.002>
- Kulkarni, M. D. (2013). The Basic Concept to Study Morphometric Analysis of River Drainage Basin: A Review. *International Journal of Science and Research*, 4(7), 2319–2064. www.ijsr.net
- Lama, T. D., Singh, R. K., Saikia, U. S., y Satapathy, K. K. (2015). Geomorphometric analysis of a hilly watershed in north east India. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(1), 29. <https://doi.org/10.5958/2230-732x.2015.00004.2>
- León, M., y Muñoz, C. (2019). Guía para la elaboración de estudios de caso sobre la gobernanza de los recursos naturales. *Serie recursos naturales y desarrollo*, 192 (LC/TS(ISSN 2664-4541), 39.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44779/1/S1900715_es.pdf

- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. y Fernández-Reynoso, D. S. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, VI, 121–137.
- López-Pérez, A., y Fernández-Reynoso, D. S. (2021). Watershed prioritization using morphometric analysis and vegetation index: a case study of Huehuetan river sub-basin, Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(18). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08212-x>
- López Tapia, D. M., Pérez Ortiz, G., Mazari Hirirart, M., y Maass Moreno, M. (2008). *Reserva de la biosfera chamela-cuixmala: un estudio de calidad del agua, bajo un enfoque de manejo integrado de cuencas*. 1–31.
- Maass, M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R., y Sarukhán, J. (2005). Ecosystem Services of Tropical Dry Forests: Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1), art17. <https://doi.org/10.5751/ES-01219-100117>
- Maass, M. (2019). Los sistemas socio-ecológicos (SSE) desde el enfoque socio ecosistémico (SES): marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México en: V. S. Ávila Foucat y M. Perevochtchikova (Coord.) *Sistemas socio-ecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas <https://doi.org/10.22201/iiiec.9786073013109e.2019>
- Maass, M., Ahedo-Hernández, R., Araiza, S., Verduzco, A., Martínez-Yrizar, A., Jaramillo, V. J., Parker, G., Pascual, F., García-Méndez, G., y Sarukhán, J. (2018). Long-term (33 years) rainfall and runoff dynamics in a tropical dry forest ecosystem in western Mexico: Management implications under extreme hydrometeorological events. *Forest Ecology and Management*, 426(July 2017), 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.040>
- Maass, M., y Burgos, A. (2011). Water Dynamics at the Ecosystem Level in Seasonally Dry Tropical Forests. In R. Dirzo, H. S. Young, H. A. Mooney y G. Ceballos (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation* (pp. 141–156). Island Press/Center for Resource Economics. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7_9
- Maass, M., y Cotler, H. (2007). Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. *El Manejo Integral de Cuencas En México: Estudios y Reflexiones Para Orientar La Política Ambiental*, 41–58.
- Melendez De la Cruz, J. Felipe. (1999). *Hidrogeografía de la cuenca del río Cuitzmala*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Miller, V. C. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area*. http://www.abenteuer-universum.de/pdf/miller_1953.pdf%5Cnpapers2://publication/uuid/09EA4DA1-C8BB-43D8-AA76-746A54C41914
- Mishra, A. K., y Rawat, K. S. (2015). A Composite Watershed Prioritization Index (CWPI) Based on Terrain Characteristics, Morphometry and Soil Brightness Index (SBI) Using RS and GIS in Moolbari Watershed, Himachal Pradesh, India. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(2), 87–101.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. *Universidad Surcolombiana*, 1–216. <http://carmonje.wikispaces.com/file/view/Monje+Carlos+Arturo+-+Guía+didáctica+Metodología+de+la+investigación.pdf>
- Morin, E. (2008). *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa. Barcelona, España.
- Murray-Tortarolo, G., Jaramillo, V. J., Maass, M., Friedlingstein, P., y Sitch, S. (2017). The decreasing range between dry- and wet-season precipitation over land and its effect on vegetation primary productivity. *PLoS ONE*, 12(12), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190304>
- Nongkynrih, J. M. y Husain, Z. (2011). Morphometric analysis of the Manas river basin using earth observation data and Geographical Information System. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(2), 647–654.
- Nooka Ratnam, K., Srivastava, Y. K., Venkateswara Rao, V., Amminedu, E. y Murthy, K. S. R. (2005). Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis — Remote sensing and GIS perspective. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 33(1), 25–38. <https://doi.org/10.1007/BF02989988>
- Olguín López, J. L. y Pineda López, R. (2010). Importancia de la priorización hidrológica en la toma de decisiones de manejo en la subcuenca del Río Ayuquilla, Jalisco, México. *Ciencia UAQ (Universidad Autónoma de Querétaro)*, 1–10.
- Olvera-Molina, M. (2016). Desnaturalizando la cuenca en México: notas sobre el espacio hidropolítico. *Agua y Territorio*, 7, 11–21. <https://doi.org/10.17561/at.v0i7.2959>
- ONU. (2020). Agua y cambio climático. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. En *Revista de Obras Públicas* (Vol. 167, Issue 3618). UNESCO.
- Orozco, M. y Quesada, A. (2010). Hacia una nueva cultura del agua en México: organización indígena y campesina . El caso de la presa Villa Victoria. *Ciencia Ergo Sum*, 17, 28–36. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=10412443004>

- Ortega Uribe, T., Mastrangelo, M., Villarroel Torrez, D., Piaz, A., Vallejos, M., Sáenz, J., Gallego, F., Franquesa-Soler, M., Calzada, L., Mellado, N., Fiestas Flores, J., Mairhofer, L., Espino, Z., Salguero, B., Martínez-Peralta, C., Ochoa, O., Pérez Volkow, L., Sala, J., Sanchez-Rose, I. y Maass, M. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: Reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos. *Investigación Ambiental: Ciencia y Política Pública*, 6, 109–122.
- Pahl-Wostl, C. (2007). The implications of complexity for integrated resources management. *Environmental Modeling and Software*, 22(5), 561–569. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.024>
- Pahl-Wostl, C. (2002). Towards sustainability in the water sector - The importance of human actors and processes of social learning. *Aquatic Sciences*, 64(4), 394–411. <https://doi.org/10.1007/PL00012594>
- Pahl-Wostl, C. (2020). Adaptive and sustainable water management: from improved conceptual foundations to transformative change. *International Journal of Water Resources Development*, 36(2–3), 397–415. <https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1721268>
- Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., y Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: the Management and Transition Framework. *Environmental Science & Policy*, 13(7), 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.08.006>
- Pahl-Wostl, C., Isendahl, N., Möllenkamp, S., Brugnach, M., Jeffrey, P., Medema, W., y Tessa de Vries, T. (2006). Paradigms in Water Management. In *NeWater*.
- Pahl-Wostl, C., y Kranz, N. (2010). Water governance in times of change. *Environmental Science & Policy*, 13(7), 567–570. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.09.004>
- Pareta, K., Pareta, U. (2011). Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(1), 248–269.
- Partelow, S. (2018). A review of the social-ecological systems framework: Applications, methods, modifications, and challenges. *Ecology and Society*, 23(4). <https://doi.org/10.5751/ES-10594-230436>
- Parveen, R., Kumar, U., y Singh, V. K. (2012). Geomorphometric characterization of upper South Koel basin, Jharkhand: A remote Sensing and AMP; GIS approach. *Journal of Water Resource and Protection*, 04(12), 1042–1050. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.412120>
- Piña Poujul, P. (2007). *Regionalización eco-hidrológica de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco. Tesis de maestría. UNAM.*
- PNUD México-INECC. (2017). Mapeo y análisis espacial de conflictos ambientales en México. Informe Final. *Plataforma de colaboración sobre cambio climático y*

crecimiento verde entre Canadá y México. Serie 2: Evaluación y mapeo de la vulnerabilidad y los riesgos climáticos, 71.

- Pochat, V. (2008). Principios de gestión integrada de los recursos hídricos: Bases para el desarrollo de planes nacionales. In *Global Water Partnership—GWP* (p. 12).
- Rahaman, M. M., y Varis, O. (2005). Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 1(1), 15–21. <https://doi.org/10.1080/15487733.2005.11907961>
- Rai, P. K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., y Mishra, V. N. (2017). A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. *Applied Water Science*, 7(1), 217–232. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0238-y>
- Recabarren Santibáñez, O. (2016). El estándar del derecho de aguas desde la perspectiva del Derecho Internacional de los Derechos Humanos y del Medio Ambiente. *Estudios Constitucionales*, 14(2), 305–346. <https://doi.org/10.4067/S0718-52002016000200010>
- Registro Agrario Nacional, R. (2021). *Perimetales de los núcleos agrarios certificados*. Conjunto de Datos Abiertos. datos.ran.gob.mx/conjuntoDatosPublico.php
- Richters, E. (1986). Clasificación y priorización de cuencas hidrográficas: un concepto general. *Seminario Taller “Metodologías de Priorización de Cuencas,”* 108–124.
- Riensch, M., Castillo, A., Flores-Díaz, A., y Maass, M. (2015). Tourism at Costalegre, Mexico: An ecosystem services-based exploration of current challenges and alternative futures. *Futures*, 66, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.12.012>
- Romero Navarrete, L; y Olvera Molina, M. (2019). Control del agua bajo el modelo de gestión por cuencas hidrológicas en México. *Iztapalapa Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 86(40), 125–158. <https://doi.org/dx.doi.org/10.28928/ri/862019>
- Saldaña-Espejel, A. (2008). *Prioridades de restauración para la recuperación de servicios ecosistémicos asociados a los aspectos hidrológicos de la Cuenca del río Cuitzmala, en el pacífico mexicano*. UNAM.
- Sánchez, K., Jimenez, F., Velasquez, S., Piedra, M., y Romero, E. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 88–95.
- Sánchez Velez, A., García Nuñez, R. M., y Palma Trijano, A. (2003). *La Cuenca Hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. (SEMARNAT (ed.); 1a ed., Issue 1972).
- Sandoval Casilimas, C. A. (2002). Módulo cuatro: Investigación cualitativa. In A. Editores (Ed.), *Especialización en Teoría, métodos y técnicas de investigación social*.

- SARH. (1969). *Boletín Hidrológico No. 41. Regiones Hidrológicas 13, 14, 15, 16 y 17. Zona Costa de Jalisco*. <http://hidrosuperf.imta.mx/pronacch/Boletines/41/tomo1/Boletín41Tomo1.pdf>
- Sarukhán, J.; y Maass, M. (1990). Bases ecológicas para el manejo de cuencas. In Porrúa. (Ed.), *Medio Ambiente y Desarrollo en México*. Schroeder.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597–646.
- Setiawan, O., y Nandini, R. (2021). Sub-watershed prioritization inferred from geomorphometric and landuse/landcover datasets in Sari Watershed, Sumbawa Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 747(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/747/1/012004>
- Sherman, L. K. (1932). The relation of hydrographs of runoff to size and character of drainage-basins. *Transactions, American Geophysical Union*, 13(1), 332. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00332>
- SINA. (2021). *Regiones Hidrológicas (nacional)*. CONAGUA. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas>
- Sivapalan, M.; y Blöschl, G. (2015). Time scale interactions and the coevolution of humans and water. *Water Resources Research*, 51, 35. <https://doi.org/10.1002/2015WR017896>.
- Sivapalan, M., Konar, M., Srinivasan, V., Chhatre, A., Wutich, A., Scott, C. A., Wescoat, J. L., y Rodríguez-Iturbe, I. (2014). Socio-hydrology: Use-inspired water sustainability science for the Anthropocene. *Earth's Future*, 2(4), 225–230. <https://doi.org/10.1002/2013EF000164>
- Sivapalan, M., Savenije, H. H. G., y Blöschl, G. (2012). Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes*, 26(8), 1270–1276. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>
- Srinivasan, V., Sanderson, M., Garcia, M., Konar, M., Blöschl, G., y Sivapalan, M. (2017). Prediction in a socio-hydrological world. *Hydrological Sciences Journal*, 62(3), 338–345. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1253844>
- Stanford, J.A. y Poole, G. C. (1996). *A protocol for ecosystem management. Ecological Applications*.
- Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In McGraw Hill (Ed.), *Chow, V., Ed., Handbook of Applied Hydrology* (pp. 439–476).
- Strauss, A., y Corbin, J. (2002). Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. In Editorial Universidad de Antioquia (Ed.), *Colección Contus* (Primera). http://www.academia.edu/download/38537364/Teoria_Fundamentada.pdf

- Taylor, S., y Bogdan, R. (1987). Introducción a los métodos cualitativos de investigación: la búsqueda de significados. In S. Editorial Paidós (Ed.), *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*.
- Tello Díaz, C. (2013). Desarrollo versus conservación en la disputa por los humedales del bosque tropical seco: El caso de la reserva Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. *Interciencia*, 38 (3)(ISSN: 0378-1844), 221–228. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33926977009>
- Uribe, T. O., Mastrangelo, M. E., Torrez, D. V., Piaz, A., Vallejos, M., Eduardo, J., Ceja, S., Gallego, F., Peña, L. C., Mellado, N. E., Flores, J. F., Mairhofer, R. G., Espino, Z. G., Salguero, L., Martinez-Peralta, C. M., Ochoa, O., Volkow, L. P., Emilio, J., Sánchez-Rose, I., y Maass, M. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos\r\nTransdisciplinary studies in socio-ecosystems: Theoretical considerations and its application in Latin American contexts. *Investigación Ambiental*, 6(2), 123–136.
- Ward, R., y Robinson, M. (2000). *Principles of Hydrology*.
- Zamudio Santos, V. (2020). Marco legal del agua en México con énfasis en la gestión comunitaria. México: ASAN-Cántaro Azul-Controla tu gobierno-Oxfam-WIN. 51 pp. ISBN s/d. Investigaciones geográficas, (105), e60444. Epub 01 de noviembre de 2021.<https://doi.org/10.14350/rig.60444>