



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**Caracterización del Sistema de Aprovechamiento de
Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

LUIS ALFREDO ISLAS SALDAÑA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. FERMÍN PASCUAL RAMÍREZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNAM

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, ENERO

2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**Caracterización del Sistema de Aprovechamiento de
Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

LUIS ALFREDO ISLAS SALDAÑA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. FERMÍN PASCUAL RAMÍREZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNAM

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO.

2021

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
ENTIDAD INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS-MORELIA

OFICIO CPCB/042/2021

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **09 de noviembre de 2020** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Manejo Integral de Ecosistemas** del estudiante **ISLAS SALDAÑA LUIS ALFREDO**, con número de cuenta **307084703** con la tesis titulada **“Caracterización del Sistema de Aprovechamiento de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco”**, realizada bajo la dirección del **DR. JOSÉ MANUEL MAASS MORENO**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. MIGUEL EDUARDO EQUIHUA ZAMORA
Vocal: DRA. ADRIANA CAROLINA FLORES DÍAZ
Secretario: DR. FERMÍN PASCUAL RAMÍREZ
Suplente: DR. PETER RIJNALDUS WILHELMUS GERRITSEN
Suplente: DR. VÍCTOR MANUEL SALAZAR ROJAS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 19 de enero de 2021

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Unidad de Posgrado, Edificio D, 1º Piso. Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria
Alcaldía Coyoacán. C. P. 04510 CDMX Tel. (+5255)5623 7002 <http://pcbiol.posgrado.unam.mx/>

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Extiendo mis más sinceros agradecimientos al:

- Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (PCBIOL-UNAM), por fortalecer mi formación profesional y académica.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado por medio de una beca (número 850342/629541).
- Al proyecto “Observatorio Nacional para la Sustentabilidad Socioecosistémica” (PN-CONACYT 2017-5526) por apoyar económicamente la elaboración del presente trabajo.
- A mi tutor, el Dr. José Manuel Maass Moreno, por la asesoría brindada durante todo el proceso, la cual ha marcado un referente personal y profesional en mi manera de ver el mundo y hacer ciencia.
- Al Comité Tutor, conformado por el Dr. Fermín Pascual Ramírez y la Dra. Ana Isabel Moreno Calles, quienes con sus comentarios y continuas reflexiones enriquecieron cada una de las ideas vertidas en esta tesis.

AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

A mi esposa, Jessica Arlette, quien además de darme el regalo más grande que puede dar la vida, todos los días me brinda su amor, amistad, apoyo y comprensión.

A mi hija, Arlen Itzae, quien con sus risas ilumina mis mañanas, y por quien todos los días me esfuerzo para ser una mejor persona y luchar por conseguir un mundo mejor.

A mis padres, Ángeles y Martín, quienes son el cimiento de todo lo que soy, espero que la vida me permita poder seguir llenándolos de orgullo.

A mi hermano y mejor amigo, Enrique, cuya ausencia extraño todos los días, situación que me hace valorar la vida a cada instante, porque el mejor regalo para quienes sean ido es seguir adelante.

A mis abuelos, Ismael, León y Josefina, quienes, todo el tiempo y con el mismo cariño que cuando era niño, han estado al pendiente de mí y de mi familia. Pido a la vida que me deje disfrutarloS el mayor tiempo posible.

A mis tías, Silvia, Toña y Guillermina, quienes siempre me han dado su apoyo y amor, como si fuera su propio hijo, las quiero y las admiro mucho.

A todos los integrantes de la gran y unida familia que la vida me regalo, Jaime, Flor, Jenny, Dany, Naty, Yomi, María, Ale, Josué, me tomaría un libro entero agradecerle a cada uno el cariño brindado.

A mi tutor, Manuel Maass, quien me he apoyado de manera personal y académica en todo momento, siempre con esa energía y entusiasmo que lo caracteriza. Como diría un querido amigo, - *es una suerte conocer a esos gigantes que en lugar de pisarte te levantan en sus hombros para compartir su mirada...* Muchas Gracias.

A mis tutores, Dr. Fermín Pascual y Dra. Ana Isabel, gracias por todos los momentos de reflexión que permitieron que este barco llegará a buen puerto.

A los miembros de mi Jurado, por las observaciones que hicieron a esta tesis y han sido fundamentales para el desarrollo y mejora de esta: Dr. Fermín Pascual, Dra. Adriana Flores, Dr. Miguel Equihua, Dr. Víctor Salazar y Dr. Peter Gerritsen.

A los técnicos, Raúl Ahedo y Salvador Araiza, por el apoyo técnico brindado.

Al Dr. Francisco Mora, por su apoyo en el uso y aprendizaje del Lenguaje de Programación R.

A la Dra. Ana Burgos, quien me apporto elementos y reflexiones sumamente trascendentales respecto a los temas de Manejo de Cuencas y de Transdisciplina.

Al Dr. Jean François Mas, por su apoyo en el uso de los SIG´s y el Análisis Espacial.

A la maestra Mayra Hernández y al profesor Humberto Macías, por su apoyo en los temas de Edafología, Morfología de Cuencas e Investigación Acción Participativa; y porque uno nunca debe de olvidarse del lugar de donde viene.

A Leonarda Terán, por todo su apoyo y disposición durante todo este mar de procesos administrativos.

A la Dra. Alicia Castillo y a Esther Román, gracias por su amistad, apoyo y motivación, brindados a mí y a mi esposa para concluir este proceso de maestría. Siempre estaremos agradecidos.

A Vero, Fermín (otra vez) y Vale, gracias por el apoyo, los consejos y por preocuparse por nuestra familia, pero sobre todo por su amistad.

A los amigos del campus, Belkis, Ginna, Karla, Cesar, Gustavo, Yeny, Brindis, Saúl. Nefer, Landy, Fer, Ana Lilia, América, Mariana, Nashow, German, Diego, Lulú, Laura, etc., gracias por los buenos momentos.

A los amigos del fútbol, a todos (hasta a los que solo patean), esas cascaritas en la ENES son la mejor receta contra el estrés, no cabe duda que los latinos nos entendemos mejor pateando una pelota.

A la ciudad de Morelia y toda su gente, que nos abrieron sus puertas y sus corazones. Me faltan palabras para agradecer todo el abrigo y apapacho que le dieron a estos extraños.

Y, por último, pero no menos importante a la UNAM, institución con quien siempre estaré en deuda, así como al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad que me abrió sus puertas: *“Por mi raza hablará el espíritu”*.

Índice

1	RESUMEN	1
2	Introducción	4
2.1	El Reduccionismo y la Crisis del Conocimiento	4
2.2	Hacia la Sustentabilidad: la Transdisciplina y los Sistemas Complejos.	4
2.3	El Enfoque Socioecosistémico: La Relación Humano-Naturaleza.	6
2.4	El Manejo de los Socioecosistemas: La Cuenca Como Unidad de Estudio y el Esquema de Pulsos y Presiones	7
2.5	Los Reportes Técnicos Como Instrumentos de Manejo Adaptativo.	8
2.6	El Agua Como un Aspecto Crucial.....	9
3	Antecedentes	10
3.1	La Historia de la Región.....	10
3.2	La Estación de Biología de Chamela	12
3.3	El Proyecto “Cuencas”	13
3.4	La Transición Hacia la Transdisciplina.....	14
3.5	La Información Disponible	15
4	Objetivos.....	17
5	Metodología.....	18
5.1	Caracterización del Sistema Biofísico	19
a)	Delimitación de las Unidades Ambientales:.....	19
b)	Cálculo de parámetros morfométricos:.....	19
c)	Recopilación de Datos y Modelación de la Dinámica Hidrológica.....	20
d)	Revisión de la Calidad del Agua:.....	23
5.2	Caracterización de los Servicios Ecosistémicos	23
a)	Servicio Ecosistémico de Provisión de Agua Dulce.....	23
b)	Servicio Ecosistémico de Infiltración (subsuperficial y profunda):.....	23
c)	Servicio Ecosistémico de Control de la Erosión Hídrica	24
5.3	Caracterización del Sistema Social	25
a)	Aspectos Sociodemográficos.....	25
b)	Percepción de los Servicios Ecosistémicos.....	25
c)	Legislación de la Gestión del Agua y el Territorio	25
5.4	Caracterización de los Pulsos y Presiones.....	26
a)	Eventos Externos	26

b) Eventos Internos.....	26
5.5 Diseño del Reporte Técnico	27
6 Resultados.....	28
6.1 El Reporte Técnico	28
7 Discusión.....	31
7.1 La Síntesis de la Información.....	31
7.2 El Reporte Técnico	32
7.3 Hacia la Transdisciplina.....	35
8 Conclusiones y Recomendaciones	37
9 Referencias	38
10 APÉNDICES	48

Índice de Figuras

Figura 1 El esquema de pulsos y presiones; El protocolo de manejo integral de cuencas hidrográficas.....	8
Figura 2 Mapa de la costa sur de Jalisco	11
Figura 3 Mapa de la reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala.....	12
Figura 4 Mapa del proyecto Cuencas.....	13
Figura 5 Mapa de localización de la cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco.....	16
Figura 6 Ruta metodológica.....	18
Figura 7 Ruta metodológica para la identificación de las áreas potenciales de infiltración subsuperficial.....	24
Figura 8 Ruta metodológica para la identificación de las áreas potenciales de infiltración profunda	24
Figura 9 Ruta metodológica para la identificación de las áreas potenciales para el control de la erosión hídrica	24
Figura 10 Interacciones del socioecosistema de la cuenca Cuitzmala.....	28

Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros morfométricos calculados para la cuenca del Río Cuitzmala	19
Tabla 2 Procedimiento para el cálculo del Balance Hídrico en la cuenca del Río Cuitzmala.....	21
Tabla 3 Instrumentos jurídicos relacionados a la gestión del agua de la cuenca del Río Cuitzmala	25

1 RESUMEN

La presente crisis ambiental, de proporciones globales, es una crisis del conocimiento, en parte derivada del modelo reduccionista que ha dominado a la cultura occidental durante los últimos dos siglos. Ante la necesidad de interpretar la realidad partiendo de su complejidad, el concepto de socioecosistemas propone un modelo de entendimiento de la relación intrínseca entre los seres humanos y su medio natural, con un enfoque de sistemas en el que componentes “físicos”, “bio-físicos” y humano-bio-físicos” interactúan a diferentes niveles y escalas jerárquicas y anidadas. Dicho enfoque incorpora una serie de herramientas para alcanzar la tan anhelada y necesaria sustentabilidad, entre estas se encuentran: el manejo adaptativo (para lidiar con la complejidad e incertidumbre), el enfoque de cuencas (para establecer una unidad biofísica de estudio); el esquema de pulsos y presiones (para entender el funcionamiento de los socioecosistemas); y la investigación transdisciplinaria (para incorporar los conocimientos y saberes). Siendo un elemento de partida en todos estos casos, la síntesis del conocimiento disponible.

En la Reserva de Biosfera de Chamela, localizada en la costa sur de Jalisco, desde hace más de tres décadas se han llevado a cabo una serie de estudios de largo plazo para entender la estructura y el funcionamiento ecológico de los bosques tropicales de la región. Derivado de la necesidad de incorporar los elementos sociales a estas investigaciones, el enfoque de trabajo paso del estudio de los ecosistemas, en una serie de pequeñas microcuencas; al estudio de los socioecosistemas integrados presentes en la cuenca del río Cuitzmala. Durante más de una década, en dicha cuenca se han realizado distintos estudios relacionados con la dinámica hidrológica, los servicios ecosistémicos, las percepciones sociales sobre el ambiente, la calidad del agua, etc. Cuya información y resultados se encuentran distribuidos en tesis y artículos científicos, los cuales son de difícil acceso e interpretación para los tomadores de decisiones de la región.

Por tal motivo el presente trabajo, tuvo como objetivo principal elaborar un reporte técnico, para poner a disposición de los tomadores de decisiones, a manera de síntesis, la información disponible para la cuenca del río Cuitzmala. Dicho reporte se elaboró teniendo como eje metodológico el protocolo de manejo integral de cuencas, el cual fue utilizado para identificar la información necesaria a recopilar y complementar. Una vez realizado lo anterior, dicha información fue revisada sistematizada y sintetizada, incorporando el esquema de pulsos y presiones, para poder identificar el funcionamiento del socioecosistema de la cuenca.

El reporte técnico se estructuró en seis secciones: 1) el resumen ejecutivo, donde se brinda un modelo general del funcionamiento del socioecosistema; 2) el sistema biofísico, donde se muestran las características ambientales relacionadas a la dinámica hidrológica; 3) los servicios ambientales, donde se abordan los servicios de provisión de agua dulce, infiltración y de control de la erosión hídrica; 4) el sistema social, donde se tratan los temas relacionados a la demografía, la tenencia de la tierra, las percepciones sociales y los marcos normativos; 5) los pulsos y presiones, donde se muestra el efecto que tienen las lluvias extremas, las políticas públicas, la contaminación del agua, la erosión y el cambio de uso de suelo; y 6) las recomendaciones, donde se proponen como líneas de acción, lo relacionado a los temas del ordenamiento territorial, la actividad ganadera, la diversificación de actividades productivas, y la deforestación de los bosques tropicales.

El ejercicio de síntesis, en el cual se incorporó el enfoque socioecosistémico, permitió entender el funcionamiento del mismo, algo sumamente necesario para el manejo sustentable de la cuenca del río Cuitzmala. Lo anterior contribuyó a establecer un modelo funcional con el cual se puede entender la dinámica de las interacciones humano-naturaleza y modelar los diferentes escenarios de manejo. Respecto al reporte técnico, destacan como principales aportes la vasta cantidad de información incorporada; la compilación de información básica la construcción de un repositorio de datos; y la propuesta de líneas de acción específicas. Así mismo, destacan como limitantes, la escala espacial (es útil por encima del nivel municipal) y temporal (hay información generada hace más de una década), el sesgo hacia las ciencias naturales y la falta de retroalimentación por parte de los usuarios a quienes está destinado.

En el marco de la investigación transdisciplinaria, el presente trabajo cuenta con los criterios principales necesarios a incorporarse, salvo la investigación participativa. En este sentido es necesario fortalecer a las futuras líneas de investigación a través de un proceso participativo. Las investigaciones tienen que ir encaminadas a resolver los problemas identificados en dicho proceso, para que, por un lado, las estrategias de manejo logren ser efectivas y autogestiva y, por otro lado, contribuyan al fortalecimiento de las capacidades técnicas de los actores locales.

ABSTRACT

The current environmental crisis, of global proportion, is a crisis of knowledge, in part derived from the reductionist model that has dominated Western culture for the past two centuries. Given the need to interpret reality from its complexity, the concept of socioecosystem proposes a model of understanding the intrinsic relationship between human beings and their natural environment, within a system approach in which “physical”, “bio-physical” and “human-bio-physical” components interact at different hierarchical and nested levels and scales. The socioecosystem concept incorporates a series of tools to achieve the long-awaited and necessary sustainability, among these are: adaptive management (to deal with complexity and uncertainty); the basin approach (to establish a biophysical unit of study); the scheme of pulses and pressures (to understand the functioning of socioecosystems); and transdisciplinary research (to incorporate different learnings and knowledge). All these elements start from the synthesis of available knowledge, which is the main focus of this thesis work.

In the Chamela Biosphere Reserve, located on the southern coast of Jalisco, for more than three decades a series of long-term studies have been carried out to understand the structure and ecological functioning of the tropical forests of the region. Derived from the need to incorporate social elements into these investigations, the work approach shifted from the study of ecosystems in a series of small micro-basins, to the study of integrated socioecosystems, present in the Cuitzmala river basin. For more than a decade, different studies have been carried out in this basin, related to hydrological dynamics, ecosystem services, social perceptions of the environment, water quality, etc. The obtained information and results are distributed in theses and scientific articles, which are difficult to access and interpret by the stakeholders in the region.

For this reason, the main objective of this work was to prepare a technical report, based on the synthesis of the information available for the Cuitzmala river basin. The report was prepared having, as methodological axes, the protocol of integral management of basins and the scheme of pulses and pressures. Considering the above, the available information was reviewed, systematized and synthesized, and the missing information, needed to address the issue of integrated water resources management, was supplemented.

The technical report was structured in six sections: 1) the executive summary, which provides a general model of the functioning of the socioecosystem; 2) the biophysical system, where the environmental characteristics related to hydrological dynamics are shown; 3) the environmental services, where freshwater supply, infiltration and water erosion control services are addressed; 4) the social system, where issues related to demography, land tenure, social perceptions, and regulatory frameworks are discussed; 5) the pulses and pressures, showing the effect of extreme rains, public policies, water pollution, erosion and changes in land use; and 6) the recommendations, which proposed as lines of action, those related to land management issues, livestock activities, diversification of productive activities and deforestation of tropical forests.

The synthesis exercise, in which the socioecosystem approach was incorporated, allowed us to understand its operation, something extremely necessary for the sustainable management of the Cuitzmala river basin. This contributed to the establishment of a functional model with which the dynamics of human-nature interactions can be understood, and the different management scenarios can be modeled. As for the technical report, its main contribution is: the large amount of information incorporated; the collection of basic information; the construction of a data repository; and the proposal of specific lines of action. Likewise, it was important to highlight: the spatial scale (i.e. above the municipal level) and the temporal scale (i.e. information generated more than a decade ago); the bias towards natural sciences; and the lack of feedback from the intended users.

Within the framework of transdisciplinary research, this work has the main criteria necessary to be considered as such, except for participatory research. In this sense, it is necessary to strengthen future lines of research through a participatory process. The research should be oriented to solve the problems identified in this process, so that the management strategies are effective and self-managed, as well as means to strengthen the technical capacities of the interest parties.

2 Introducción

2.1 El Reduccionismo y la Crisis del Conocimiento

El mundo está en crisis; en una crisis del conocimiento. Tal como lo mencionan diferentes autores (Leff, 1998; Morin, 2000; Max-Neef, 2005; Nicolescu, 2007) muchos de los grandes problemas que hoy azotan al planeta entero y que ponen en riesgo la existencia de los seres humano y de millones de especies, tienen su origen en la manera lineal y mecanicista para entender la realidad, que ha dominado a la cultura occidental durante los dos últimos siglos. La corriente reduccionista apela a la fragmentación de la realidad, en donde el conocimiento del todo se da a través de la suma de las partes. Si bien este modelo ha contribuido a generar la mayor cantidad de conocimiento en la historia de la humanidad, también ha contribuido e intensificado problemáticas a escala planetaria, tales como la desigualdad, los conflictos bélicos, la crisis ambiental, etc. Así mismo, cada vez hay más evidencias de las limitaciones que tiene este modelo para abordar y resolver estos problemas globales, bajo la mirada unidimensional de sus propias premisas (Funtowicz y Ravetz, 1994, 1999).

El ejemplo clásico de la crisis del conocimiento, es el modelo hegemónico en la economía mundial, el neoliberalismo. Sus raíces, que datan de principios del siglo XIX, están asentadas en principios mecanicistas y lineales, orientados a la acumulación máxima de capital a través de la producción ilimitada de bienes y servicios. Esta manera de entender la realidad ha moldeado en términos culturales a la mayor parte de las sociedades occidentales, condicionando la toma de decisiones político-económicas de la mayoría de las naciones (Smith y Max-Neef, 2011). Más allá de cualquier posicionamiento ideológico, lo que es un hecho, es que, al orientar el desarrollo humano bajo estos principios, se han externalizado factores de gran relevancia, como la relación y dependencia del ser humano con los ecosistemas (Vitousek, 2003; Gallopin, 2006). Esta situación ha condicionado la percepción de la realidad y las acciones de los seres humanos en el planeta. Actualmente la mayoría de las naciones antepone como meta principal el crecimiento económico sobre el cuidado y protección de la naturaleza. Impulsando un modelo de producción y consumismo ilimitados; en un mundo con límites y recursos finitos (Leff, 2000; Smith y Max-Neef, 2011).

Dicha interpretación, alejada de la realidad de los sistemas naturales, es la principal responsable de la presente crisis ambiental (Leff, 2015). En poco más de un siglo las actividades humanas han ocasionado una degradación de los ecosistemas y de la biodiversidad, que solo son comparables con los mayores eventos de extinción masiva en el planeta (Stuart Chapin *et al.*, 2012; Herrero-Jáuregui *et al.*, 2018); contribuyendo también, a que muchos procesos a escala planetaria, como el calentamiento global, la pérdida de la biodiversidad y, sobre todo, la degradación de los ecosistemas naturales, cuyos cambios drásticos ocurrían en largos periodos de tiempo, se hayan acelerado drásticamente; lo que antes ocurría en un lapso de miles a cientos de miles de años, ahora ocurre en tan solo unas cuantas décadas (Vitousek, 2003).

2.2 Hacia la Sustentabilidad: la Transdisciplina y los Sistemas Complejos.

En respuesta a las problemáticas de índole ambiental, desde 1972 en el foro de Estocolmo, se incluyó el concepto de sustentabilidad en la agenda política de gran parte de los

gobiernos alrededor del mundo y quedó reconocido de manera oficial dentro de las estrategias de planeación, en 1992 durante la conferencia de Río de Janeiro (Sequeiros San Román, 1998; Macías Cuéllar *et al.*, 2006).

La definición inicial partió de la necesidad de impulsar medidas para “satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer a las generaciones futuras” (Brundtland, 1987). Desde entonces, se han desarrollado vertiginosamente múltiples formas de entender e implementar el concepto, en diversas disciplinas científicas y corrientes de pensamiento (Leff, 1998). Son tantas las definiciones sobre *sustentabilidad* que existen, que hoy en día se reconoce como un concepto dinámico, cuya definición y metas deben ser acotadas a cada contexto específico, a partir del reconocimiento de la complejidad del mundo real (Funtowicz y Ravetz, 1994; Gallopin *et al.*, 2001; Macías Cuéllar *et al.*, 2006; Nicolescu, 2007).

Una de las estrategias para estudiar la complejidad, ha sido mediante el enfoque sistémico. Esta teoría, a diferencia del reduccionismo, propone entender la realidad a través de las interrelaciones que existen entre los elementos que la componen, así como de las propiedades que de estas emergen; con lo cual, el todo se convierte en algo más que la simple suma de las partes (Bertalanffy, 1976). Una de las cualidades de interpretar la realidad del planeta bajo un enfoque sistémico, es la posibilidad de considerar el comportamiento anidado que presentan muchos sistemas, el cual plantea que todo sistema forma parte de un sistema más grande (suprasistema), y a su vez esté se encuentra formado por distintos subsistemas. La contribución de este enfoque al manejo sustentable de los ecosistemas es sumamente relevante, ya que permiten el establecimiento y articulación de múltiples estrategias de manejo asentadas en el entendimiento de la estructura y la dinámica de los sistemas naturales, en diferentes escalas espaciales y temporales (Maass, 2017a). Conocer la estructura a través de los vínculos entre los componentes, permite identificar aquellos elementos críticos que, con el más mínimo cambio, pueden alterar de forma radical a todo el sistema; elementos que son necesarios para poder identificar patrones funcionales que cambian de manera inesperada, o bien, con umbrales poco conocidos. Mientras que, a través del estudio de la dinámica del sistema, podemos entender la manera en que los ecosistemas funcionan y se adaptan a lo largo del tiempo (Pahl-Wostl, 2007b; Collins *et al.*, 2011).

En el manejo sustentable de los ecosistemas, un aspecto importante a considerar desde la complejidad, es la necesidad de integrar distintas formas de conocimiento en todas las etapas del ejercicio científico (Liehr *et al.*, 2017). Esta necesidad posiciona a la investigación transdisciplinaria como un eje fundamental para lograr esta ardua tarea. Mediante la cual adopta los principios elementales de la interdisciplina, reconoce e incorpora el conocimiento no científico que surge de manera cotidiana, en la interacción del ser humano con el mundo que lo rodea (Max-Neef, 2005; Nicolescu, 2014). De esta manera, la incorporación de “otros saberes”, fortalece el diseño e implementación de acciones encaminadas a la sustentabilidad.

En otras palabras, con el enfoque sistémico se delimita un problema en una dimensión conceptual que busca cubrir la mayor parte de los contextos relacionados. Y con la transdisciplina se incluye a todos los actores desde el inicio del proceso de la investigación reconociendo su entendimiento particular del sistema. Todo ello contribuye a que los diferentes sectores sociales implicados en el problema se involucren, de manera más activa

y con mayor compromiso, en las actividades subsecuentes (Montañes-Serrano, 2012; Villasante y Martín Gutiérrez, 2018).

2.3 El Enfoque Socioecosistémico: La Relación Humano-Naturaleza.

Como se ha mencionado, la visión de desarrollo económico neoliberal, ha condicionado la toma de decisiones de los seres humanos, anteponiendo la acumulación del capital sobre el bienestar de los ecosistemas (Smith y Max-Neef, 2011); enajenándolos de su relación intrínseca con la naturaleza, la cual luego de ser concebida como una deidad por las primeras civilizaciones, ha pasado a ser solo una fuente de recursos materiales (Leff, 1998).

Si bien, una de las características de los seres humano es actuar conforme a la manera en que perciben y entiende la realidad (Maass y Equihua, 2015a), la hegemonía de un modelo de producción ilimitada, alejado de la realidad biofísica del planeta (con recursos finitos), ha condicionado el mantenimiento de los sistemas que brindan soporte a la vida en la Tierra (Funtowicz y Ravetz, 1994; Gallopín, 2006). Por lo tanto, una de las prioridades para alcanzar la sustentabilidad, consiste en modificar la manera en que se llevan a cabo las relaciones humano-naturaleza (Maass, 2017b; Challenger *et al.*, 2018). La manera en que se ha abordado a esta necesidad, ha transitado por diferentes etapas. Iniciando con la gestión de los recursos naturales (en términos de cosecha sostenida), la gestión de los ecosistemas (en términos de resiliencia), hasta llegar al manejo de los sistemas socio-ecológicos (Macías Cuéllar *et al.*, 2006; Collins *et al.*, 2011). Mientras que los dos primeros apelan a la optimización de los sistemas de producción y a la conservación de los ecosistemas; los sistemas socio-ecológicos, van más allá, reconociendo la relación intrínseca entre los subsistemas sociales y biofísicos, cuyas interacciones deben ser abordadas de manera conjunta (Challenger *et al.*, 2018).

El estudio de los sistemas socio-ecológicos se ha incorporado a la investigación científica desde distintas perspectivas. Las primeras consistían en generar un esquema de trabajo entre la economía y la ecología para atender los conflictos relacionados al uso de los recursos comunes (Olsson *et al.*, 2004); lo que daría paso al desarrollo de estudios de resiliencia y vulnerabilidad aplicados a escalas regionales, incorporando a las metodologías meramente económicas (orientadas a la internalización de costos); y otras de carácter más social (Herrero-Jáuregui *et al.*, 2018). No obstante, aún no existe una teoría general que sea capaz de integrar a todas las vertientes (Liu *et al.*, 2007). En este sentido, la perspectiva socioecosistémica centra su discusión en la forma en que el ser humano se inserta en el mundo natural y el rol que desempeña en este. Como primer elemento, reconoce al sistema planetario como un arreglo humano-biofísico integrado; que se encuentra inmerso en una realidad fenoménica; cuya evolución está dirigida por procesos direccionales que operan a diferentes escalas espaciales y temporales, de tipo: físico-químico, biótico y socio-cultural (Maass, 2017b; Challenger *et al.*, 2018).

El enfoque de los socioecosistemas cambia el status del ser humano como agente externo al mundo natural, y lo integra a una realidad ecosistémica de la cual emerge, evoluciona y depende su subsistencia. Así mismo, parte de una aproximación ontológica, en donde identifica la presencia de objetos reales e ideales, y de una serie de valores dependientes de contexto, como componentes básicos de la realidad (Maass, 2017b).

Respecto a los procesos direccionales, los socioecosistemas reconocen que son estos quienes han moldeado la estructura y dinámica funcional del planeta. Los primeros

consisten en procesos teleomáticos, basados en principios físicos, cuyas leyes datan desde el origen del universo. Los segundos son aquellos de corte teleonómico que surgieron con la presencia de la vida y están condicionados por la evolución y la selección natural. Y finalmente aquellos denominados como teleológicos, dirigidos por una evolución cultural, como resultado del nacimiento de la conciencia humana (Mayr, 2004). La adopción de dicho enfoque intenta unificar gran parte de los conceptos de la perspectiva socio-ecológica. Sin embargo, es consciente del reto que implica en el quehacer científico; desde su adopción en los marcos del desarrollo y la política pública; así como de su implementación mediante acciones concretas en los distintos niveles (nacional, regional y local) (Challenger *et al.*, 2018). Lo anterior representa “*todo un cambio de paradigma ético, epistemológico, metodológico, económico e institucional...*” en el cual la investigación transdisciplinaria y de largo plazo funge un papel fundamental en el cumplimiento de dichos desafíos (Vaughan *et al.*, 2007; Maass, 2017b).

2.4 El Manejo de los Socioecosistemas: La Cuenca Como Unidad de Estudio y el Esquema de Pulsos y Presiones

La implementación de acciones dirigidas al manejo sustentable de los socioecosistemas requiere de una serie de consideraciones para su efectividad (Pahl-Wostl, 2007a). Entre las más relevantes están la necesidad de incorporar un marco metodológico capaz de evaluar los mecanismos de retroalimentación a lo largo del tiempo entre los subsistemas sociales y biofísicos; la definición de una unidad de estudio que permita lidiar con el carácter abierto de los ecosistemas; así como, la incorporación de un protocolo que se adapte a la complejidad e incertidumbre, presentes en todo momento (Holling, 1986a; Sarukhán y Maass, 1990; Stanford y Poole, 1996).

En lo que respecta a la primera consideración, el esquema de pulsos y presiones propuesto por Collins y colaboradores (2011), plantea una manera muy simple y óptima para identificar la estructura y el funcionamiento de los socioecosistemas. En donde lo social y lo biofísico interactúan a lo largo del tiempo, a través de los servicios ecosistémicos y de los eventos de pulsos y presiones (figura 1). Lo anterior es un bucle de retroalimentación continua, donde la naturaleza brinda bienes y servicios a la sociedad; esta, toma decisiones en función de los mismos; las cuales, desencadenan diferentes eventos de pulsos y presiones; que, modifican la estructura y funcionalidad de los ecosistemas. Los denominados pulsos son eventos repentinos y de corta duración que generan un fuerte impacto en los ecosistemas (p. ej. las inundaciones, los huracanes, las sequías, etc.); mientras que las presiones son procesos de transformación continuos y frecuentes, que se extienden y acumulan a lo largo del tiempo y el espacio (p. ej. la erosión, el incremento de la temperatura, el aumento en el nivel del mar, etc.).

Por su parte, en lo que respecta a la manera de lidiar con el carácter abierto de los ecosistemas, el enfoque de cuencas es una pieza clave en la definición de las unidades de estudio. Lo anterior se basa en tres características principales de las cuencas hidrográficas: la presencia de fronteras claramente definidas por el relieve (el parte aguas); el papel del agua como elemento central en los procesos ecosistémicos y sociales; y su carácter anidado (cuenca, subcuenca, microcuenca), que permite el establecimiento de estrategias a diferentes escalas espaciales y temporales (Sarukhán y Maass, 1990; Maass, 2003; Maass, *et al.* 2010b).

En lo relacionado con el establecimiento de acciones específicas, se reconoce al manejo adaptativo como una herramienta para lidiar con la complejidad e incertidumbre, estableciendo un proceso iterativo de continuo aprendizaje, en donde las decisiones se toman a partir del conocimiento existente y se retroalimenta con la experiencia obtenida en cada etapa subsecuente (Holling, 1986; Pahl-Wostl, 2007b).

Inspirados en estos principios, Maass y Cotler (2007), adaptando la propuesta de Stanford y Poole (1996), han diseñado un protocolo de manejo integral enfocado en las cuencas hidrográficas (Figura 1). Este documento plantea a grandes rasgos, el desarrollo de un proceso que parte de la definición del socioecosistema y la cuenca de trabajo; abriendo paso a la simulación de escenarios para el establecimiento de 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 continuo monitoreo que genera conocimiento y retroalimentar al programa en cada una de sus diferentes etapas.

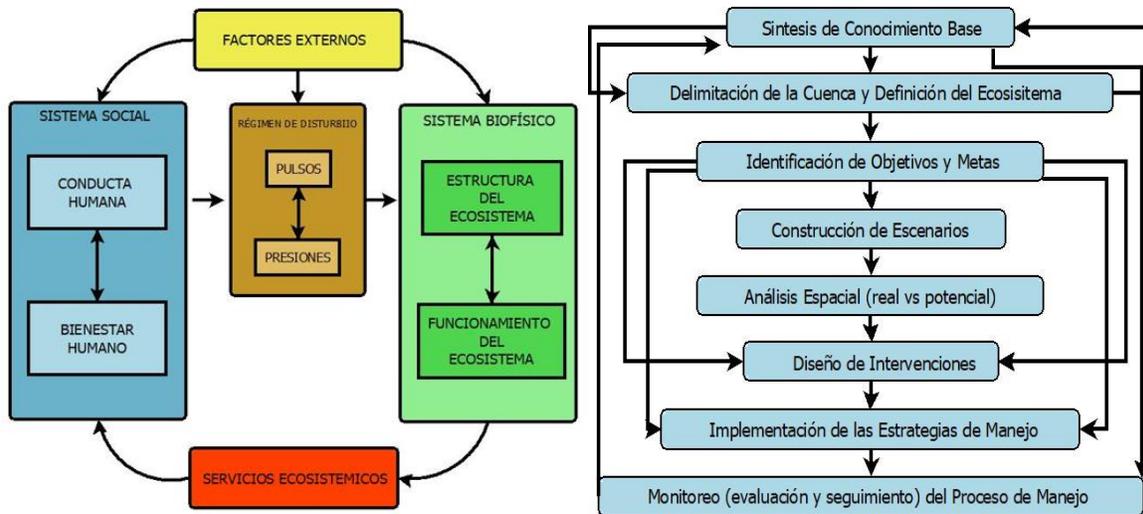


Figura 1 El esquema de pulsos y presiones (lado derecho); El protocolo de manejo integral de cuencas hidrográficas (lado izquierdo) (Tomado de Collins et al., 2011; Maass y Cotler 2007)

2.5 Los Reportes Técnicos Como Instrumentos de Manejo Adaptativo.

La investigación transdisciplinaria y el manejo adaptativo, requieren de la formulación de nuevas reglas de colaboración entre la ciencia y la sociedad (Funtowicz *et al.*, 2001; Bergmann *et al.*, 2012). Lo que conlleva en los sectores científicos a replantear aquellos aspectos relacionados a sus métodos de producción, divulgación, comunicación y transferencia del conocimiento (Luks y Siebenhüner, 2007; Lang *et al.*, 2012).

Una de las características de la investigación científica “clásica”, ha sido la distribución de sus resultados en revistas científicas, quienes limitan el acceso de acuerdo a la capacidad económica de los usuarios (Cheng y Ren, 2008). No obstante, el auge de la era digital ha modificado esta tendencia, contribuyendo a generar nuevos canales de difusión, con una consigna a favor del libre acceso al conocimiento (Hylén y Schuller, 2007; Krikorian y Kapczynski, 2010).

Entre las estrategias empleadas, destaca el auge que ha tenido la producción de la llamada literatura gris (Pappas y Williams, 2011). Clasificación, en la que se integran los formatos que incluyen a las memorias de conferencias, las tesis y los reportes técnicos, los cuales se elaboran y publican sin ninguna intervención por parte de las editoriales comerciales, y si lo hacen, es sin fines de lucro (Paez, 2017).

En el manejo de los socioecosistemas, la información que se genera es muy amplia y de diversos temas. Esto, aunado al compromiso de difundir a la sociedad los avances y resultados obtenidos a la brevedad posible, convierte a la literatura gris, sobre todo a los reportes técnicos, en un atractivo medio de difusión de resultados. Dejando a un lado muchos de los contratiempos de publicar en una revista científica: rigurosidad en cuanto a lo novedoso del tema; tiempos de revisión; costos de publicación; medios de acceso; etc.

A pesar de la flexibilidad de los reportes técnicos, en comparación a las publicaciones científicas, existen una serie de requisitos mínimos para garantizar la calidad del producto. El principal es de tipo ético, mediante el cual el investigador tiene que evaluar y garantizar la veracidad de sus resultados (Mathes y Stevenson, 1976; Castro y Salinetti, 2006). Entre los demás estándares que debe contener este formato, están: el contar con un resumen capaz de atrapar al lector; el uso de un lenguaje claro y acorde al público a quien va dirigido; la descripción breve y concisa de los resultados; el respaldado por expertos del tema; y en términos de la transdisciplina, la aprobación respecto a su utilidad por parte de los usuarios a quienes va dirigido (Ulrich, 1984).

En el contexto del manejo de los socioecosistemas la difusión de la información es un eje fundamental en los procesos de colaboración entre la ciencia y la sociedad (Maass, 2017b). La elaboración de un reporte técnico de calidad, aporta validez a la investigación; complementa los procesos de autoaprendizaje; ayuda a corregir desviaciones en los mecanismos de planeación; y permite implementar nuevas medidas en los programas de manejo. Mientras que, en términos de vinculación con la sociedad, incentiva los procesos participativos y legitimidad el trabajo de investigación ante los actores locales (Villasante, 2018; Villasante y Martín Gutiérrez, 2018).

2.6 El Agua Como un Aspecto Crucial.

El agua es el elemento central de los socioecosistemas. Por un lado, en un sentido teleomático, es un elemento que dirige muchas de las reacciones fisicoquímicas que se dan a nivel planetario. En un sentido teleonómico determina gran parte del funcionamiento de los ecosistemas y es esencial para la presencia de la vida. Y en un sentido teleológico, es una pieza clave en el surgimiento y desarrollo de las civilizaciones humanas (Mattos y Villela, 1975; Davie, 2008).

La presente crisis ambiental incide de manera drástica en la disponibilidad de este elemento, y mientras esta continúa avanzando, se agudizan los problemas derivados de su carencia (Gleick, 2006). Razón por la cual el agua es quizás el recurso en donde más urge el establecimiento de una estrategia en el largo plazo, que garantice su aprovechamiento sustentable (Cammerman, 2009).

En la actualidad son diversos los problemas asociados a este recurso, siendo la escasez y el uso inadecuado, los más relevantes para el hombre. En donde están en juego la mayor parte de los sistemas productivos. Entre estos, las actividades agrícolas son quienes tienen

la mayor demanda de agua, por ende, de no implementarse medidas, también está en riesgo la producción de alimentos en el mundo e incluso la paz mundial (UNESCO, 2003).

Si en décadas pasadas, muchos de los conflictos bélicos se debían al control de los hidrocarburos, es un hecho que muchas de las guerras futuras serán ocasionadas por el acceso y control del agua (Swain, 2015). Ante tal situación, como parte de un ejercicio de poder, diferentes naciones han venido adoptando varias medidas para el control del recurso. Estas van desde la apropiación directa a través del uso de la fuerza, el control por medio de mecanismos financieros bajo estándares de privatización, y de blindajes proteccionistas de tipo nacionalista (Jalife Rahme, 2018).

Pese al complicado panorama, la implementación del enfoque de los socioecosistemas, donde se prioriza una ciencia basada en resultados, representa una herramienta esencial para hacer frente a la crisis del agua. Dado que, gran parte de los casos de gestión integral con mejores resultados, son aquellos que han incorporado a la transdisciplina y al manejo adaptativo, dentro del enfoque de cuencas; quienes han evidenciado las falencias de los controles centralizados, tanto privados como estatales (Pahl-Wostl, 2007a; Krueger *et al.* 2016; Megdal *et al.*, 2017; Shen, 2018). Esta necesidad de descentralizar la gestión hídrica para una mejor distribución y cuidado del medio ambiente, ha inclinado la balanza en favor de los procesos locales de gobernanza y subsidiariedad. En estos procesos es importante reconocer, que son los actores locales, los principales involucrados en la identificación de las problemáticas más relevantes y de las posibles soluciones (Ostrom, 2009, 2015).

3 Antecedentes

3.1 La Historia de la Región

El principal historiador de la región, Carlo Tello-Díaz, ha recopilado y relatado en sus obras literarias, los hechos más relevantes de la región, ocurridos desde mediados del siglo pasado (Tello-Díaz, 2012, 2014a, b). Una de las cosas que el autor señala con mayor hincapié en sus textos, es la enorme riqueza natural de la región, la cual la dota de una belleza escénica inigualable y al mismo tiempo la convierte en una tierra inhóspita para el ser humano (Figura 2).

Hasta mediados del siglo pasado este territorio se encontraba prácticamente deshabitado. Es hasta el periodo entre 1943 a 1959, que los gobiernos federales y estatales se dieron a la tarea de estimular su colonización a través de un proyecto conocido como “La Marcha al Mar”. El cual, mediante la aplicación de estímulos económicos, el reparto de tierras, y la construcción de infraestructura básica, pretendía generar un desahogo demográfico desde el altiplano a las costas del país. Al final de dicho periodo la población y la extensión de tierras destinadas a la agricultura y la ganadería ya se habían triplicado y duplicado, respectivamente. Sin embargo, los intentos de colonización cesaron debido a la incidencia de distintos factores, entre estos: la quiebra financiera del principal inversionista; el declive de la actividad minera; y la incidencia de numerosos desastres naturales. Poniendo así, una pausa momentánea a los sueños de modernización y desarrollo económico de la región.

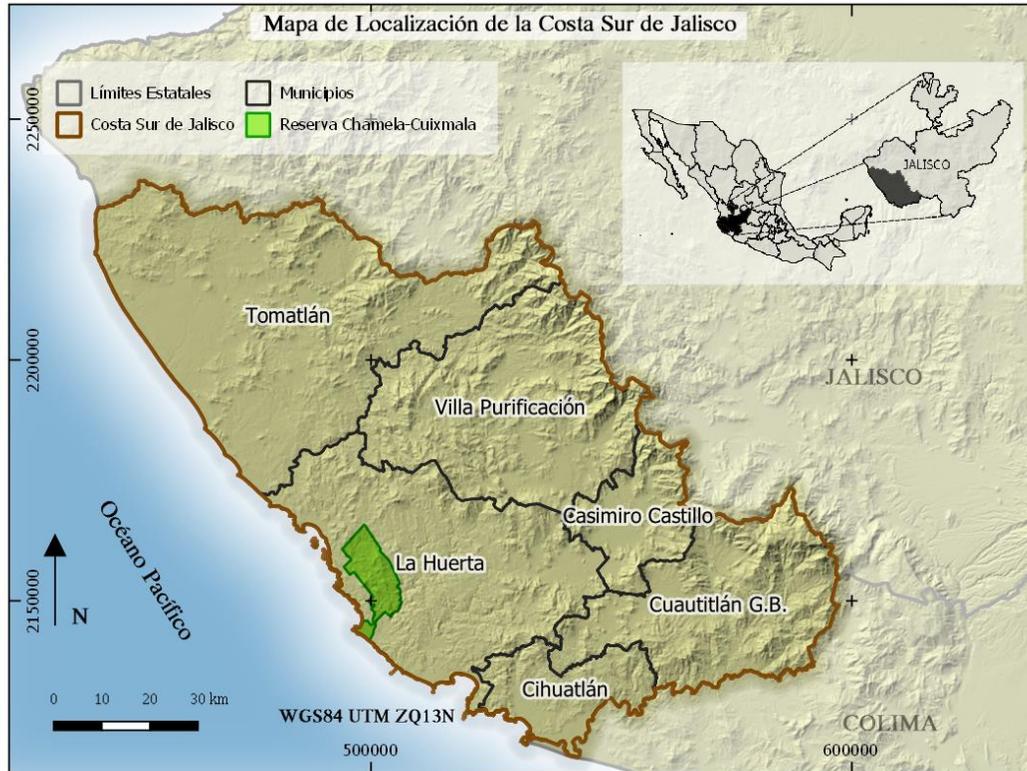


Figura 2 Mapa de la Costa Sur de Jalisco (Autoría propia con datos de INEGI, 2010).

Fue hasta el año de 1972, con la construcción de la carretera federal número 200 que se retomaron nuevamente estas ideas. Sin embargo, en esta ocasión las reglas del juego serían influenciadas por la llegada de nuevos capitales y proyectos de inversión en la región, así como nuevos conflictos sociales. En este contexto, la conservación ecológica se incluyó como una estrategia para la defensa de la propiedad privada, ante los constantes intentos de invasión y las solicitudes de expansión agrícola, impulsados, estas últimas, por los gobiernos en turno.

Ante este escenario, y producto de una importante donación de tierras privadas (1,600 ha) a la UNAM, aunado al interés del Instituto de Biología de la UNAM por contar con una estación de trabajo en los bosques secos tropicales del Pacífico mexicano, se creó la Estación de Biología “Chamela” (EBCH). Superficie que se incrementaría, mediante la incorporación de 1,719 ha, que habían estado en resguardo de la Secretaría de Agricultura. Quedando a cargo de la EBCH, una superficie de 3,319 ha. dedicadas a la conservación e investigación de este importante relicto forestal de vegetación tropical, en condiciones excelentes de conservación.

La consolidación de lo que hoy conocemos como la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBC-C) (Figura 3), se daría hasta el año de 1993, luego de una prolongada negociación entre los intereses de desarrollo turístico, conservación ecológica y aprovechamiento agropecuario. La superficie total de la reserva quedaría integrada por área de conservación de 13,142 ha., conformada por: las 3,319 ha. de la EBCH; las 200 ha. de la Universidad de Guadalajara; las 1,600 ha. provistas por el ejido El Rincón de Ixtlán y otros propietarios privados; y las 8,046 ha. dotadas por la Fundación Cuixmala.

3.2 La Estación de Biología de Chamela

Aunado a este complejo contexto de desarrollo local, la relevancia del estudio de los bosques tropicales de la región es particularmente importante por su excelente estado de conservación. Estos ecosistemas cuentan con una amplia biodiversidad y endemismos, cuya principal característica de sus especies arbóreas es la pérdida de follaje durante la temporada secas (Trejo y Dirzo, 2000); sin embargo, este tipo de ecosistemas han sido de los más devastados a consecuencia del incremento de la agricultura y la ganadería desde los años 70's (Tello-Díaz, 2012; Kolb *et al.*, 2018). Haciendo de su manejo sustentable un tema prioritario para la agenda ambiental nacional (Arriaga *et al.*, 2009).

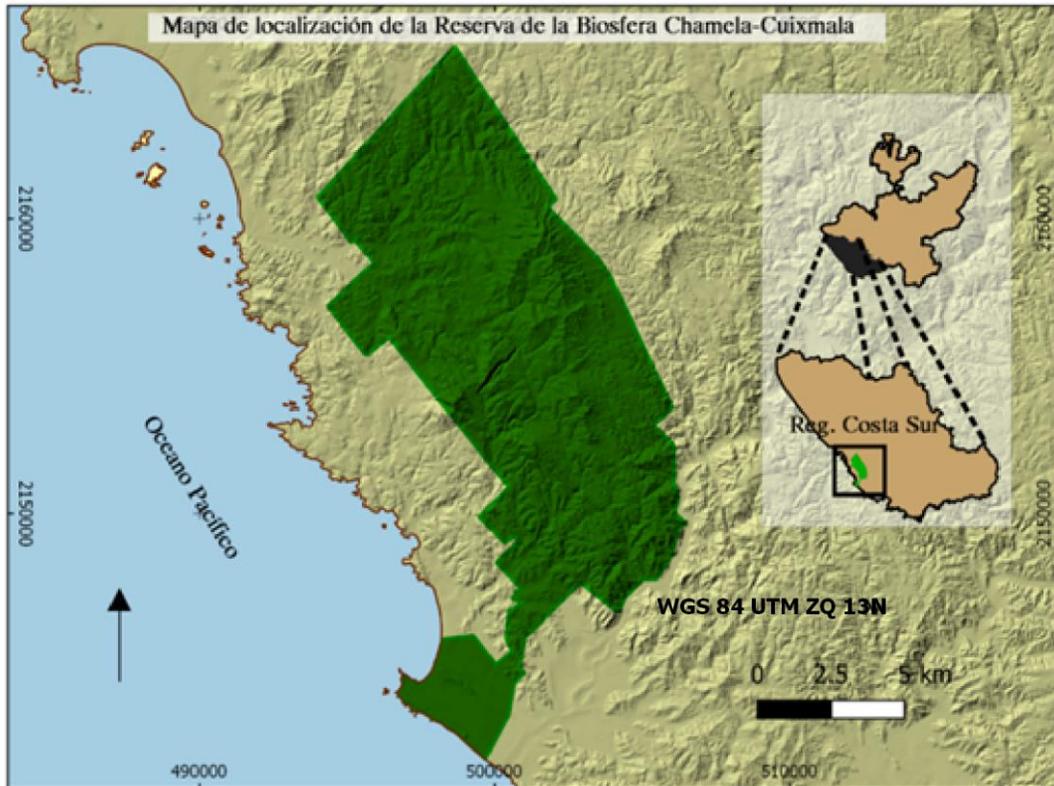


Figura 3 Mapa de la reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2010).

El trabajo realizado por la UNAM en colaboración con otras instituciones nacionales y extranjeras desde la fundación de la EBCH, ha posicionado a este sitio como uno de los más estudiados en términos taxonómicos y ecológicos a nivel mundial (hasta el año 2018, se reportan más de 510 tesis y 794 publicaciones científicas). Siendo cuatro los objetivos que han orientado las líneas de trabajo de la estación: la preservación; el conocimiento de la estructura y funcionamiento del ecosistema; la oferta de servicios de investigación, divulgación y enseñanza; y la identificación de los problemas sociales de la región, en conjunto con la implementación de estrategias para su solución (Noguera *et al.*, 2002). A lo largo de más de cuatro décadas, en la EBCH se han realizado cientos de trabajos respecto al inventario y el monitoreo de especies y comunidades de plantas y animales. Actualmente se reportan para los terrenos de la RBC-C, 471 especies de vertebrados, 1150 especies de plantas vasculares y más de 2000 especies de artrópodos (Noguera *et al.*, 2002). Se han realizado múltiples estudios para entender el efecto de la estacionalidad en las

comunidades biológicas, mediante estudios de la fenología y estructura de la vegetación, de las interacciones, y el monitoreo de la distribución espacio-temporal de las poblaciones de varias especies de vertebrados e invertebrados, etc. Así mismo, en sus terrenos se lleva a cabo uno de los esfuerzos de investigación ecológica de largo plazo más longevos y continuos del mundo sobre la estructura y funcionamiento de los bosques tropicales secos (Sarukhán y Maass, 1990; Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Maass *et al.*, 2002, 2010b, a).

3.3 El Proyecto “Cuencas”

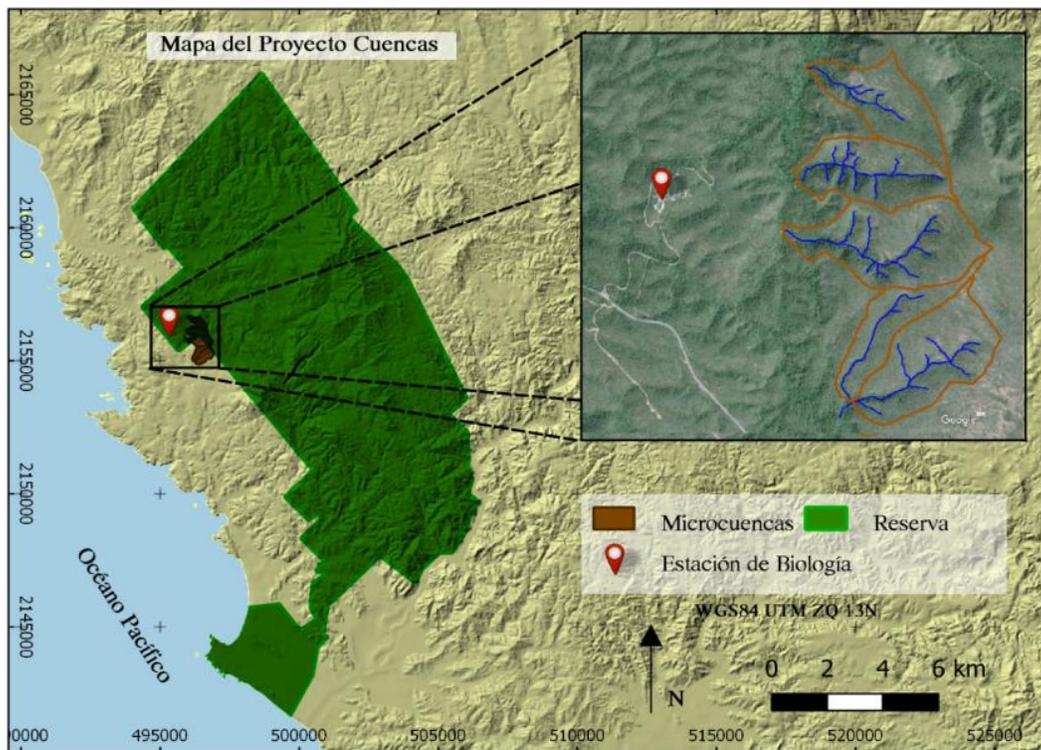


Figura 4 Mapa del proyecto Cuencas (Autoría propia con datos de INEGI 2010 y Maass *et al.* 2005)

Hasta principios de los años ochenta la mayoría de la investigación ecológica en la EBCH se concentraba en el conocimiento de la composición taxonómica. Las actividades enfocadas a conocer la estructura de las comunidades bióticas eran escasas y en cuanto a los procesos funcionales del ecosistema era aún más escasas (Maass *et al.*, 2010b). Impulsados por el desarrollo internacional del enfoque ecosistémico, de carácter más holista e integrador en comparación a la ecología clásica, y respondiendo a la necesidad de esta vertiente de investigación, en 1981 surgieron nuevas líneas de trabajo en la EBCH dirigidas a entender la estructura y los procesos ecosistémicos en sus condiciones naturales y bajo diferentes niveles de perturbación, con una visión de estudio a largo plazo (Sarukhán y Maass, 1990). Considerando el papel central que juega el agua en los ecosistemas, se establecieron como unidades de trabajo una serie de cinco pequeñas cuencas hidrográficas, de entre 10 ha. y 30 ha. en las que se mide la dinámica de los bancos, balances y flujos internos de agua, energía y nutrientes en los bosques tropicales secos en estado de conservación (Figura 4). Este estudio, conocido como “Proyecto “Cuencas”, se ha mantenido ininterrumpidamente, monitoreando el sistema por más de 35 años (Sarukhán y Maass 1990; Maass *et al.*, 2002, 2010b; Álvarez-Yépiz *et al.*, 2018).

Poco a poco a nivel nacional, se fueron incorporando más grupos académicos en esta vertiente de investigación ecosistémica (Escobar *et al.*, 2008; Maass y Equihua, 2015b), al punto que, en 1998 se comenzó conformar una red nacional de investigación ecológica de largo plazo (Ceballos *et al.*, 1998) y en el 2004 se conformó oficialmente la red Mex-LTER (por su siglas en Inglés: Long Term Ecological Research; Burgos *et al.*, 2007; Jardel *et al.*, 2013; Maass y Equihua, 2015b).

3.4 La Transición Hacia la Transdisciplina

Como se mencionó, uno de los cuatro objetivos de la reserva está dirigido a incidir sobre las problemáticas sociales de las comunidades aledañas. No obstante que el “Proyecto Cuencas” se concibió como un estudio con propósitos de manejo de ecosistemas (Sarukhán y Maass, 1990) y que existían algunos antecedentes tempranos sobre aspectos de producción agrícola en la región (De Ita-Martinez, 1983; De Ita-Martinez y Barradas, 1986), hasta finales de los 90’s la parte social era un aspecto poco abordado en las investigaciones de la EBCH. Sin embargo, esta tendencia cambiaría radicalmente, con el arribo de las “metas del milenio” y todo lo relacionado a los sistemas socio-ecológicos, a comienzos del siglo. A partir de ese momento, el grupo “Chamela” de la Mex-LTER que se había caracterizado por sus estudios estrictamente ecológicos, comenzó a incorporar a sus investigaciones muchos de los aspectos sociales relevantes a la región (Castillo *et al.* 2018b). Los pioneros en este rubro, fueron aquellos trabajos interesados en construir un puente de comunicación entre la ciencia y la sociedad, quienes a través de investigaciones basadas en la “interpretación cualitativa”, documentaron aspectos relacionados al manejo del territorio, a las políticas de desarrollo, etc. (Castillo *et al.*, 2009; Pujadas-Botey, 2013; Schroeder y Castillo, 2013; Riensche *et al.*, 2015). Al mismo tiempo en que surgían estos estudios de carácter socio-ecológico, también emergieron aquellos trabajos relacionados a los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales secos (Maass *et al.*, 2005; Balvanera y Maass, 2009; Balvanera *et al.*, 2011; Balvanera, 2012).

Entre los principales logros de estos trabajos, realizados durante casi dos décadas, destacan: las percepciones sociales recabadas respecto a los servicios ecosistémicos; la recopilación de las necesidades e intereses de información de los ejidos y localidades; la documentación histórica relacionada al manejo de los bosques tropicales; la evaluación de los impactos de las políticas de desarrollo en los ecosistemas; y los talleres y materiales de difusión científica diseñados para las personas de las comunidades (Castillo *et al.*, 2018).

Uno de los aspectos más mencionado en dichas investigaciones interdisciplinarias, ha sido la importancia social que tiene el agua en el desarrollo de las actividades productivas y domésticas. Donde los actores locales, reconocen el impacto negativo que ha tenido la falta de planeación de sus actividades, en la calidad y disponibilidad de agua (Solórzano-Murillo, 2008; Sánchez-Matías, 2010). Identificando como una de sus necesidades de información, el desarrollo de productos de investigación encaminados a la gestión sustentable de los recursos hídricos (Pérez-Escobedo, 2011).

Durante casi cuarenta años, el “Proyecto Cuencas” ha generado una vasta información acerca de la dinámica hidrológica en estas pequeñas microcuencas dentro de la EBCH, la cual puede, en buena medida, ser extrapolada a gran parte de la región cubierta por este tipo de vegetación. Sin embargo, estos estudios tienen dos limitantes importantes; la primera es de tipo espacial, ya que las pequeñas cuencas no evalúan los procesos que

mantienen la funcionalidad de los ecosistemas a escalas regionales; y la segunda se debe a que, en estos sitios, dado su estatus de conservación, no incluyen ninguna actividad humana. Estas limitaciones fueron abordadas hace más de 15 años, con la decisión de expandir el foco de atención del proyecto mediante un cambio de escala en la investigación, orientado el estudio a incluir toda cuenca del río Cuitzmala, con una superficie que rebasa los mil kilómetros cuadrados, y la cual incluye la presencia de asentamientos humanos (Piña Poujol, 2007).

El enfoque socio-ecológico que incursiono en la investigación ecológica a principios de siglo, ha ido cambiando con el paso del tiempo. Hoy en día, además de resaltar la necesidad del ejercicio interdisciplinario, reconoce en la transdisciplina un elemento básico detrás de la inteligencia que se necesita para la resolución de los problemas ambientales (Spangenberg, 2011; Gibbs, 2015; Challenger *et al.*, 2018). En este sentido es que el “Laboratorio de Manejo de Ecosistemas” del IIES-UNAM, se convirtió en el Laboratorio de “Investigación Transdisciplinaria para el Manejo Sustentable de los Socioecosistemas”, teniendo entre sus principales líneas de trabajo lo relacionado al manejo sustentable del agua en la Región de la Costa de Jalisco.

La atención especial a dicho recurso, radica en que este es el factor limitante para los socioecosistemas de la región. Siendo la principal característica, la marcada estacionalidad de las lluvias, con un periodo de secas que dura más de la mitad del año. Lo anterior, aunado al bajo porcentaje de escorrentía (10%-30%) a causa de la vegetación (70% y 90% es devuelta a la atmosfera en forma de evapotranspiración) durante la época de lluvias; limita el desarrollo de las actividades humanas y hace que se incremente la presión sobre los ecosistemas (Piña Poujol, 2007; Maass *et al.*, 2018). Estas situaciones, que se han agravado a causa de decisiones políticas tomadas sin considerar el contexto regional (impulso a la agricultura, la ganadería y al turismo), hacen que sea fundamental la implementación de una estrategia de manejo integral de los recursos hídricos, que sea capaz de garantizar su disponibilidad en el mediano y largo plazo (Maass *et al.*, 2005; Balvanera *et al.*, 2011; Riensche *et al.*, 2015).

3.5 La Información Disponible

Como se mencionó, el sitio de estudio seleccionado para dar este salto de escala, fue la cuenca del Río Cuitzmala (Figura 5). Es por ello que, desde el 2007, en este lugar se han venido desarrollando diferentes investigaciones relacionados al manejo integral de los recursos hídricos, los cuales se han abordado desde la perspectiva del manejo de cuencas y los socioecosistemas. En dichos trabajos, se han identificado los aspectos biofísicos que determinan la disponibilidad espacial y temporal del recurso (Piña-Poujol, 2007; Maass *et al.*, 2018); las interacciones y características de los sistemas ribereños (Flores Díaz *et al.*, 2018); la calidad de los cuerpos de agua (Monsiváis-Molina, 2012; Vaca-Velasco, 2012); la distribución espacial de los servicios ecosistémicos de corte hidrológico (Saldaña-Espejel, 2008); las percepciones sociales y las prácticas de aprovechamiento relacionadas al recurso, etc. (Solórzano-Murillo, 2008; Sánchez-Matías, 2010). La información recabada en este tiempo, brindan importantes bases para el manejo sustentable de los recursos hídricos en la cuenca, y en gran parte de la región. Sin embargo, integrarlos en un programa de manejo representa todo un reto, que va desde la negociación de los distintos intereses

en los municipios y los núcleos agrarios que tienen injerencia, hasta en la manera en que esta información es difundida por parte de la academia hacia los tomadores de decisiones.

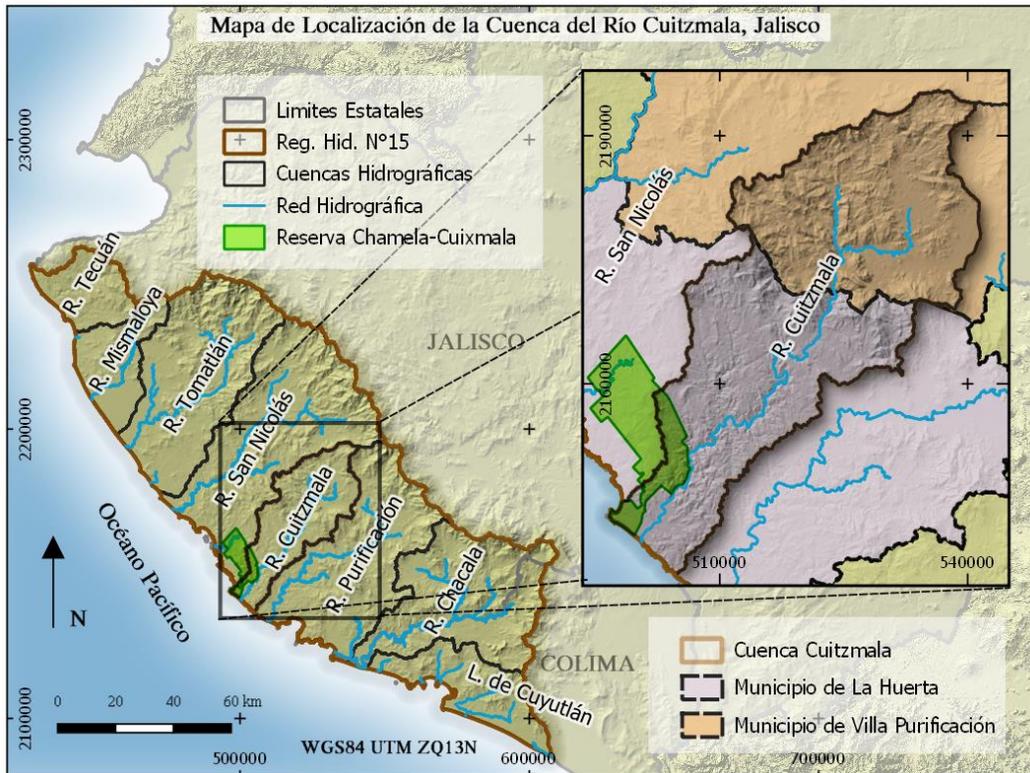


Figura 5 Mapa de localización de la cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco (Autoría propia con datos de CONAGUA, 2010).

Max-Neef (2005), en su trabajo acerca de los fundamentos de la transdisciplina, menciona que uno de los problemas principales de la ciencia clásica, es la falta de integración del conocimiento: *“conocemos mucho, entendemos poco”*. Por ende, abordar el estudio de los socioecosistemas, va más allá de la simple generación de nuevo conocimiento. Implica también un ejercicio constante de síntesis y meta-análisis, que ayuden a articular el conocimiento de las diferentes disciplinas y subdisciplinas (Vaughan *et al.*, 2007; Mirchi *et al.*, 2012). En este sentido el presente trabajo tiene como objetivo principal, generar una síntesis de la información relacionada al agua, existente en la cuenca Cuitzmala y los bosques tropicales, en el cual el conocimiento de los principales trabajos se integre y se articule en un formato de reporte técnico, con un diseño pensado para los tomadores de decisión en la región.

4 Objetivos

1.1 Objetivo General

Caracterizar el sistema de aprovechamiento de los recursos hídricos, a partir de la síntesis de la información disponible en un formato de reporte técnico, en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

1.2 Objetivos Particulares

- Recabar y complementar la información disponible para la cuenca del río Cuitzmala que sea de utilidad para el manejo integral de los recursos hídricos con base al enfoque de manejo de cuencas.
- Identificar el funcionamiento del socioecosistema de la cuenca del río Cuitzmala con base al esquema de pulsos y presiones.
- Sintetizar y articular la información en un formato de reporte técnico.

5 Metodología

El presente trabajo tiene como eje metodológico, lo propuesto en el “Protocolo para el Manejo de Ecosistemas en Cuencas Hidrográficas”, elaborado por Maass y Cotler (2007), cuya primera etapa consiste en el análisis y síntesis de la información existente para elaborar una caracterización inicial, que sirva como punto de partida para comenzar a implementar las siguientes etapas del manejo adaptativo. Incorporando también, el esquema de “la dinámica de pulsos y presiones” propuesto por Collins y colaboradores (2011) con el cual se articuló la información recabada y generada a lo largo de este estudio.

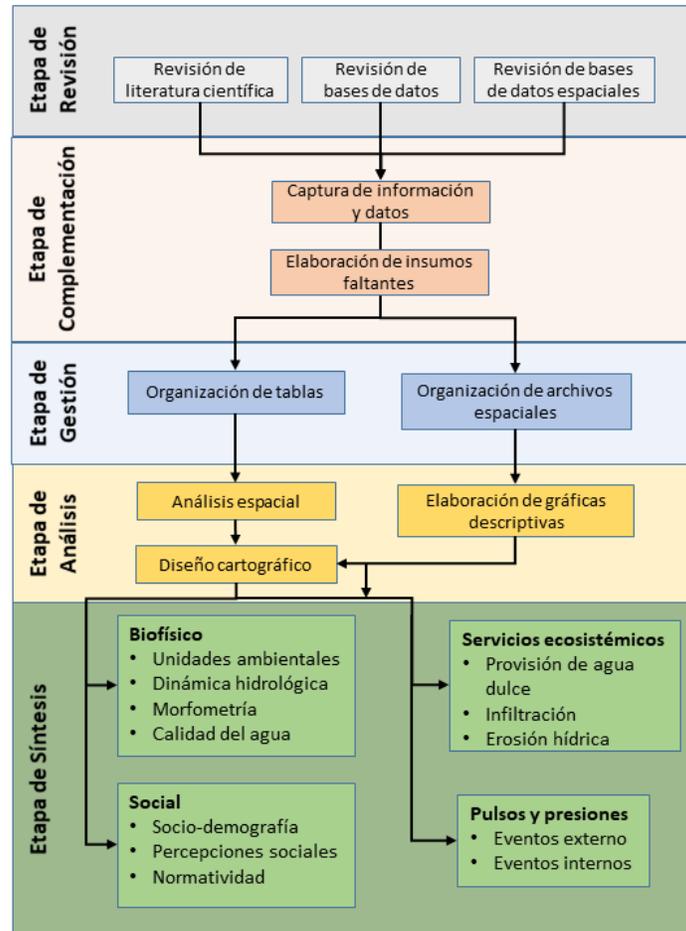


Figura 6 Ruta metodológica (Autoría propia).

Las etapas en que se realizó el presente trabajo fueron las siguientes (Figura 6): a) Revisión documental, en la que se recabó y analizó la literatura científica, las bases de datos gubernamentales, y la información espacial disponible para la zona de estudio relacionada con el tema del agua; b) Elaboración de productos complementarios (en el marco del manejo integral de cuencas) mediante técnicas de análisis geográfico, con los cuales se generó información geoespacial útiles para entender el funcionamiento del socioecosistema; c) Gestión (recopilación y depurado) de datos e información disponible para la zona de estudio, incluyendo su sistematización en bases de datos, con miras a posteriores análisis; d) Proceso y análisis de la información con la que se diseñaron figuras,

tablas, gráficas y mapas para su fácil acceso y comprensión por los usuarios potenciales; y e) Síntesis de toda la información recabada, incluyendo los productos generados en las etapas previas, organizándolos en un formato de “Reporte Técnico”.

A continuación, se describen a detalle las diferentes actividades y herramientas utilizadas para la caracterización del sistema de estudio, la caracterización de los servicios ecosistémicos de la zona de estudio, y el diseño y elaboración del reporte técnico.

5.1 Caracterización del Sistema Biofísico

a) Delimitación de las Unidades Ambientales:

La información espacial correspondiente a las unidades ambientales referentes al clima, la geología, la edafología y la vegetación, presentes en la cuenca, fue obtenida de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2002, 2008, 2015, 2017). Por su parte, el polígono y la red de drenaje de la cuenca fueron adquiridos de la base de datos del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas SIATL (INEGI, 2010a). Dicha información fue gestionada y procesada en un sistema de información geográfica (SIG) con ayuda del software “QGIS” (versión 3.4 QGIS.org, 20218). Mediante el uso de herramientas de “corte”, se delimitó la información biofísica de la cuenca, para después calcular la superficie correspondiente a cada subunidad ambiental.

Para complementar la información climática, en lo referente a la estacionalidad y a las diferencias altitudinales de la cuenca, se elaboraron una serie de climogramas, utilizando la zonificación altitudinal (cuenca baja, media y alta) de Flores Díaz *et al.* (2018) y las capas de cobertura climática, elaboradas en alta resolución para todo el país, de Cuervo Robayo *et al.* (2014). Analizando esta información a través de funciones de estadística zonal, empleando el software de programación “R” (versión 3.6.1; R DCT, 2019), por medio del paquete “ráster” (Hijmans *et al.*, 2014), se obtuvieron los promedios mensuales de precipitación y temperatura. Datos, que posteriormente fueron graficados utilizando el paquete “ggplot2” (Wickham, 2011).

b) Cálculo de parámetros morfométricos:

El cálculo de la morfometría se realizó en toda la cuenca y las subcuencas delimitadas como unidades de respuesta eco-hidrológica en el estudio de Piña-Poujol (2007). Empleando el software “QGIS”, se consultaron los diferentes aspectos topológicos del polígono y la red de drenaje de la cuenca del Río Cuiztmala, Jalisco, con los cuales se calcularon los siguientes parámetros (Tabla 1):

Tabla 1 Parámetros morfométricos calculados para la cuenca del Río Cuiztmala, Jalisco (Autoría propia)

Área (km)	A	
Perímetro (km)	P	
Longitud del cauce principal (Pareta y Pareta, 2011)	L	

Número de cauces (Horton, 1945)	$Nu = \sum_{i=0}^n C$	C= Segmentos de cauce i= Orden del cauce
Longitud total de cauces (km) (Strahler, 1964)	$Lu = \sum_{i=0}^n L$	L= Longitud de segmento i= Orden del cauce
Longitud promedio de los cauces (km) (Strahler, 1964)	$Lum = \frac{Lu_i}{Nu_i}$	Lu= Longitud Total i= Orden del cauce
Radio de Bifurcación (Horton, 1945)	$Rb = \frac{n_i}{n_{i+1}}$	n= número total de cauces i= Orden del cauce
Radio de bifurcación promedio (Horton, 1945)	$Rbm = \frac{\sum Rb_i}{i}$	Rb= Radio de bifurcación i= Total de valores de Rb
Frecuencia de drenaje (Horton, 1932)	$Fu = \frac{Nu}{A}$	Nu = Número de cauces A = Área
Densidad de Drenaje (Horton, 1932)	$Dd = \frac{Lu}{A}$	Lu = Longitud de cauces A = Área
Coficiente de circularidad (Miller, 1953)	$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$	P= Perímetro de la cuenca A= Área de la cuenca
Coficiente de compacidad (Gravelius, 1914)	$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	P= Perímetro de la cuenca A= Área de la cuenca
Curva hipsométrica (Strahler, 1952)	CH	

c) Recopilación de Datos y Modelación de la Dinámica Hidrológica

Se revisaron y sintetizaron los estudios de hidrología llevados a cabo en los bosques tropicales secos (BTS) de la estación de biología y en la cuenca del río Cuitzmala. Los datos más relevantes de estos trabajos fueron capturados en “R” y graficados con el paquete “ggplot2” para su visualización.

Debido a la necesidad de actualizar la información espacial referente a la dinámica hidrológica a lo largo de la cuenca, se calculó el balance hídrico de la misma, utilizando el modelo de Thornthwaite y Mather (1957). Como insumos de la precipitación y la temperatura se utilizaron las coberturas climáticas de Cuervo-Robayo *et al.* (2014). Por su parte, utilizando la información de la edafología y la vegetación, elaborada durante la delimitación de las unidades ambientales, se calcularon los valores de retención de agua en la zona radicular, de acuerdo a los criterios propuestos por Dunne y Leopold (1978). Como primer paso para generar los valores espaciales de retención de agua, con ayuda del software “QGIS”, se clasificaron las coberturas espaciales de uso de suelo y vegetación de acuerdo a la simplificación propuesta por Kolb *et al.* (2018). Haciendo uso de la herramienta de “intersección espacial”, la información clasificada se cotejó con los valores de la textura del suelo y se le asignó el valor de retención correspondiente a cada unidad. La capa vectorial resultante, fue “rasterizada” para poder ser agregada en el cálculo del

balance hídrico. Una vez realizado lo anterior, utilizando herramientas de algebra de mapas se procedió al cálculo de dicho modelo, empleando el software “R” y la paquetería ráster (Anexo 2).

A continuación, se describen cada uno de los pasos del procedimiento llevado a cabo durante el cómputo de los parámetros para calcular el balance hídrico en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco (Tabla 2):

Tabla 2 Procedimiento de acuerdo al modelo de Thornthwaite y Mather,, para el cálculo del Balance Hídrico en la cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Parámetro	Formula	Notación
<p>Evapotranspiración potencial</p> <p>Insumos: Valores de temperatura mensual</p>	$EtPot = \left[\frac{10Ta}{I} \right]^a = Xcm$ $= 10Xmm$	<p>Ta= Temperatura Promedio Mensual.</p> $I = Ind\ de\ Calor\ Anual = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{Ta_i}{5} \right]^{1.5}$ $a = 0.49 + 0.0179I - 0.0000771I^2 + 0.000000675I^3$
<p>Déficit de precipitación</p> <p>Insumos: Valores de <i>EtPot</i>, generados en el paso anterior, y valores de precipitación mensual</p>	$DPpt = Ppt - EtPot$	<p><i>Ppt</i> = Precipitación</p>
<p>Déficit de precipitación acumulado</p> <p>Insumos: Valores de <i>DPpt</i> generados en el paso anterior.</p>	$DAPpt = 1MDPpt + 2MDPpt + 2MDPpt \dots$	<p><i>1MDPpt</i> = El primer mes con Déficit de precipitación</p> <p><i>2MDPpt</i> = El segundo mes con Déficit de precipitación...</p>
<p>Humedad del suelo</p> <p>Insumos: Valores de <i>DAPp</i> generados en el paso anterior; valores de agua radicular disponible y del valor del potencial de retención</p>	$HS = 10^{(mX + (\log_{10}b))}$ <p>...en el mes sin déficit:</p> $HS = MaHS + DPpt$	<p><i>X</i> = <i>DAPpt</i> de cada mes</p> <p><i>b</i> = agua radicular disponible (mm)</p> $m = \frac{\log_{10}Y - \log_{10}Y}{x - x}$ <p><i>MaHS</i> = <i>HS</i> en el mes anterior</p>
<p>Cambio de la humedad del suelo</p> <p>Insumos: Valores <i>HS</i> generados en el paso anterior.</p>	$\Delta HS = HS - MaHS$	<p><i>HS</i> = humedad del suelo</p> <p><i>MaHS</i> = <i>HS</i> en el mes anterior</p>
<p>Evapotranspiración real</p>		

<p>Insumos: Valores de ΔHS; generados en el paso anterior, y valores de precipitación mensual</p>	$Etr = Ppt - \Delta HS$	<p>$Ppt = \text{precipitación}$</p> <p>$\Delta HS = \text{cambio de humedad del suelo}$</p>
<p>Déficit en la humedad del suelo</p> <p>Insumos: Valores $EtPot$ generados en el primer paso, y valores de Etr generados en el paso anterior.</p>	$DHS = EtPot - Etr$	<p>$EtPot = \text{evapotranspiración potencial}$</p> <p>$Etr = \text{evapotranspiración real}$</p>
<p>Exceso de agua en la humedad del suelo</p> <p>Insumos: Valores de Etr y ΔHS generados en pasos anteriores; y valores de precipitación mensual</p>	$EA = Ppt - Etr - \Delta HS$	<p>$Ppt = \text{precipitación}$</p> <p>$Etr = \text{evapotranspiración real}$</p> <p>$\Delta HS = \text{cambio de humedad del suelo}$</p>
<p>Agua disponible para escurrir</p> <p>Insumos: Valores de EA generados en el paso anterior.</p>	<p>...primer mes con EA:</p> $DEsc = EA$ <p>...meses siguientes:</p> $DEsc = EA + MaAR$	<p>$EA = \text{exceso de agua en el suelo}$</p> <p>$MaAR = AR \text{ del mes anterior}$</p>
<p>Escorrentía</p> <p>Insumos: Valores de $DEsc$ generados en el paso anterior.</p>	$Esc = \frac{1}{2} DEsc$	<p>$DEsc = \text{agua disponible para escurrir}$</p>
<p>Agua retenida</p> <p>Insumos: Valores de $DEsc$ generados en el paso anterior.</p>	$AR = \frac{1}{2} DEsc$	<p>$DEsc = \text{agua disponible para escurrir el siguiente mes.}$</p>

La información de los valores mensuales y anuales generados fue exportada en formato TIFF para su posterior visualización y diseño cartográfico en el software "QGIS".

d) Revisión de la Calidad del Agua:

Se revisó y sintetizó la información correspondiente a la calidad del agua en la cuenca. Los datos más relevantes fueron capturados y graficados en el software “R” con el paquete ggplot2 para su visualización. Así mismo se capturó la información espacial de cada sitio evaluado dentro de la cuenca, para su análisis y diseño cartográfico con el software “QGIS”.

5.2 Caracterización de los Servicios Ecosistémicos

a) Servicio Ecosistémico de Provisión de Agua Dulce

Para la identificación de este servicio ecosistémico, se consultó lo referente al tema del caudal ecológico en la cuenca, así como el SIG elaborado por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, 2015), el cual tiene georreferenciadas a nivel nacional, cada una de las concesiones de agua superficial y subterráneas. Esta información fue desplegada en el software “QGIS” y mediante el uso de la herramienta de “corte” se seleccionaron los títulos concesionados en la cuenca. Dado que, el SIG de la CONAGUA carece de información referente al volumen del líquido asignado y el tipo de aprovechamiento para el que está destinado, se realizó una consulta en el portal del registro público de los derechos del agua (CONAGUA, 2018). Esta información fue añadida a los datos espaciales de la cuenca elaborados previamente, los cuales únicamente contaban con la clave y la localización de cada título concesionado. Una vez realizado lo anterior, utilizando el software del SIG mencionado, se procedió al análisis de la información y al diseño de la cartografía.

b) Servicio Ecosistémico de Infiltración (subsuperficial y profunda):

La viabilidad que tiene la cuenca para brindar estos servicios ecosistémicos, se identificó tomando como base el trabajo de análisis espacial multicriterio realizado por Saldaña Espejel (2008). Se modelaron las áreas potenciales siguiendo la misma ruta metodológica y los valores del peso asignado a cada variable utilizada por la autora mencionada (Figura 6 y 7). A diferencia del estudio original, para este trabajo se incorporaron insumos de información espacial más actualizados y de mayor precisión. Se hizo uso de las capas de las unidades ambientales (vegetación, geología y edafología) delimitadas previamente y la capa de disponibilidad de agua (escorrentía) generada con el balance hídrico; y se calculó la pendiente en el software “QGIS” utilizando el continuo de elevaciones mexicano a 15m de resolución (INEGI, 2013).

Finalmente, el análisis espacial para obtener las áreas potenciales de infiltración, se realizó con el software “QGIS”, ejecutando el geoalgoritmo de SAGA para calcular el “promedio ponderado ordenado”. Habiendo obtenido la capa de información resultante, se procedió al diseño de la cartografía correspondiente.

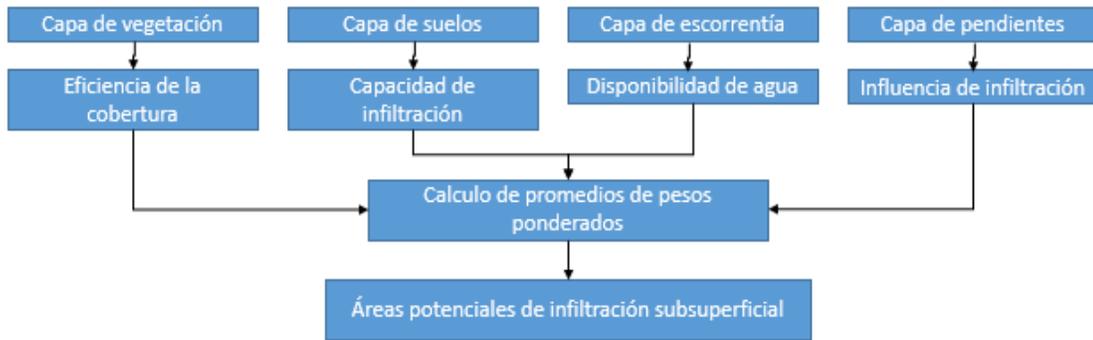


Figura 7 Ruta metodológica para la identificación de las áreas potenciales de infiltración subsuperficial (Modificado de Saldaña-Espejel, 2008)

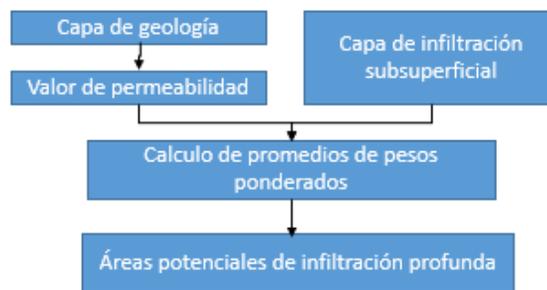


Figura 8 Ruta metodológica para la identificación de las áreas potenciales de infiltración profunda (Modificado de Saldaña-Espejel, 2008)

c) Servicio Ecosistémico de Control de la Erosión Hídrica

Al igual que en el caso anterior, se aplicó la ruta metodológica diseñada por Saldaña-Espejel (2008), incorporando información más actualizada y precisa (Figura 8). Se utilizaron las mismas capas de cobertura vegetal, edafología y pendiente; añadiendo la variable de erosividad, la cual se calculó con base al promedio anual obtenido de las coberturas climáticas de Cuervo-Robayo *et al.* (2014), mediante la aplicación de la fórmula de Wischmeier y Smith (1978) en la calculadora ráster del software de QGIS.

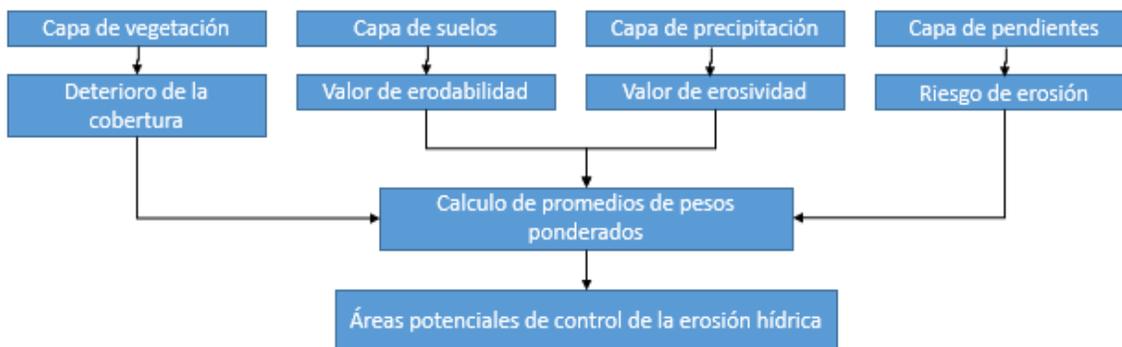


Figura 9 Ruta metodológica para la identificación de las áreas potenciales para el control de la erosión hídrica (Modificado de Saldaña-Espejel, 2008)

Para el análisis espacial se utilizó la herramienta para calcular el “promedio ponderado”, con su correspondiente diseño cartográfico, en el SIG mencionado.

5.3 Caracterización del Sistema Social

a) Aspectos Sociodemográficos

La información sociodemográfica de la cuenca del Río Cuitzmala, Jal., se obtuvo de la base de datos del INEGI y el Registro Agrario Nacional (RAN), la cual fue gestionada y analizada (usando herramientas de corte, unión de tablas y cálculos de superficie) utilizando el software “QGIS”. Los polígonos de los municipios y ubicación de las localidades presentes en la cuenca, fueron generados a partir de los datos del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2018); mientras que los datos perimetrales de los núcleos agrarios se construyeron a partir de la información del RAN (2017).

Para cada una de las localidades de la cuenca, se consultó y añadió a la capa vectorial previamente elaborada, la siguiente información: el número total de habitantes, de acuerdo a los datos del censo nacional de 2010 (INEGI, 2010b); el indicador del grado de marginación documentado (CONAPO, 2016); así como el tipo principal de actividad y de productos derivados de las mismas, de acuerdo a los resultados de la encuesta de: “Características de las localidades y del entorno urbano” (INEGI, 2014).

Una vez realizado lo anterior, utilizando el software SIG mencionado, se procedió al análisis de la información y al diseño de la cartografía.

b) Percepción de los Servicios Ecosistémicos.

Se revisó y sintetizó la información de acuerdo con los resultados de las diversas investigaciones llevadas a cabo en la cuenca para evaluar la percepción social de los servicios ecosistémicos y el medio ambiente. Con lo cual se generó una base de datos espacial y el material cartográfico de los sitios intervenidos, utilizando el software “QGIS 3.4”.

c) Legislación de la Gestión del Agua y el Territorio

Se consultaron los principales documentos normativos para la gestión del agua y el territorio en la cuenca (Tabla 3). Se identificaron los elementos más importantes, y en los casos en que estos contaban con información geográfica adicional, ésta fue digitalizada para el análisis y el consecuente diseño cartográfico, utilizando el software QGIS.

Tabla 3 Instrumentos jurídicos relacionados a la gestión del agua de la cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de La Federación	(DOF 1917)
Ley Agraria. Diario Oficial de La Federación	(DOF 1992a)
Ley de Aguas Nacionales	(DOF 1992b)

Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	(DOF 2016a)
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	(DOF 2016b)
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, Río San Nicolás B, Río Cuitzmala, Río Purificación y Marabasco.	(DOF 2018)
Ordenamiento Territorial Ecológico de Jalisco	(Periódico Oficial 2001)
Ordenamiento Ecológico de la Región de la Costa Sur de Jalisco	(Periódico Oficial 1999)
Plan Municipal de Desarrollo. La Huerta 2012-2030	(Gobierno de La Huerta 2012)
Plan Municipal de Desarrollo. Villa Purificación 2015-2018	(Gobierno de Villa Purificación 2015)

5.4 Caracterización de los Pulsos y Presiones

a) Eventos Externos

Se revisaron y sintetizaron los estudios de hidrología acotados a la parte del efecto que tienen los eventos de precipitación extrema en los bosques tropicales secos monitoreados en la EBCH. Los datos más relevantes de estos trabajos fueron capturados y graficados en el software “R” con el paquete ggplot2 para su visualización.

A través de una revisión de la literatura histórica disponible, se identificaron las principales políticas que, impulsadas por actores sociales ajenos a la región de la Costa Sur (Gobiernos Federales y/o Estatales), han tenido una incidencia adversa sobre los ecosistemas de la región.

b) Eventos Internos

Se revisó y sintetizó la información correspondiente a la descarga de aguas residuales y al uso de agroquímicos y la erosión en la cuenca. Los datos más relevantes de estos trabajos fueron capturados y graficados con el software “R” del paquete “ggplot2” para su visualización.

Se modeló espacialmente el potencial erosivo en la cuenca utilizando la ecuación universal revisada de pérdida de suelo RUSLE (Renard *et al.*, 1991), y la guía metodológica de Baghdadi *et al.* (2018) en el software de “QGIS 3.4”. Se utilizó la información de erosividad (Factor R) generado en la sección de servicios ecosistémicos; se calculó la longitud de la pendiente (Factor LS) con el geoalgoritmo de SAGA (contenido en la interfaz de QGIS); y se le asignaron los valores correspondientes de erodabilidad (Factor K) y de protección de la cobertura (Factor C), a las capas de suelo y vegetación. Luego se diseñó la cartografía correspondiente.

Para evaluar el cambio de uso de suelo, se revisaron y sintetizaron los distintos estudios regionales referentes al tema. Posteriormente se consultó el registro histórico de INEGI respecto al uso de suelo y la cobertura vegetal y con una herramienta de “corte” se delimitó la información correspondiente a la cuenca y se clasificó de acuerdo a la clasificación de Kolb *et al.* (2018). Finalizando lo anterior, cada capa de cobertura se rasterizó, para su posterior análisis en el software “Dinamica EGO” (versión 4.2.2) (Ferreira *et al.*, 2019), con el cual se obtuvieron las matrices de cambio por periodo de elaboración y por año.

5.5 Diseño del Reporte Técnico

El reporte técnico se diseñó tomando en consideración las sugerencias de los trabajos de Ulrich (1984) y de Mathes y Stevenson (1976). Es decir: teniendo presente que el producto tendría que ser útil para los tomadores de decisiones en los dos municipios de la cuenca del Río Cuitzmala (La Huerta y Villa Purificación), y otros en la región; que debería estar escrito en un lenguaje claro, sin perder la calidad técnica; que tenía que mostrar la información de manera puntual, de preferencia a través de recursos gráficos; y que sirviera como un repositorio de datos. Todo lo anterior, acompañado de la propuesta de líneas de acción específicas.

La estructura del Reporte Técnico se elaboró bajo el esquema de pulsos y presiones, con el cual se articularon los componentes biofísicos y sociales de la cuenca, a través de los servicios ecosistémicos que los humanos reciben de la misma y la manera en que estos modifican la estructura y funcionamiento del ecosistema (Collins *et al.*, 2011). La primera sección consiste en un resumen ejecutivo, el cual muestra los temas abordados y la manera en que estos interactúan en la cuenca, es decir, el funcionamiento del socioecosistema. La segunda aborda los aspectos biofísicos que determinan el funcionamiento hidrológico. La tercera, trata el tema de los servicios ecosistémicos relacionados al agua que la cuenca brinda a sus habitantes. La cuarta, muestra lo relacionado a los componentes sociales. La quinta, aborda el tema de los pulsos y presiones. Y en la sexta se muestran las líneas de acción recomendadas a llevarse a cabo para atender las problemáticas de la cuenca.

6 Resultados

6.1 El Reporte Técnico

Dado el formato y la extensión del Reporte Técnico (el cual se anexa como Apéndice I), aquí sólo se presenta el resumen ejecutivo del mismo:

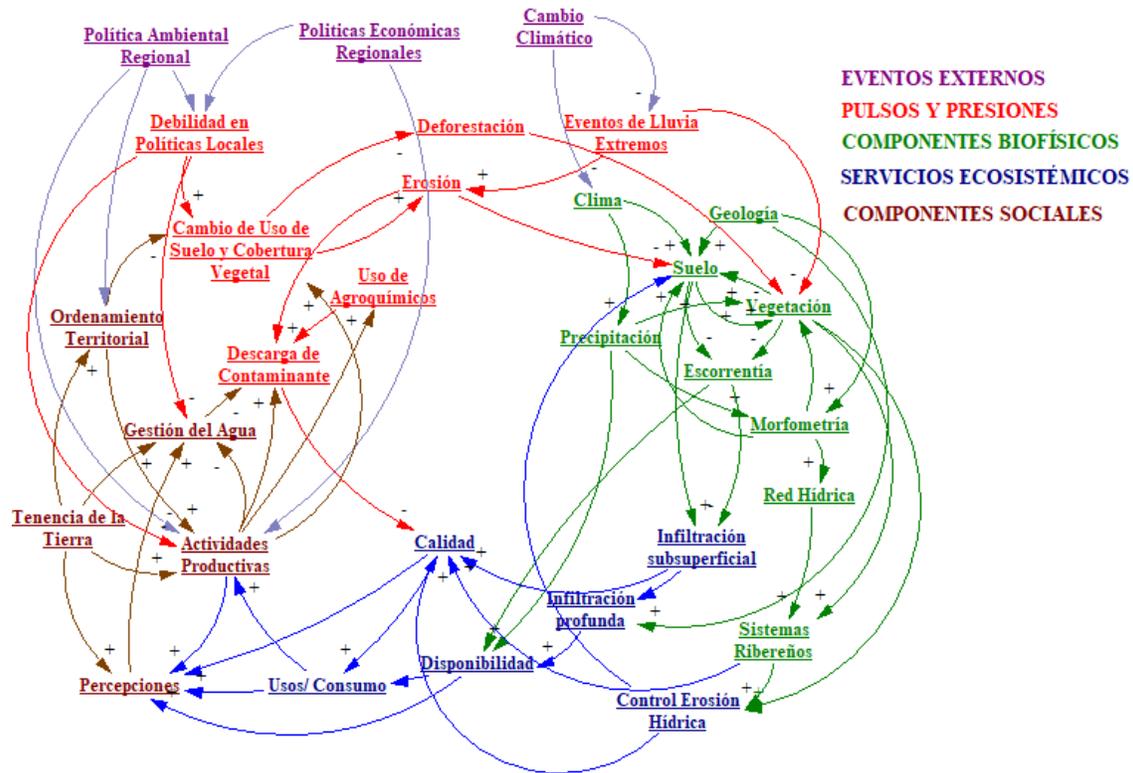


Figura 10 Interacciones del socioecosistema (acotado al manejo integral de los recursos hídricos) de la cuenca Cuitzmala (Autoría propia)..

La cuenca del río Cuitzmala es el resultado de toda una serie de interacciones entre distintos elementos y procesos de carácter fisicoquímico, biológico y social. Dichos procesos han evolucionado en conjunto a lo largo de millones de años, para constituir las condiciones en las que actualmente se encuentra.

En la cuenca dominan el clima cálido subhúmedo. La mayor parte de su geología está constituida por rocas de granito, y en una menor proporción por rocas calizas; siendo estas últimas las que presentan las condiciones más óptimas para el almacenamiento de agua subterránea. Por su parte, la mayoría de los suelos se caracterizan por ser relativamente jóvenes, de poco desarrollo, de alta pedregosidad, y escasa capacidad de retención de agua. El régimen de lluvia es de tipo estacional, con una temporada húmeda entre los meses de junio y octubre, y otra de secas desde noviembre a mayo. El promedio de lluvia es de 1,128 mm al año, de la cual el 70% es devuelto a la atmosfera a causa de la evapotranspiración de las plantas, mientras que el resto se escurre hacia al mar.

Respecto a la cubierta vegetal, cerca de la mitad de la superficie está representada por algún tipo de bosque tropical seco, en las partes altas se presentan remanentes de bosques templados, mientras que, en la zona litoral, cerca de la desembocadura del río, se presentan algunas áreas cubiertas de manglar y vegetación hidrófila. El principal uso de suelo para fines de cultivo, lo constituyen las áreas de pastizal, las cuales ocupan aproximadamente, la tercera parte de la superficie de la cuenca.

La morfología de la cuenca está determinada principalmente por las condiciones del clima y las características geológicas. Con una superficie de 1,089 km², la cuenca es considerada de tipo dendrítica, en donde predominan los causes de primer orden, localizados en las áreas de mayor pendiente. De acuerdo a las zonas altitudinales de la cuenca, la red de drenaje se encarga del aporte, transporte y depósito de materiales y nutrientes. La forma de la cuenca presenta características relacionadas con un drenaje óptimo, donde la erosión principal es de tipo hídrica, y con una edad funcional en un estado avanzado de senectud.

Respecto a los servicios ecosistémicos de provisión, actualmente se encuentra concesionados 17,308,426 m³ de agua, de los cuales el 54% se obtienen de aguas superficiales y el resto de fuentes subterráneas. Siendo el cultivo de pastizales para alimentar al ganado la actividad con mayor demanda. En tanto a los servicios de soporte, los procesos de infiltración subsuperficial y de control de la erosión hídrica se llevan a cabo en las zonas con mayor cubierta vegetal, en donde ocurre un proceso natural de filtración del agua. Por su parte, el área potencial de infiltración profunda tiene una extensión limitada, siendo las zonas más probables aquellas en donde dominan las rocas calizas y las areniscas.

La cuenca cuenta con cerca de 11,102 habitantes, la mayor parte distribuidos en pequeñas localidades de no más de 20 habitantes. Cerca del 44% de su territorio son tierras ejidales, donde la mitad aún conservan la categoría de tierras de uso común. Dado que, la mayor parte de los habitantes se dedican a actividades agrícolas y/o ganaderas, el servicio de agua dulce es el mejor valorado, tanto para fines productivos, como domésticos.

El instrumento normativo más importante es el ordenamiento territorial regional, cuya política está dirigida principalmente a la conservación. El cual, a pesar de haber generado muchos descontentos, ha disminuido notablemente los procesos de deforestación y degradación forestal. No obstante, ante la falta de ordenamientos locales, el desarrollo de las actividades productivas de las comunidades se encuentra seriamente limitado.

En cuanto a la gestión del agua, las concesiones están a cargo de los organismos de cuenca de la CONAGUA. Mientras que la parte de la distribución y el saneamiento corren a cuenta de los gobiernos municipales. En algunas localidades, poco documentadas en la cuenca, existe el reporte de algunos casos de gobernanza local, basados en la organización de comités de agua que se rigen por los usos y costumbres de algunas localidades y ejidos. Así mismo la cuenca es considerada uno de los principales bancos de agua a nivel nacional, y de acuerdo al cálculo de su caudal ecológico únicamente puede concesionarse el 33% del agua total disponible en forma de escurrimiento.

Los principales eventos de pulso-presión externos que inciden en la cuenca, son el incremento en la intensidad y la frecuencia de huracanes y ciclones, así como, la implementación de políticas públicas dirigidas por los gobiernos, estatal y federal. Siendo un ejemplo de lo anterior, el impulso a la ganadería en los años 90, y el fomento actual al

turismo de alto nivel. Respecto a los eventos internos, entre los más importantes está el cambio de uso de suelo, cuya mayor tasa de cambio se presentó en la década de los noventas. Los procesos de erosión que ocurren en los lugares sin cobertura vegetal. Así como, la descarga de contaminantes en los ríos y arroyos debido al uso de agroquímicos y a las actividades domésticas.

La cuenca presenta diversos tipos de problemáticas, las cuales pueden estar relacionada a factores ambientales intrínsecos a su naturaleza, o bien a cuestiones relacionadas con el manejo del territorio. Tomando en cuenta, la relación que tienen entre las problemáticas, podemos diferenciar aquellas problemáticas superficiales, que son consecuencia de otros problemas, y aquellas de tipo profundas, que son las que causa de otros problemas. Entre las problemáticas profundas existen aspectos de tipo biofísico, que son características propias de la cuenca, en las que es difícil incidir. O bien, existen algunos aspectos más relacionadas a la parte social, como el caso de las políticas públicas, cuyas decisiones se toman en altos niveles de gobierno. Por lo tanto, definir las líneas de estrategias para la gestión debe partir de aquellos aspectos que se pueden construir desde lo local. En este sentido las líneas estratégicas propuestas a intervenir dentro de la cuenca son: la elaboración e implementación de los ordenamientos locales; la implementación de prácticas de ganadería sustentable; la reducción de la tasa de transformación de los bosques a pastizales; y la diversificación de las actividades productivas. Atendiendo a estos cuatro aspectos de forma directa o indirecta se estaría incidiendo en las principales problemáticas de la cuenca, en especial, en lo que se refiere al tema de agua se refiere.

7 Discusión

7.1 La Síntesis de la Información

No son recientes las críticas y la identificación de limitaciones por parte de las ciencias clásicas en los esfuerzos por resolver problemas concretos. Y así, por ejemplo, mientras que Einstein en la década de los cuarenta, hacía énfasis en abordar los problemas con un pensamiento distinto al que los había originado, Kuhn (2012) invita al investigador a cuestionar constantemente los paradigmas establecidos, para el avance de la ciencia (Yaccuzzi-Polisena, 2019). El presente trabajo emerge de la crítica a la necesidad de articular el conocimiento científico generado en los últimos años, a través de un ejercicio de síntesis que contribuya a entender el funcionamiento de los sistemas planetarios (Funtowicz y Ravetz, 1994, 1999; Morin, 2000; Max-Neef, 2005; Gallopín, 2006; Nicolescu, 2007). Una de las fortalezas del ejercicio de síntesis elaborado para la cuenca del río Cuitzmala, Jal., es la revisión y compilación de la información que se ha venido recabando durante más de una década de investigaciones científicas, e incluso de mayor tiempo, de hasta más de treinta años, si se considera la información proveniente de los estudios de largo plazo en los bosques tropicales de Chamela. A lo largo de este periodo, desde distintas subdisciplinas derivadas de la ecología, se han venido generando diferentes tipos de información y conocimiento, encaminados al manejo sustentable de los ecosistemas en la cuenca. Si bien, al revisar dichos estudios es evidente que todos parten de un objetivo común, acotado al entendimiento de los procesos sociales y ecológicos bajo un enfoque de cuencas. También son evidentes las dificultades a las que se ha enfrentado el grupo Chamela, en su transición hacia la inter- y transdisciplina. La principal, radica en la construcción de un eje que sea capaz de articular en forma sistémica la información generada a través de los diferentes marcos de entendimiento con que cada trabajo ha sido abordado (Nicolescu, 2007, 2014). Aspecto que ha representado todo un reto, y que resalta la relevancia que tiene este trabajo de síntesis, como parte de la necesidad de construir este eje articulador, en este esfuerzo de transición hacia la transdisciplina.

A pesar de la gran cantidad de información disponible, y el esfuerzo orientado al enfoque de cuencas, aún quedaban ausentes algunos elementos clave para el manejo de los recursos hídricos y el territorio, por lo que fue necesario incorporarlos para completar el ejercicio de síntesis y poder entender el funcionamiento del socioecosistema (Cammerman, 2009; Quiroga *et al.*, 2014; Ostrom, 2015). Entre los aspectos que se incorporaron podemos mencionar que hubo necesidad de complementar la información del sistema biofísico mediante un análisis morfométrico, para entender los patrones hidrológicos y poder obtener una serie de indicadores útiles para compartir información con otras cuencas de características similares. Así mismo, se evaluaron los patrones de erosión, con los que se identificaron aquellos lugares con mayor potencial de riesgo de erosión en la cuenca; así como el cambio de uso de suelo, para la identificación de los principales aspectos involucrados en la deforestación de la cuenca. En este sentido, también fue necesario consultar e incorporar la información oficial generada por distintas instituciones gubernamentales, así como los marcos normativos de mayor relevancia para la toma de decisiones. De este modo, se logró dimensionar la manera en que se distribuye el agua a lo largo de la cuenca, en donde es de destacarse que son las actividades productivas (la ganadería y el turismo) quienes mayor volumen utilizan; así como, el uso desproporcional que se hace del agua subterránea (más de 40% del total utilizada en todo el sistema) en

una cuenca con un bajo potencial de infiltración. Situaciones que, sin lugar a dudas, ante los escenarios de sequía y lluvia extremas previstos por el cambio climático, representan una fuente potencial de conflictos en el corto y mediano plazo (Nordås y Gleditsch, 2007; Swain, 2015).

Por su parte, el análisis de los marcos normativos permitió dimensionar las posibles rutas de intervención. Una de las cosas que resalta el enfoque socioecosistémico es la capacidad de los seres humanos para establecer acuerdos, los cuales guían su conducta y limitan sus acciones (Maass y Equihua, 2015a). Abordar los marcos normativos, permitió identificar los ámbitos en que se da la toma de decisiones y los mecanismos ideales para influir en las mismas, y resaltar la necesidad e importancia de generar estrategias a partir de los ámbitos locales, en compañía de las autoridades municipales y ejidales. Considerando lo anterior, cabe señalar, la relevancia de incorporar el tema de la tenencia de la tierra dentro de las estrategias de intervención social y del manejo de la cuenca. Cerca del 50% del territorio de la misma, está en posesión de núcleos agrarios, quienes están facultados por la ley para hacer uso de sus tierras y recursos, de acuerdo a sus propios usos y costumbres. Esto es particularmente importante en el contexto de la conservación del bosque tropical seco, y aunado a la importancia que tiene la vegetación en el mantenimiento del ciclo hidrológico, pues son estos sitios, quienes albergan más de la mitad de la superficie forestal presente. Más aun, considerando que la mayor parte de dicha superficie forestal en estos núcleos agrarios se encuentra dentro de áreas parceladas, que cuentan con un propietario facultado para hacer uso de la tierra, en beneficio de sus intereses particulares. Por tales motivos, las estrategias de manejo sustentable implementadas en la cuenca deben considerar para su efectividad, no solo la tenencia de la tierra, sino también a los ejidatarios dueños de dichas parcelas.

Otro aspecto importante a resaltar en este proceso de síntesis, es la contribución de la perspectiva socioecosistémica mediante la incorporando del enfoque sistémico, el manejo de cuencas y el esquema de pulsos y presiones. El primer elemento, permitió entender el sistema (la cuenca) en su conjunto a través de las relaciones entre sus diferentes componentes (Maass, 2003; Megdalf *et al.*, 2017). A pesar de que el trabajo tiene como tema central el manejo de los recursos hídricos, conforme este fue avanzando se fueron incorporando otro tipo de elementos, a tal grado, que las recomendaciones finales incluyeron aspectos relacionados con los temas del ordenamiento territorial, la ganadería, la deforestación, y las actividades productivas.

Por su parte, el delimitar la unidad de estudio a la cuenca y articular la información con base al esquema de pulsos y presiones, no solo permitió identificar y entender el funcionamiento del socioecosistema presente; también permitió establecer un modelo funcional, a partir del cual se pueden construir diferentes escenarios de prospectiva, con los cuales, es posible simular los efectos que tendrán las decisiones de manejo en la cuenca del río Cuitzmala sobre los servicios ecosistémicos que sostienen a las actividades humanas en la cuenca (Maass *et al.*, 2010b; Collins *et al.* 2011; Maass, 2017b).

7.2 El Reporte Técnico

Uno de los grandes retos que tiene la ciencia en la actualidad es poner a disposición de los tomadores de decisiones, el conocimiento y la información que pueda ser útil para la resolución de las principales problemáticas sociales, en un formato entendible y de fácil

acceso. En este sentido, el presente trabajo se realizó, con el objetivo de generar un producto en formato de reporte técnico capaz de comunicar de forma clara el conocimiento y la información generada durante décadas de investigación científica.

Si bien, en la elaboración de dicho reporte se tomaron consideraciones respecto al lenguaje utilizado, más que atender el lenguaje se procuró mostrar la información de una forma clara y puntual. Lo anterior se hizo considerando el perfil profesional que aparece en los organigramas de los tomadores de decisiones municipales (los directores de ecología, turismo, saneamiento, etc.) quienes cuentan con una preparación a nivel licenciatura, muchos de ellos cercanos a las ciencias naturales (ingeríos agrónomos, forestales, etc.).

Cabe mencionar que, a diferencia de hace una década, la parte del medio ambiente ha adquirido mayor relevancia para los gobiernos estatales y municipales en la región de la Costa Sur de Jalisco. Hoy en día, la región cuenta con un organismo orientado exclusivamente a abordar estos temas, la llamada Jicosur (Junta Intermunicipal de la Costa Sur). Quienes reconocen como una de sus limitaciones la falta de información de las cuencas de la región. Debido, en parte, al acceso restringido de la información generada por el sector académico (disponible en repositorios de tesis y revistas científicas de difícil acceso; escritas mediante un lenguaje técnico altamente especializado); así como, a la falta de capital financiero y humano para generar su propia información (Juárez-Hernández, en proceso). En este sentido, el reporte técnico no solo es relevante por su contenido, también lo es, por el contexto en el que esté se generó.

Uno de los aportes más relevantes del presente trabajo, fue el haber generado las bases para la elaboración de un repositorio de datos, cuya información una vez montada sobre alguna plataforma digital podrá ser fácilmente consultado por los tomadores de decisiones de la región. A pesar de que la mayoría de la información estaba disponible en acceso libre en el portal de tesis de la UNAM y otras más en revistas científicas, no había una base de datos que permitiera hacer un ejercicio de meta-análisis en la cuenca. Algo que es indispensables en los tiempos del Big Data, donde la cantidad y el manejo de la información en un lapso corto de tiempo es crucial para responder a las problemáticas complejas e inciertas a las que se enfrenta la sociedad moderna (Cai y Zhu, 2015).

Por otra parte, si se pretende influir en la política pública, no basta con solo poner disponible la información y el conocimiento, también deben proponerse líneas de acción específicas (Vaughan *et al.*, 2007). Por tales motivos a partir de las problemáticas identificadas durante la elaboración del presente trabajo y a las características del sistema biofísico, se identificaron las líneas de acción que son prioritarias para el manejo integral de la cuenca. Estas líneas, que, si bien no atienden de manera directa el tema del agua, de realizarse ayudarían a disminuir la contaminación y a mantener la dinámica hidrológica. Las líneas de acción incluyen: un ordenamiento territorial local, cuyo instrumento está a cargo de las autoridades municipales y ejidales, y es capaz de mitigar los efectos adversos de las políticas públicas; la generación de estrategias para mitigar el efecto de la ganadería en los ecosistemas; la disminución y/o mitigación de la deforestación de los bosques tropicales; y la diversificación de las actividades productivas, para generar fuentes de ingreso alternas a la ganadería.

De la misma forma en que se tienen que resaltar los aportes del presente trabajo, también se deben señalar sus limitaciones. En lo referente a la escala espacial y temporal, la

limitación radia en que la mayor parte de la información recabada fue generada a una escala regional y en algunos casos a nivel de cuenca. Esta información representa hasta a un nivel municipal la heterogeneidad y las características principales del territorio; sin embargo, para intervenir en un nivel de localidad y de núcleo agrario, es necesario generar información a esa escala de trabajo.

Por su parte, los esfuerzos de monitoreo en el largo plazo para el tema del agua aún solo se concentran en las pequeñas cuencas cercanas a la EBCH. Dada la gran dificultad que representa trabajar a una escala de trabajo regional, algunos de los trabajos de investigación revisados, en especial los relacionados con la evaluación de la calidad del agua, datan de hace más de más de 10 años; situación entendible dado el alto costo operativo que esta acción representa. No obstante, estos estudios con una escala temporal acotada, han contribuido de manera significativa a entender el funcionamiento hidrológico de la cuenca y la manera en que los cuerpos de agua responden a las actividades humanas; es importante establecer un esquema de monitoreo de largo plazo a la escala de la cuenca Cuitzmala. Aspectos como la calidad del agua en la cuenca responden a la cobertura forestal y las actividades agrícolas (cultivo de pastizales incluidos); con el apoyo de las herramientas percepción remota, se podría establecer un sistema de monitoreo que opere en función de la tasa de cambio y los porcentajes de cambio en la cubierta forestal. Lo anterior permitiría generar información de manera efectiva y a un bajo costo económico.

Estas limitaciones espaciales y temporales, no deben ser interpretadas como una restricción a implementar acciones a esos niveles. Apelando a los principios del manejo adaptativo, no se debe esperar a tener la información de cada ejido o comunidad para establecer una estrategia de manejo sustentable. Con la información disponible se debe de construir un esquema de trabajo, en el cual los indicadores locales implementados generen la información necesaria para cumplir con los objetivos de manejo establecidos, diseñados en función de cada contexto particular (Holling, 1986; Maass y Cotler, 2007; Pahl-Wostl *et al.*, 2007).

La segunda limitante es el sesgo hacia los aspectos biofísicos. Si bien, buena parte de las investigaciones científicas en la cuenca han venido incorporando a sus esquemas de trabajos algunas metodologías provenientes de las ciencias sociales, la mayoría de las hipótesis de investigación parten de un planteamiento desde una perspectiva principalmente biológica y ecológica. No obstante, aunque hoy en día se han incorporado al ejercicio de investigación científica en la cuenca, los enfoques de los sistemas socio-ecológicos acoplados y el de los socioecosistema, quienes buscan una mayor integración de las disciplinas sociales y biofísicas, se debe resaltar la necesidad de incorporar en mayor medida a las disciplinas sociales y económicas, desde la definición de los problemas y preguntas de investigación, para poder tener un diagnóstico más integral y una estrategia de manejo más efectiva en la cuenca (Max-Neef, 2005).

Dentro de este sesgo biofísico, también hay que agregar el sesgo que existe respecto a las fuentes de información consultadas, dado que, la mayor parte de lo presentado en el reporte proviene de las investigaciones realizadas por académicos de la UNAM. A pesar de que se hizo una revisión minuciosa, dado que la cuenca se encuentra dentro de un área ampliamente estudiada, existe la probabilidad de que se haya omitido información relevante proveniente de otras instituciones académicas y/o gubernamentales. Por lo anterior, aunque el presente trabajo tiene que ser concluido en esta etapa, la publicación y difusión del mismo

tiene que incorporar un mecanismo de retroalimentación continua, que permita la integración de la información que haya sido omitida y de la que sea generada en un futuro.

La otra limitante y sin duda la más importante, es la falta de retroalimentación de los usuarios. La calidad de un reporte técnico depende de dos aspectos, la seriedad y rigurosidad con la que se haya realizado el trabajo; y su utilidad para resolver problemas reales (Mathes y Stevenson, 1976; Ulrich, 1984; Castro y Salinetti, 2006). El reporte técnico elaborado cuenta con información de calidad y se articuló pensando en las necesidades de los tomadores de decisiones en la cuenca; sin embargo, tiene que ser retroalimentado por dichos usuarios para que sea un instrumento verdaderamente útil, en especial en la parte referente a las problemáticas identificadas, y de las estrategias propuestas. Sin embargo, la socialización del mismo fue el elemento que quedó pendiente, dado que los tiempos de investigación establecidos por el posgrado fueron insuficientes, y a la problemática de salud ocasionada por el virus SARS-CoV-2. Sin embargo, esta es una línea prioritaria para el laboratorio de “Investigación Transdisciplinaria para el Manejo Sustentable de los Socioecosistemas”, la cual, será retomada a la brevedad posible.

Finalmente, es necesario mencionar, que el presente trabajo brinda una visión general del funcionamiento del socioecosistema, por lo que debe ser tratado como un elemento para apoyar las decisiones en la cuenca, orientar las líneas de acción y dimensionar los posibles efectos de las actividades de manejo llevadas a cabo. Esto quiere decir que, dependiendo de los objetivos particulares, será necesario profundizar a detalle los trabajos de los cuales se deriva la información aquí presentada. En este sentido es importante mencionar, que este no es el único trabajo dirigido a poner a disposición de los tomadores de decisiones la información científica generada por la EBCH, el grupo de trabajo orientado a la comunicación de la ciencia, también, está realizando un gran esfuerzo para articular el conocimiento generado a las necesidades de los actores sociales de toda la región de la Costa Sur de Jalisco; así como el desarrollo de actividades para vincular a la sociedad con el trabajo científico de la estación, como es el caso del evento de “puertas abiertas”, en el que año con año, las personas de las comunidades vecinas visitan la EBCH para conocer de primera mano el trabajo realizado por los diferentes grupos científicos que aquí laboran (Pérez-Escobedo, 2011; Castillo *et al.*, 2018).

7.3 Hacia la Transdisciplina

“Un cambio ontológico de la realidad, requiere de formas nuevas de construcción del conocimiento que trasciendan el carácter analítico y descriptivo de la ciencia clásica” (González-Rey, 1997). En términos estrictos, el presente trabajo tiene carencias que podrían considerarlo como un ejercicio ajeno a la investigación transdisciplinaria. Sin embargo, el partir de dicho paradigma implica incorporar elementos adicionales al ejercicio de investigación, como el generar información útil para los actores locales y orientar el trabajo hacia la resolución de las problemáticas sociales (Vaughan *et al.*, 2007; Hessels y van Lente, 2008; Maass y Equihua, 2015a). Por otra parte, tampoco es que se esté tan alejado del camino de la transdisciplina. Según Christian Pohl (Pohl, 2010) la investigación transdisciplinaria tiene cuatro características: está relacionada a problemas de relevancia social; trasciende e integra los paradigmas disciplinarios; se apoya en la investigación participativa; y apela a la búsqueda de la unidad del conocimiento. El trabajo de síntesis aquí presentado, aborda un tema trascendental en la región de la Costa Sur de Jalisco (el manejo del agua y el territorio); integra el conocimiento e información de distintas disciplinas

y subdisciplinas (con un sesgo hacia lo biofísico); y busca la unidad de conocimiento en un sistema específico (la cuenca hidrográfica). El único elemento faltante es la investigación participativa.

Por lo anterior, la estrategia de intervención social, dirigida a conocer las percepciones de los habitantes de las localidades aledañas a la reserva de Chamela, deben fortalecerse con un proceso de investigación participativa. Es mediante este procesos participativo que debemos: reconocer la dinámica social de cada comunidad, a través de los vínculos y las relaciones de poder; identificar los sectores y grupos sociales interesados en participar en las acciones de manejo; e incorporar un mecanismo en el cual, las problemáticas y las consecuentes líneas de investigación científica sean definidas en conjunto, incorporando las diferentes visiones y saberes presentes en el territorio (Hernández, 2010; Montañes-Serrano, 2012).

Uno de los objetivos de la investigación transdisciplinaria es lograr que los procesos se vuelvan autogestivos en el mediano y largo plazo (Villasante y Martín Gutiérrez, 2018), situación para la cual se requiere de un proceso de intervención en donde los actores sean los principales protagonistas en la toma decisiones de sus territorios. Esto es, si se quiere establecer una estrategia de manejo sustentable que contribuya a un proceso de gobernanza en la cuenca, se debe partir de los intereses de sus habitantes para su operatividad (Villasante, 2006a, b; Ostrom, 2009, 2015).

Aunado a lo anterior es fundamental establecer un modelo de investigación basado en producir resultados oportunos a las problemáticas sociales (Vaughan *et al.*, 2007). Tarea que representa un gran reto para el ejercicio científico. Sin embargo, no necesariamente tiene que partir de acotar en su totalidad, las agendas de trabajo científico, a las necesidades sociales. La transferencia de conocimiento y tecnologías necesaria en la investigación transdisciplinaria, también incluye el fortalecimiento de las capacidades de los actores sociales (Nicolescu, 2002; Hessels y van Lente, 2008; Pohl, 2010; Shen, 2018).

Considerando todo lo anterior, se debe resaltar que el presente trabajo no hubiera sido posible sin el uso de herramientas (softwares) desarrolladas a favor del conocimiento libre. La información aquí compilada requirió de herramientas específicas para manejar, analizar y generar información (QGIS y R). Ésta es una línea de trabajo potencial para vincularse con los tomadores de decisiones. Quizás no siempre sea posible generar el conocimiento que ellos necesitan (en tiempo y forma), pero se les puede capacitar en el uso de dichas herramientas para que ellos puedan ir generando su propia información y conocimiento acorde a sus necesidades... “no hay camino, se hace camino al andar”.

8 Conclusiones y Recomendaciones

- El ejercicio de síntesis llevado a cabo, permitió articular el conocimiento científico disponible en la cuenca del Río Cuitzmala, contribuyendo a un proceso en el cual se pasó del conocimiento de los componentes, al entendimiento funcional del sistema.
- Los alcances de una síntesis dependen de la cantidad de información disponible. La principal fortaleza de este trabajo recae en la gran cantidad de información disponible y generada durante décadas de investigación científica para la zona de estudio.
- Los ejercicios de síntesis tienen que ser complementados con información adicional a la disponible, en función de los objetivos de trabajo. Para este estudio en específico, fue necesario generar información biofísica adicional e integrar la información oficial proveniente de distintas instituciones de gobierno.
- El ejercicio de síntesis en el marco del enfoque socioecosistémico, permitió establecer un modelo funcional de la interacción-humano naturaleza. Lo cual permitirá simular (intuir, prever o pronosticar) la respuesta del socioecosistema ante distintos escenarios de manejo
- Entender el funcionamiento de la cuenca bajo una perspectiva sistémica, permite identificar elementos clave, imposibles de abordar bajo una mirada reduccionista. A tal grado, que las recomendaciones finales en un estudio dirigido inicialmente al manejo de los recursos hídricos, fueron dirigidas a los temas del manejo del territorio y de las actividades productivas.
- El reporte técnico tiene como principales fortalezas la vasta cantidad de información disponible; la creación de un repositorio de datos y la propuesta de cuatro líneas específicas de acción.
- Las limitaciones el reporte técnico incluyen: la falta de información por debajo del nivel municipal (insuficiencia de datos a nivel de localidad y de núcleo agrario); la acotada escala temporal (hay información como lo referente a la calidad del agua, que necesita ser actualizada); el sesgo de información hacia las ciencias naturales y las investigaciones de la UNAM; así como, la falta de retroalimentación por parte de los usuarios a quienes está destinado este trabajo.
- El reporte técnico es un instrumento útil para guiar la política pública en la cuenca y dotar a los tomadores de decisiones de un panorama general del funcionamiento del socioecosistema. En función de estos objetivos, se recomienda que la agenda de investigación se profundice en estudios y áreas de conocimiento faltantes.
- El presente trabajo cumple con la mayor parte de los criterios necesarios en la investigación transdisciplinaria, con excepción de la investigación participativa. Se recomienda que las futuras intervenciones científicas en la cuenca sean fortalecidas incorporando el uso de las metodologías participativas.
- Las investigaciones científicas en la cuenca tienen que ir encaminadas a resolver las problemáticas que surjan de los ejercicios participativos, por lo que se recomienda que también se trabaje en un fortalecimiento de las capacidades técnicas de los actores locales.

9 Referencias

- Álvarez-Yépez JC, Martínez-Yrizar A, Fredericksen TS (2018) Special Issue: Resilience of tropical dry forests to extreme disturbance events. *Forest Ecology Management*, 426, 1–6. doi:10.1016/j.foreco.2018.05.067
- Arriaga CL, Aguilar V, Espinoza J (2009) Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. *Capital Natural México*, 2, 433-457. doi:10.4067/S0717-66432002000200006
- Baghdadi N, Mallet C, Zribi M (2018) *QGIS and Applications in Water and Risks*. John Wiley & Sons, 254 p.
- Balvanera P (2012) Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21:136–147
- Balvanera P, Castillo A, Martínez-Harms MJ (2011) Ecosystem Services in Seasonally Dry Tropical Forests. En *Seasonally dry tropical forests*. Island Press, Washington, DC, 2011. p. 259-277.
- Balvanera P, Maass M (2009) Los servicios ecosistémicos que proveen las selvas secas. En: Ceballos G, Hernández LM, García A, *et al.* (Eds.) *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de Selvas Secas del Pacífico de México*. (pp. 251-269). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Bergmann M, Jahn T, Knobloch T, *et al.* (2012) *Methods for transdisciplinary research: A primer for practice*. Verlag, 294 p.
- Bertalanffy V (1976) *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Ciencia y Tecnología, 336 p.
- Brundtland G (1987) *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford Univ Press. doi:10.2307/2621529
- Burgos A, Maass M, Ceballos G, *et al.* (2007) Investigación Ecológica a Largo Plazo y su proyección en México. *Ciencia y Desarrollo* 33:24–31.
- Cai L, Zhu Y (2015) The challenges of data quality and data quality assessment in the big data era. *Data Sci J* 14:1–10. doi:10.5334/dsj-2015-002
- Cammerman N. (2009) *Integrated Water Resource Management and the Water, Energy, Climate Change Nexus. A Discussion Report*. University of Queensland, Brisbane, Australia
- Castillo A, Godínez C, Schroeder N, *et al.* (2009) The dry tropical forest at risk: Conflicts between agricultural and cattle use, tourism development, and provision of ecosystemic services in the coast of Jalisco, Mexico. *Interciencia* 34:844–850.
- Castillo A, Vega-Rivera JH, Pérez-Escobedo M, *et al.* (2018a) Linking social–ecological knowledge with rural communities in Mexico: lessons and challenges toward sustainability. *Ecosphere* 9. doi:10.1002/ecs2.2470
- Castro P De, Salinetti S (2006) *Guidelines for the production of scientific and technical reports: how to write and distribute grey literature*. Grey Literature International Steering Committee. 16 p.

- Ceballos G, Maass M, Medellín R, *et al.* (1998) The Mexican Long-Term Ecological Research Network. En: Waide R, French C, Sprott P, Williams L (Eds.) The International Long-Term Ecological Research Network (pp 52–57).
- Challenger A, Cordova A, Lazos Chavero E, *et al.* (2018) Opportunities and obstacles to socioecosystem-based environmental policy in Mexico: Expert opinion at the science-policy interface. *Ecology and Society*, 23:2. doi:10.5751/ES-10066-230231
- Cheng W, Ren S (2008) Evolution of open access publishing in Chinese scientific journals. *Learned Publishing*, 21:2,40–152. doi:10.1087/095315108X288884
- Collins SL, Carpenter SR, Swinton SM, *et al.* (2011) An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9:6, 351-357. doi:10.1890/100068
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua) (2015) Subgerencia de Información Geográfica del Agua (SIGA). In: Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/subgerencia-de-informacion-geografica-del-agua-siga>. Consultado el 7 Jul 2018
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua) (2018) Registro Público de Derechos de Agua. En: Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>. Consultado el 18 Jul 2018
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua) (2013) Estudios de campo para la determinación de caudal ecológico en las reservas de la zona de Jalisco. Documento de evaluación del caudal ecológico.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2016) Índice de marginación por entidad federativa y municipio.
- Cuervo-Robayo AP, Téllez-Valdés O, Gómez-Albores MA, *et al.* (2014) An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International journal of climatology*, 34:7, 2427-2437. doi:10.1002/joc.3848
- Davie T (2008) *Fundamentals of Hydrology*, 2nd Ed. Routledge, 189 p.
- De Ita-Martínez C (1983) Patrones de producción agrícola en un ecosistema tropical estacional en la Costa de Jalisco. Facultad de Ciencias, UNAM. (Tesis de Maestría)
- De Ita-Martínez C, Barradas V (1986) El clima y los patrones de producción agrícola en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biótica* 237–245.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1917) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1992a) Ley Agraria.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1992b) Ley de Aguas Nacionales.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2016a) Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2016b) Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano.

- DOF (Diario Oficial de la Federación) (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, Río San Nicolás B, Río Cuitzmala, Río Purificación y Marab.
- Dunne T, Leopold LB (1978) *Water in Environmental Planning*. Mac Millan, USA.
- Escobar E, Maass M, Alcocer-Durand J, *et al.* (2008) Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. En: *Capital natural de México*. Vol. 1. Conocimiento actual de la biodiversidad. México. (pp.161–189). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Ferreira BM, Soares-Filho BS, Pereira FMQ (2019) The Dinamica EGO virtual machine. *Sci Comput Program*. doi:10.1016/j.scico.2018.02.002
- Flores Díaz AC, Guevara Hernández R, Mendoza ME, *et al.* (2018) Hierarchical procedure for creating local typologies for riparian zone research and management based on biophysical features. *Physical Geography*, 39:2, 118-139. doi:10.1080/02723646.2017.1387427
- Funtowicz S, Ravetz JR (1999) Post-Normal Science - an insight now maturing. *Futures* 31:641–646
- Funtowicz S, Ravetz JR (1994) Emergent complex systems. *Futures*, 26, 568–582. doi:10.1016/0016-3287(94)90029-9
- Gallopín GC (2006) Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change*, 16:3, 293-303. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004
- Gibbs P (2015) *Transdisciplinary professional learning and practice*. Springer. 212 p.
- Gleick PH (2006) *Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security*. *International security*, 18:1, 79-112. doi:10.2307/2539033
- Gobierno de La Huerta (2012) *Plan Municipal de Desarrollo 2012-2030*. Gaceta Municipal
- Gobierno de Villa Purificación (2015) *Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018*. Gaceta Municipal 11.
- González-Rey F (1997) *Epistemología cualitativa y subjetividad*. EDUC-Editora da PUC-SP. 326 p.
- Hernández L (2010) *Antes de empezar con metodologías participativas*. Observatorio Internacional de ciudadanía y medio ambiente sostenible. Cuad Cimas. 31 p.
- Herrero-Jáuregui C, Arnaiz-Schmitz C, Reyes MF, *et al.* (2018) What do we talk about when we talk about social-ecological systems? A literature review. *Sustainability*, 10:8,1-14. doi: 10.3390/su10082950
- Hessels LK, van Lente H (2008) Re-thinking new knowledge production: A literature review and a research agenda. *Research policy*, 37:4, 740-760. doi:10.1016/j.respol.2008.01.008
- Hijmans RJ, Etten J van, Mattiuzzi M, *et al.* (2014) Package “raster.” R
- Holling CS (1986a) Adaptive environmental management. *Environment* 28:39.

doi:10.1080/00139157.1986.9928829

- Hylén J, Schuller T (2007) Giving knowledge for free. *Observer*, 263, 21-22.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2002) Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1: 1,000,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2008) Conjunto de Datos Vectoriales Climatológicos. Continuo Nacional. Escala 1: 1,000,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2015) Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie II.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2017a) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie VI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2010a) Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. In: Simulador flujos agua cuencas hidrográficas. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/. Consultado el 10 Oct 2018.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2013) Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2018) Marco Geoestadístico Nacional.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2010b) Censo de Población y Vivienda 2010.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2014a) Características de las localidades y del entorno urbano.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (1991) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie I.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2000) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie II.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2010c) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie IV. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2005) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie III.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2014b) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie V.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2017b) INEGI Presenta Carta del Uso de Suelo y Vegetación Serie VI. Comunicado de Prensa Número 535/17

- Jalife-Rahme A (2018) Las guerras globales del agua. Privatización y fracking., 2nd Ed. Orfila, 289 p.
- Jardel P, Maass M, Rivera-Monroy V (2013) La investigación ecológica a largo plazo en México. Universidad de Guadalajara, México. 92 p.
- Kolb M, Gerritsen PRW, Garduño G, *et al.* (2018) Land Use and Cover Change Modeling as an Integration Framework: A Mixed Methods Approach for the Southern Coast of Jalisco (Western Mexico). En: Geomatic Approaches for Modeling Land Scenarios. (pp. 241–268). Springe.
- Krikorian G, Kapczynski A (2010) Access to knowledge in the age of intellectual property. New York.
- Krueger T, Maynard C, Carr G, *et al.* (2016) A transdisciplinary account of water research. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3:3, 369-389. doi:10.1002/wat2.1132
- Kuhn TS (2012) The structure of scientific revolutions. University of Chicago Press. 267 p.
- Lang DJ, Wiek A, Bergmann M, *et al.* (2012) Transdisciplinary research in sustainability science: Practice, principles, and challenges. Sustainability science, 7:1, 25-43. doi:10.1007/s11625-011-0149-x
- Leff E (1998) Saber ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. Siglo XXI / PNUMA. 400 p.
- Leff E (2000) Espacio, lugar y tiempo: la reapropiación social de la naturaleza y la construcción local de la racionalidad ambiental. Desarrollo e Medio Ambiente, 1, 59-69. doi:10.5380/dma.v1i0.3057
- Leff E (2015) Political Ecology: a Latin American Perspective. Desarrollo e medio ambiente, 35:35, 29-64. doi:10.5380/dma.v35i0.44381
- Liehr S, Röhrig J, Mehring M, Kluge T (2017) How the social-ecological systems concept can guide transdisciplinary research and implementation: Addressing water challenges in central northern Namibia. Sustainability, 9:7, 1-19. doi:10.3390/su9071109
- Liu J, Dietz T, Carpenter SR, *et al.* (2007) Complexity of coupled human and natural systems. Science, 317(5844), 1513-1516. doi:10.1126/science.1144004
- Luks F, Siebenhüner B (2007) Transdisciplinarity for social learning? The contribution of the German socio-ecological research initiative to sustainability governance. Ecol Econ. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.11.007
- Maass M (2003) Principios Generales sobre Manejo de Ecosistemas. En: Sánchez O, Vega E, Peters E, Monroy-Vilchis O (Eds.) Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México. 315 p. SEMARNAT.
- Maass JM, Balvanera P, Castillo A, *et al.* (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.
- Maass JM, Cotler H (2007) El Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. En: Cotler (Eds) (2007). El manejo Integrado de cuencas en México Estudios y reflexiones para orientar la política Ambiental. (41–58). Instituto Nacional

de Ecología.

- Maass JM, Martínez-Yrizar A, Patiño C, Sarukhán J (2002) Distribution and annual net accumulation of above-ground dead phytomass and its influence on throughfall quality in a Mexican tropical deciduous forest ecosystem. *Journal of Tropical Ecology*, 18:821–834. doi:10.1017/S0266467402002535
- Maass M (2017a) Integrating food-water-energy research through a socio-ecosystem approach. *Frontiers in Environmental Science*, 5:48,1–8. doi:10.3389/fenvs.2017.00048
- Maass M (2017b) Los sistemas socio-ambientales (SSA) desde el enfoque socioecosistémico (SES). En: Ávila Foucat VS, Perevochtchikova M. *Sistemas socio-ambientales desde la teoría a la práctica: Caso de Oaxaca, México*. (pp. 12-68). Instituto de Investigaciones Económicas.
- Maass M, Ahedo Hernández R, Araiza S, *et al.* (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*. 426:7–17. doi:10.1016/J.FORECO.2017.09.040
- Maass M, Equihua M (2015a) Earth Stewardship, Socio-ecosystems, the Need for a Transdisciplinary Approach and the Role of the International Long Term Ecological Research Network (ILTER). En: *Earth Stewardship: Linking ecology and ethics in theory and practice*. (pp 217–233.). Springer.
- Maass M, Equihua M (2015b) La Red Internacional de Investigación Ecológica a Largo Plazo (ILTER) a 20 años de su creación: sus avances y retos. *Bosque (Valdivia)*, 35(3), 415-419. doi:10.4067/s0717-92002014000300016
- Maass M, Jardel E, Martínez-Yrizar A, *et al.* (2010a) Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Ecosistemas*. doi:10.7818/re.2014.19-2.00
- Maass M, Martínez-Yrizar A, Sarukhán J (2010b) Investigación ecológica en cuencas hidrográficas. En: *Patrimonio Natural de México. Cien casos de éxito*. (pp. 220–221). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Macías Cuéllar H, Téllez Valdés O, Dávila Aranda P, Casas Fernández A (2006) Los estudios de sustentabilidad. *Ciencias*, 81., 20-31. doi:10.5377/pdacv5i0.471
- Martínez-Yrizar A, Búrquez A, Maass M (2000) Structure and functioning of tropical deciduous forest in western México. En: Robichaux, Yetman (eds). *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. (pp. 19–35.) University of Arizona Press.
- Mathes JC, Stevenson DW (1976) *Designing Technical Reports: Writing for Audiences in Organizations*. ERIC.
- Mattos A, Villela SM (1975) *Hidrología aplicada*. Universidad Nacional de Colombia. Mc Graw Hill, 245 p.
- Max-Neef MA (2005) Foundations of transdisciplinarity. *Ecological economics*, 53:5–16. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.01.014
- Mayr E (2004) What Makes Biology Unique? considerations on the Autonomy of a Scientific

- Discipline. Cambridge University Press, 107 p.
- Megdal SB, Eden S, Shamir E (2017) Water governance, stakeholder engagement, and sustainable water resources management. *Water (Switzerland)* 190 p.
- Mirchi A, Madani K, Watkins D, Ahmad S (2012) Synthesis of System Dynamics Tools for Holistic Conceptualization of Water Resources Problems. *Water resources management*, 26(9), 2421-2442. doi:10.1007/s11269-012-0024-2
- Monsiváis Molina A S (2012) Determinación de la presencia de plaguicidas organoclorados y organofosforados en agua y sedimentos del Río Cuitzmala, Jalisco. Facultad de Ciencias, UNAM. (Tesis de Licenciatura)
- Montañes-Serrano M (2012) Una estrategia participativa conversacional con la que producir conocimiento y propuestas de actuación sociocultural. *Antropología Experimental*, 17:12. 67–90
- Morin E (2000) Introducción al pensamiento complejo. GEDISA, 180 p.
- Nicolescu B (2002) *Manifiesto of transdisciplinarity*. State University NY Press. 160 p.
- Nicolescu B (2007) Transdisciplinarity - past, present and future. In: *Modern Worldviews: Reshaping sciences, policies and practices for endogenous sustainable development*. ETC/COMPAS, Leusden, 142-166
- Nicolescu B (2014) Methodology of transdisciplinarity. *World Futures*, 70(3-4), 186-199. doi:10.1080/02604027.2014.934631
- Noguera F, Vega-Rivera JH, Garcia Aldrete AN, Quesada Avendaño M (2002) *Historia natural de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM, 987 p.
- Nordås R, Gleditsch NP (2007) Climate change and conflict. *Political geography*, 26(6), 627-638. doi:10.1016/j.polgeo.2007.06.003
- Olsson P, Folke C, Berkes F (2004) Adaptive co-management for building resilience in social-ecological systems. *Environmental management*, 34(1), 75-90. doi:10.1007/s00267-003-0101-7
- Ostrom E (2015) *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Ostrom E (2009) A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(80), 419-422.
- Paez A (2017) Gray literature: An important resource in systematic reviews. *Journal of Evidence-Based Medicine*, 10(3), 233-240. doi:10.1111/jebm.12266
- Pahl-Wostl C (2007a) The implications of complexity for integrated resources management. *Environmental Modelling & Software*, 22(5), 561-569. doi:10.1016/j.envsoft.2005.12.024
- Pahl-Wostl C (2007b) Requirements for Adaptive Water Management. In: *Adaptive and Integrated Water Management*. Springer, 345 p.
- Pahl-Wostl C, Sendzimir J, Jeffrey P, *et al.* (2007) Managing change toward adaptive water management through social learning. *Ecology and society*, 12(2). doi:10.5751/ES-02147-120230

- Pappas C, Williams I (2011) Grey literature: Its emerging importance. *Journal of Hospital Librarianship*, 11(3), 228-234. doi:10.1080/15323269.2011.587100
- Pérez-Escobedo M (2011) Necesidades de información para el manejo de los socio-ecosistemas en la región Chamela-Cuixmala, Jalisco. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. (Tesis de Maestría)
- Periódico Oficial (2001) Ordenamiento Ecológico Territorial de Jalisco. Periódico Oficial del Estado Jalisco, México.
- Periódico Oficial (1999) Ordenamiento Ecológico de la Región Costa del Estado de Jalisco. Periódico Oficial del Estado Jalisco, México.
- Piña Poujol PC (2007) Regionalización eco-hidrológica de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México. UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM. (Tesis de Maestría)
- Pohl C (2010) From Transdisciplinarity to Transdisciplinary Research. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 1:65–73. doi:10.22545/2010/0006
- Pujadas Botey A (2013) Comunicación y participación social en el programa de ordenamiento ecológico territorial de la costa de Jalisco y la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala. CIECO, UNAM. (Tesis de Maestría)
- QGIS.org 2019. QGIS Geographic Information System. QGIS Association.
- Quiroga D, Gil V, Coronato A (2014) Morfometría de la cuenca del río Avilés, Tierra del Fuego, Argentina: Aportes al conocimiento de las condiciones de escurrimiento en territorios semiáridos. *Cuaternario y Geomorfología*, 28(1-2), 63-80. doi:10.17735/cyg.v28i1-2.24699
- RAN (Registro Agrario Nacional) (2017a) Perimetrales núcleos agrarios. Entidad Federativa Jalisco.
- RAN (Registro Agrario Nacional) (2017b) Tierras uso común. Entidad Federativa Jalisco. Registro Agrario Nacional. México.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP (1991) RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation*, 46(1), 30-33. doi:10.1201/9780203739358-5
- Riensch M, Castillo A, Flores-Díaz A, Maass M (2015) Tourism at Costalegre, Mexico: An ecosystem services-based exploration of current challenges and alternative futures. *Futures* 66:70–84. doi:10.1016/j.futures.2014.12.012
- 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, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM. (Tesis de Maestría)
- Sánchez Matías M (2010) Los beneficios del monte: percepción social y consumo de los servicios ecosistémicos derivados de la biodiversidad vegetal en la cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco. UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM. (Tesis de Maestría)
- Sarukhán J, Maass JM (1990) Bases Ecológicas Para el Manejo de Cuencas. En: Leff, E.

- (Eds) (1990). *Medio Ambiente y Desarrollo en México*, 1st edn (pp. 81–114). Porrúa.
- Schroeder NM, Castillo A (2013) Collective action in the management of a tropical dry forest ecosystem: Effects of Mexico's property rights regime. *Environmental Management*, 51(4), 850-861. doi:10.1007/s00267-012-9980-9
- Sequeiros San Román L (1998) De la III Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro, 1992) al fracaso de la Conferencia de Kioto (1997): claves para comprender mejor los problemas ambientales del Planeta. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6(1), 3-12.
- Shen C (2018) A Transdisciplinary Review of Deep Learning Research and Its Relevance for Water Resources Scientists. *Water Resources Research*, 54(11), 8558-8593. doi:10.1029/2018WR02264
- Smith PB, Max-Neef M (2011) *Economics Unmasked: From power and greed to compassion and the common good*. Totnes, Devon: Green Books, 478 p.
- Solórzano Murillo LS (2008) *Percepciones sobre servicios ecosistémicos relacionados con el agua en comunidades rurales de la cuenca del río Cuiztmala, Jalisco*. UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas (Tesis de Maestría)
- Spangenberg JH (2011) Sustainability science: A review, an analysis and some empirical lessons. *Environmental Conservation*, 38(3), 275-287. doi:10.1017/S0376892911000270
- Stanford JA, Poole GC (1996) A Protocol for Ecosystem Management. *Ecological Applications*, 6(3), 741-744. doi:10.2307/2269478
- Stuart Chapin F, Matson PA, Vitousek PM (2012) *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media, 529 p.
- Swain A (2015) Water Wars. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 25, 443-447. . doi:10.1016/j.foreco.2017.10.015
- Tello Díaz C (2012) *La transformación del paisaje: colonización, desarrollo y conservación de la Costalegre de Jalisco, en la región de Cuixmala y Careyes (1943-1993)*. Universidad Nacional Autónoma de México, 215 p.
- Tello Díaz C (2014a) La colonización de la costa de Jalisco: 1953-1959. *Relaciones, estudios de historia y sociedad*, 35(140), 267-293. doi:10.24901/rehs.v35i140.110
- Tello Díaz C (2014b) *Los señores de la costa. Historias de poder en Careyes y Cuixmala*, 1st edn. Grijalbo, 140 p.
- Teme RDC (2019) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*.
- Thornthwaite CW, Mather JR (1957) Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water Balance. *Publications in Climatology* 10:185–311
- Trejo I, Dirzo R (2000) Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological conservation*, 94(2), 133-142. doi:10.1016/S0006-3207(99)00188-3
- Ulrich GD (1984) Write a Good Technical Report. *IEEE transactions on professional communication*, (1), 14-19. doi:10.1002/9781119134633.ch10

- UNESCO (2003) Water for People, Water for Life. Reporte Anual.
- Vaca Velasco AD (2012) Propuesta de manejo de agua residual en dos comunidades de la cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco. Instituto de Ecología, UNAM (Tesis de Maestría)
- Vaughan HH, Waide RB, Maass JM, Ezcurra E (2007) Developing and delivering scientific information in response to emerging needs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4), 1-4. doi:10.1890/1540-9295(2007)5[w8:DADSII]2.0.CO;2
- Villasante T (2006a) Reversión y desborde popular. *REDES-Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 2 (11), 1-5.
- Villasante T, Martín Gutiérrez P (2018) Redes y conjuntos de acción: para aplicaciones estratégicas en los tiempos de la complejidad social. *Redes. Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 11, 1-22. doi:10.5565/rev/redes.87
- Villasante TR (2018) Aportaciones latinoamericanas a las ciencias sociales ante la crisis ambiental y con metodología participativa. *Política y sociedad*, 52(2), 289- 287 doi:10.5209/poso.49116
- Vitousek PM (2003) Global Environmental Change: An Introduction. *Annual review of Ecology and Systematics*, 23(1), 1-14.
- Wickham H (2011) ggplot2. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 3(2), 180-185. doi:10.1002/wics.147
- Wischmeier WH, Smith DD (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses - a guide to Conservation Planning. (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Yaccuzzi-Polisena V (2019) Impacto de la teoría cuántica en la epistemología. *Scripta Philosophiæ Naturalis*, (15), 1-34.

APÉNDICE I



Reporte técnico para el manejo sustentable de la cuenca del Río Cuitzmala.

El caso de los recurso hídricos



Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad
Universidad Nacional Autónoma de México

LUIS ALFREDO ISLAS SALDAÑA

ÍNDICE

1	RESUMEN EJECUTIVO.....	6
2	INTRODUCCIÓN.....	9
2.1	La Región de la Costa Sur y la Reserva de Chamela-Cuixmala	9
2.2	Los Bosques Tropicales de Chamela y la Cuenca del Río Cuitzmala	10
2.3	Los Estudios en la Cuenca y la Síntesis de la Información	11
2.4	La Revisión de la Información y el Formato de Presentación	13
3	COMPONENTES BIOFÍSICOS.....	15
3.1	La Dinámica Hidrológica.....	16
3.2	El Caudal Ecológico y el Agua Disponible.....	20
3.3	Unidades Ambientales	21
a)	Unidades Climáticas.....	22
b)	Unidades Geológicas.....	24
c)	Unidades Edafológicas.....	26
d)	Unidades de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo.....	28
3.4	Morfometría de la Cuenca	30
3.5	La Calidad del Agua en la Cuenca	36
a)	La Calidad del Agua a lo Largo de la Cuenca	37
b)	La Calidad del Agua en los Humedales de la Cuenca.....	42
4	LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	45
4.1	El Servicio de Provisión de Agua Dulce	45
4.2	Los Servicios de Infiltración.....	48
4.3	El Servicio de Control de la Erosión Hídrica.	50
5	COMPONENTES SOCIALES	52
5.1	Demografía y Tenencia de la Tierra.....	53
5.2	Actividades Productivas.....	55
5.3	Marginación Social.....	57
5.4	Intervenciones Académicas	57
5.5	Marcos Legislativos para la Gestión del Agua y el Territorio	59

6	LOS PULSOS Y LAS PRESIONES	61
6.1	Los Eventos de Lluvia Extrema	63
6.2	Políticas Públicas Externas	65
6.3	Contaminación de los Cuerpos de Agua	67
	a) Contaminación de las Actividades Humanas en los Cuerpos de Agua	67
	b) El Uso de Pesticidas en la Cuenca.....	71
6.4	La Erosión Hídrica	74
6.5	El Cambio de la Cubierta Vegetal y los Usos de Suelo	76
7	RECOMENDACIONES	80
7.1	Líneas Estratégicas de Acción para el Manejo de los Recursos Hídricos (Figuras 55 y 56). 85	
8	CONSIDERACIONES FINALES	92

Índice de Figuras

Figura 1	Interacciones del Socioecosistema de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	6
Figura 2	Mapa de la Costa Sur de Jalisco	9
Figura 3	Mapa de Localización de la Cuenca del Río Cuitzmala.	12
Figura 4	Ruta Metodológica.	13
Figura 5	Esquema de la Dinámica Hidrológica.....	16
Figura 6	Precipitación y Escorrentía Mensual de los Bosques Tropicales Secos	17
Figura 7	Precipitación y Escorrentía Mensual de los Bosques Tropicales Secos	18
Figura 8	Dinámica Hidrológica de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	19
Figura 9	Tipos de Regímenes Mensual de Avenidas en el Caudal de la Cuenca del Río Cuitzmala para diferentes años.	21
Figura 10	Climogramas de la Cuenca del Río Cuitzmala. En color rojo la temperatura y en azul la precipitación.....	22
Figura 11	Mapa de los Tipos de Clima en la Cuenca del Río Cuitzmala	23
Figura 12	Mapa de las Unidades Geológicas en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	24
Figura 13	Mapa de las Unidades Edafológicas de la Cuenca del Río Cuitzmala	26
Figura 14	Mapa de los Usos de Suelo y Vegetación de la Cuenca del Río Cuitzmala	28
Figura 15	Relación entre Evapotranspiración y Escorrentía de las Coberturas del Terreno en la Cuenca del Río Cuitzmala.	29
Figura 16	Mapa de la Red de Drenaje de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	31
Figura 17	Curva Hipsométrica de la Cuenca del Río Cuitzmala	33
Figura 18	Mapa de las Subcuencas de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	34
Figura 19	Mapa de los Sitios Evaluados en la Calidad de Agua de la Cuenca del Río Cuitzmala	38
Figura 20	Parámetros Físicoquímicos de la Cuenca del Río Cuitzmala.	39

Figura 21 Parámetros del Contenido de Nutrientes de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	40
Figura 22 Parámetros Bacteriológicos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	41
Figura 23 Mapa de los Sitios Evaluados en la Calidad de Agua Dentro de los Humedales de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	42
Figura 24 Parámetros Físicoquímicos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	43
Figura 25 Parámetros de Contenido de Nutrientes en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	43
Figura 26 Parámetros del Contenido de Nutrientes de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	44
Figura 27 Mapa de las Concesiones de Agua Registradas en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	46
Figura 28 El Porcentaje de Volumen Concesionado a la Agricultura, de Acuerdo a la Cobertura de Uso de Suelo y Vegetación.....	47
Figura 29 Mapa de la Provisión del Servicio Ecosistémico de Infiltración Subsuperficial de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	49
Figura 30 Mapa de la Provisión del Servicio Ecosistémico de Infiltración Profunda de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	50
Figura 31 Mapa de la Provisión del Servicio Ecosistémico de Control de la Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	51
Figura 32 Mapa de localidades de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	53
Figura 33 Volumen Anual de Agua Concesionada en los Municipios de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	54
Figura 34 Mapa de los Núcleos Agrarios en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	55
Figura 35 Mapa de las Actividades Productivas de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	56
Figura 36 Mapa de los Indicadores Sociales (Marginación, población y actividades principales) de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	57
Figura 37 Mapa de Las Localidades y Ejidos en Donde se ha Realizado Algún Estudio en Relación a la Percepción de los Servicios Ecosistémicos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	58
Figura 38 Mapa del Ordenamiento Ecológico Territorial de la Costa Sur de Jalisco, Vigente para la Cuenca del Río Cuitzmala.....	60
Figura 39 Frecuencia de Ocurrencia de los Eventos de Precipitación. La Línea Negra Representa el Porcentaje de Aporte de Agua.....	63
Figura 40 Impacto del Huracán Patricia en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	64
Figura 41 Áreas Potenciales de Inundación de Acuerdo a las Depresiones del Relieve, en la Desembocadura de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	65
Figura 42 Mapa de los Sitios Estudiados para Evaluar el Efecto Antrópico en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	67
Figura 43 Parámetros Físicoquímicos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	68
Figura 44 Parámetros del Contenido de Nutrientes de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	69
Figura 45 Parámetros Bacteriológicos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	70
Figura 46 Mapa de los Sitios Evaluados Para la Identificación de Praderas Ganaderas en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	71
Figura 47 Contenido de Plaguicidas en el Agua dentro de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	72
Figura 48 Contenido de Plaguicidas en Sedimentos dentro de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	73
Figura 49 Erosión del Bosque Tropical Seco Bajo Diferentes Condiciones de Manejo.....	75

Figura 50 Mapa de Riesgo de Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Cuitzmala	76
Figura 51 Coberturas de Uso de Suelo y Vegetación Documentadas por INEGI en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	77
Figura 52 Porcentaje de ganancia y/o pérdida de coberturas	79
Figura 53 Árbol de Problemas en la Cuenca del Río Cuitzmala	82
Figura 54 Esquema Utilizado para la Definición de las Estrategias de Intervención	85
Figura 55 Modelo de Marco Lógico (Problemas) Utilizado para Definir el Plan de Acción para el Manejo de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	90
Figura 56 Modelo de Marco Lógico (Objetivos) Utilizado para Definir el Plan de Acción para el Manejo de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	91

Índice de Tablas

Tabla 1 Características de los Suelos y la Vegetación en Función de la Precipitación y las Zonas Altitudinales de la Cuenca del Río Cuitzmala	20
Tabla 2 Características de las Unidades Climáticas de la Cuenca del Río Cuitzmala	24
Tabla 3 Características de las Unidades Geológicas de la Cuenca del Río Cuitzmala	25
Tabla 4 Características de las Unidades Edáficas de la Cuenca del Río Cuitzmala	27
Tabla 5 Características de las Unidades de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Cuitzmala	30
Tabla 6 Funcionalidad de los Sistemas Ribereños de la Cuenca del Río Cuitzmala	32
Tabla 7 Parámetros Morfométricos Relacionados al Orden de los Cauces de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	34
Tabla 8 Parámetros Morfométricos Relacionados a la Red de Drenaje de la Cuenca del Río Cuitzmala.....	35
Tabla 9 Parámetros Morfométricos Relacionados con la Forma de la Cuenca del Río Cuitzmala ...	35
Tabla 10 Indicadores de la Calidad del Agua	36
Tabla 11 Distribución del Agua por Tipo de Actividad y Fuente de Extracción	47
Tabla 12 Variables Utilizadas para la Delimitación de las Áreas Potenciales de Infiltración Sub-superficial y Profunda	48
Tabla 13 Variables Utilizadas en la Delimitación de las Áreas Potenciales que Controlan la Erosión Hídrica	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14 Importancia Asignada a las Variables Utilizadas para la Delimitación de las Áreas Potenciales de Infiltración Sub-superficial y Profunda	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15 Principales Sistemas y Subsistemas en la Cuenca del Río Cuitzmala.....	56
Tabla 16 Servicios Ecosistémicos de Corte Hidrológico Identificados por los Pobladores de la Cuenca del Río Cuitzmala	58
Tabla 17 Políticas Públicas con Mayor Relevancia en la Costa Sur de Jalisco	66
Tabla 18 Plaguicidas Evaluados	72
Tabla 19 Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Cuitzmala	75
Tabla 20 Proceso Histórico Relacionado al Cambio de Uso de Suelo en la Cuenca del Río Cuitzmala	78
Tabla 21 Principales Problemáticas de la Cuenca del Río Cuitzmala	80
Tabla 22 Análisis de intervención para los nodos críticos de corte social	83

1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente “Reporte Técnico” es una síntesis de la información científica y técnica disponible para el manejo de los recursos hídricos, de la cuenca del Río Cuitzmala localizada en el estado de Jalisco. El trabajo se elaboró recopilando y sistematizando dicha información, disponible para la zona de estudio (y algunas partes representativas en las regiones aledañas), con la finalidad de crear un repositorio (a manera de reporte técnico) a través del cual los tomadores de decisiones tuvieran acceso a buena parte de la información científica generada en la cuenca. Escrito en un formato de fácil interpretación (promoviendo el uso de mapas), con información clara y puntual y sin rebajar el rigor técnico de la misma.

La cuenca del río Cuitzmala es el resultado de toda una serie de interacciones entre distintos elementos y procesos de carácter fisicoquímico, biológico y social (Figura 1). Las interacciones biofísicas se han dado por millones de años en la región, y han evolucionado junto con la presencia humana a lo largo de miles de años. Siendo importante aclarar que es en los últimos 50 años que los habitantes locales han participado de manera más intensa en el establecimiento de las condiciones en las que actualmente se encuentra la cuenca.

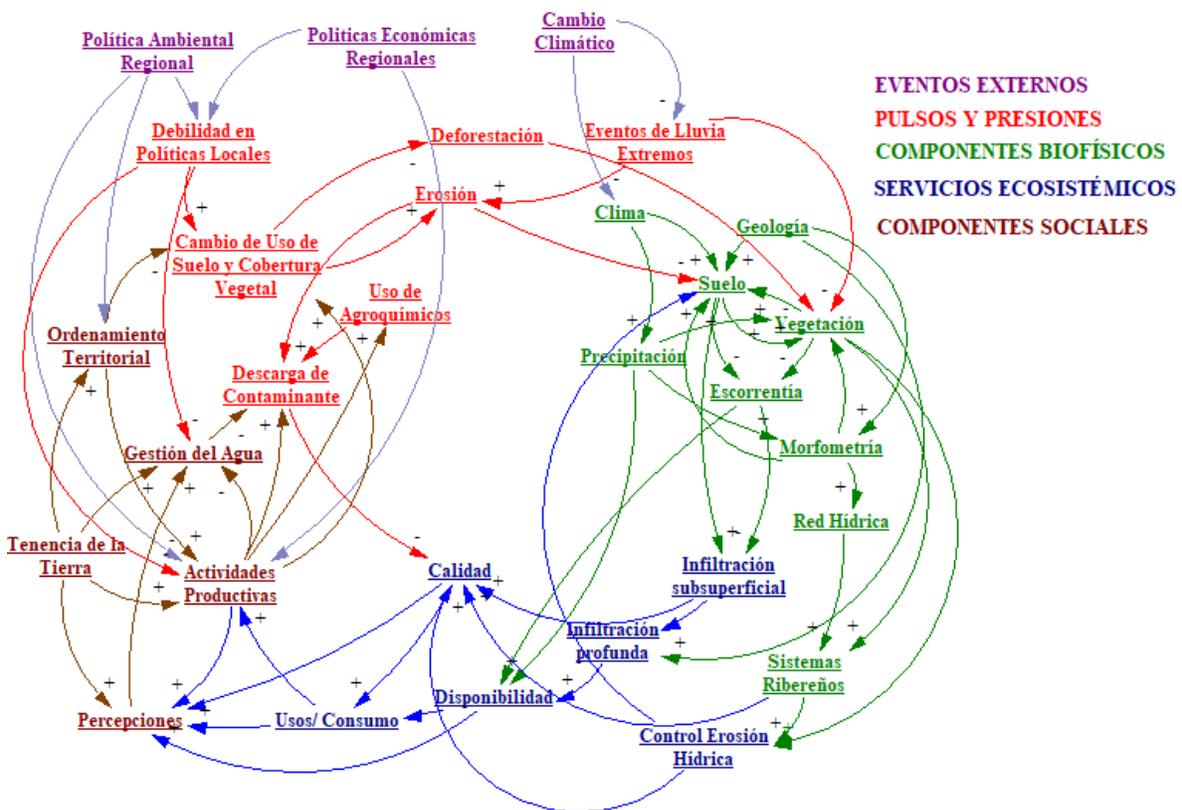


Figura 1 Interacciones del Socioecosistema (Acotado al Manejo Integral de los Recursos Hídricos) de la Cuenca del Río Cuitzmala).

En la cuenca dominan el clima cálido subhúmedo. La mayor parte de su geología está constituida por rocas de granito, y en una menor proporción por rocas calizas; siendo estas últimas las que presentan las condiciones más óptimas para el almacenamiento de agua subterránea. Por su parte, la mayoría de los suelos se caracterizan por ser relativamente jóvenes, de poco desarrollo, de alta pedregosidad, y escasa capacidad de retención de agua.

Respecto a la cubierta vegetal, cerca de la mitad de la superficie está representada por algún tipo de bosque tropical seco, en las partes altas se presentan remanentes de bosques templados, mientras que en la zona litoral, cerca de la desembocadura del río, se presentan algunas áreas cubiertas de manglar y vegetación hidrófila. El principal uso de suelo para fines de cultivo lo constituyen las áreas de praderas ganaderas, las cuales ocupan aproximadamente la tercera parte de la superficie de la cuenca.

El régimen de lluvia es de tipo estacional con una temporada húmeda, entre los meses de junio y octubre, y otra de secas, desde noviembre a mayo. El promedio de lluvia es de 1,128 mm al año, de la cual el 70% es devuelto a la atmósfera por vía de la evapotranspiración de las plantas, mientras que el resto se escurre hacia al mar.

La morfología de la cuenca está determinada principalmente por las condiciones del clima y las características geológicas. Con una superficie de 1,089 km², la cuenca es considerada de tipo dendrítica, en donde predominan los causes de primer orden, localizados en las áreas de mayor pendiente. De acuerdo a las zonas altitudinales de la cuenca, la red de drenaje se encarga del aporte, transporte y depósito de materiales y nutrientes. La forma de la cuenca presenta características relacionadas con un drenaje óptimo, donde la erosión principal es de tipo hídrica, y con una edad funcional en un estado avanzado de senectud.

Respecto a los servicios ecosistémicos de provisión, actualmente se encuentra concesionados 17.3 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales el 54% se obtienen de aguas superficiales y el resto de fuentes subterráneas. Siendo el cultivo de pasto para alimentar al ganado la actividad con mayor demanda. En tanto a los servicios de soporte, los procesos de infiltración sub-superficial y de control de la erosión hídrica se llevan a cabo en las zonas con mayor cubierta vegetal, en donde ocurre un proceso natural de filtración del agua. Por su parte, el área potencial de infiltración profunda tiene una extensión limitada, siendo las zonas más probables aquellas en donde dominan las rocas calizas y las areniscas.

La cuenca cuenta con poco más de 10 mil habitantes, la mayor parte distribuidos en pequeñas localidades de no más de 20 personas. Cerca del 44% de su territorio son tierras ejidales, donde la mitad aún conservan la categoría de tierras de uso común. Dado que, la mayor parte de los habitantes se dedican a actividades agrícolas y/o ganaderas, el servicio de agua dulce es el mejor valorado, tanto para fines productivos, como domésticos.

El instrumento normativo más importante es el ordenamiento territorial regional, cuya política está dirigida principalmente a la conservación. El cual, a pesar de haber generado muchos descontentos, ha disminuido notablemente los procesos de deforestación y

degradación forestal. No obstante, ante la falta de ordenamientos locales, el desarrollo de las actividades productivas de las comunidades se encuentra seriamente limitado.

En cuanto a la gestión del agua, las concesiones están a cargo de los organismos de cuenca de la CONAGUA. Mientras que la parte de la distribución y el saneamiento corren a cuenta de los gobiernos municipales. En algunas localidades, poco documentadas en la cuenca, existe el reporte de algunos casos de gobernanza local, basados en la organización de comités de agua que se rigen por los usos y costumbres de algunas localidades y ejidos.

La cuenca presenta diversos tipos de problemáticas, las cuales pueden estar relacionada a factores ambientales intrínsecos o bien a cuestiones más relacionadas con el manejo del territorio. Tomando en cuenta la relación que tienen las problemáticas entre sí, podemos diferenciar aquellas problemáticas superficiales, que son consecuencia de otros problemas, y aquellas de tipo profundas, que son las que causa de otros problemas. Los principales eventos de afectación (pulso-presión) externos que inciden en la cuenca, son el incremento en la intensidad y la frecuencia de huracanes, así como, la implementación de políticas públicas dirigidas por los gobiernos, estatal y federal. Siendo un ejemplo de lo anterior, el impulso a la ganadería en los años 90, y el fomento actual al turismo de alto nivel, particularmente en la zona costera.

Respecto a los eventos internos, entre los más importantes está el cambio de uso de suelo, cuya mayor tasa de cambio se presentó en la década de los noventa. Se han documentado serios procesos de erosión hídrica, los cuales ocurren en los lugares con deterioro de la cobertura vegetal. Así mismo, existen evidencias de descarga de contaminantes en los ríos y arroyos debido al uso de agroquímicos y a las actividades domésticas. Entre las problemáticas profundas existen aspectos ya sea de tipo biofísico, que son características propias de la cuenca y en las que es difícil incidir, o más bien se trata de aspectos más relacionados a la parte social, como el caso de las políticas públicas, y cuyas decisiones se toman en altos niveles de gobierno. Por lo tanto, definir las líneas de estratégicas para la gestión debe partir de aquellos aspectos que se pueden construir desde lo local.

En este sentido, las líneas estratégicas de intervención (a manera de plan de acción) dentro de la cuenca que se proponen en este Reporte Técnico incluyen: la elaboración e implementación de los ordenamientos locales; la implementación de prácticas de ganadería sustentable; la reducción de la tasa de transformación de los bosques a praderas; y la diversificación de las actividades productivas. Es de esperar que atendiendo a estos cuatro aspectos de forma directa (o indirectamente), se incida en las principales problemáticas de la cuenca, en especial, en lo que se refiere al tema del manejo sustentable de sus recursos y servicios hídricos.

2 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como principal motivación contribuir en el manejo sustentable de los recursos hídricos de la cuenca del río Cuitzmala Jalisco. Lo anterior mediante un ejercicio de síntesis que articula y pone a disposición de los tomadores de decisiones y demás interesados, buena parte del conocimiento científico generado durante varias décadas de investigación, en una de las regiones ecológicas más estudiadas del país, la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala y la región de la Costa Sur.

2.1 La Región de la Costa Sur y la Reserva de Chamela-Cuixmala

La llamada Costa Sur en el estado de Jalisco es una de las regiones con mayor belleza escénica del país, con sus selvas, montañas, playas y ríos, la cual hasta la década de los 40's estaba prácticamente deshabitada. Situación por la que, en ese entonces, el gobierno mexicano comenzaría el proyecto de colonización conocido como "La Marcha al Mar", con la finalidad de generar un desahogo demográfico desde el altiplano a las costas del país. A partir de ese momento, comenzarían diferentes intentos para desarrollar económica y socialmente una de las regiones con uno de los principales relictos forestales de vegetación tropical mejor conservada en el país¹.

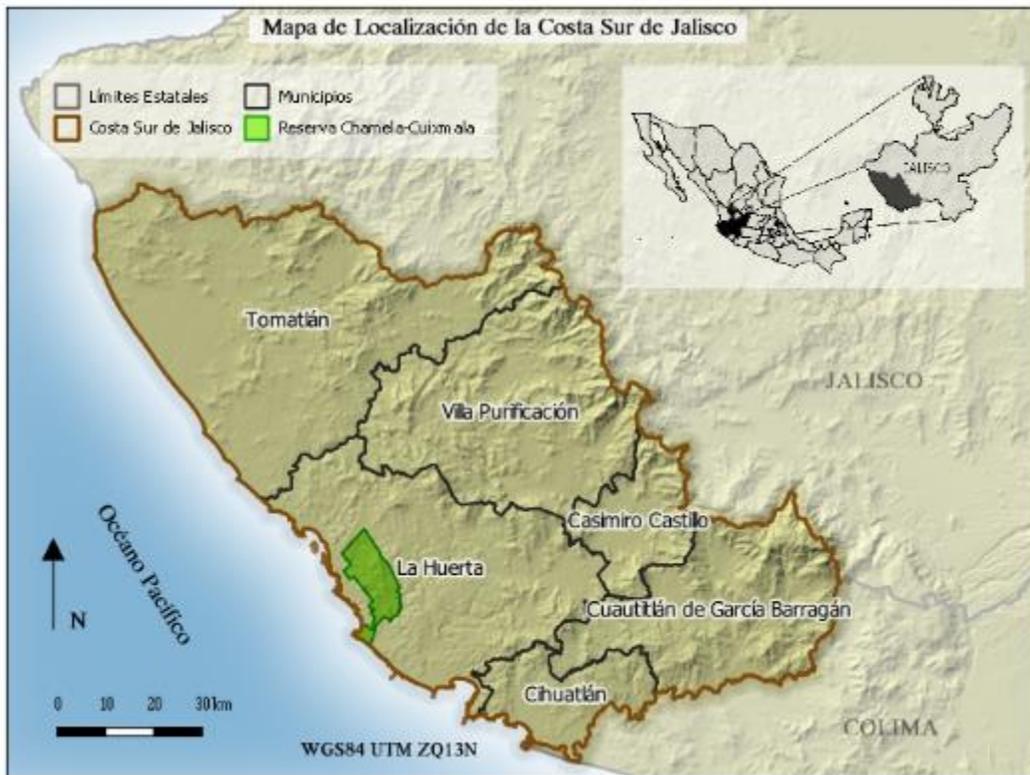


Figura 2 Mapa de la Costa Sur de Jalisco (Autoría propia con datos de INEGI, 2010).

En sus inicios, estos intentos de desarrollo en la zona tuvieron que conformarse con el repoblamiento y el incremento de la producción agrícola y ganadera, debido a que los intentos por impulsar la industria e infraestructura serían detenidos por problemas

financieros, el declive de la minería y la incidencia de los desastres naturales². Es a partir de la década de los 70's, con la construcción de la carretera federal número 200, que los proyectos de desarrollo económico volverían a tomar fuerza en las agendas políticas de la región. Sin embargo, a diferencia de la primera etapa en la que el actor principal eran los gobiernos federales y estatales, en esta ocasión también estarían inmersos nuevos proyectos de infraestructura impulsados por inversionistas extranjeros, así como una serie de conflictos territoriales entre algunos de los núcleos agrarios y localidades establecido en años anteriores³.

En este contexto, la conservación ecológica adquirió gran relevancia, debido a que se convirtió en una forma de defensa de la propiedad privada, ante los constantes intentos de invasión y las solicitudes de expansión agrícola, impulsadas, estas últimas, por los gobiernos estatales en turno³. Ante esta situación y el interés de la UNAM por contar con un sitio para el estudio de los bosques tropicales secos de la región, en el año de 1971, se fundaría la Estación de Biología de Chamela (EBCh), la cual, más de veinte años después pasaría a formar parte de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCh-C)⁴. Una superficie de 13,142 ha., conformada por: las 3,319 ha. de la EBCh; las 200 ha. de la Universidad de Guadalajara; las 1,600 ha. provistas por el ejido El Rincón de Ixtlán y otros propietarios privados; y las 8,046 ha. dotadas por la Fundación Cuixmala (Figura 2).

2.2 Los Bosques Tropicales de Chamela y la Cuenca del Río Cuitzmala

Desde la fundación de la EBCh en los 70's, investigadores científicos, nacionales y extranjeros, han llevado a cabo diferentes estudios para conocer las características estructurales y funcionales del ecosistema conformado por los bosques tropicales secos. Trabajos que han posicionado a este sitio como uno de los lugares más estudiados en términos taxonómicos y ecológicos a nivel mundial (hasta el año 2018, se reportaban más de 510 tesis y 794 publicaciones científicas). Siendo uno de los principales fenómenos de estudio, la respuesta que tienen estos ecosistemas ante la marcada estacionalidad de la región, la cual oscila entre un periodo de lluvias que va de mayo a noviembre y otro de secas durante el resto del año⁴.

Los primeros trabajos de investigación en la EBCh se concentraron principalmente en el conocimiento ecológico y sobre la composición taxonómica de la flora y fauna locales. Fue hasta principios de los 80's que comenzaría a realizarse investigación de corte más ecosistémica y de largo plazo con el arranque de un proyecto de gran envergadura sobre la estructura y el funcionamiento de los bosques tropicales secos. Este proyecto, conocido como "proyecto Cuencas", de manera ininterrumpida desde hace casi 40 años ha monitoreado, en un conjunto de cinco pequeñas cuencas hidrográficas (de entre 10 y 30 ha.) la dinámica de los bancos, balances y flujos internos de agua, energía y nutrientes de los bosques tropicales secos en estado de conservación. El proyecto ha generado información y conocimiento crucial para el manejo y conservación de estos bosques, en donde es de destacarse la importancia que tiene el agua como el elemento central de los procesos ecológicos⁵⁻⁸.

A principios del presente siglo, con el arribo de las llamadas metas del milenio y lo relacionado a los estudios de los sistemas socio-ecológicos, las investigaciones que hasta ese momento habían abordado aspectos meramente biológicos y ecológicos, comenzaron a incorporar aspectos sociales relacionados con las interacciones entre las localidades aledañas y los bosques tropicales^{4,9,10}. Los primeros trabajos en este rubro fueron aquellos con los que se promovió la construcción de un puente de comunicación entre la ciencia y la sociedad, mediante los cuales se recabaron aspectos como: las percepciones sociales respecto a los servicios ecosistémicos; se recopilaron e integraron las necesidades e intereses de información por parte de los ejidos y localidades; se documentaron las historia y las prácticas relacionados al manejo de los ecosistemas; se evaluaron los impactos de las políticas de desarrollo en la transformación del territorio; y se realizaron talleres y materiales de difusión científica diseñados para las personas de las comunidades¹¹⁻¹⁶.

Al igual que en lo reportado en los estudios ecosistémicos, los trabajos con las localidades resaltaron la importancia y el valor que los habitantes de la región le dan al recurso hídrico. En este sentido, las personas reconocen la importancia del recurso para el desarrollo de sus actividades productivas y domesticas; también identifican y son conscientes de los efectos que ha traído consigo la falta de planeación territorial en la disponibilidad y la calidad del recurso; reconocen los impactos de las actividades en las partes altas, sobre las poblaciones en la parte baja; e identifican como una de sus necesidades de información, el desarrollo de productos de investigación encaminados a la gestión sustentable de los recursos hídricos de la región¹⁷⁻¹⁹.

Tomando en consideración lo anterior, el grupo de investigadores que forman parte del mencionado proyecto de "Cuencas", hicieron una reflexión importante acerca de este proyecto de largo plazo. En esta reflexión se reconoció el aporte que ha tenido este largo trabajo para el conocimiento de la dinámica funcional de los bosques tropicales secos, cuyos estudios pueden ser representativos para varios lugares de la región y de la costa del "Pacífico mexicano" en donde se presentan estos ecosistemas. No obstante, también se reconocieron aspectos importantes para fortalecer estos estudios: el primero consistiría en la necesidad de abordar este tipo de trabajos en escalas regionales, ya que en estos niveles es donde ocurren los principales procesos de soporte que sostienen a estos ecosistemas; y la segunda, en la necesidad de incorporar, sitios en los que fuera posible evaluar a mayor profundidad el efecto de las actividades humanas en los ecosistemas. Por lo anterior, el foco de atención pasaría del estudio de las pequeñas cuencas cercanas a la EBCh, al estudio de la cuenca del Río Cuitzmala, con una superficie que rebasa los mil kilómetros cuadrados, y la cual incluye la presencia de distintos asentamientos humanos²⁰.

2.3 Los Estudios en la Cuenca y la Síntesis de la Información

La cuenca del Río Cuitzmala se localiza entre las coordenadas geográficas 19° 54' 34.91" a 19° 16' 47.37" de Latitud Norte y 104° 33' 33.55" a 105° 03' 8.21" de Longitud Oeste, entre los municipios de Villa Purificación y La Huerta, en el estado de Jalisco. Pertenece a la región hidrológica N° 15, en donde la Comisión Nacional de Agua la registra como una subcuenca, de la cuenca "Purificación-Cuitzmala"²¹. Dentro de su superficie se encuentra ubicada una parte de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCh-C) (Figura 3).

Respecto a su uso de suelo y vegetación, destaca la presencia de los bosques tropicales en casi un 50% de su superficie, así como, la presencia de praderas ganaderas en una tercera parte de la misma²².

Como ya se ha mencionado, el agua es elemento central en los ecosistemas de la región y de los asentamientos humanos presentes, motivo por el cual la cuenca hidrográfica se convierte en el modelo por excelencia para la gestión de este recurso^{8,23}. En la cuenca del Río Cuitzmala, es de destacarse en términos ecológicos, que, debido a su extensa cobertura forestal, a la óptima calidad de agua en sus ríos principales y a la prácticamente nula alteración de su caudal, ha sido considerada como una de las cuencas prioritarias dentro del Programa Nacional de Reservas de Agua, emitido en 2015, en donde el 66% del agua disponible ha sido asignada para fines de conservación ecológica^{24,25}. Así mismo, de este recurso dependen el desarrollo de dos de las principales actividades económicas de la cuenca y de la región: la ganadería y los desarrollos turísticos. Situación por la cual se han generado diferentes conflictos relacionados al aprovechamiento del recurso. Por un lado están las comunidades locales quienes piden que se les garantice el líquido para el desarrollo de sus actividades; por otro lado, están los grandes capitales quienes demandan substanciales cantidades de agua para operar sus proyectos de desarrollo turístico; y, finalmente, están los investigadores científicos que trabajan en la RBCh-C quienes apelan por un aprovechamiento del recurso que no ponga en riesgo la conservación de los bosques tropicales^{13,14,26}.

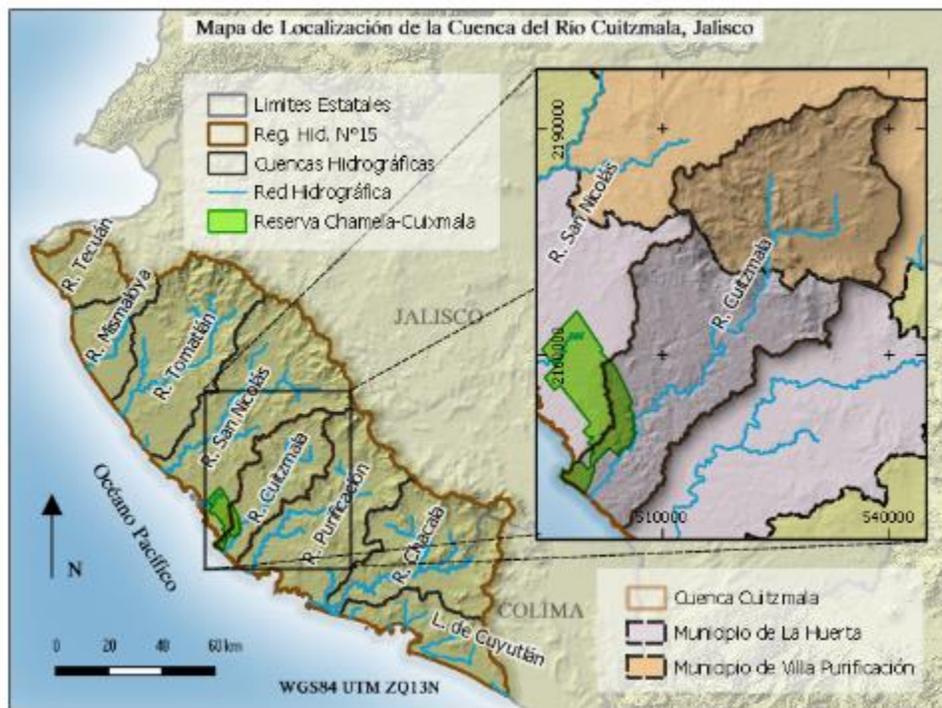


Figura 3 Mapa de Localización de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de CONAGUA, 2010 e INEGI, 2010).

Por lo anterior, una de las principales líneas de investigación llevadas a cabo en la cuenca desde el año 2007, está relacionada con el manejo integral de los recursos hídricos. En los trabajos realizados hasta el momento, se han identificado los aspectos biofísicos que determinan la disponibilidad espacial y temporal del recurso²⁰; las interacciones y características de los sistemas ribereños²⁷; la calidad de los cuerpos de agua²⁸⁻³¹; la distribución espacial de los servicios ecosistémicos de corte hidrológico³²; las percepciones sociales y las prácticas de aprovechamiento relacionadas al recurso, etc^{17,18}. La información recabada en todo este tiempo brinda importantes bases para el manejo sustentable de los recursos hídricos y del territorio en la cuenca. Sin embargo, integrarlos en un programa de manejo representa todo un reto, que va desde la negociación de los distintos intereses en los municipios y los núcleos agrarios que tienen injerencia, hasta en la manera en que esta información es difundida por parte de la academia hacia los tomadores de decisiones. En este sentido el presente reporte técnico tiene como objetivo principal, fungir como un instrumento de información básica, en donde se presente, a manera de síntesis y en un formato muy gráfico, el conocimiento de importantes trabajos técnicos y científicos, relevantes para la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos, de la Cuenca del Río Cuitzmala.

2.4 La Revisión de la Información y el Formato de Presentación

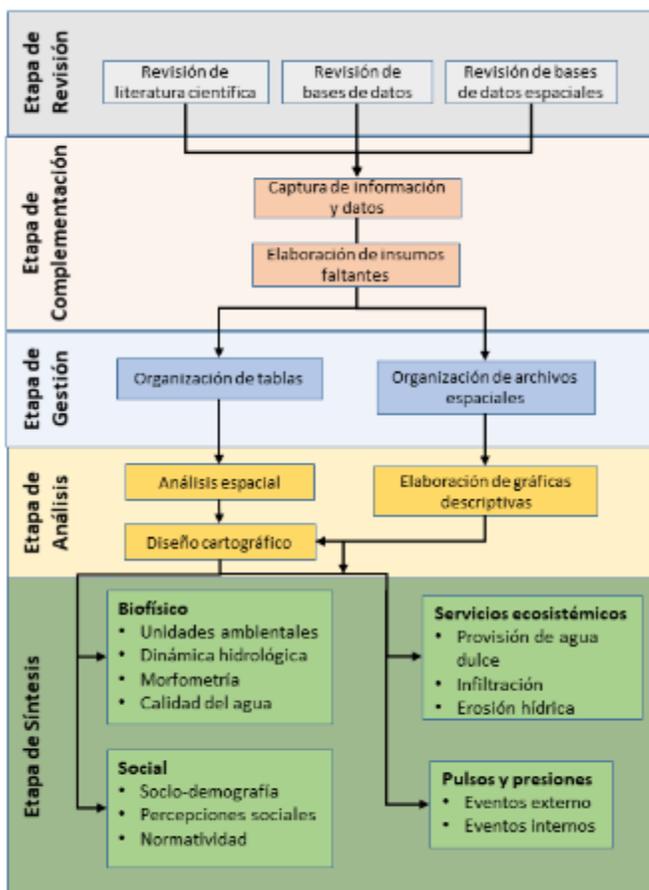


Figura 4 Ruta Metodológica (Autoría propia).

Para la elaboración del presente trabajo, fue necesario hacer una extensa revisión y recopilación de la información científica disponible para la zona de estudio, mucha de la cual se circunscribe a las EBCh y sus alrededores inmediatos. Aunque se le dio prioridad a los trabajos realizados en la cuenca misma de río Cuitzmala, también se incluyó información generada fuera de la cuenca, pero representativa de sus condiciones socioambientales, particularmente aquellos trabajos que tenían que ver con asuntos de manejo. Así mismo, es importante mencionar que una buena parte de la información aquí mostrada, sobre todo lo referente a la información espacial representada en diferentes mapas a lo largo del trabajo, es de elaboración propia, aunque ciertamente con información de base obtenida de la literatura. Consecuentemente, para todos los casos se acreditó la fuente de información original.

En resumen, el presente trabajo constó de cinco etapas (Figura 4): una primera etapa de revisión documental, en la que se recabó la literatura científica, las bases de datos gubernamentales, y la información espacial disponible para la zona de estudio relacionada con el tema del agua; una segunda etapa que consistió en la elaboración de productos que complementarían a la información recopilada en la etapa anterior, y necesarios para el manejo integral de las cuencas hidrográficas. Aquí se generó gran parte de la información espacial que se muestra en los mapas presentados a lo largo del trabajo; una tercera etapa consistente en la sistematización y depuración de los datos e información recopilada previamente; una cuarta etapa en la que se procesó y analizó la información a partir de la cual se diseñaron las figuras, tablas, gráficas y mapas en donde se representaría la mayor parte de la información recabada y generada; y, finalmente, una quinta etapa en la que se sintetizó toda la información en un formato diseñado a manera de reporte técnico.

El diseño del reporte técnico^{33y34} se elaboró: se elaboró mediante una estimación subjetiva basada en la experiencia del trabajo de investigación de la región, tomando en cuenta el tipo de audiencia, sus intereses y su utilidad para la toma de decisiones; usando un lenguaje claro y conciso, sin perder rigor técnico; privilegiando el uso de mapas, gráficas y figuras de fácil interpretación, bien contextualizadas y que puedan ser consultadas y entendidas de manera individual, sin necesidad de consultar a detalle todo el texto; y que sirva como repositorio de datos para la comunidad.

Por su parte, la estructura del Reporte Técnico se diseñó teniendo como objetivo central identificar, describir y analizar aquellos aspectos del funcionamiento socio-ecológico de la cuenca que pueden dar luz al proceso de toma de decisiones con respecto a la gestión del agua en la cuenca. Para lo cual, se adoptó el esquema de “pulsos y presiones” propuesto por Collins y colaboradores en 2011³⁵. Con este esquema se articularon los componentes biofísicos y sociales de la cuenca, a través de los servicios ecosistémicos que los humanos reciben de la misma y la manera en que estos últimos modifican la estructura y funcionamiento del ecosistema. De esta manera, el reporte quedó conformado en 7 secciones: 1) un resumen ejecutivo, en el que se muestra de manera general los temas abordados y la manera en que estos interactúan en la cuenca, es decir, el funcionamiento del socioecosistema; 2) una introducción en donde se describe el contexto y los motivos que dieron origen al presente trabajo; 3) una descripción de los aspectos biofísicos que determinan el funcionamiento hidrológico; 4) un análisis de los servicios ecosistémicos de corte hidrológico que la cuenca brinda a sus habitantes; 5) una descripción de los aspectos sociales; 6) la identificación de los pulsos y presiones que impactan a la cuenca; y finalmente, 7) una presentación y discusión de las líneas de acción recomendadas a llevarse a cabo para atender las problemáticas relacionadas con la gestión del agua en la cuenca.

3 COMPONENTES BIOFÍSICOS

La disponibilidad de agua o “recurso hídrico” en una cuenca, depende de múltiples factores, tanto de corte abiótico (e.g. el clima, la geología y el tipo de suelo local), como de corte biótico (e.g. la cobertura vegetal) y de corte sociocultural (e.g., uso del suelo). Las interacciones de estos factores generan una dinámica hidrológica que varía tanto temporalmente (entre años y dentro las diferentes épocas del año) como espacialmente (a lo largo y ancho de la cuenca).

Contrario a la idea arraigada de que la naturaleza tiene que ser domada (transformada) por el ser humano, la crisis ambiental actual ha evidenciado la necesidad de adaptar las actividades y necesidades humanas a las condiciones de los ecosistemas. Al igual que un doctor debe conocer el estado actual de salud y el historial clínico de sus pacientes, para poder hacer las recomendaciones pertinentes a su cuidado, el manejo integral de la cuenca debe partir del conocimiento de las características biofísicas presentes, para poder llevar a cabo un manejo sustentable de sus recursos naturales, entre los que destacan, por su papel central, los recursos hídricos. Este conocimiento resulta básico para los tomadores de decisiones y demás personas interesadas en una adecuada y efectiva planeación territorial.

En este primer capítulo, se abordarán los aspectos que determinan y controlan la dinámica hidrológica de una cuenca, incluyendo una descripción de las unidades ambientales en las que ocurre dicha dinámica y los aspectos morfológicos de la cuenca que determinan su patrón espacial. Así mismo, y dada su importancia, al final del capítulo se abordarán los aspectos biofísicos que determinan la calidad del agua disponible.

En la primera parte, el lector tendrá acceso a la información referente a la dinámica hidrológica, es decir, a la manera en que el agua se comporta a través del tiempo, y a lo largo y ancho de la cuenca. Se observará la marcada estacionalidad presente en la misma, la cual se divide entre las temporadas de lluvias y secas. Así mismo, se abordará lo relacionado al ciclo hidrológico, en donde es de destacarse que, del total del agua que ingresa a la cuenca en forma de lluvia, el 70% interactúa con la vegetación, la cual posteriormente la devuelve a la atmósfera en forma de vapor de agua.

En la segunda parte se abordarán las unidades ambientales presentes, destacando para cada una el papel que cumplen en la dinámica hidrológica. Comenzando con los diferentes tipos de clima, donde se destaca la dominancia del clima cálido subhúmedo, distribuido desde la parte alta hasta la costa de la cuenca. Luego se presentará lo relacionado a la parte geológica, mencionando la relevancia que tiene el granito (roca dominante en el 80% del territorio) en relación con el bajo potencial de infiltración. También se abordará lo referente a la edafología, la cual es dominada por los suelos poco desarrollados con gran pedregosidad y poca retención de agua. Para finalizar con esta segunda parte, se abordarán los aspectos relacionados con la cobertura vegetal, mencionando los principales tipos de vegetación presentes, y su comportamiento en relación a la evapotranspiración y la escorrentía.

En el apartado referente a la morfología de la cuenca, se abordará la manera en que la forma y el relieve determinan el flujo del agua superficial. Revisaremos cómo a través de

indicadores donde se utilizan el área, el perímetro, la altitud, la pendiente, etc., es posible identificar los principales patrones hidrológicos. Los cuales indican: una condición de drenaje óptima (el agua tiene un tiempo de permanencia corto); un potencial de infiltración bajo; una erosión dominada por el efecto de las lluvias y la escorrentía; y una cuenca entrando a una fase avanzada de senectud (edad madura).

Finalmente, en la última sección se muestran los resultados de dos casos de estudio de la calidad del agua, orientados al entendimiento ecológico. En ellos se presenta información relacionada a la manera como se comportan los parámetros de calidad de agua a lo largo de la cuenca. Se destaca la nula influencia de la temporalidad en los parámetros fisicoquímicos, así como el efecto de las actividades agrícolas y ganaderas en el contenido de nutrientes y la presencia de bacterias nocivas para la salud. Así mismo, se describe cómo la disponibilidad del recurso agua en la cuenca, así como su calidad, depende de la manera en que su dinámica hidrológica cambia a lo largo del tiempo, y en las diferentes épocas del año. Este comportamiento se da como resultado de un proceso de evolución de miles de años, a través de la interacción de los componentes abióticos (el clima, la geología, los suelos, etc.) y bióticos (cobertura vegetal), y en el que el ser humano ha intervenido en las últimas décadas.

3.1 La Dinámica Hidrológica



Figura 5 Esquema de la Dinámica Hidrológica (Autoría propia).

Las preguntas iniciales dentro de un proceso encaminado al manejo sustentable de una cuenca hidrográfica, son: ¿Cuánta agua hay, ¿dónde la hay, y cuándo la hay? Hablar

acerca de la dinámica hidrológica en un sentido técnico, consiste en intentar responder estas preguntas a partir del entendimiento de las etapas y procesos que integran al ciclo hidrológico (Figura 5). Ello permite, a su vez, identificar las particularidades que se presentan a lo largo de cada territorio, así como la manera en que éstas van cambiando con el paso del tiempo (días, meses, años, décadas, etc.)³⁶.

El agua está en el centro de casi todo lo que ocurre en el socioecosistema, de su disponibilidad y comportamiento depende el flujo de energía y nutrientes en los bosques y selvas, así como de la forma en que se organiza una sociedad (el lugar donde se establece, el número de habitantes, las actividades productivas, etc.)^{37,38}. Debido a esta importancia, desde hace más de 30 años se ha venido monitoreando la dinámica hidrológica en los bosques tropicales secos de Chamela^{5,7,8,39}. Esto, con la finalidad de generar información que pueda ser utilizada para el manejo sustentable de los recursos naturales de la región de la costa sur de Jalisco.

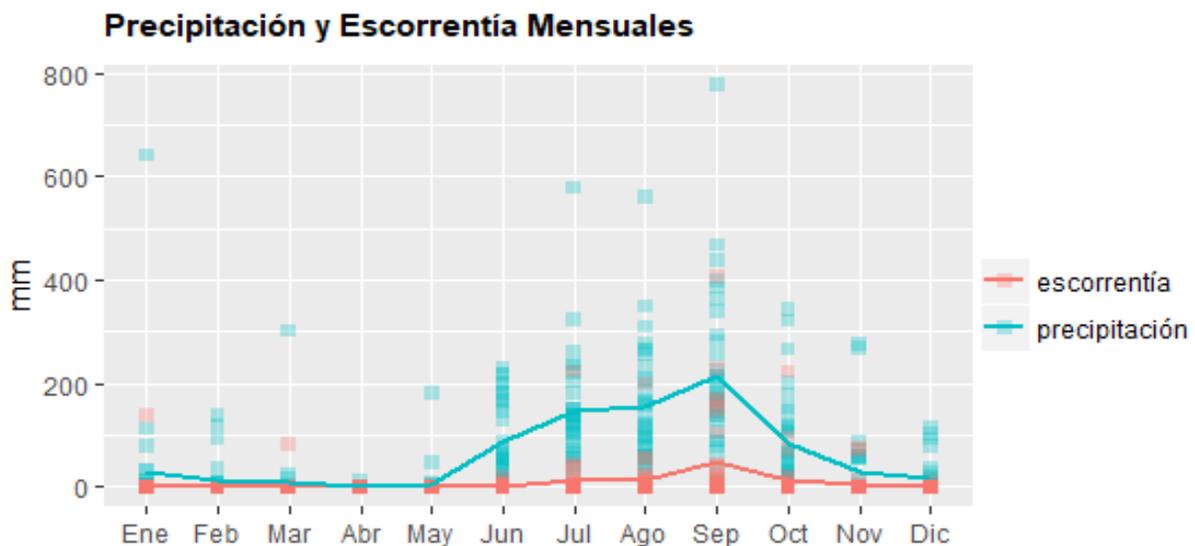


Figura 6 Precipitación y Escorrentía Mensual de los Bosques Tropicales Secos (Modificado de Maass et al., 2018).

Maass y colaboradores⁴⁰, reportan que en estos bosques existe una temporalidad muy marcada entre un periodo húmedo y otro de secas, con precipitaciones constantes entre los meses de junio a octubre y un periodo sin lluvias el resto del año (Figura 6). Se calcula que durante la temporada húmeda llueven cerca de 800 mm de agua. Temporada en la cual las plantas, que habían perdido sus hojas para disminuir su gasto de energía y la pérdida de agua por las altas temperaturas en la época sin lluvias, comienzan nuevamente a reverdecer y a poner en marcha sus procesos fisiológicos (floración, fructificación, crecimiento, etc.). Lo anterior ocasiona que, en promedio, más del 90% del agua que

ingresa a través de la lluvia, regrese a la atmosfera en forma de vapor, dejando que quede disponible solo el 10% en forma de escorrentía.

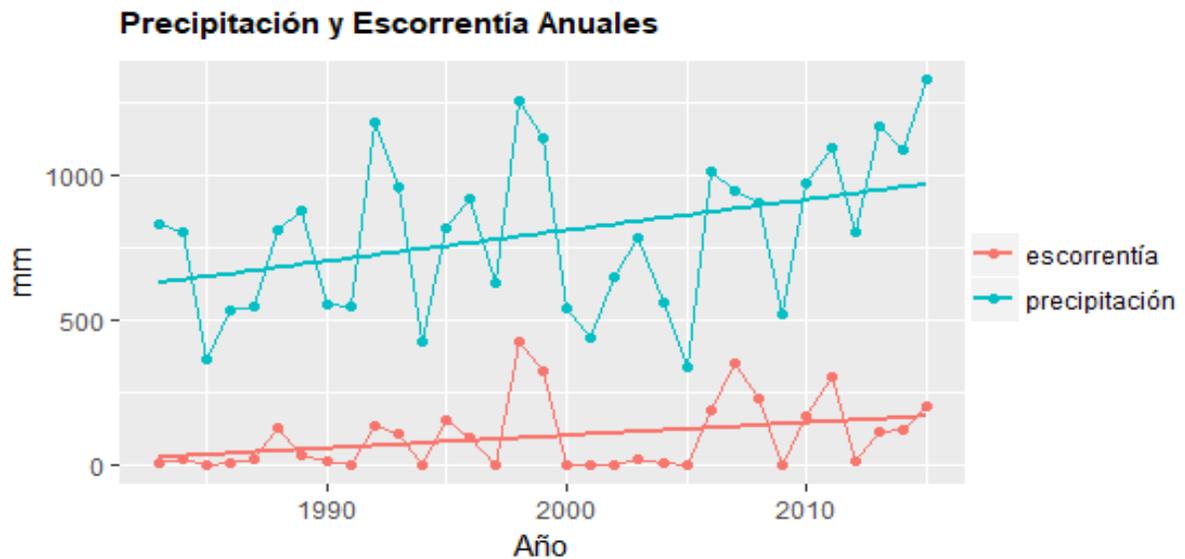


Figura 7 Precipitación y Escorrentía Mensual de los Bosques Tropicales Secos (Modificado con los datos de Maass et al., 2018).

A pesar de que lo anterior puede ser considerado como la regla general, año con año existen variaciones importantes dependiendo de la cantidad total de lluvia. En años secos, donde las lluvias disminuyen a más de la mitad por debajo del promedio (hasta 340 mm), la escorrentía es prácticamente nula. En contraste, en años más lluviosos (con lluvias de hasta 1,261 mm) la escorrentía pasa de un valor del 10% al 37% (Figura 7)⁸.

A lo largo de más de tres décadas de monitoreo⁸, se ha podido identificar que estas variaciones anuales están influenciadas por otros fenómenos meteorológicos que ocurren a nivel mundial. Aunque se desconoce el comportamiento específico, se sabe que anomalías climáticas en el Océano Pacífico ecuatorial, conocidas como “La Niña” y “El Niño”, pueden alterar considerablemente las temporalidades de lluvias y secas. También, se ha identificado un incremento en la cantidad anual de la precipitación y escorrentía, en compañía de una mayor incidencia de huracanes. Lo cual, podría ser una consecuencia del cambio climático que atraviesa el planeta entero^{8,9}.

En la cuenca del Río Cuitzmala, se presentan la misma variación anual entre las épocas de secas y lluvias¹⁰. No obstante, debido a la heterogeneidad de sus zonas funcionales (cuenca alta, media y baja), su comportamiento hidrológico presenta marcadas diferencias en comparación con lo registrado en los bosques tropicales de la EBCh (Tabla 1).

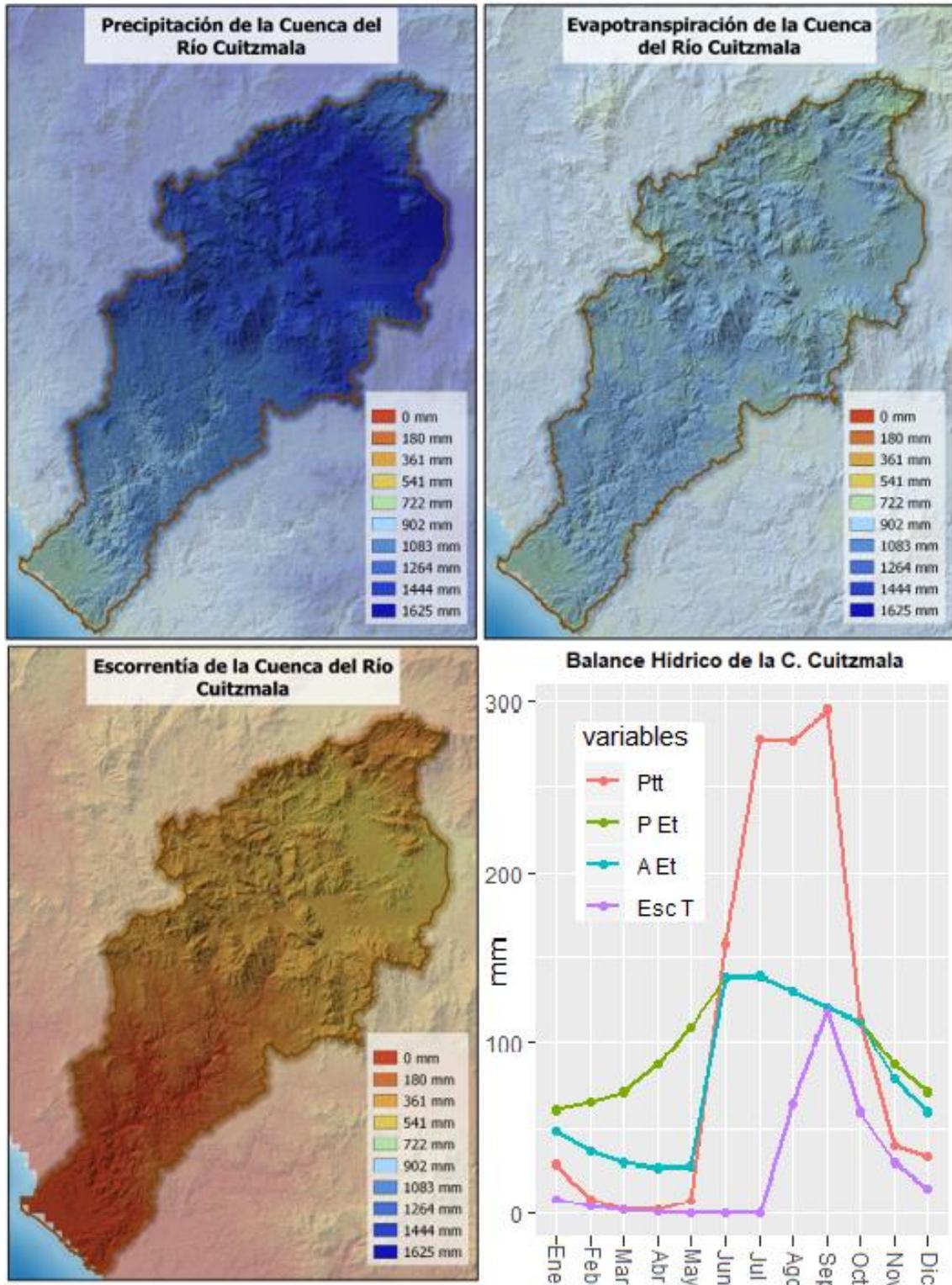


Figura 8 Dinámica Hidrológica de la Cuenca del Río Cuitzmala. Ptt (Precipitación Total); P Et (Evapotranspiración Potencial); A Et (Evapotranspiración Actual); Esc T (Escorrentía Total). (Autoría propia).

Tabla 1 Características de los Suelos y la Vegetación en Función de la Precipitación y las Zonas Altitudinales de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Cuervo-Robayo et al. 2014; Flores-Díaz et al., 2018; INEGI 2015 y 2016).

Zona altitudinal	Precipitación anual (mm)	Principales tipos de suelo	Principales tipos de vegetación	% de especies caducifolias
<u>Cuenca baja</u>	992	Dominancia de suelos con poco desarrollo.	Selva Baja	>90
<u>Cuenca Media</u>	1,317	Dominancia de suelos poco desarrollados; hay una ligera presencia de suelos más desarrollado.	Selva Mediana	>50
<u>Cuenca Alta</u>	1,406	Presencia considerable de suelos de mayor desarrollo.	Bosques Templados	<30

El promedio anual de la precipitación en la cuenca es de 1,238 mm⁴¹, de los cuales el 73% escapa a la atmosfera por efecto de la evapotranspiración de las plantas; y el 27% escurre por los cauces hacia el mar. Sin embargo, cada zona funcional tiene un comportamiento distinto de acuerdo a la altitud y al tipo de vegetación: en las partes altas llueven anualmente 1,406 mm de agua, de los cuales el 61% se evapotranspira, y el 39% se escapa por escorrentía; en la parte media, se precipitan 1,317 mm de agua, se evapotranspira el 67% y escurre el 33%; y en la parte baja ingresan 992 mm de agua, se evapotranspira el 90.5% y solo queda disponible en escorrentía el 9.5%.

Es importante señalar, que a pesar de que, para el caso de la cuenca, se carece de un monitoreo temporal de la precipitación y escorrentía tan detallado, como el del caso de Chamela. De acuerdo a lo reportado en los años en que estuvo operando la estación hidrométrica (1971-1982), en años extremadamente secos la escorrentía puede reducir su valor promedio en un 93%; mientras que años muy húmedos puede incrementarse hasta en un 51%²⁵.

3.2 El Caudal Ecológico y el Agua Disponible

En el año 2012, la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) en conjunto con otras instituciones gubernamentales, académicas y de la sociedad civil (nacionales e internacionales), publicaron la denominada norma de “los caudales ecológicos”¹¹ (NMX-Aa-159-Scfi-2012), la cual muestra los lineamientos a seguir, para establecer la cantidad máxima de agua que puede ser aprovechada para las actividades humanas, sin comprometer a los ecosistemas. A partir de dicha norma en la cuenca del Río Cuitzmala se desarrolló un estudio técnico por el cual se determinó el caudal ecológico y estado de conservación ecológica de la misma¹².

Lo anterior se realizó analizando el comportamiento registrado por la estación hidrométrica (N° 15005) localizada en la desembocadura de la cuenca. Al igual que en el caso del registro

de escorrentía en los bosques tropicales de Chamela (Figura 7), el comportamiento hidrológico de la cuenca cambia en función de la variación anual (Figura 9). Los tipos de regímenes más comunes son los considerados como medios (159.7 millones de m³/anuales) y secos (112.7 millones de m³/anuales), con una frecuencia de ocurrencia del 40% y 30%, respectivamente. Por su parte, los menos comunes son los considerados de tipo muy seco (24.4 millones de m³/anuales) y húmedos (305.9 millones de m³/anuales), con una frecuencia de ocurrencia del 20% y 10%, respectivamente¹³.

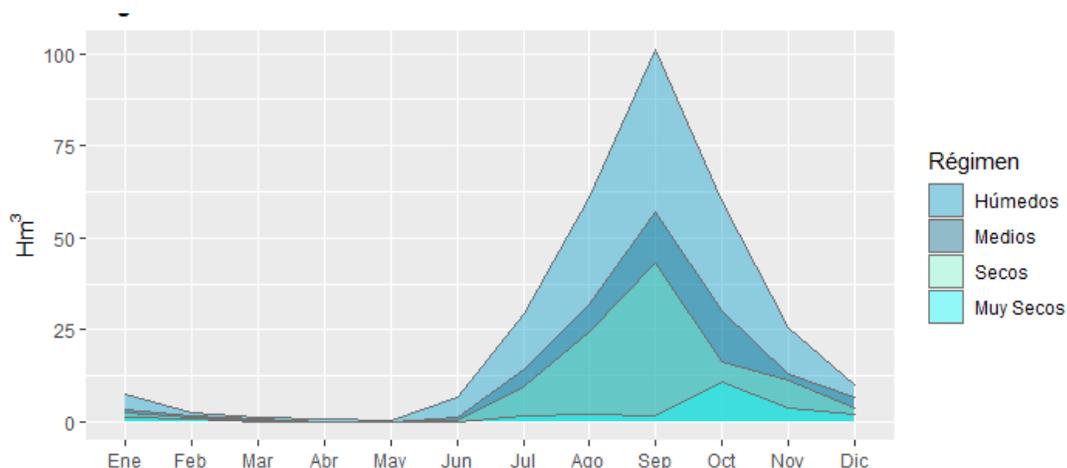


Figura 9 Tipos de Regímenes Mensual de Avenidas en el Caudal de la Cuenca del Río Cuitzmala para diferentes años. (Modificado de Salinas-Rodríguez et al. 2008).

Aunado a lo anterior, se evaluaron aspectos de la morfología del cauce, la calidad de agua superficial y subterránea, así como un minucioso estudio de la diversidad biológica de las zonas ribereñas de la cuenca (se sugiere revisar el estudio de técnico de la CONAGUA realizado en el 2012). Como resultado se determinó el estado de conservación ecológica de la cuenca y la estimación final del caudal ecológico. De este modo, en el año 2015, la cuenca del Río Cuitzmala quedó establecida, mediante el decreto oficial, como una de las reservas de agua del país, con un alto valor de conservación ecológica, en donde anualmente escurren cerca de 235.216 millones de m³, volumen del cual el 66.01% deberá destinarse a la conservación del caudal ecológico.

3.3 Unidades Ambientales

Las condiciones actuales de la cuenca del río Cuitzmala son el resultado de millones de años de procesos de evolución geológica y ecosistémica, a través de los cuales se han conformado sus principales unidades ambientales. Siendo importante aclarar que, es en los últimos 50 años que los habitantes locales han participado de manera más intensa en el establecimiento de las condiciones en las que actualmente se encuentra la cuenca. En conjunto, estos procesos definen el comportamiento funcional del ecosistema (flujos de materia y energía), entre los que se encuentra la dinámica hidrológica³⁷.

Los principales elementos naturales que definen el comportamiento del agua en la cuenca son: el clima, la geología, la edafología (el tipo de suelos) y la vegetación. A partir del tipo

de clima presente, se modifican los gradientes de lluvias y de temperatura; la geología define la configuración del drenaje de la cuenca y el flujo de agua subterránea; el suelo se encarga de almacenar y distribuir el agua, favoreciendo la disponibilidad para las plantas y los procesos de infiltración; y la vegetación disminuye la escorrentía, contribuyendo a la regulación de los microclimas a través de la evapotranspiración⁴²⁻⁴⁴.

a) Unidades Climáticas

El clima resume una serie de condiciones atmosféricas (temperatura, precipitación, velocidad del viento, presión atmosférica, etc.) que han predominado en una región durante un periodo de tiempo determinado^{45,46}. La presencia de un tipo específico de clima sobre un territorio, es un indicador indirecto de los procesos que han moldeado sus paisajes. Entre estos destacan aspectos como: la forma de los ríos y montañas, el tipo de suelos, la cobertura vegetal, y las actividades humanas que se llevan a cabo⁴².

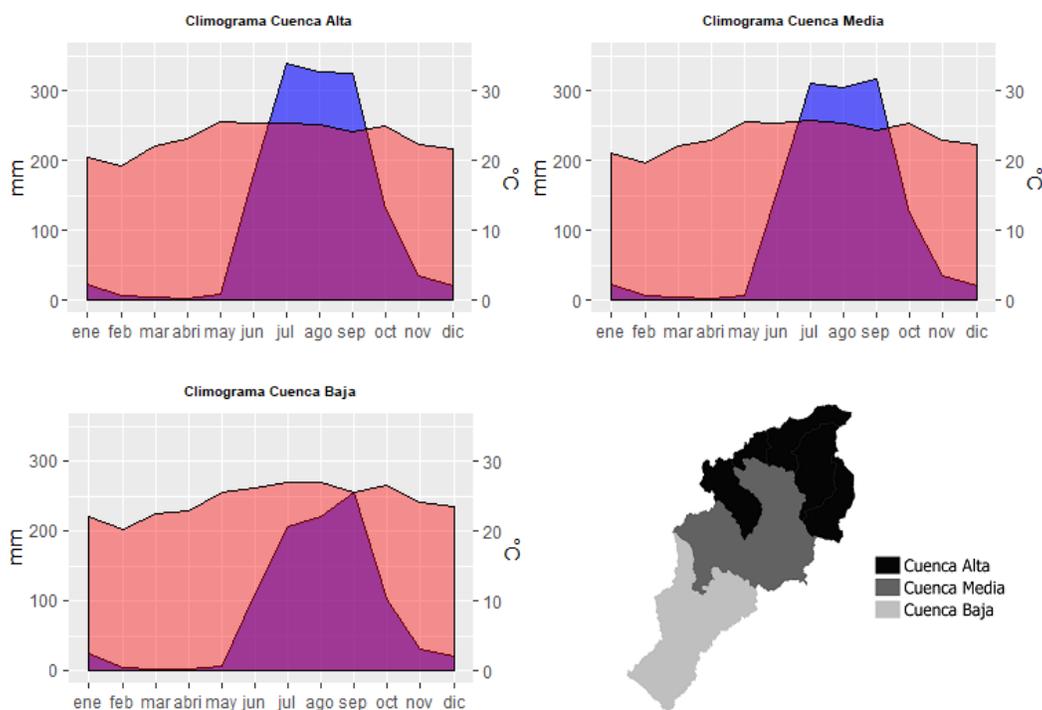


Figura 10 Climogramas de la Cuenca del Río Cuitzmala. En color rojo la temperatura y en azul la precipitación. (Autoría propia con datos de Cuervo-Robayo et al., 2014).

En la cuenca del Río Cuitzmala, la temperatura y la precipitación son las variables que determinan los tipos de clima presentes. En general, la temperatura suele ser constante y con poca variación a lo largo del año; contrario a la precipitación, la cual, cómo ya se mencionó, oscila entre un periodo marcado de lluvias, seguido por otro de secas⁴¹ (Figura 10).

De acuerdo con la clasificación climatológica elaborada para el país, en la cuenca concurren tres tipos de climas⁴⁷ (Tabla 2 y Figura 4). El dominante es el clima subhúmedo, el cual se subdivide en tres categorías de acuerdo a la cantidad anual de lluvia. En la parte alta se

encuentra la región más húmeda (con una precipitación anual de 1,400 mm); en la parte media, la región de humedad intermedia (con una precipitación anual de 1,200 mm); y en la parte baja, la región más seca (con una precipitación anual de 970 mm).

Los otros dos tipos de clima se localizan en las partes más altas y al suroeste de la cuenca. En aquellas zonas por encima de los 1,150 msnm, que abarcan menos del 2% de la superficie, se localiza un clima de tipo semiseco, en donde se presentan las temperaturas más bajas registradas en la cuenca. Por su parte, al oeste de la desembocadura al mar, sobre una pequeña fracción del territorio, se presenta un clima de tipo seco estepario, donde se dan las temperaturas más elevadas, acompañadas de los niveles más bajos de precipitación.

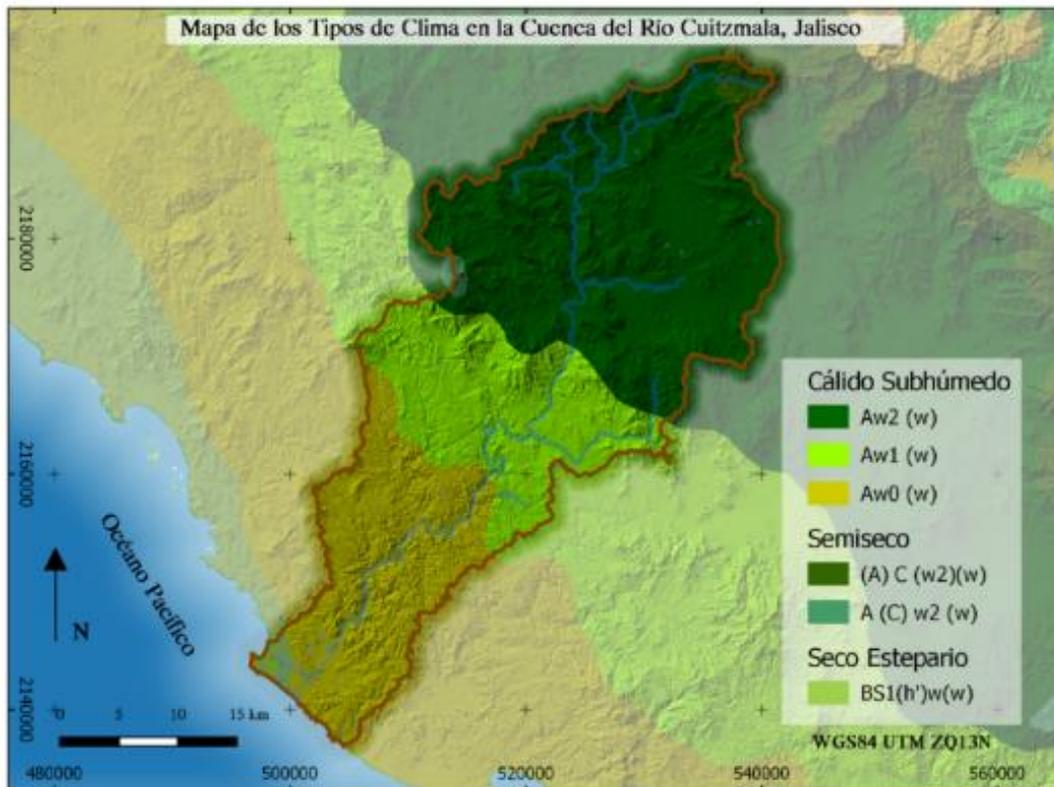


Figura 11 Mapa de los Tipos de Clima en la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de INEGI, 2008).

Tabla 2 Características de las Unidades Climáticas de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de INEGI, 2008; y de Cuervo-Robayo et al., 2014).

Clima	Subtipos	Superficie (%)	Rango altitudinal (msnm)	Rango de temperatura (°C)	Precipitación anual (mm)
<u>Subhúmedo</u>	Aw0(w)	25	0 – 480	20 – 27	970
	Aw1(w)	23	480 – 900	20 - 26	1,200
	Aw2(w)	49	900 – 1,150	19 – 26	1,400
<u>Semicálido</u>	(A)C(w2)(w)	1.3	1,150 – 1,765	16 - 22	1,150
	A(C)w2(w)	0.3	800 - 1,380	17 – 23	1,150
<u>Seco estepario</u>	BS1(h')w(w)	1.0	0 - 25	21 - 28	790

b) Unidades Geológicas

La geología es un elemento clave para entender la historia y el comportamiento hidrológico de la cuenca. Características como la resistencia de las rocas determinan aspectos como la forma de los cauces, la velocidad con la que fluye el agua y el desarrollo de los suelos^{42,48}. Otras condiciones como la porosidad y la permeabilidad, controlan la capacidad de la infiltración, así como la presencia de reservorios de aguas subterráneas⁴⁹.

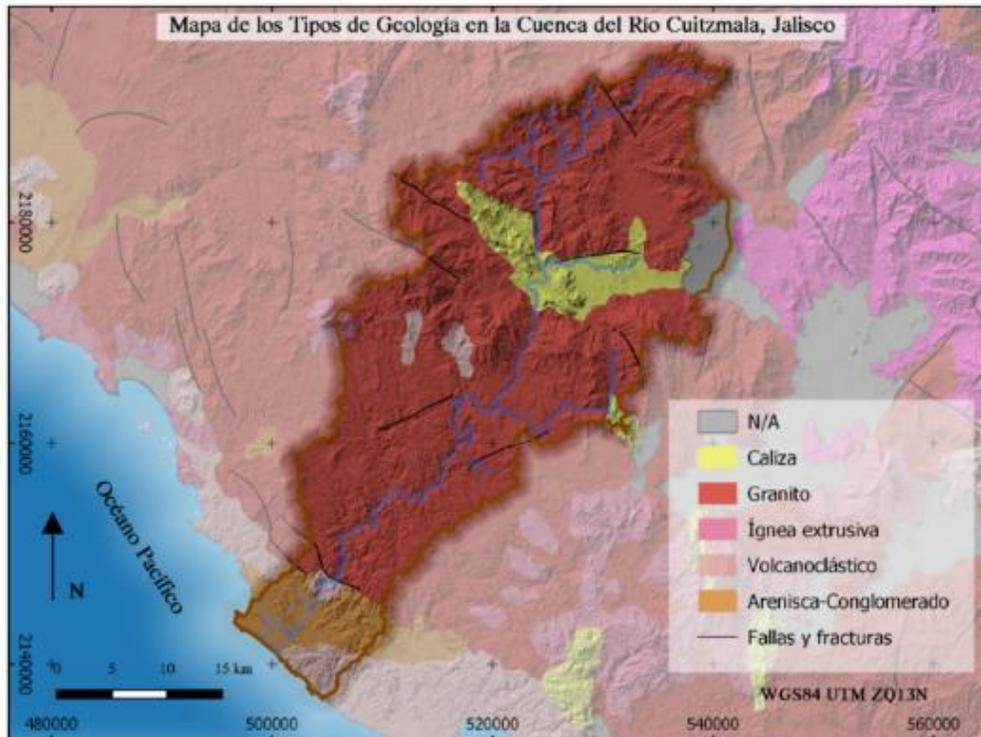


Figura 12 Mapa de las Unidades Geológicas en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2008).

La historia geológica de la cuenca, de acuerdo a lo relatado por Cortes-Ávila⁵⁰ (2001), data de hace aproximadamente 140 millones de años (m.a.) (Figura 8 y Tabla 3). En ese entonces, la mitad de la superficie se encontraba sumergida en el mar y la región montañosa al centro de la cuenca, represaba en un lago toda el agua de lluvia captada por las partes altas. Es en este cuerpo de agua donde comenzaría a consolidarse una unidad de rocas calizas a causa de la acumulación de carbonatos, debido a la evaporación del líquido presente^{50,51}.

Tabla 3 Características de las Unidades Geológicas de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Unidad	Superficie (%)	Formación (millones de años)	Evento de formación	Color de la roca	Permeabilidad/ Infiltración
<u>Calizas</u>	8.4	Jurásico (140)	Acumulación de carbonatos por evaporación.	Beige, gris y gris oscuro	Alta / Alta
<u>Granito</u>	79.9	Jurásico tardío (100)	Actividad volcánica y levantamientos.	Café rojizo a gris rosáceo	Baja/Baja
<u>Ígnea extrusiva</u>	0.3	Terciario inferior (66)	Actividad volcánica (cerro Guaguantón).	Gris claro, blanquecino y rosa	Baja/Baja
<u>Volcanoclástica</u>	3.5	Terciario inferior (66)	Deslizamiento de material volcánico,	Parduzco	Baja/Baja
<u>Areniscas y conglomerados</u>	5.7	Terciario tardío (1.9)	Acumulación de sedimentos y materiales.	Beige	Alta / Alta

Las rocas ígneas que cubren cerca del 85% de la cuenca son el resultado de una intensa actividad volcánica, acompañada de otros eventos (como levantamientos y deslizamientos) que ocurrieron tiempo atrás. El granito que cubre la mayor parte de la cuenca data de hace aproximadamente 100 m.a.; mientras que las rocas ígneas extrusivas, al igual que el material volcanoclástico, datan de hace 66 m.a.

En la zona sur sobre la desembocadura de la cuenca, de formación más reciente, se localiza la unidad de areniscas y conglomerados. Estas son las rocas sedimentarias que se han formado a partir de los procesos de erosión, deslizamiento y transporte de materiales provenientes de las partes altas de la cuenca.

De acuerdo a las características de las unidades geológicas es posible inferir diversos aspectos de la dinámica hidrológica de la cuenca, en especial de aquellos relacionados con la infiltración profunda y el almacenamiento de agua subterránea. Las únicas unidades que

presentan condiciones favorables para estos fenómenos, son la unidad de calizas, y la unidad de areniscas y conglomerados, las cuales solo representan el 13% del territorio; el resto de la cuenca donde domina el material ígneo, es poco favorable, y aunque cabe la posibilidad de que existan algunas fuentes de aguas subterráneas en estas rocas, su disponibilidad se encuentra condicionada por la presencia de fallas y fracturas.

c) Unidades Edafológicas

El desarrollo de los suelos depende principalmente del clima y la geología; y en menor medida de la cubierta vegetal. Estas superficies edáficas juegan un papel central en el aporte de nutrientes y en el comportamiento hidrológico de la cuenca. Además de ser el principal reservorio de agua para las plantas, cuya interacción con éstas, contribuye a aumentar su permanencia en la cuenca, a favorecer el proceso de infiltración y a permitir que los suelos operen como purificador natural del agua^{43,44,52,53}.

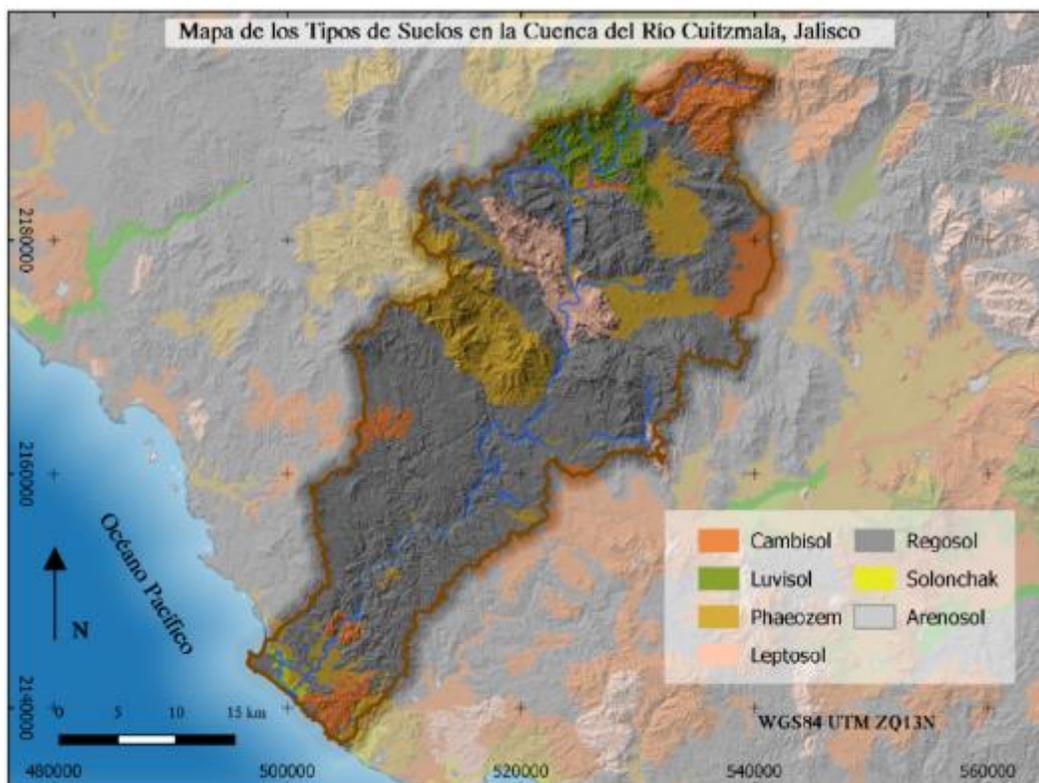


Figura 13 Mapa de las Unidades Edafológicas de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2015).

La mayoría de los suelos en la cuenca (>75%), son considerados suelos jóvenes con un escaso desarrollo, lo cual se debe a la resistencia del granito, al desgaste y a la falta de agua la mitad del año; siendo ambas las condiciones climáticas y geológicas que predominan en la cuenca. El resto de los suelos, los cuales presentan un mayor desarrollo, se localizan en los sitios con mayor cantidad de lluvia, sobre una geología y geomorfología distintas a las dominantes. En las zonas más húmedas y de pendientes planas, aparecen

suelos de mayor desarrollo como los luvisoles y los phaeozem; mientras que en la zona de calizas destaca la presencia de los leptosoles⁵⁴ (Figura 13 y Tabla 4)²⁸.

Los suelos poco desarrollados de la cuenca, caracterizados por su alta pedregosidad, tienen poca capacidad de almacenar agua y presentan un alto potencial de erosión. Estas características limitan el desarrollo de las actividades agrícolas, ya que dependen de la implementación constante de riego y de otros insumos que compensen la pérdida acelerada de nutrientes. Únicamente el 10% de la cuenca presenta condiciones favorables para la agricultura, situación por la cual la mayoría de las localidades han optado por el cultivo de pastos para la ganadería.

Tabla 4 Características de las Unidades Edáficas de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2015).

Unidad	Superficie (%)	Desarrollo/ Características	Retención de Agua	Vocación (Sujeta al ordenamiento territorial)
<u>Cambisoles</u>	9.5	Poco/ Arenosos, con textura media y fina; profundidad <4m.	Baja	Apto para agricultura en zonas planas; alto riesgo de erosión en pendientes pronunciadas .
<u>Luvisoles</u>	4.9	Alto/ Las arcillas dominan en la capa subsuperficial; profundidad <3m.	Alta	Alto potencial agrícola; sobre pendientes pronunciadas se deben implementar medidas para controlar la erosión.
<u>Phaeozem</u>	17.5	Alto/ Porosos, oscuros y ricos en MO; profundidad <4m.	Media	Apto para agricultura en zonas planas; en pendientes pronunciadas se debe conservar la vegetación.
<u>Leptosoles</u>	5.0	Poco/ Suelos pedregosos con poca cantidad de arena; profundidad <2m.	Baja	Aptos para el pastoreo y aprovechamiento forestal sustentable; alto riesgo de erosión.
<u>Regosoles</u>	62.5	Poco/parecidos a la roca madre, con mucha grava y arena; profundidad <0.7m.	Baja	Poco aptos para la agricultura por la necesidad de riego constante; alto riesgo de erosión.
<u>Solonchak</u>	0.5	Medio/Salinos, presente en el litoral de la costa; profundidad <4m.	Media	Agricultura condicionada a cultivos con resistencia a la salinidad.

d) Unidades de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo

Después de la precipitación, la vegetación es el elemento más importante para la hidrología de la cuenca, ya que entre el 70% y 90% del agua que ingresa, es devuelta por las plantas a la atmósfera^{20,40}. Este fenómeno es el principal regulador de los microclimas, debido a que el intercambio constante de vapor evita los cambios bruscos de temperatura⁴³. Siendo también el elemento que mayor influencia tiene en la cantidad y calidad del agua que fluye dentro del territorio, debido a que favorece la presencia y desarrollo de los suelos⁴⁴.

En la cuenca están registrados veintidós tipos diferentes de coberturas de uso de suelo y vegetación²², las cuales pueden agruparse en tres categorías generales: los bosques templados, los cuales abarcan el 18% de la superficie; las praderas ganaderas, que ocupan el 30% de la cuenca; y los bosques tropicales secos, que se extienden en casi el 50% del territorio⁵⁵ (Figura 14 y Tabla 5).

La dinámica hidrológica que hay dentro de la cuenca depende de las coberturas de vegetación y de su estado de conservación, las cuales determinan la cantidad de agua que se evapora a la atmósfera y la cantidad que se logra escurrir a los ríos y arroyos.

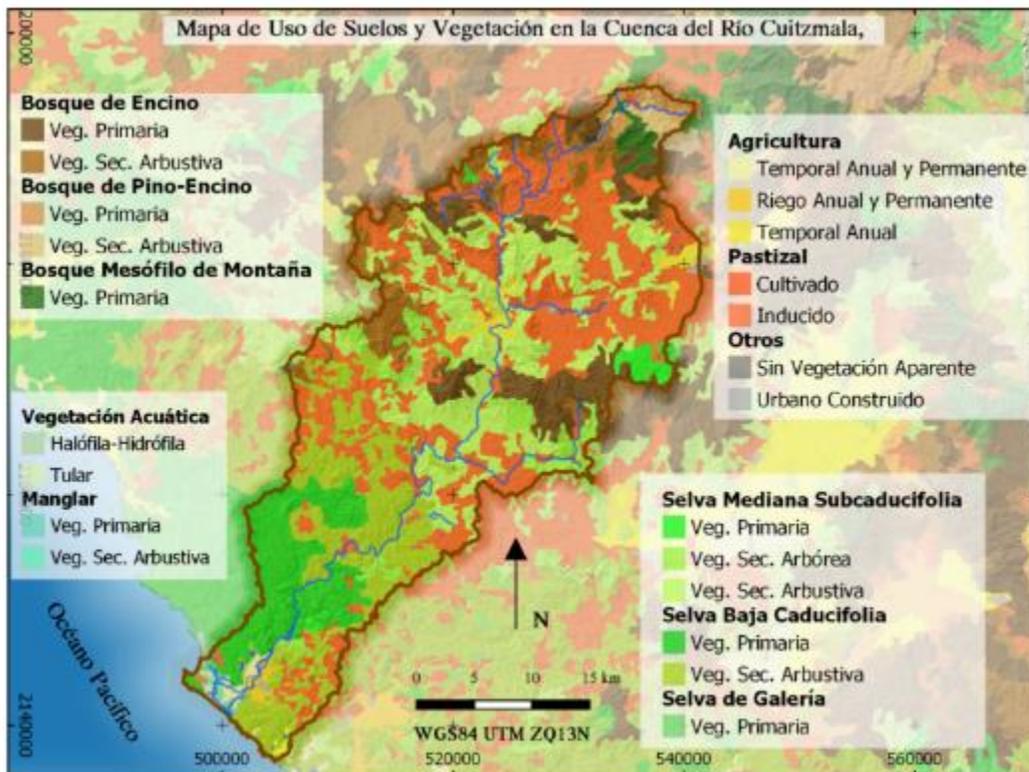


Figura 14 Mapa de los Usos de Suelo y Vegetación de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2017).

Por lo general, los lugares de vegetación mejor conservados tienen una mayor tasa de evapotranspiración en comparación a los sitios perturbados o deforestados. Sin embargo, la pérdida de cobertura promueve el encostramiento de los suelos, la pérdida de infiltración y un aumento en las tasas de erosión, lo que genera mayores escurrimientos de tormenta, aumentos en el riesgo de inundaciones y, en general, menor agua disponible para actividades productivas. Mientras que en los bosques templados esta dinámica erosiva producto de la deforestación es menos grave, en los bosques tropicales perturbados o transformados a praderas, la escorrentía de agua llega a duplicarse y triplicarse, respectivamente (Figura 15).

Quisiéramos enfatizar que, aunque dicho aumento de la escorrentía en los lugares alterados pudiera entenderse como un aumento en el agua disponible, esto no es así. Debido a las características del relieve de la cuenca, el agua tiene poca capacidad de permanencia, y sin vegetación, ni suelos que la retenga, ésta fluye hacia el mar de manera aún más rápida. Este efecto adverso de la deforestación incrementa la pérdida de suelo y el riesgo de inundaciones por grandes crecidas en los ríos durante los eventos de lluvia extrema. Este efecto erosivo ha sido documentado ampliamente en la zona de estudio⁵⁶⁻⁵⁹.

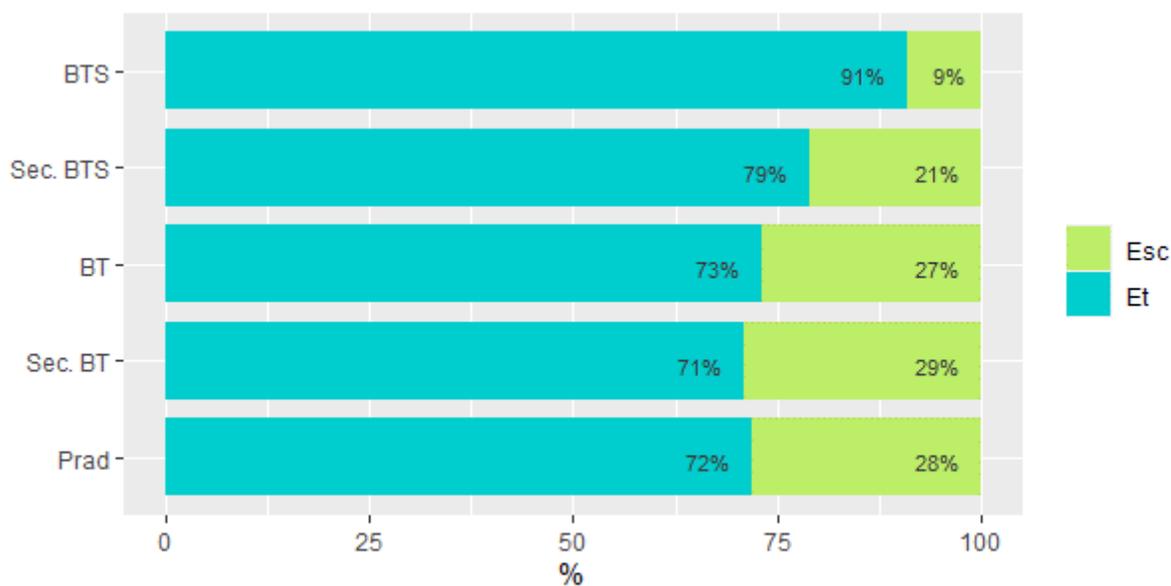


Figura 15 Relación entre Evapotranspiración (ET) y Escorrentía (Esc) de las Coberturas del Terreno en la Cuenca del Río Cuitzmala. BTS (Bosque tropical); Sec. BTS (Vegetación secundaria de bosque tropical); BT (Bosque templado); Sec. BT (Vegetación secundaria de bosque templado); Prad (Praderas ganaderas). (Autoría propia).

En la cuenca, la vegetación en conjunto con los suelos, contribuyen al mantenimiento de la calidad del agua de los ríos y arroyos. Las raíces de las plantas ayudan a la formación y mantenimiento de los suelos; mientras que sus doseles disminuyen el impacto de la precipitación sobre los mismos. Esto es sumamente relevante en un territorio como éste, donde los suelos son someros y poco desarrollados; siendo su principal función servir como una especie de filtro natural, el cual disminuye la cantidad de sedimentos y contaminantes

que desembocan a los cuerpos de agua, provenientes de las actividades agrícolas y ganaderas.

Tabla 5 Características de las Unidades de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2017).

Unidad	Cobertura	Superficie (%)	Características
<u>Bosque Tropical Seco</u>	Selva mediana	23.1	Árboles de 25-30m de altura; 50-70% de sus especies pierden sus hojas durante las secas.
	Selva baja	24.5	Árboles de 4-15m de altura; >90% de sus especies pierden sus hojas durante las secas.
	Selva de galería	0.05	Árboles de 7m de altura; >90% de sus especies conservan sus hojas todo el año
<u>Bosque Templado</u>	Encino	15.0	Dominan los árboles de tipo encino (<i>Quercus spp.</i>) de 4-30m de altura
	Pino-Encino	2.0	Los pinos (<i>Pinus spp.</i>) dominan sobre los encinos (<i>Quercus spp.</i>); Árboles de 8-35m de altura.
	Mesófilo de montaña	1.0	Árboles de 10-25m de altura.
<u>Agricultura</u>	Temporal anual	1.7	Áreas cultivadas en la temporada de lluvias
	Temporal anual y permanente	0.5	Áreas cultivadas en la temporada de lluvias y durante todo el año
	Riego anual y permanente	0.45	Áreas con cultivos de riego, durante todo el año
<u>Pradera</u>	Cultivado	30.7	Áreas donde se cultiva pastos con insumos anuales de agua y semilla.
	Inducido	0.13	Áreas de pastos con pocos insumos.
<u>Vegetación Acuática</u>	Halófila-Hidrófila	0.1	Áreas dominadas por plantas herbáceas, cerca de los manglares y tulares.
	Tular	0.1	Área de herbáceas de tipo tule (<i>Typha.spp</i>); con altura <2m.
	Manglar	0.3	Árboles de raíces aéreas; con alturas <30m.

3.4 Morfometría de la Cuenca

La cuenca hidrográfica funciona como una especie de embudo natural, que concentra toda el agua hacia un solo punto de salida. Su forma es el resultado de la manera en que han evolucionado las condiciones ambientales a lo largo del tiempo⁶⁰. Las características

morfométricas que de ésta se derivan, determinan la manera en que fluye el agua en los cauces, desde su nacimiento hasta su desembocadura^{61,62}. Un comportamiento que puede ser inferido aplicando parámetros cuantitativos, que pueden ser indicadores útiles para importar y exportar información con otras cuencas (siempre que estas sean de formas y ambientes parecidos)^{16,34}.

La cuenca del río Cuitzmala es de tipo exorreica, es decir, que desemboca hacia el mar. Cuenta con una extensión de 1,120 km² y un perímetro de 236 km. Su red de drenaje está integrada por una red de arroyos y ríos, temporales y perennes. Los cuales, al igual que el sistema circulatorio en el cuerpo humano, tienen una función específica de acuerdo a su orden y localización: los cauces de orden menor (del 1 al 2) aportan nutrientes y sedimentos; los intermedios (del 3 al 4) los distribuyen por toda la cuenca; y en los mayores (del 5 al 7) se depositan (Figura 16 y Tabla 6).

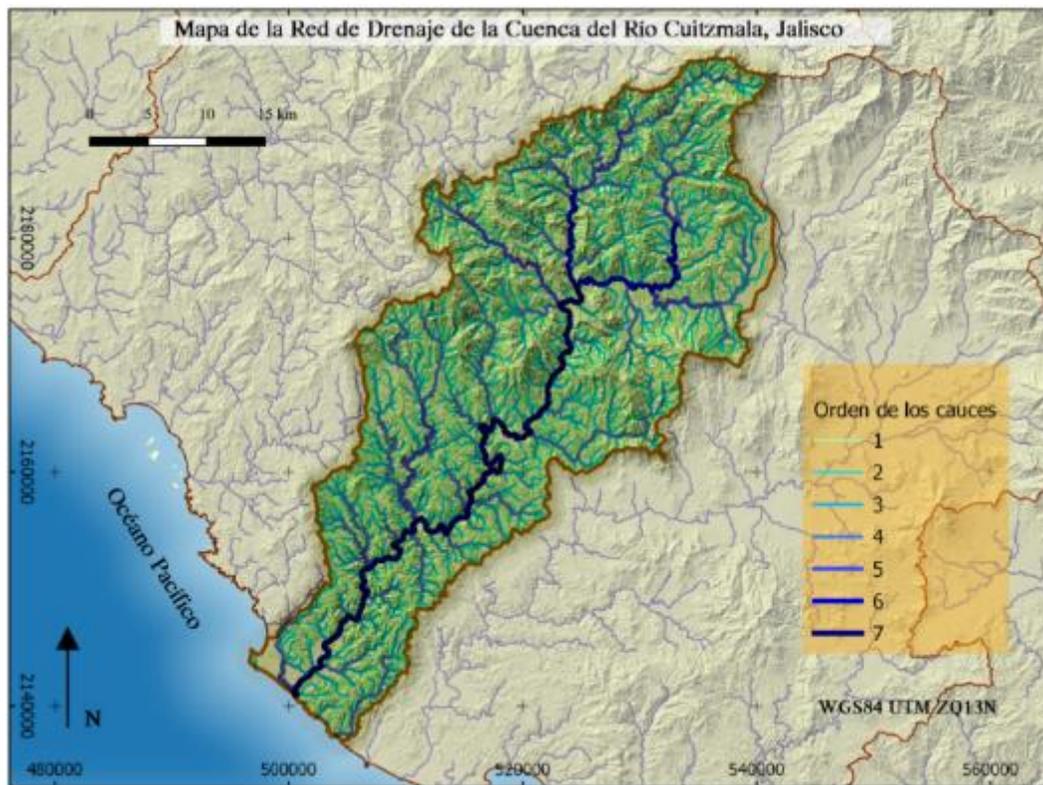


Figura 16 Mapa de la Red de Drenaje de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2010).

La forma de la cuenca está altamente relacionada con la geología de la misma, en el caso particular, la forma de tipo dendrítica y la frecuencia de los cauces (dominadas en un 75% por los órdenes 1 y 2), son el resultado de una litología homogénea, dominada por rocas de granito, los cuales son altamente resistente al desgaste por erosión; así como de un clima donde es frecuente la incidencia de eventos de lluvia extrema⁶²⁻⁶⁴.

De acuerdo a los altos valores en los coeficientes de circularidad y compacidad de la cuenca (Tabla 9), la forma de la misma se clasifica como rectangular oblonga^{61,65,66}. Tipo de forma que, en conjunto con los altos valores de densidad y bifurcación (Tabla 8), indican una buena condición de drenaje; en donde los cauces tienen una baja probabilidad de presentar crecidas repentinas por algún efecto relacionando a la repentina concentración de altos volúmenes de agua a consecuencia de las lluvias. Todo esto se traduce en un tiempo corto de permanencia de agua en la cuenca⁶⁷.

Tabla 6 Funcionalidad de los Sistemas Ribereños de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Flores-Díaz et al.,2018).

Tipo	Orden del Cauce	Red (%)	Ancho canal (m)	Geoforma	Zona Ribereña (m)	Funcionalidad
<u>Cauces de Cabecera</u>	1 y 2	75	0.4-0.3	montañas	4-6	Aporte de sedimentos y nutrientes.
<u>Cauces Medios</u>	3 y 4	20	3-15	montañas y colinas	7-30	Reciben flujos de las partes altas, y lo llevan hacia los cauces mayores.
<u>Cauces Largos</u>	5 - 7	5	15-30	zonas planas	20-175	Son los principales receptores de flujos y sedimentos.

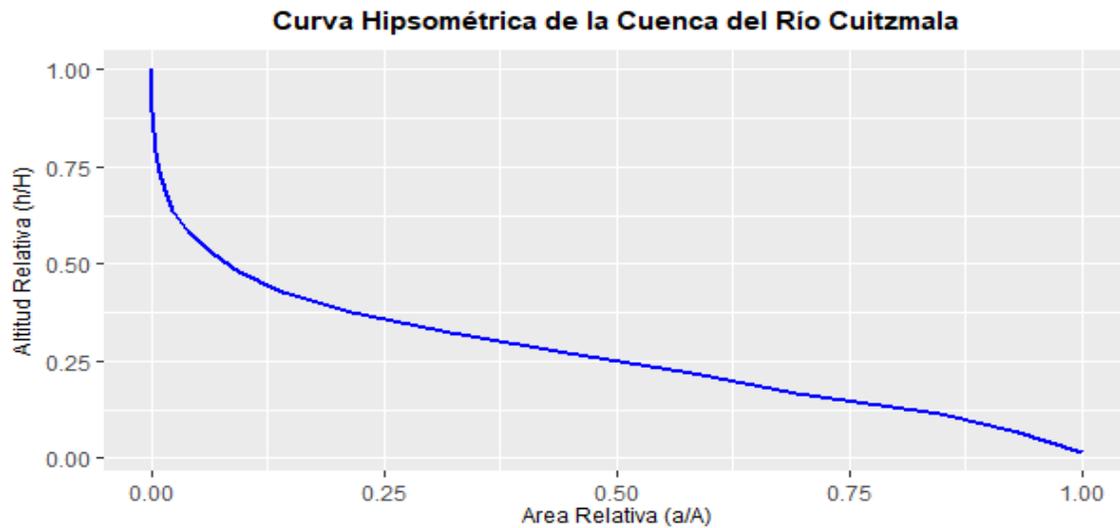


Figura 17 Curva Hipsométrica de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Los parámetros morfométricos mencionados, también nos indican que el principal proceso de erosión es de tipo hídrico^{61,67}. En relación a lo anterior, el modelo de la curva hipsométrica (relación de altitud y área) corresponde al de una cuenca de edad avanzada entrando a una fase de senectud, donde los procesos de erosión se han estabilizado, dado que la mayor parte de los materiales ya se han depositado en la parte baja. Aspecto que se corrobora con la presencia de rocas de areniscas y conglomerados en la desembocadura al mar (Figura 17).



Figura 18 Mapa de las Subcuencas de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Piña-Poujol, 2007).

La cuenca del Río Cuitzmala cuenta en su interior con quince subcuencas, las cuales no reflejan una gran diversidad de condiciones ambientales en el territorio (Figura 18). Es decir, en esta cuenca en particular, no existe gran diferencia entre los valores de las subcuencas, en comparación con los obtenidos para la cuenca completa, probablemente como consecuencia de una condición climática (cálido subhúmedo) y geológica (granito) prácticamente homogénea en toda la cuenca.

Tabla 7 Parámetros Morfométricos Relacionados al Orden de los Cauces de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia).

Orden de los cauces	Número de cauces	Longitud total de cauces (km)	Longitud promedio (km)	Radio de Bifurcación
<u>1</u>	4,416	2,467.39	0.56	4.40
<u>2</u>	1,004	779.53	0.78	4.50
<u>3</u>	223	341.78	1.53	4.37
<u>4</u>	51	233.36	4.58	5.67
<u>5</u>	9	70.60	7.84	4.50
<u>6</u>	2	28.62	14.31	2.00

<u>7</u>	1	68.55	68.55
<u>Total</u>	5,706	3,989.83	

Tabla 8 Parámetros Morfométricos Relacionados a la Red de Drenaje de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría Propia).

	Área (km²)	Perímetro (km)	Long. Drenaje (km)	Núm. Cauces	Radio de Bifurcación (Promedio)	Long. del Cauce Principal (km)
<u>Cuitzmala</u>	1120.23	236.02	3989.83	5706	4.24	106.79
<u>SubC 1</u>	84.36	70.03	300.12	458	4.48	27.86
<u>SubC 2</u>	108.18	75.66	373.51	518	3.54	28.32
<u>SubC 3</u>	78.49	61.47	243.48	256	3.98	31.64
<u>SubC 4</u>	29.90	41.74	99.15	152	3.51	12.19
<u>SubC 5</u>	98.44	70.52	323.10	453	3.86	19.77
<u>SubC 6</u>	32.22	37.13	91.35	93	4.21	13.51
<u>SubC 7</u>	88.70	66.07	299.37	413	4.32	21.44
<u>SubC 8</u>	63.70	49.73	251.08	345	4.42	13.54
<u>SubC 9</u>	57.26	56.72	209.51	284	4.09	20.39
<u>SubC 10</u>	67.35	64.62	238.81	330	4.04	25.56
<u>SubC 11</u>	74.48	69.27	272.22	393	4.29	25.35
<u>SubC 12</u>	142.16	89.80	549.33	858	4.41	27.28
<u>SubC 13</u>	39.63	45.70	148.85	227	5.74	18.81
<u>SubC 14</u>	32.76	33.46	142.60	226	3.66	13.50
<u>SubC 15</u>	122.62	69.18	433.38	714	4.13	16.66

Tabla 9 Parámetros Morfométricos Relacionados con la Forma de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría Propia).

	Frecuencia de Drenaje	Densidad de Drenaje	Coefficiente de Circularidad	Coefficiente de Compacidad
<u>Cuitzmala</u>	5.09	3.56	0.25	1.97
<u>SubC 1</u>	5.43	3.56	0.22	2.13
<u>SubC 2</u>	4.79	3.45	0.24	2.04
<u>SubC 3</u>	3.26	3.10	0.26	1.94
<u>SubC 4</u>	5.08	3.32	0.22	2.14
<u>SubC 5</u>	4.60	3.28	0.25	1.99
<u>SubC 6</u>	2.89	2.84	0.29	1.83
<u>SubC 7</u>	4.66	3.38	0.26	1.96
<u>SubC 8</u>	5.42	3.94	0.32	1.74
<u>SubC 9</u>	4.96	3.66	0.22	2.10
<u>SubC 10</u>	4.90	3.55	0.20	2.20
<u>SubC 11</u>	5.28	3.65	0.20	2.25
<u>SubC 12</u>	6.04	3.86	0.22	2.11
<u>SubC 13</u>	5.73	3.76	0.24	2.03
<u>SubC 14</u>	6.90	4.35	0.37	1.64
<u>SubC 15</u>	5.82	3.53	0.32	1.75

3.5 La Calidad del Agua en la Cuenca

Cuando se habla acerca de la calidad del agua, se hace referencia a las propiedades físicas, química y biológicas que este recurso tiene a lo largo de la cuenca (Tabla 10). La evaluación de estos parámetros permite identificar qué condiciones son propias de las características ambientales del territorio, y cuáles son una respuesta de las actividades humanas que aquí se realizan^{48,68,69}.

Tabla 10 Indicadores de la Calidad del Agua. (Autoría Propia).

Parámetro	Importancia
<i>Fisicoquímicos:</i>	

<i>pH</i>	Es indicador de la acidez del agua. De su valor depende la actividad biológica y el tipo de organismos que habitan los cuerpos de agua.
<i>Salinidad</i>	Es indicador del contenido de sales y minerales disueltos en el agua.
<i>Conductividad</i>	Es indicador de la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. Está relacionado con la salinidad.
<i>Oxígeno Disuelto</i>	Es fundamental para la vida acuática, de su cantidad depende gran parte de las reacciones bioquímicas que ocurren en el agua.
<i>Dureza</i>	Es indicador del contenido de minerales presentes en el agua
Nutrientes:	
<i>Amonio, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Ortofosfatos</i>	Son fundamentales para el desarrollo de la vida en la cuenca. Sin embargo, en exceso, contribuyen al desarrollo de organismos patógenos, así como procesos de eutrofización y de contaminación.
Bacteriológicos:	
Coliformes Totales	Su presencia en grandes cantidades es indicadora de contaminación.
Coliformes Fecales	Indican contaminación de origen fecal (humana o animal)
Enterococos Fecales	Su presencia además de ser un indicador de contaminación, es un factor de riesgo para enfermedades gastrointestinales.
<i>Vibrio spp.</i>	Su presencia además de ser indicador de contaminación, es un factor de riesgo para enfermedades gastrointestinales

En la cuenca de río Cuitzmala se han desarrollado distintos trabajos de investigación en torno a dicho tema de calidad, los cuales pueden ser divididos en dos tipos: aquellos más orientados a un enfoque ecológico-funcional; y otros a los efectos que tienen las actividades humanas. En esta sección únicamente se abordarán los del primer tipo; dejando a los otros para un posterior apartado en donde hablaremos acerca de los pulsos y presiones que ocasionan las actividades humanas.

a) La Calidad del Agua a lo Largo de la Cuenca

El primer trabajo desarrollado en este rubro fue realizado por López-Tapia (publicado en el año de 2008), durante el cual fueron seleccionados diferentes sitios de muestro, con la finalidad de evaluar las diferencias en la calidad del agua a lo largo de la cuenca. Para lo cual, se delimitaron espacialmente las áreas de influencia de cada lugar y se identificaron las características ambientales relacionadas con dichos sitios de muestro³¹ (Figura 19).



Figura 19 Mapa de los Sitios Evaluados en la Calidad de Agua de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de López-Tapia, 2008).

En dicho trabajo, se encontró que la estacionalidad entre la temporada de lluvias y de secas, tiene una escasa influencia en las características fisicoquímicas del agua. Parámetros como el pH y la salinidad solo presentan un ligero incremento durante el periodo de secas; la baja conductividad está relacionada con la dominancia del granito; y el oxígeno disuelto decrece durante las secas a consecuencia del descenso en los niveles de agua y de la velocidad de las corrientes (Figura 20).

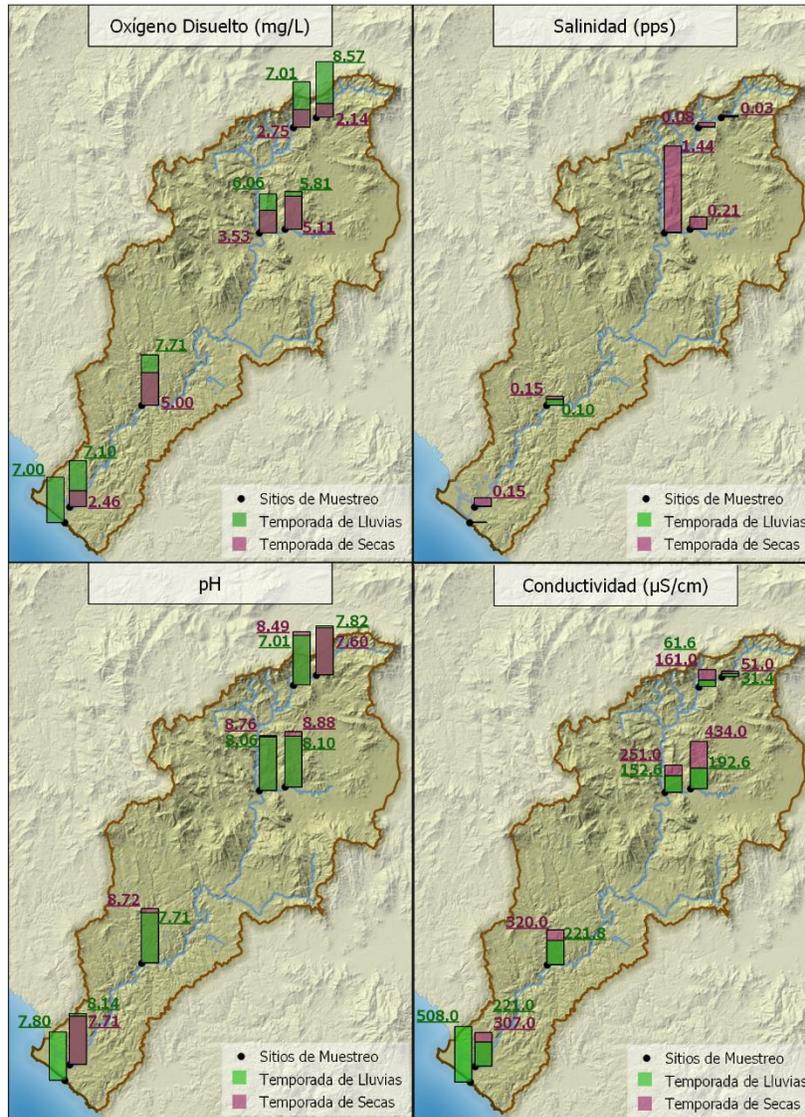


Figura 20 Parámetros Físicoquímicos de la Cuenca del Río Cuitzmalá (Autoría propia con datos de López-Tapia, 2007).

Por otra parte, en los que respecta al contenido de nutrientes, únicamente el fósforo tiene un incremento notable durante las lluvias, lo cual puede ser consecuencia del arrastre de compuestos agrícolas y ganaderos, provenientes desde las partes altas. El nitrógeno y sus compuestos derivados presentan valores típicos de las regiones forestales; y únicamente el fósforo total y los ortofosfatos tienen valores que coinciden con lo reportado en zonas donde suelen utilizarse diferentes productos agroquímicos (Figura 21).

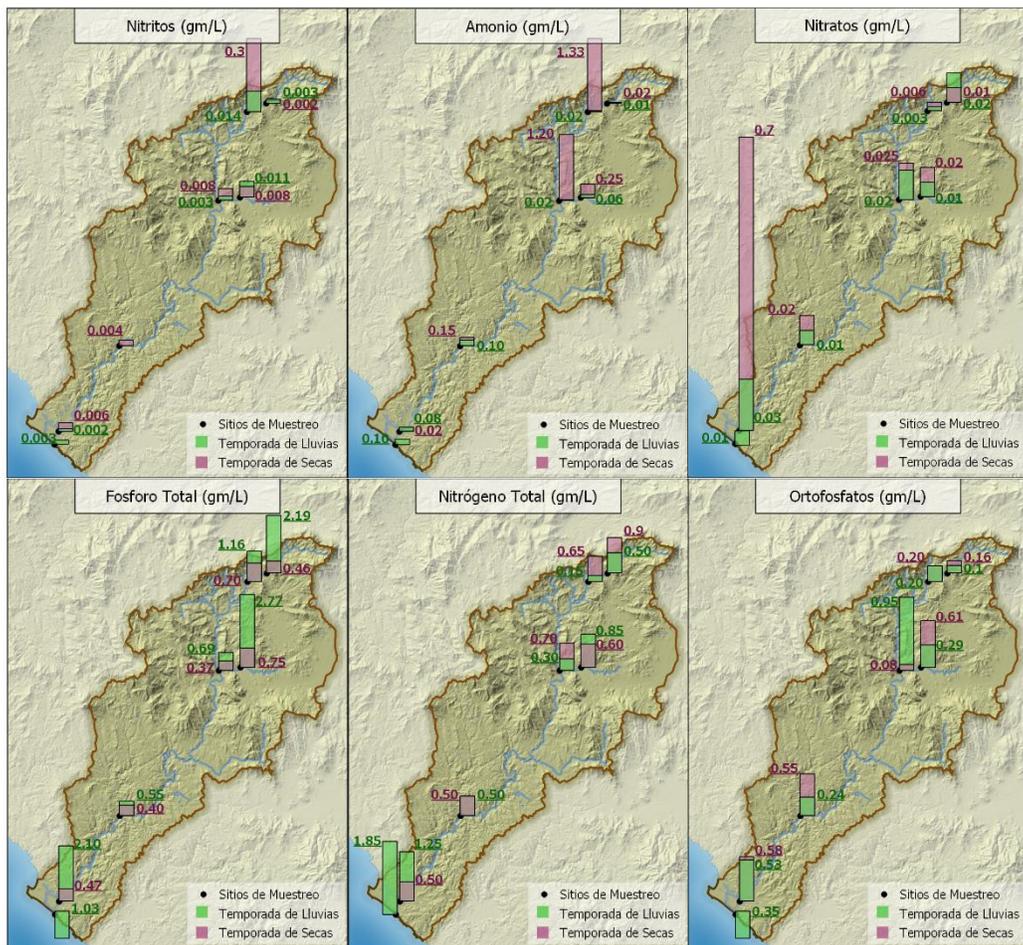


Figura 21 Parámetros del Contenido de Nutrientes de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de López-Tapia, 2007).

En los parámetros donde sí hubo un efecto debido a la estacionalidad fueron los de tipo bacteriológico; valores que también presentaron variaciones a lo largo de la cuenca. Los sitios cercanos a las localidades de La Eca y San Miguel (S2, S3 y S4), localizados en la parte alta y media, respectivamente, presentaron valores altos de enterococos, y coliformes totales y fecales, algo que está relacionado con las actividades humanas.

En estos mismos lugares, junto con los otros evaluados al sur de la cuenca, cerca de Emiliano Zapata (S6 y S7), se presentó una importante contaminación de origen fecal que está relacionada con las actividades ganaderas. Siendo estas últimas, las mismas zonas en las que se presentaron valores altos de las bacterias de genero *Vibro* (S6 y S7), las cuales son un riesgo para la salud humana (Figura 22).

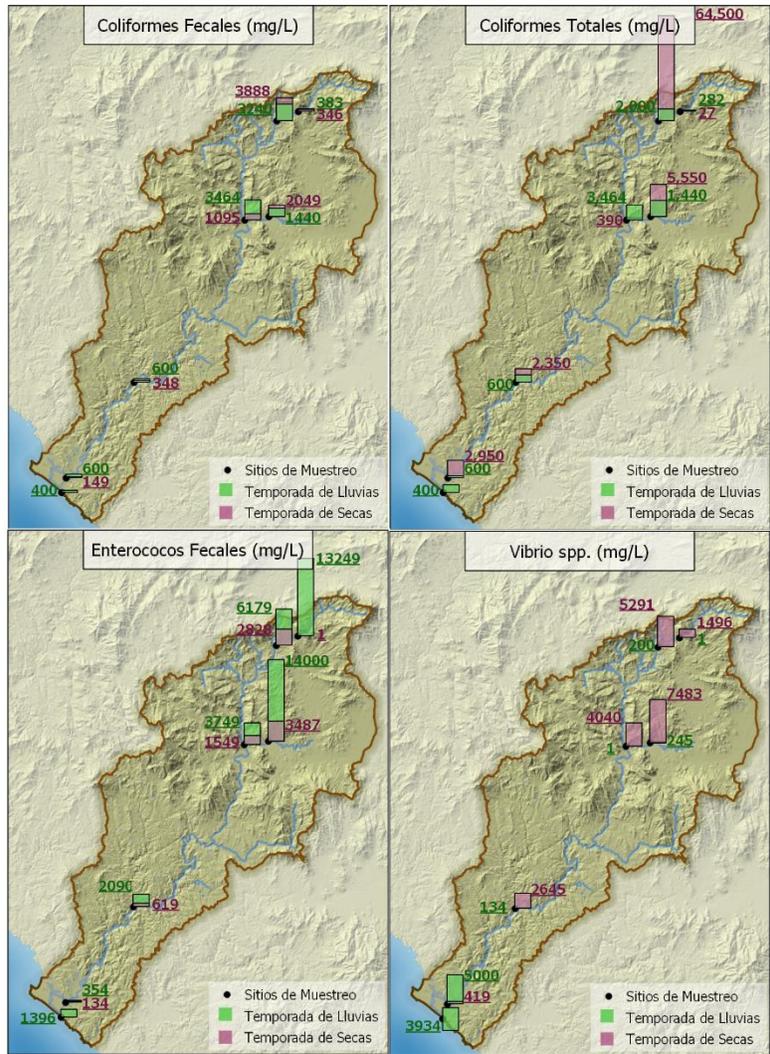


Figura 22 Parámetros Bacteriológicos de la Cuenca del Río Cuitzmalá. CF (coliformes fecales); CT (coliformes totales); EF (enterococos fecales); V (Vibrio spp.) (Elaborado con los datos de López-Tapia, 2008).

b) La Calidad del Agua en los Humedales de la Cuenca

El segundo estudio, de corte más ecológico, fue el realizado por Bonilla-Meza, entre el periodo de secas de 2005 y el de lluvias de 2006⁴³. En este estudio, se evaluó la calidad del agua en los humedales localizados en la desembocadura del Río Cuitzmala, mediante la recolección de diferentes muestras en cada uno de estos sitios: Río Cuitzmala (R), La Vena (V), Laguna Principal (LP) y Laguna de Corte (LC) (Figura 23).

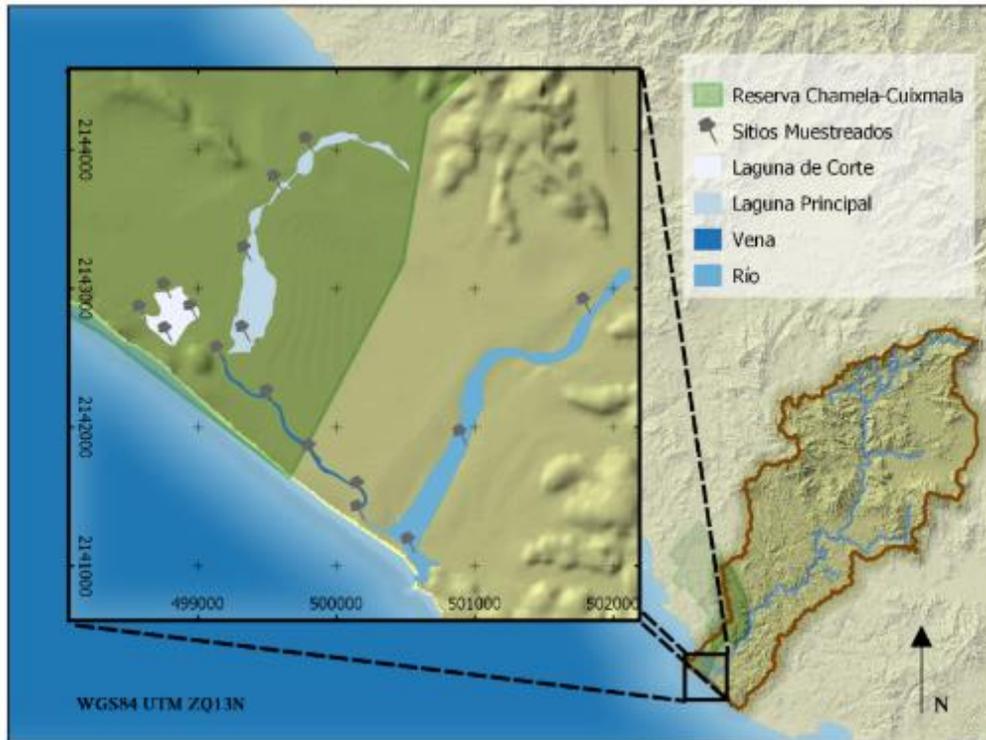


Figura 23 Mapa de los Sitios Evaluados en la Calidad de Agua Dentro de los Humedales de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de Bonilla-Meza, 2007).

Al igual que en el caso de estudio anterior, se encontró que no existe ningún tipo de influencia de la estacionalidad en los parámetros fisicoquímicos. Los valores del pH se mantuvieron constante con una tendencia a la neutralidad; la dureza fue baja indicando poca concentración de sales; el oxígeno disuelto también resulto bajo, esto, a causa de la abundante presencia de microorganismos y a las corrientes lentas de estos sitios; y la conductividad fue alta debido a que son lugares en los que suelen depositarse los sedimentos que se van acumulando desde las partes altas de la cuenca (Figura 24).

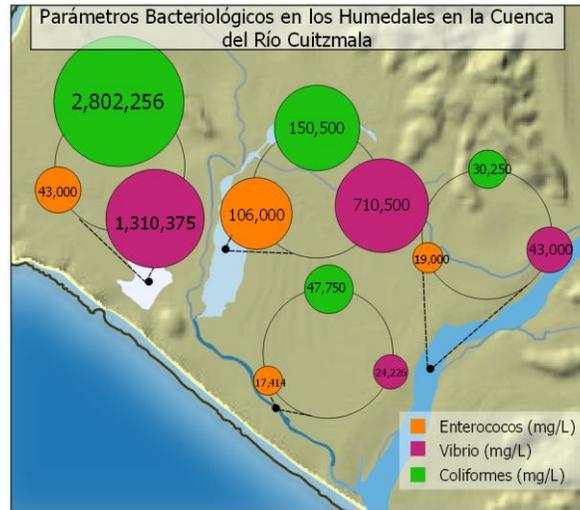


Figura 26 Parámetros del Contenido de Nutrientes de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Bonilla-Meza, 2007).

4 LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

La especie humana surge de los ecosistemas y su existencia depende de los servicios que la naturaleza le brinda. Entender esta estrecha relación entre el ser humano y la naturaleza es fundamental, no solo porque revaloriza a los ecosistemas, sino porque a partir de los mismos se pueden generar estrategias para su manejo sustentable. Sólo así será posible garantizar un bienestar humano para ésta y las futuras generaciones²⁰.

Cuando se habla de este tema, lo primero que viene a la cabeza son aquellos servicios que son tomados de manera directa (el agua, los frutos, la leña, etc.), o bien aquellos que evocan algún tipo de emoción (e.g., la belleza de un paisaje). Sin embargo, también existen otros que, aunque no se aprecian tan claramente, son fundamentales para la vida en los ecosistemas y para las actividades de las comunidades. Por ejemplo, los servicios de soporte de recarga de agua y del aporte de nutrientes, de los cuales depende el rendimiento de las actividades agrícolas y ganaderas. De ahí parte la enorme importancia de implementar acciones para asegurar su mantenimiento.

Aunque existe una gran variedad de tipos servicios ecosistémicos, en el presente trabajo se enfoca en aquellos relacionados con el tema del agua: la provisión de agua dulce; la infiltración sub-superficial (entre los suelos) y profunda (en los acuíferos); y el servicio de control de la erosión hídrica. En el primer apartado, se presentará la información disponible para la cuenca en relación con la distribución del agua superficial y subterránea. Se mostrará cómo la mayor cantidad del volumen concesionado está concentrado en el cultivo de pasto para la actividad ganadera. Así mismo, se discutirá sobre la importancia que tiene el agua subterránea, la cual abastece a poco menos de la mitad del volumen de agua concesionado en la cuenca.

Respecto a la infiltración, se mostrarán los resultados de un estudio realizado por Saldaña-Espejel (2008), en el cual se identificaron las zonas más aptas para brindar este tipo de servicios. Los resultados referentes a la información sub-superficial, indican que la cuenca tiene un potencial de infiltración óptimo en la mayoría del territorio, sobre todo debido a la vasta extensión de la cobertura vegetal. Caso contrario sucede con respecto a la infiltración profunda, la cual ocurre en una extensión reducida del territorio, localizada en las áreas en donde dominan las rocas calizas, las areniscas o los conglomerados.

Por último, derivado del mismo estudio en que se identificaron las zonas de infiltración, también se presentan las áreas potenciales para brindar el servicio de control de la erosión hídrica. En esta parte se mostrará el alto potencial que tiene la cuenca para este servicio; siendo las zonas con valores más altos la parte sur, donde hay mayor cubierta forestal y la más baja la parte noreste, áreas ocupadas por praderas ganaderas, en donde las lluvias tienen mayor potencial erosivo.

4.1 El Servicio de Provisión de Agua Dulce

Como ya se mencionó, las principales actividades humanas que se desarrollan en la cuenca (ganadería y agricultura de maíz) dependen del abasto continuo de fuentes agua dulce. Esto hace a la provisión y regulación del agua como el servicio ambiental de mayor

relevancia para los habitantes. Es por ello que las concesiones de agua y las reglas de operación de su acopio, distribución y consumo, deben operan de manera coordinada entre los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), y en algunos casos, de las autoridades locales que se rigen por sus usos y costumbres.^{70,71}.

Cada uno de los actores institucionales mencionados, opera de acuerdo a sus atribuciones legales y a sus capacidades técnicas y logísticas. Entre estos, la entidad institucional a nivel federal con mayor jerarquía jurídica es la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Organismo que se encarga de regular con base en sus estudios técnicos, la disponibilidad anual del líquido y el volumen que puede ser concesionado para su aprovechamiento. Tanto en la cuenca, como en todo el territorio nacional⁷².

De acuerdo a la información puesta a disposición por dicho organismo, en la cuenca del Río Cuitzmala, existe una concesión anual de más de 17 millones de metros cúbicos de agua²⁶. Volumen que se encuentra distribuido entre 316 títulos concesionarios, de los cuales, el 57% proviene de fuentes de aguas superficiales (manantiales y ríos), mientras que el resto es extraído de las aguas subterráneas (Figura 27).

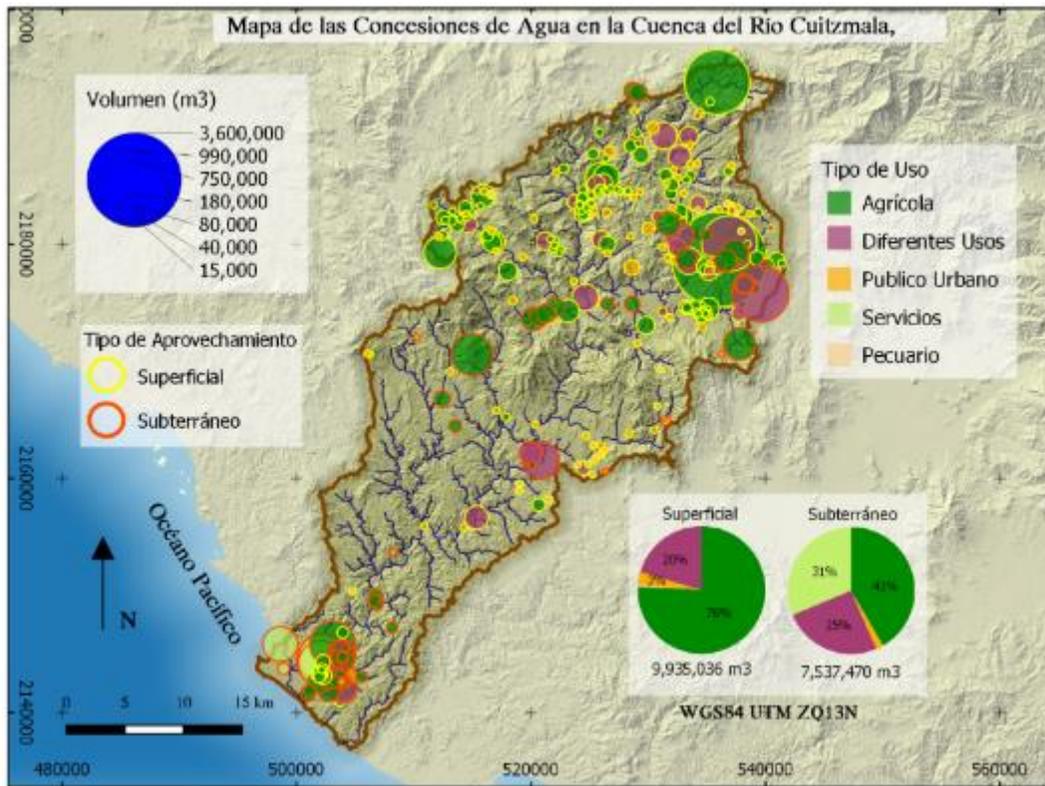


Figura 27 Mapa de las Concesiones de Agua Registradas en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de CONAGUA, 2018).

La manera en que se distribuye el agua, a través de sus diferentes concesiones, tiene una clara tendencia a favorecer a las actividades turísticas y el cultivo de praderas ganaderas, por encima del uso público. En la parte norte de la cuenca el mayor volumen de agua se

destina a la agricultura, la cual en su mayoría proviene de fuentes superficiales. En contraste, en el sur (y parte baja de la cuenca), a la par de las actividades agrícolas, el mayor volumen lo ocupan los servicios turísticos, quienes, siendo titulares de unas pocas concesiones, utilizan el 25% del total del agua subterránea concesionada en toda la cuenca (Tabla 11).

Tabla 11 Distribución del Agua por Tipo de Actividad y Fuente de Extracción Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de CONAGUA, 2018).

Tipo	Proporción del total concesionado	Volumen de fuentes superficiales	Volumen de fuentes subterráneas
<u>Agrícola</u>	61.3%	7,537,869 m ³	3,357,470 m ³
<u>Diferentes usos*</u>	22.4%	2,025,281 m ³	2,702,189 m ³
<u>Servicios</u>	13.1%	0 m ³	2,307,580 m ³
<u>Público urbano</u>	3.2%	300,521m ³	131,117m ³
<u>Pecuario</u>	0.2%	304,686 m ³	1,825 m ³

En un lugar donde la superficie reportada como agricultura no sobrepasa el 2.5% del territorio, es de extrañarse que esta actividad ocupe más del 60% del agua concesionada. Esto se entiende si se considera que más del 80% de las concesiones identificadas como de tipo agrícola se localizan sobre zonas de praderas cultivadas. Es decir, el mayor consumidor de agua en la cuenca son, indirectamente, las actividades pecuarias (Figura 28).

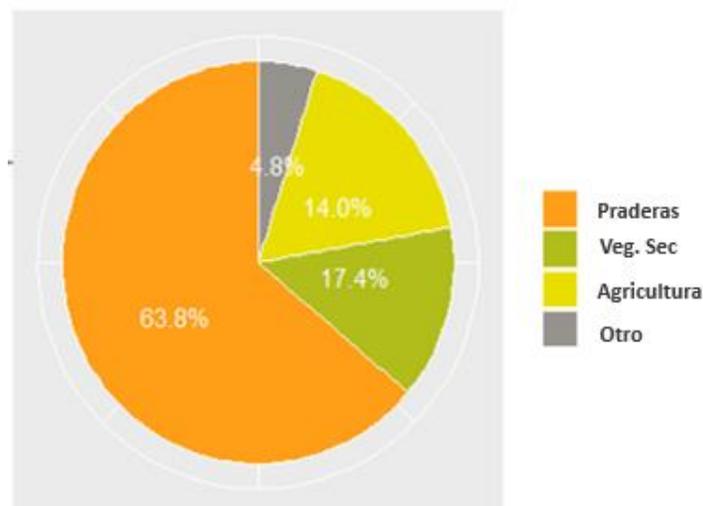


Figura 28 El Porcentaje de Volumen Concesionado a la Agricultura, de Acuerdo a la Cobertura de Uso de Suelo y Vegetación (Autoría propia con datos de INEGI, 2017; y CONAGUA 2018).

4.2 Los Servicios de Infiltración

La cuenca carece de agua superficial más de la mitad del año, por lo cual el abasto para el desarrollo de las actividades humanas debe ser complementado mediante el aprovechamiento de las aguas subterráneas. Debido a esta condición, es importante identificar las áreas cuyas características permiten que se lleven a cabo los procesos de infiltración, para poder llevar a cabo un manejo sustentable de estas áreas, permitiendo garantizar el abasto del recurso en el largo plazo^{45,49}.

Tabla 12 Variables Utilizadas para la Delimitación de las Áreas Potenciales de Infiltración Subsuperficial y Profunda (Autoría propia con datos de Saldaña-Espejel, 2008).

Variable	Importancia
<i>Pendiente</i>	Se relaciona con la oportunidad y tiempo para la infiltración. La probabilidad siempre es mayor en sitios planos
<i>Disponibilidad de agua</i>	La cantidad de agua resultado de la diferencia entre lo que llueve y lo que se evapora
<i>Cobertura Vegetal</i>	Su presencia aumenta la retención de agua en el suelo, incrementando el tiempo de infiltración
<i>Suelo (profundidad, porosidad y conductividad hidráulica)</i>	El tipo de suelo, nos indica la capacidad de almacenamiento y de retención de agua.
<i>Roca (porosidad y permeabilidad)</i>	Dependiendo del tipo de roca, nos indica la capacidad de almacenamiento del sustrato

En el año 2008, Saldaña-Espejel³², realizó una consulta a varios académicos expertos en el tema del agua, en la cual identificó qué valor de importancia tiene cada una de las variables que se encuentran involucradas en los servicios de infiltración subsuperficial (a nivel de suelos) y profunda (a nivel de roca) (Tabla 12). Para después, utilizar la información recopilada en la identificación de las áreas potenciales de infiltración de la cuenca, de acuerdo a las diferentes condiciones ambientales (Tabla 13).

La información espacial y los programas computacionales con que se elaboró ese estudio eran infinitamente menores en cantidad y capacidad, en comparación con los disponible hoy en día. Por tales motivos, siguiendo la misma ruta metodológica, la información tuvo que ser nuevamente modelada, dado que era necesario actualizarla con información más reciente en lo referente al tipo de suelo y cobertura vegetal, e incorporar información más detallada en lo relacionado a la disponibilidad del agua.

Tabla 13 Importancia Asignada a las Variables Utilizadas para la Delimitar las Áreas Potenciales de Infiltración Subsuperficial y Profunda (Autoría propia con datos de Saldaña-Espejel, 2008).

Infiltración subsuperficial		Infiltración profunda	
Variable	Importancia Asignada	Variable	Importancia Asignada
<i>Suelo</i>	35%	<i>Infiltración subsuperficial</i>	50%
<i>Disponibilidad de agua</i>	35%	<i>Tipo de Roca (Geología)</i>	50%
<i>Cobertura Vegetal</i>	15%		
<i>Pendiente</i>	15%		

En lo que respecta a la infiltración de tipo subsuperficial, más del 90% del territorio tiene una condición favorable para brindar este servicio como resultado de lo extenso de la cobertura forestal. Los valores con un potencial mayor al 80% se localizan en la parte norte y noreste de la cuenca (y parte alta), sobre los sitios de mayor escorrentía y con la pendiente menos pronunciada. Los cuales están ubicados sobre las zonas de praderas ganaderas, en donde se presentan la mayor demanda de agua en la cuenca (Figura 29).

Los sitios con los valores de potencial intermedio para brindar dicho servicio (<10% del territorio), corresponden a los lugares accidentados con suelos poco desarrollados al centro de la cuenca; a las zonas transformadas a praderas ganaderas en el noreste; y a las zonas con menor escorrentía cercanas a la desembocadura del río principal (Figura 29).

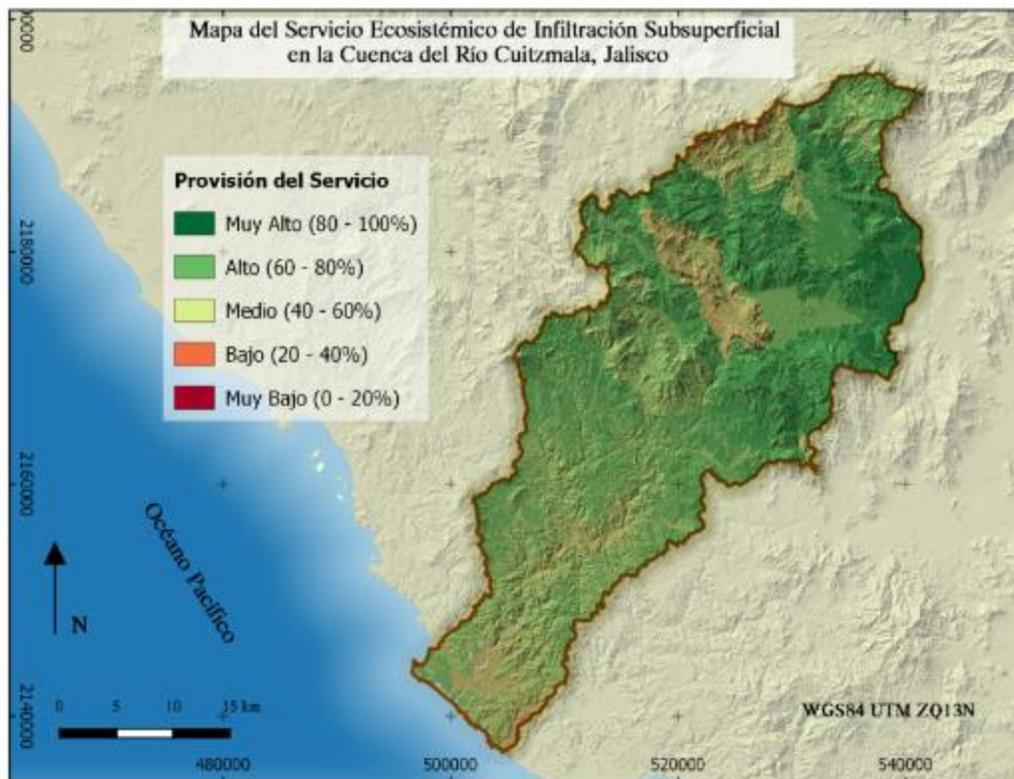


Figura 29 Mapa de la Provisión del Servicio Ecosistémico de Infiltración Subsuperficial de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Saldaña-Espejel, 2008).

En cuanto a la infiltración profunda, tal como era de esperarse de acuerdo a las características morfométricas y litológicas de la cuenca, únicamente el 4.6% del territorio presenta un potencial apto para este servicio. Los sitios óptimos corresponden a la región de calizas, y a la de areniscas y conglomerados al sur de la cuenca, en donde también coinciden las áreas con mayor demanda de agua subterránea (Figura 30).

La mayor parte de la superficie de la cuenca corresponde a lugares con un potencial de infiltración intermedio. Al igual que en el caso de la infiltración sub-superficial, este valor también está relacionado con la extensa cubierta forestal, por lo tanto, no es de extrañarse

la presencia de fuentes subterráneas en zonas de rocas volcánicas, las cuales deben estar fuertemente relacionadas con la cercanía a fallas y fracturas geológicas (Figura 26).

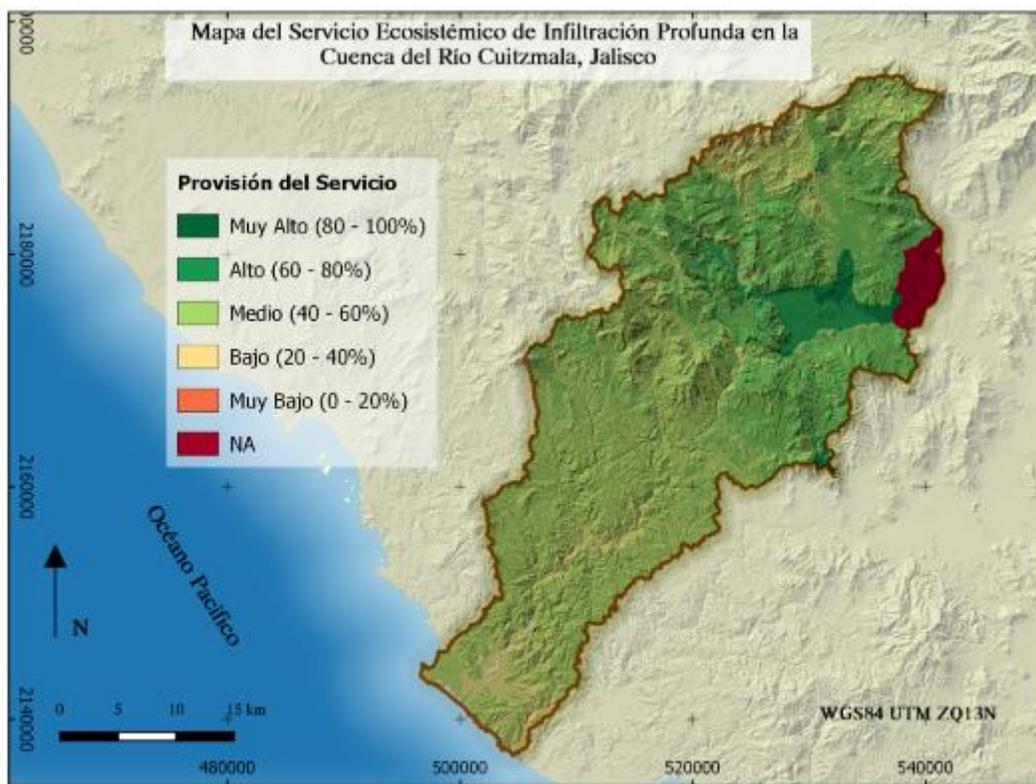


Figura 30 Mapa de la Provisión del Servicio Ecosistémico de Infiltración Profunda de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Saldaña-Espejel, 2008).

4.3 El Servicio de Control de la Erosión Hídrica.

Como ya se ha mencionado los suelos en la cuenca son altamente propensos a la erosión. Lo anterior se debe, en gran medida, a su escaso desarrollo e inadecuado manejo, aunado al alto potencial erosivo de las lluvias en la región y lo accidentado del relieve⁵⁹. Estas situaciones hacen de suma importancia identificar las zonas que contribuyen a disminuir esta pérdida de suelos. Saldaña-Espejel⁴² identificó el valor de las variables involucradas, y los sitios potenciales donde se lleva a cabo el servicio de control de la erosión hídrica en la cuenca (Tabla 14 y Tabla 15). Al igual que en el caso anterior, mediante una actualización de la información, dichas áreas potenciales fueron nuevamente modeladas.

Tabla 14 Variables Utilizadas en la Delimitación de las Áreas Potenciales que Controlan la Erosión Hídrica (Autoría propia con datos de Saldaña-Espejel, 2008).

Variable	Importancia
<i>Erosividad</i>	Hace referencia a la fuerza con la que la lluvia impacta el suelo
<i>Erodabilidad</i>	Se refiere a la capacidad del suelo a resistir la erosión
<i>Cobertura Vegetal</i>	Protege al suelo de la erosión por el impacto de la lluvia

<i>Pendiente</i>	En sitios con pendiente pronunciadas la erosión tiende a ser mayor que en las zonas planas
------------------	--

Tabla 15 Importancia Asignada a las Variables Utilizadas para la Delimitación de las Áreas Potenciales de Infiltración Sub-superficial y Profunda (Autoría propia con datos de Saldaña-Espejel, 2008).

Variable	Importancia Asignada
<i>Erosividad</i>	25%
<i>Erodabilidad</i>	25%
<i>Cobertura Vegetal</i>	25%
<i>Pendiente</i>	25%

Los valores más altos se presentan en un 29% de la superficie de la cuenca, sobre las áreas de cubierta forestal mejor conservada; mientras que en el 38% de la superficie se presentan los sitios con un valor alto, coincidiendo con las áreas de vegetación perturbada. Por su parte, las zonas de valor intermedio, equivalente al 26% de la superficie, se presentaron en la región consideradas de mayor erosividad, es decir donde hay mayor precipitación (Figura 31).

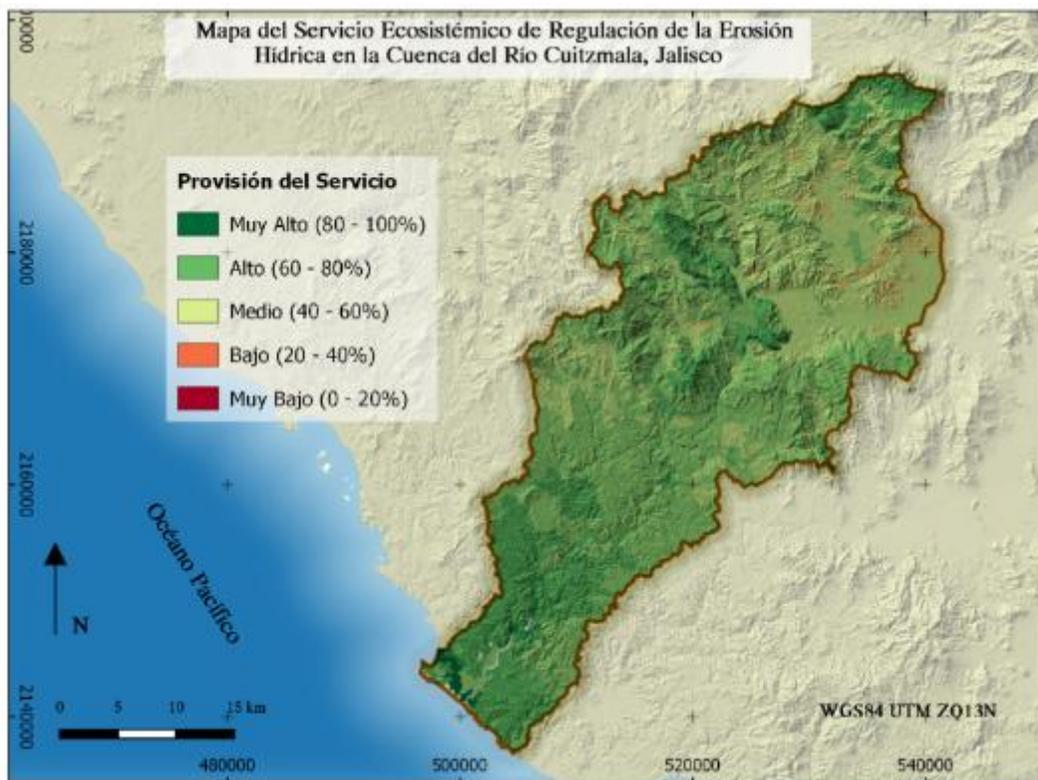


Figura 31 Mapa de la Provisión del Servicio Ecosistémico de Control de la Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Cuitzmala (Elaborado con base al trabajo y metodología de Saldaña-Espejel, 2008).

5 COMPONENTES SOCIALES

Para manejar de manera sustentable un territorio tan extenso y complejo como el de la cuenca del río Cuitzmala, no basta con solo conocer los procesos de los ecosistemas y los servicios ambientales que estos generan; también es necesario, integrar a sus habitantes, y construir un proceso participativo donde se incorporen sus valores y expectativas⁷³. Para entender un territorio se deben integrar en conjunto la parte ecología con la parte humana, es decir, como un socioecosistema^{74,75}.

En un país como México, donde más de la mitad de su territorio está en manos de ejidos y comunidades agrarias, es fundamental incorporar a estos actores sociales en la construcción de estrategias y la toma de decisiones relacionadas con el lugar donde viven. No solo porque son ellos los primeros afectados o beneficiarios de las acciones llevadas a cabo, sino porque son los legítimos poseedores de las tierras que les han sido dotadas, las que por ley tienen derecho a administrar de acuerdo a sus usos y costumbres. Por tales motivos, toda estrategia de planeación que aspire a ser efectiva, tiene que construirse de forma participativa involucrando a todos estos actores sociales^{76,77}.

Sin embargo, llevar a cabo lo anterior requiere de tiempo y de la implementación de una estrategia adecuada de intervención social. A falta de lo anterior, en este capítulo solo se abordan los componentes sociales documentados en las fuentes de información gubernamental y en las investigaciones académicas realizadas en la cuenca del río Cuitzmala. Con lo anterior los tomadores de decisiones, tendrán acceso a la información base, que sirva como punto de partida para diseñar sus propias estrategias de intervención social.

En la primera parte, se abordará lo referente a la demografía y la tenencia de la tierra. El territorio que abarca la cuenca del río Cuitzmala se encuentra dentro de dos municipios, La Huerta y Villa purificación. Estos, a pesar de compartir un mismo territorio hidrológico, tienen diferentes visiones de desarrollo: mientras el primero le da prioridad a la actividad turística; el segundo se la da a la actividad ganadera^{78,79}. En la cuenca, también concurren 25 núcleos agrarios con una extensión equivalente al 44% de la superficie, siendo importante destacar que más de la mitad de las áreas forestales se localiza en estas tierras, cuya mayor parte se distribuye en áreas parceladas, es decir, que cuentan con un propietario quien puede disponer de ellas para fines productivos.

En la parte de las actividades productivas, se podrá visualizar la manera en que se distribuyen las dos principales actividades productivas: la crianza de ganado bovino y el cultivo de maíz. De acuerdo a los datos consultados⁸⁰, en 22 localidades la actividad principal es la agricultura, mientras que en otras 48 lo es la ganadería. En ambas actividades se pueden diferenciar dos subsistemas de producción: uno formado por pequeños productores, cuya finalidad es el autoconsumo y/o la subsistencia, y otro conformado por grandes productores, cuya finalidad es la producción a gran escala con fines comerciales.

Respecto al bienestar de las localidades, se destaca que buena parte de ellas presentan problemas de marginación⁸¹. Respecto a las investigaciones sociales revisadas^{17,18}, la mayoría están dirigidas a evaluar la percepción hacia los servicios ecosistémicos. En estos

trabajos, se aprecia la manera en que las localidades comparten percepciones similares en la manera en que valoran el agua, así como la importancia de la vegetación para los servicios de infiltración. Así mismo, los estudios muestran la conciencia que tienen los pobladores con respecto a reconocer que sus actividades terminan afectando a las poblaciones cuenca abajo.

En la parte final, se presenta un panorama general de los marcos normativos referentes al agua y a los usos del territorio. Respecto al agua, y aunque en la gestión participan los tres niveles de gobiernos (y en ocasiones algunas comunidades), el papel más relevante lo tiene la CONAGUA, ya que es éste el organismo que se encarga de asignar y regular las diferentes concesiones. En cuanto a la gestión del territorio, y pese a que cada municipio tiene las facultades de llevar a cabo de manera autónoma su planeación urbana y su ordenamiento territorial, el único instrumento vigente y al que ambos se acatan, es el ordenamiento territorial ecológico de la costa sur de Jalisco.

5.1 Demografía y Tenencia de la Tierra

En el apartado de las características biofísicas, se abordó en detalle los atributos ambientales que controlan la hidrología de la cuenca, los cuales son el resultado de una combinación de elementos físicos y biológicos que han evolucionado a lo largo de millones de años. Sin embargo, la cuenca también es un espacio social en donde los fenómenos humanos influyen directamente y a una escala de tiempo menor sobre el medio biofísico, aunque dependiendo de la intensidad con que se utilicen los recursos naturales y de la manera en que las personas entiendan y valoran a su territorio.

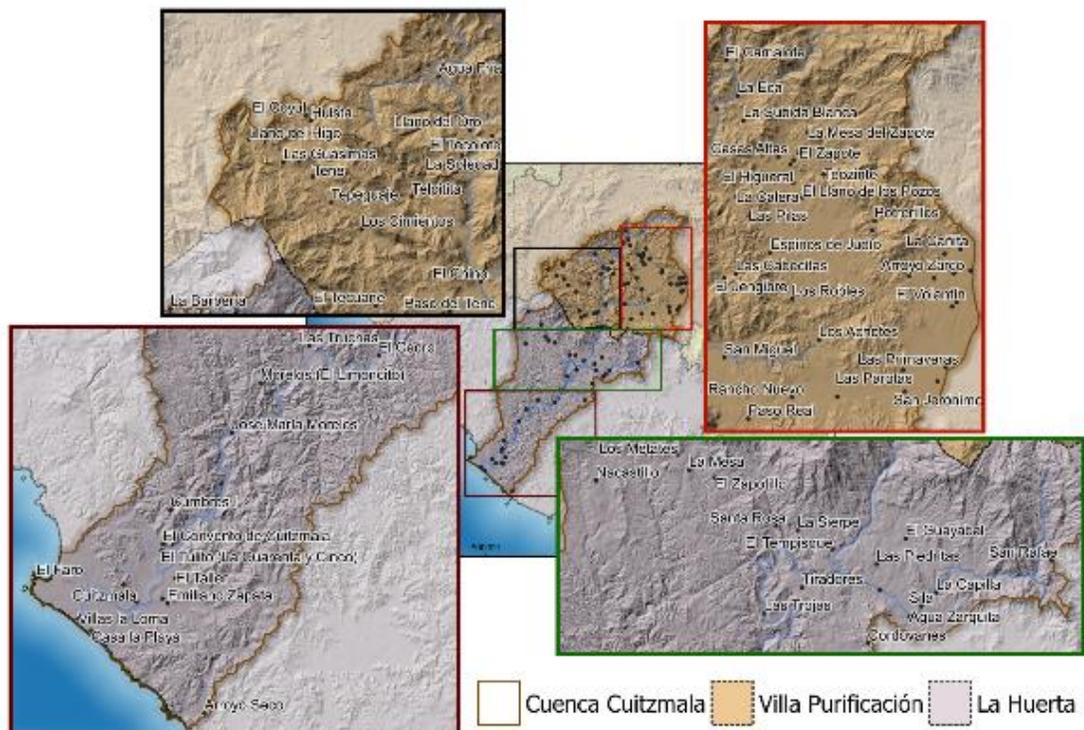


Figura 32 Mapa de Localidades de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2010).

La cuenca del Río Cuitzmala forma parte de dos municipios del estado de Jalisco: La Huerta (con 522 km²) y Villa Purificación (567 km²). La cuenca cuenta con una población de aproximadamente 11,102 habitantes, con más del 75% asentados en la parte norte. En su interior, en la cuenca se encuentran reportadas 93 localidades, siendo las más pobladas: Francisco Villa, Emiliano Zapata, San Miguel y la cabecera municipal de Villa Purificación^{82,83} (Figuras 32 y Figura 33).

A pesar de compartir el mismo territorio hidrológico en la cuenca, el uso de los recursos naturales, particularmente el agua, está fuertemente condicionado por las prioridades establecidas en las políticas de desarrollo de cada municipio^{78,79}. Mientras que en Villa Purificación la ganadería es la actividad prioritaria, en La Huerta lo son, las actividades turísticas. En el primero, la agricultura utiliza el 75% del agua concesionada, lo que equivale a 30 veces más de lo destinado al uso público, mientras que, en la Huerta, cuya fuente principal es el agua subterránea, el 41% del volumen lo ocupan los servicios turísticos; ocho veces más de los destinados al uso público²⁶ (Figura 30).

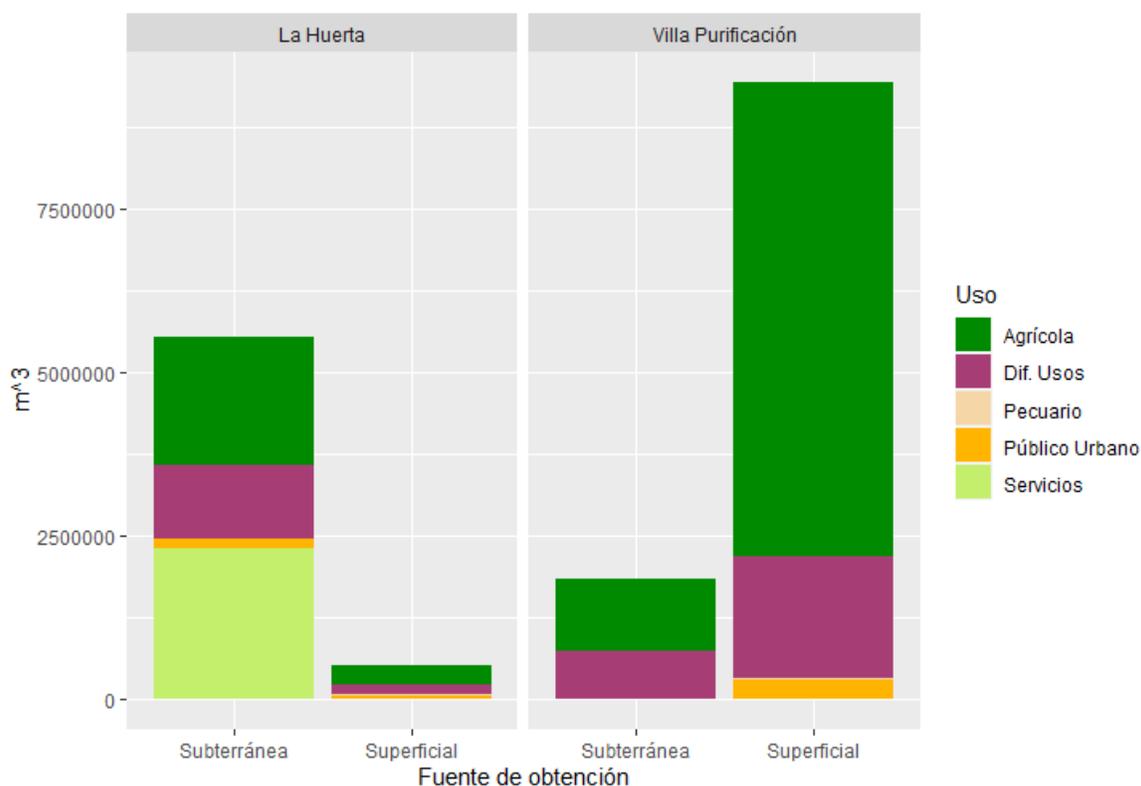


Figura 33 Volumen Anual de Agua Concesionada en los Municipios de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de CONAGUA, 2018).

Dentro de las áreas administrativas de cada municipio, también concurren 25 núcleos agrarios, quienes son propietarios del 44% de la superficie de la cuenca, y se rigen de acuerdo a sus usos y costumbres. Estas unidades administrativas concentran más de la mitad de la superficie forestal en la cuenca. Dos terceras partes de esta superficie forestal

se localizan dentro de áreas parceladas, cuyos propietario pueden hacer uso de las misma en función de sus intereses particulares^{84,85} (Figura 34). Lo anterior hace indispensable la colaboración de las instituciones académicas y gubernamentales con los actores locales dueños del territorio. Es decir, para poder llevar a cabo un manejo sustentable de la cuenca, es indispensable partir de un ejercicio de participación ciudadana, en donde se identifiquen, de forma colectiva, las principales problemáticas, así como los objetivos, metas y las acciones específicas a implementar^{73,76}.

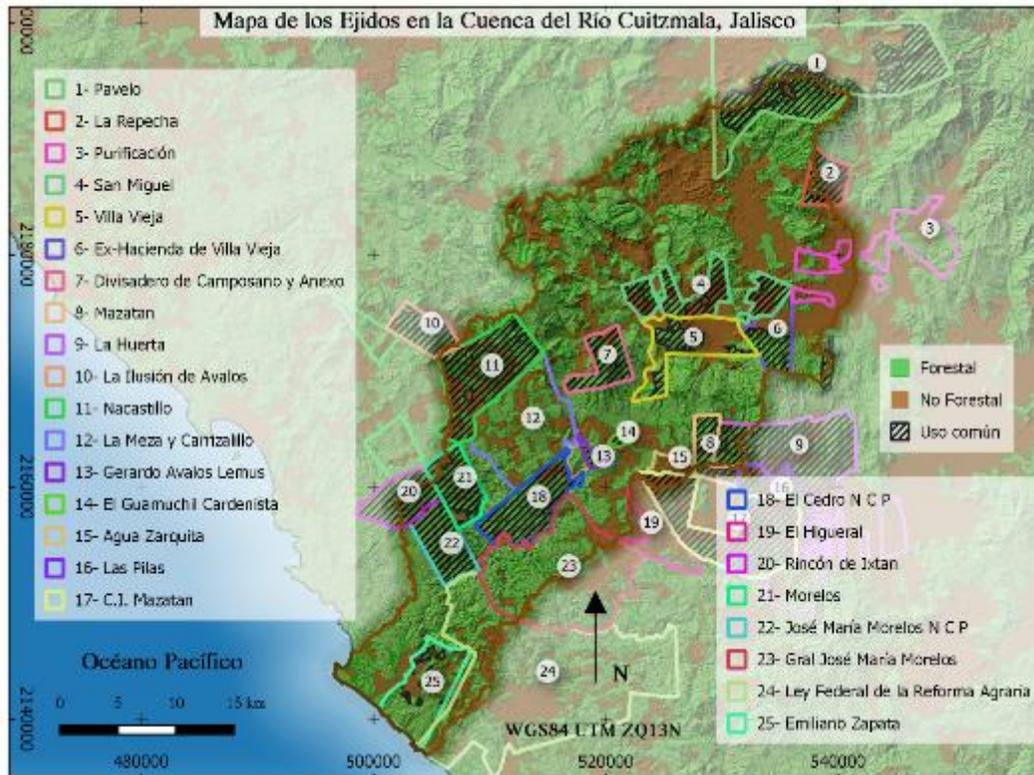


Figura 34 Mapa de los Núcleos Agrarios en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos del RAN, 2010).

5.2 Actividades Productivas

En la cuenca del río Cuitzmala, las principales actividades productivas son la ganadería y la agricultura, en 70 de la 93 localidades estas actividades se encuentran reportadas como la actividad principal: en 22 localidades, la actividad principal es la agricultura, siendo el maíz el principal producto; en 48, la actividad principal es la ganadería extensiva, siendo el producto principal la crianza de ganado bovino⁸⁰ (Figura 35 y Figura 36).

De acuerdo al trabajo realizado por Burgos y Maass en el 2004⁸⁶, y al de Cotler y Lazos⁸⁷ publicado en fechas más recientes, en la cuenca se han identificado los componentes que integran a los dos principales sistemas de aprovechamiento. Tanto en la agricultura como la ganadería, pueden subdividirse en dos tipos de actividades de acuerdo a su intensidad de producción: uno pequeño destinado a las actividades de subsistencia y de autoconsumo, y otro más grande destinado a la producción con fines comerciales (Tabla 16).

Estos trabajos destacan la importancia que tiene el relieve y las geoformas para el desarrollo de unas actividades u otras. También destacan la presencia, en menor magnitud, de actividades de aprovechamiento forestal en ciertas localidades, las cuales complementan a las dos actividades mencionadas.

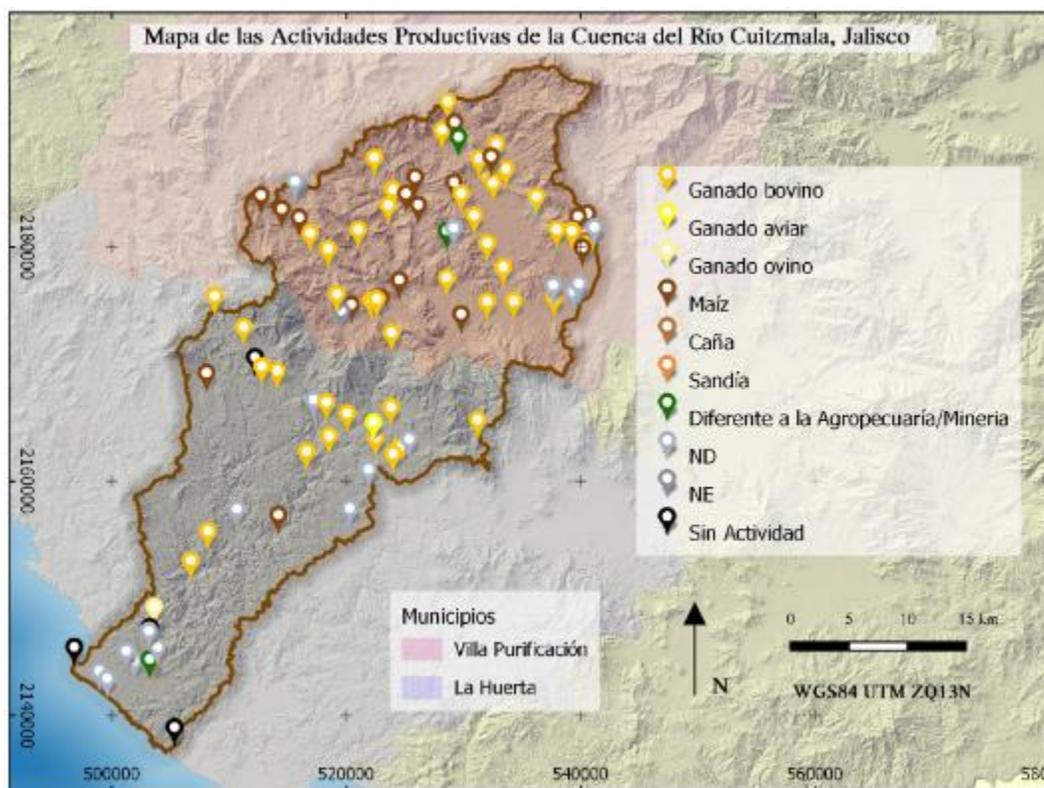


Figura 35 Mapa de las Actividades Productivas de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2014).

Tabla 16 Principales Sistemas y Subsistemas en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos Burgos y Maass en 2004; y de Cotler y Lazos, 2020).

Sistema	Tipo	# cabezas/ superficie	Geoforma	Características
<u>Pecuario</u>	Pequeños productores	<30	Laderas	Sistema de subsistencia, autoconsumos; complemento de actividades agrícolas.
	Grandes productores	>100	Laderas	Sistema de producción de crianza, para su posterior exportación a sitios de engorda.
<u>Agrícola</u>	Temporal	3.5-18 ha	Laderas y valles intermontanos.	Sistema de autoconsumo tradicional de maíz (milpa).
	Anual	25.5 ha	Pie de montes y zonas planas.	Producción de hortalizas.

5.3 Marginación Social

A pesar de que el agua es el motor de la economía en la región, en donde las actividades productivas tienen preferencia para el uso de la misma, esta situación no se ve reflejada en el bienestar de las comunidades. En la cuenca del río Cuitzmala, la mitad de las localidades están reportadas dentro de un grado de marginación que va de un nivel medio a muy alto. De las 93 localidades, once están en la categoría de muy alto; 26 se consideran de grado alto; y seis son de grado medio; del resto no hay información disponible. Cabe señalar que la marginación aumenta conforme las localidades se alejan de la costa o de la cabecera municipal de Villa Purificación⁸¹ (Figura 33).

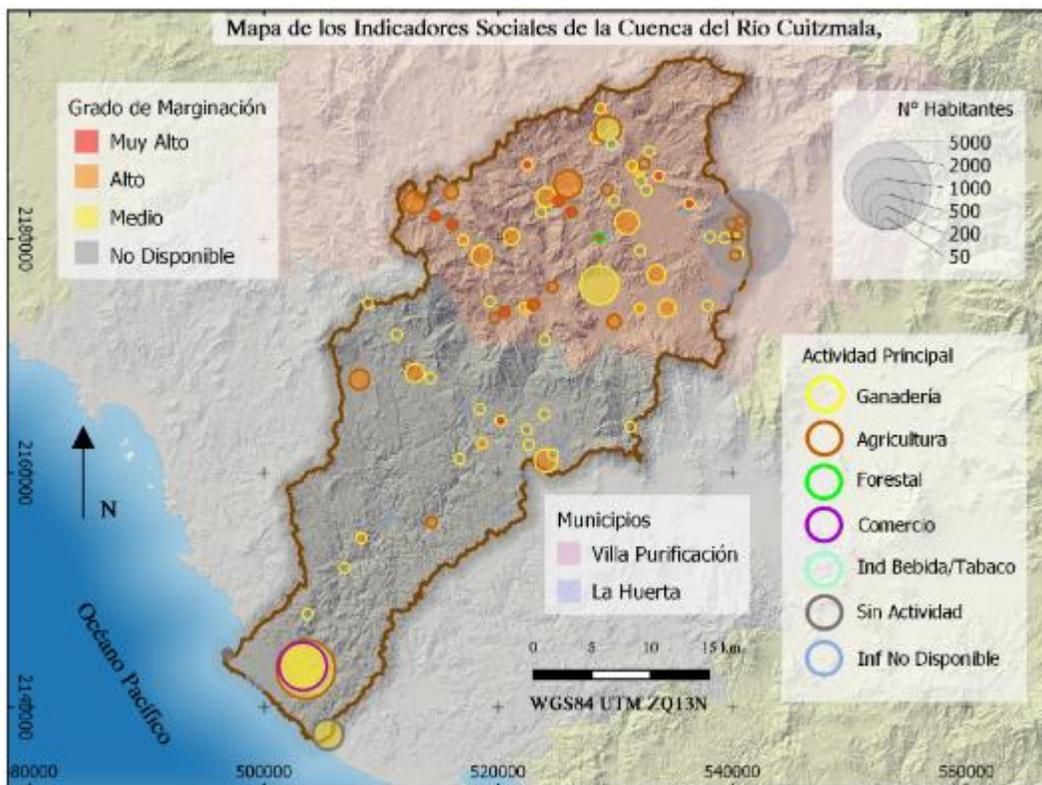


Figura 36 Mapa de los Indicadores Sociales (Marginación, población y actividades principales) de la Cuenca del Río Cuitzmala (elaborados con los datos de CONAPO, 2015; y de INEGI, 2014).

5.4 Intervenciones Académicas

Uno de los objetivos de la Estación de Biología de Chamela (EBCh), es contribuir al diagnóstico y resolución de las problemáticas de las localidades aledañas⁴. Dada la importancia que tiene el agua, algunas de las investigaciones con las comunidades^{17,18} han estado enfocadas en documentar las percepciones relacionadas a los servicios ecosistémicos de corte hidrológico en la cuenca del río Cuitzmala (Figura 37).

Entre los trabajos realizados, se encuentra el de Solórzano-Murillo, en el 2008¹⁷ y el de Sánchez-Matías, en el 2010¹⁸. Ambos estudios documentan, mediante la realización de

entrevistas a los habitantes de varias localidades, cuáles eran los servicios ecosistémicos de corte hídrico percibidos y valorados en la cuenca (Tabla 17). Entre los aportes de estos trabajos, destacan los siguientes aspectos:

- El agua es percibida como el recurso más importante para el desarrollo de la ganadería y la agricultura, y de las actividades domésticas.
- Las personas en las localidades valoran y perciben de forma similar los servicios de soporte, como: la infiltración; la regulación del clima; y la belleza escénica.
- Existe una percepción generalizada acerca de la disminución en la cantidad y calidad del agua a lo largo de la cuenca.
- Las zonas bajas son altamente vulnerables a los efectos de la contaminación de las aguas que provienen de las partes altas.



Figura 37 Mapa de Las Localidades y Ejidos en Donde se ha Realizado Algún Estudio en Relación a la Percepción de los Servicios Ecosistémicos de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Tabla 17 Servicios Ecosistémicos de Corte Hidrológico Identificados por los Pobladores de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de Solórzano-Murillo, 2008; y de Sánchez-Matías, 2010).

Servicios Ecosistémicos	Categorías	Ejemplos
Provisión	Alimentos Agua dulce	Langostinos y peces

		Consumo humano, riego agrícola y agua para el ganado
Regulación	Regulación climática Regulación del agua. Purificación del agua. Control de erosión.	Clima fresco, brisa y humedad en el aire Control de inundaciones y recarga de acuíferos. Mecanismos para limpiar el agua de río. Retención del suelo por las raíces de los árboles.
Culturales	Recreación y turismo. Estéticos Inspiración Espirituales y religiosos.	Actividades recreativas y turísticas. Belleza escénica (apreciación del paisaje). Historias y leyendas. Tranquilidad
Soporte	Mantenimiento del ciclo hidrológico. Provisión de hábitat.	Relación del agua con la vegetación. Hábitats para peces y langostinos.

5.5 Marcos Legislativos para la Gestión del Agua y el Territorio

Para el manejo sustentable de los recursos hídricos, es indispensable tener presente el papel que juegan las diferentes instituciones gubernamentales y los marcos normativos que rigen a un territorio. De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales, el organismo más relevante es la CONAGUA, quien en la región de la cuenca está representada por el organismo “Lerma-Santiago”, el cual se encarga de asignar las concesiones de agua⁷².

La estructura tan jerarquizada y centralizada de este organismo federal, aunado a la gran diversidad ambiental y social de la región, representa todo un reto operativo para que las diferentes voces puedan ser tomadas en cuenta en la formulación de sus políticas. Aunque dentro del organigrama de esta institución existen los llamados “consejos de cuencas”, cuya finalidad es integrar un comité formado por representantes de los diferentes actores sociales, los mecanismos para tener una participación verdaderamente efectiva son insuficientes^{88,89}.

En la cuenca del río Cuitzmala, esta situación representa una enorme problemática, ya que, aun con la implementación de mecanismos orientados al mantenimiento de los ecosistemas, como es el caso de la protección a los caudales ecológicos, existen aspectos locales que no se visibilizan tan fácilmente. Por ejemplo, aunque una concesión agrícola destinada al mantenimiento de praderas ganaderas puede ser completamente legal y estar dentro de los límites de agua que requiere el caudal ecológico, su asignación implica una potencial deforestación de un área natural. Esta situación terminará impactando negativamente en la hidrología de la cuenca.

En cuanto a las entidades locales (municipios, ejidos y localidades), éstas únicamente tienen injerencia en las concesiones a su nombre (las que surten agua potable a sus

habitantes). En cada municipio, así como en algunos ejidos y localidades, existen comités encargados de la gestión local de este recurso^{78,79}. Dichos comités representan una fuente importante de conocimientos, tanto para la identificación de las problemáticas, como para la ejecución de acciones para el manejo sustentable del agua. Esto último es importante ya que los comités locales de agua suelen dimensionar mejor aspectos cruciales en la gestión del recurso, los cuales, comúnmente, escapan a la mayoría de los pobladores^{76,90}.

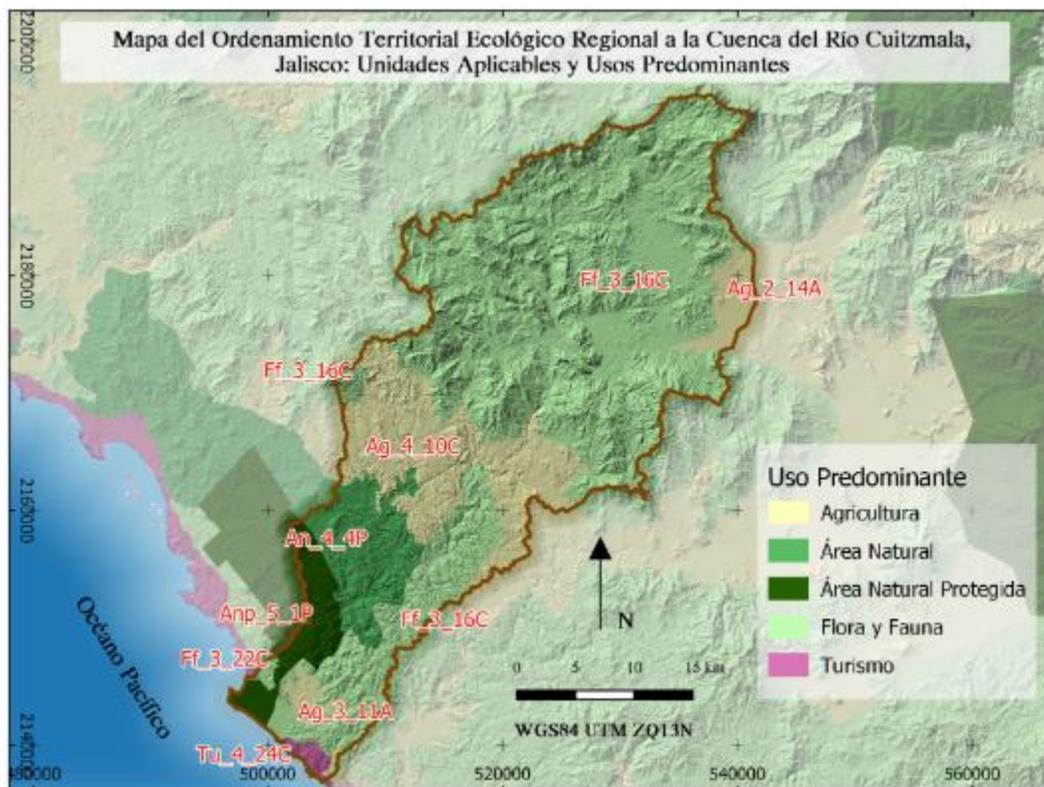


Figura 38 Mapa del Ordenamiento Ecológico Territorial de la Costa Sur de Jalisco, Vigente para la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos del Periódico Oficial, 1999).

Otro de los instrumentos normativos más importantes para la región y la cuenca, es el Ordenamiento Ecológico Territorial^{91,92}. Son dos los programas que operan actualmente, uno a nivel estatal y otro a nivel regional (correspondiente a la Costa Sur de Jalisco). De acuerdo a dichos instrumentos, la mayor parte de la superficie de la cuenca del río Cuitzmala está orientada hacia una política de conservación (84.5%), otro tanto a la protección (11.9%), y el resto al aprovechamiento (3.6%) (Figura 35). No obstante lo anterior, y a pesar de que se encuentran establecidas las actividades conforme a la vocación del tipo de suelo y que éstas son la base de los programas de desarrollo municipal, la falta de programas de ordenamiento en los municipios de la cuenca y a nivel de núcleo agrario, representa un obstáculo para la implementación de actividades productivas diferentes a la ganadería y agricultura^{12,93}.

Si se busca reducir la presión de las actividades ganaderas y agrícolas mediante la diversificación de las actividades productivas, es indispensable impulsar la elaboración de

estos instrumentos a nivel local. Lo anterior se debe a que una actividad que puede estar condicionada o prohibida a una escala regional, podría llevarse a cabo sin ningún problema con base a un instrumento elaborado a una escala más local. De igual forma, y con un efecto contrario, actividades permitidas podrían representar un riesgo al ambiente⁹³.

6 LOS PULSOS Y LAS PRESIONES

En el primer capítulo se abordó la parte biofísica, en donde se recopiló y se generó información acerca de los factores que determinan la estructura y el funcionamiento del ecosistema. En el segundo capítulo se abordó la manera como los procesos ecológicos se relacionan con en la generación de servicios ecosistémicos que la naturaleza brinda a los seres humanos. En el tercer capítulo, se analizaron los efectos que estos servicios ecosistémicos inciden en el bienestar de las poblaciones locales y como estos beneficios inducen estrategias de manejo del ecosistema. Finalmente, y para cerrar el ciclo de manejo adaptativo, en esta sección abordaremos los efectos que tiene la intervención del ser humano mediante “pulsos” o “presiones” sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas durante sus actividades de manejo.

Los “pulsos” son eventos repentinos y de gran magnitud que alteran de manera drástica el funcionamiento de los ecosistemas (e. g. los huracanes). Por su parte, las “presiones” son eventos constantes y de baja magnitud, cuyo efecto acumulativo, poco a poco, va alterando el funcionamiento de dichos sistemas (e. g. la deforestación, la erosión, la descarga de contaminantes en los cuerpos de agua³⁵, etc.).

En la Tabla 18 se muestran los diferentes pulsos y presiones identificados para la cuenca del río Cuitzmala. En la primera parte de este capítulo, se tendrá acceso a la información relacionada a la incidencia de eventos de precipitación extrema. Los cuales, a pesar de ser un fenómeno al que los ecosistemas y las comunidades locales se han ido adaptado, el incremento de su intensidad y frecuencia registrado en los últimos años, pone en riesgo la capacidad de recuperación del socioecosistema en conjunto^{94,95}. Es especialmente en la parte baja de la cuenca, en donde los huracanes impactan con mayor intensidad y en donde se localizan las zonas con mayor riesgo de inundación.

En la sección de las políticas públicas, se abordará la manera en que éstas, a niveles federal y estatal, han impactado al cambio de uso de suelo y la cobertura vegetal en la cuenca. Entre los sucesos a destacar y que se revisarán en esta sección, están: las políticas erróneas que, sin reconocer los servicios ecosistémicos, inducían y apoyaban a los ejidatarios a desmontar la selva con la idea de recuperar “tierras ociosas” (política que ocasionó la mayor tasa de deforestación registrada para la zona; la implementación del ordenamiento territorial de la costa sur a finales de siglo, quien puso un freno a la devastación forestal; y el impulso al turismo de la última década^{11,14}.

Posteriormente se hablará sobre los efectos de contaminación de los cuerpos de agua, con base a dos estudios realizados; uno referente a la calidad²⁹ y otro al uso de agroquímicos²⁸. En el primero caso, se mostrará el efecto de los asentamientos humanos en el cauce principal, en donde se destaca el efecto de la temporada seca en algunos parámetros fisicoquímicos, y en el incremento de nutrientes y bacterias²⁹. Respecto al segundo caso²⁸,

se tendrá acceso a la información relacionada con el uso de plaguicidas, donde se muestra cuáles son utilizados sin autorización, en mayor cantidad y la manera en que se distribuyen a lo largo de los ríos y arroyos.

En la tercera sección se abordará el tema de la erosión de los suelos. Se comenzará mostrando los resultados de un estudio realizado a nivel de parcela, donde se ponen a prueba las principales prácticas de manejo de la región⁵⁹. Los estudios muestran la manera en que la vegetación protege al suelo, así como el incremento en la erosión, de hasta cien veces, que generan los principales tipos de cultivos, así como las medidas más óptimas de reducción o mitigación de erosión. Posteriormente se muestran los resultados de un modelo de erosión realizado para la cuenca del río Cuitzmala, en el cual se destaca el alto riesgo que existe en casi el 50% de su superficie.

Para finalizar, se revisará lo referente a los cambios de uso de suelo y de la cobertura vegetal, tomando como base la información de algunos estudios regionales^{55,96}, así como del registro histórico de la cobertura vegetal elaborado por el INEGI^{22,54,97-100}. En esta parte del capítulo, se abordará la similitud que tienen los procesos de cambio documentados para la región, con los registrados en la cuenca. Siendo la degradación y la deforestación de los bosques tropical para el cultivo de pastos, los dos principales procesos de cambio (ambos incrementando drásticamente en los años noventa y estabilizándose en la última década.

Tabla 18 Pulsos y Presiones Identificados en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Evento	Origen	Tipo de dinámica	Descripción
<i>Precipitación extrema</i>	Externo	Pulso	A pesar de que forman parte de la dinámica hidrológica de la cuenca, son eventos cuya magnitud e incidencia es difícil de predecir.
<i>Políticas federales/estatales</i>	Externo	Pulso	Dado que éstas responden a los intereses de los gobiernos en turno, son eventos sumamente impredecibles, tanto en sus objetivos como en sus efectos.
<i>Descarga de aguas residuales</i>	Internos	Presión	Son una presión constante de los asentamientos humanos, con efectos predecibles e independientes de la temporalidad.
<i>Uso de agroquímicos</i>	Internos	Pulso	Si bien su uso es limitado (dadas las características de las actividades en la cuenca), es difícil predecir su aplicación y sus efectos, ya que estos pueden cambiar año con año, dependiendo del capital disponible y de las ofertas en el mercado.
<i>Erosión hídrica</i>	Internos	Presión	Aunque se agrava durante la incidencia de eventos de precipitación extrema, es un proceso acumulativo a lo largo del año, relativamente fácil de monitorear y predecir.
<i>Cambio de uso de suelo</i>	Internos	Presión	Dependen del tipo de políticas que estén en vigor, sin embargo, son de tendencia acumulativa y de distribución predecible.
<i>Debilidad en políticas locales</i>	Internos	Presión	Su ausencia favorece el efecto de las políticas externas.

6.1 Los Eventos de Lluvia Extrema

Las lluvias extremas (>50mm en un solo evento de precipitación), producto de los huracanes, son eventos comunes a lo largo de todo el pacífico mexicano. Dado que el agua es uno de los factores más importantes que controlan el funcionamiento de los ecosistemas en esta región, el entendimiento de dichos procesos es un elemento clave para el manejo sustentable de los recursos naturales. Gracias al monitoreo de la precipitación realizado por más de treinta años en la estación de Chamela, se ha caracterizado ampliamente la manera en que dichos eventos inciden sobre los bosques tropicales secos¹⁵.

La frecuencia con que estos eventos ocurren en dichos bosques a lo largo del año es sumamente baja, de cien eventos de precipitación únicamente siete llegan a ser catalogados como extremos. Sin embargo, son estos los que aportan la mayor cantidad del agua que ingresa a estos ecosistemas. En promedio, el 41.6% del agua que ingresa anualmente es aportada por este tipo de lluvias⁴⁰ (Figura 39).

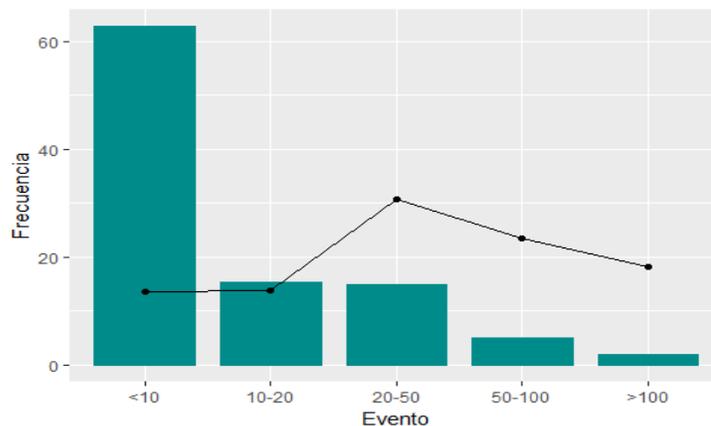


Figura 39 Frecuencia de Ocurrencia de los Eventos de Precipitación. La Línea Negra Representa el Porcentaje de Aporte de Agua (Modificado de Maass et al. 2018).

El sitio puntual de monitoreo de estos eventos se localiza en la periferia, a unos cuantos kilómetros de la cuenca del Río Cuitzmala. Sin embargo, la precipitación es un fenómeno regional, lo cual, aunado a la presencia de características biofísicas del sitio de monitoreo muy similares en la cuenca (*i.e.*, el clima subhúmedo, la amplia extensión de los bosques tropicales secos, la dominancia de rocas de granito y de suelos regosoles, etc.), nos permiten extrapolar dicho patrón de eventos a la zona de estudio.

Tal como lo demuestran los valores encontrados en los diferentes parámetros relacionados a la forma de la cuenca; los eventos de precipitación extrema han sido frecuentes a lo largo de la historia de la cuenca. Muchas de sus características hidrológicas (*e. g.*, la estructura del drenaje, el tipo de erosión, el tiempo de escurrimiento, etc.) se encuentran estrechamente relacionadas con la ocurrencia constante de estos eventos⁶².

El ejemplo más evidente de la adaptación de los organismos de la cuenca ante este tipo de lluvias, se encuentra en la respuesta que suele tener la vegetación. Luego de ser impactada

por eventos de lluvia extrema, la selva tiende a recuperarse en periodos de tiempo relativamente cortos (unos cuantos meses o años, dependiendo de la frecuencia e intensidad de las lluvias posteriores)^{39,101}.

De la misma forma en que los ecosistemas se han adaptado ante la incidencia de estos eventos extremos, las comunidades rurales que viven en la cuenca también han desarrollado estrategias que les permitan hacerles frente. Estas van desde la manera en que construyen sus viviendas (la forma y el tipo de materiales), los lugares que eligen para habitar, sus sistemas de producción, etc¹⁰².

Ante el incremento observado en la intensidad y la frecuencia con que los huracanes impactan en la región, esta capacidad del socioecosistema para resistir y recuperarse a eventos extremos, producto de un proceso complejo y milenario de adaptación, se encuentra en riesgo^{40,101,103-105}. Así mismo, la disminución del tiempo que transcurre entre un evento y otro, ocasiona que las comunidades tengan que lidiar con nuevos eventos extremos, cuando todavía no se han recuperado del anterior.

Estos eventos extraordinarios tienen una gran repercusión en toda la cuenca, sin embargo, el grado de incidencia es distinto para cada zona funcional. Sin lugar a dudas, la parte baja es la más vulnerable, pues es en el litoral donde los vientos suelen impactar con mayor violencia. Además, es sobre esta parte baja en donde se da el mayor potencial de inundación y es, precisamente, en donde convergen dos de las localidades con mayor número de habitantes de la cuenca: Francisco Villa y Emiliano Zapata (Figura 40 y 41).

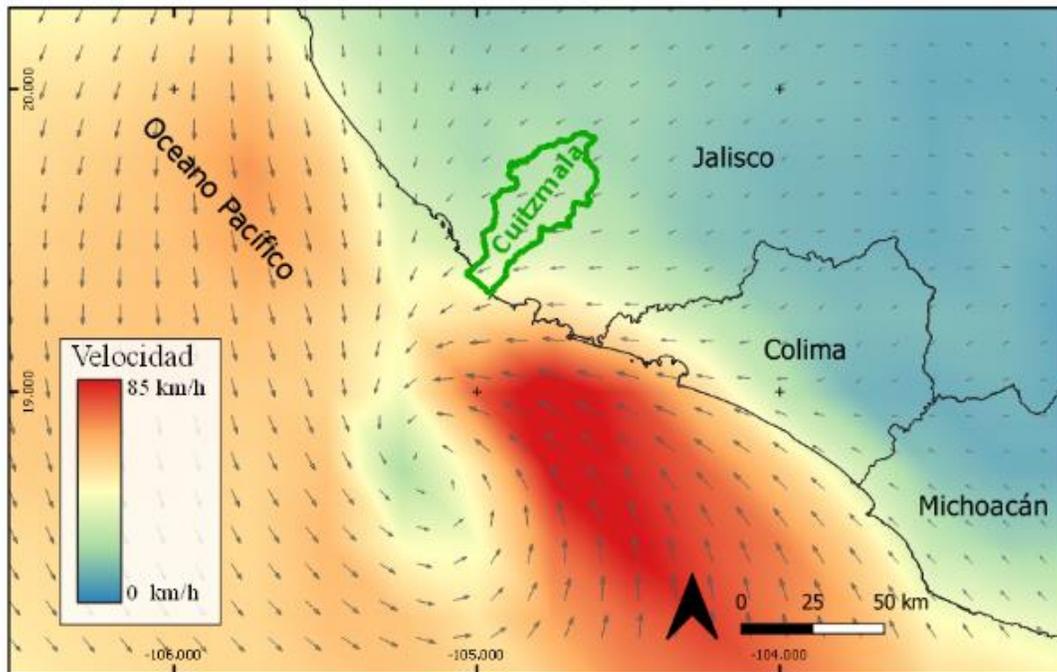


Figura 40 Impacto del Huracán Patricia en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Copernicus. 2015).

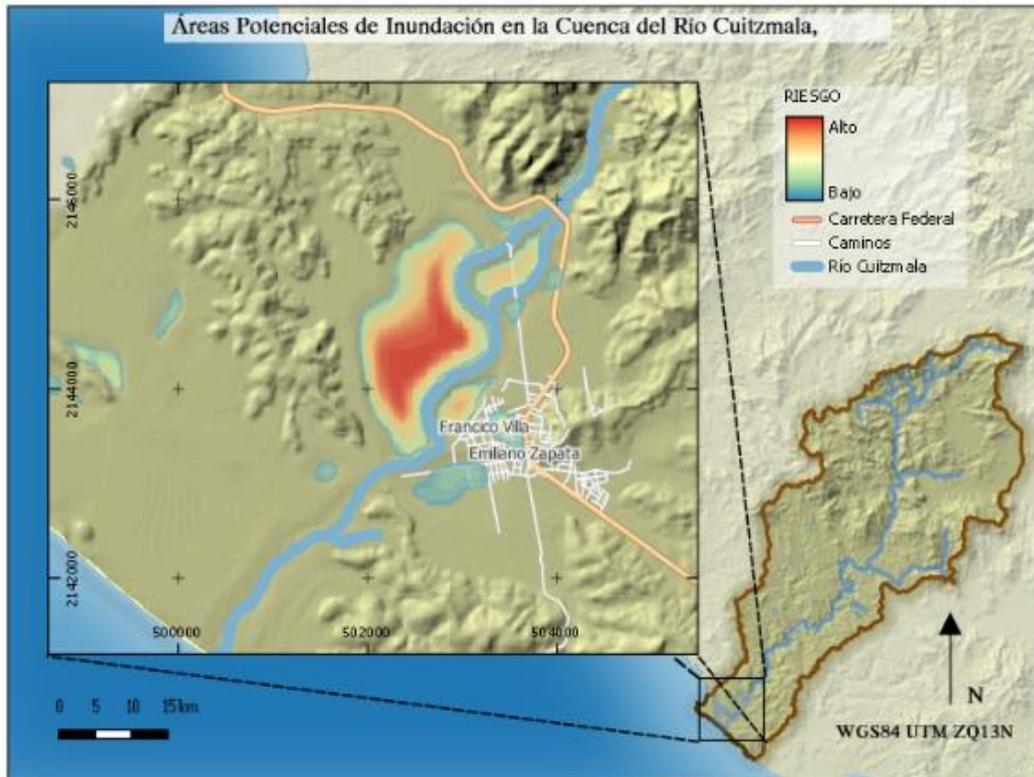


Figura 41 Áreas Potenciales de Inundación de Acuerdo a las Depresiones del Relieve, en la Desembocadura de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 2010).

6.2 Políticas Públicas Externas

Otro factor externo que ha modificado la composición ecológica de la cuenca son las políticas públicas que se han implementado en la región desde mediados del siglo pasado. Tal como lo ha documentado Tello¹⁻³, cada una de estas estrategias ha respondido a los intereses particulares del gobierno federal en turno. Estas fueron orientadas principalmente para promover la colonización de la zona, incluyendo el impulso a la agricultura, el fomento a la ganadería y el desarrollo turístico (Tabla 19).

Más adelante se abordará con detalle lo relacionado al cambio de uso de suelo, aquí sólo abordaremos el impacto de las políticas públicas en la cuenca. Los primeros fenómenos de transformación de la cobertura vegetal comenzaron a observarse, de manera significativa, desde las primeras migraciones en los años 50's. Nuevos asentamientos se promovieron posteriormente con la construcción de la carretera federal 200 en los años 70's. Para los años 80's, a pesar de que la cuenca aún contaba con una cubierta forestal del 80%; el 43% de esta superficie ya presentaba claras evidencias de degradación⁹⁷.

A principios de los 90's, en la antesala del Tratado de Libre Comercio (TLC), la superficie forestal ya se había reducido a un 72.5 %, derivado de un incremento de las zonas agrícolas y de praderas ganaderas, las cuales pasaron a ocupar el 9% y 15% de la superficie total, respectivamente⁹⁸. Esta situación terminaría por agravarse, una vez entrado en vigor el TLC. Para inicios de este siglo, el saldo de esta política neoliberal que impulso la ganadería

de la región, resultó: en una reducción de la cubierta forestal a un 66% de la superficie total (de las cuales, dos terceras partes ya habían sido degradadas); en la duplicación de las áreas destinadas a la ganadería extensiva; y en la disminución de las zonas agrícolas (las cuales pasaron a ocupar tan solo el 2.3% del territorio)¹⁰⁰.

Tabla 18 Políticas Públicas con Mayor Relevancia en la Costa Sur de Jalisco (Autoría propia con datos de Tello-Díaz, 2012 y 2014).

Tipo de política	Periodo	Características y efectos
<u>Colonización (La Marcha al mar)</u>	50´s	Movimiento de poblaciones desde el altiplano a la costa, generando transformación de bosques y selvas a zonas agrícolas.
<u>Desarrollo de infraestructura</u>	70´s	Construcción de la carretera federal N° 200, lo que incrementó la migración a la costa, incluyendo un primer impulso (fallido) al desarrollo turístico.
<u>Desarrollo económico (neoliberalismo)</u>	90's	Impulso a la ganadería en el contexto del TLC (periodo de mayor devastación forestal para la implementación de praderas ganaderas).
<u>Ordenamiento Ecológico Territorial</u>	Finales de los 90´s	Freno a la tasa de cambio de uso de suelo y deforestación. Algunas de sus restricciones causaron descontento en parte de la población local y condicionaron las actividades productivas.
<u>Impulso al desarrollo turístico</u>	2010´s	Lo que ha desencadenado disputas por el uso y acceso al agua, ocasionado el desplazamiento de comunidades.

Como una respuesta a los problemas ambientales que surgieron con dicha política económica, en el año de 1999 entró en función el primer instrumento de ordenamiento ecológico territorial⁹¹. El cual, a pesar de sus innumerables críticas respecto a los criterios técnicos y a la escasa participación ciudadana, redujo considerablemente la tendencia de cambio de uso de suelo en la cuenca. En lo que va del siglo, se ha mantenido el mismo porcentaje de la cubierta forestal (66%) y la superficie de praderas ganaderas (luego de un periodo en el que se duplicaron) solamente se incrementó en un 11% (pasando de ocupar el 30% al 34% del total del territorio)^{99,106}.

Siendo el agua la principal limitante que ha habido a lo largo de la historia para el desarrollo de esta actividad en la región, y a pesar de que en la actualidad los últimos reportes de cobertura vegetal elaborados por el INEGI reflejan una regeneración forestal sobre praderas ganaderas abandonadas¹⁰⁷, la presión sobre es esencial recurso natural, continua aumentando. El principal responsable ha sido el impulso al desarrollo turístico, actividad que, como es sabido, demanda grandes cantidades de agua^{11,14}. Para el caso de la cuenca, esta actividad es la que mayor cantidad de agua utiliza, la cual es extraída, en su totalidad, de fuentes subterráneas^{11,14}.

6.3 Contaminación de los Cuerpos de Agua

Como es sabido, el aprovechamiento del agua implica una transformación de sus propiedades (dependiendo del tipo e intensidad de su uso), lo cual termina repercutiendo en la calidad de los cuerpos de agua en donde se vierten o descargan las aguas residuales⁶⁸. Por tales motivos, la evaluación de la calidad del agua en aquellos lugares de la cuenca influenciados por las actividades humanas, es un aspecto fundamental para poder establecer estrategias de mitigación y reducción de la contaminación en dichos cuerpos de agua¹⁰⁸.

a) Contaminación de las Actividades Humanas en los Cuerpos de Agua

En la temporada de lluvias de 2010 y secas de 2011, Vaca-Velasco³⁹ realizó un estudio en las localidades de La Eca, San Miguel y Francisco Villa, para poder evaluar la influencia que tienen los asentamientos humanos sobre la calidad del agua en la cuenca. Inició, con la evaluación de la comunidad de La Eca, a la cual tomó como referencia de buena calidad, dada su cercanía con las partes más altas (en donde nace el río), para después comparar estos valores con el de los sitios localizados a la entrada, al centro y a la salida de las otras localidades (Figura 42).

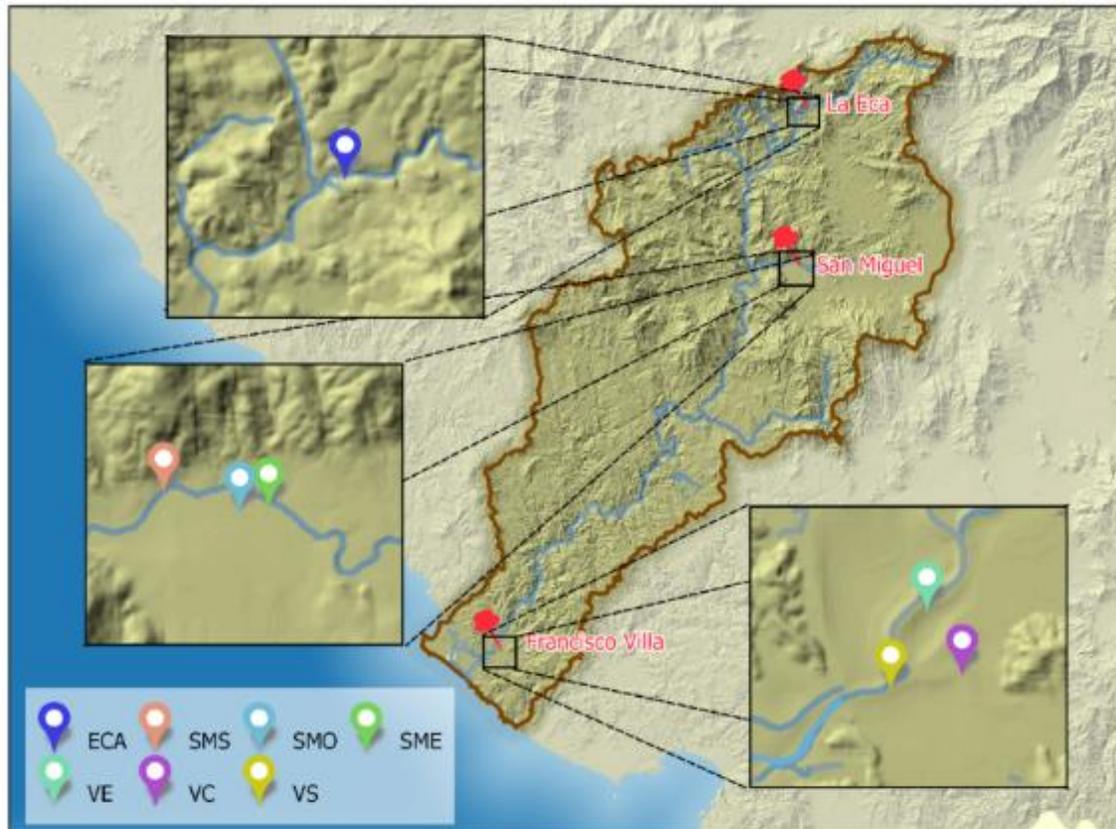


Figura 42 Mapa de los Sitios Estudiados para Evaluar el Efecto Antrópico en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de Vaca-Velasco, 2012).

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos, el autor destaca el descenso en los valores del pH, conductividad y oxígeno disuelto durante la época de secas, lo cual es atribuido a un efecto de concentración de elementos (.e.g., sales, materia orgánica, etc.) y a un incremento de la actividad microbiana, ocasionado por el descenso en el nivel de los ríos. Este descenso, también se encuentra relacionado con el incremento en la cantidad de los sólidos disueltos en la parte media (San Miguel) y baja de la cuenca (Francisco Villa), mismos que indican un potencial de retención mayor de contaminantes durante esta época del año (Figura 43).

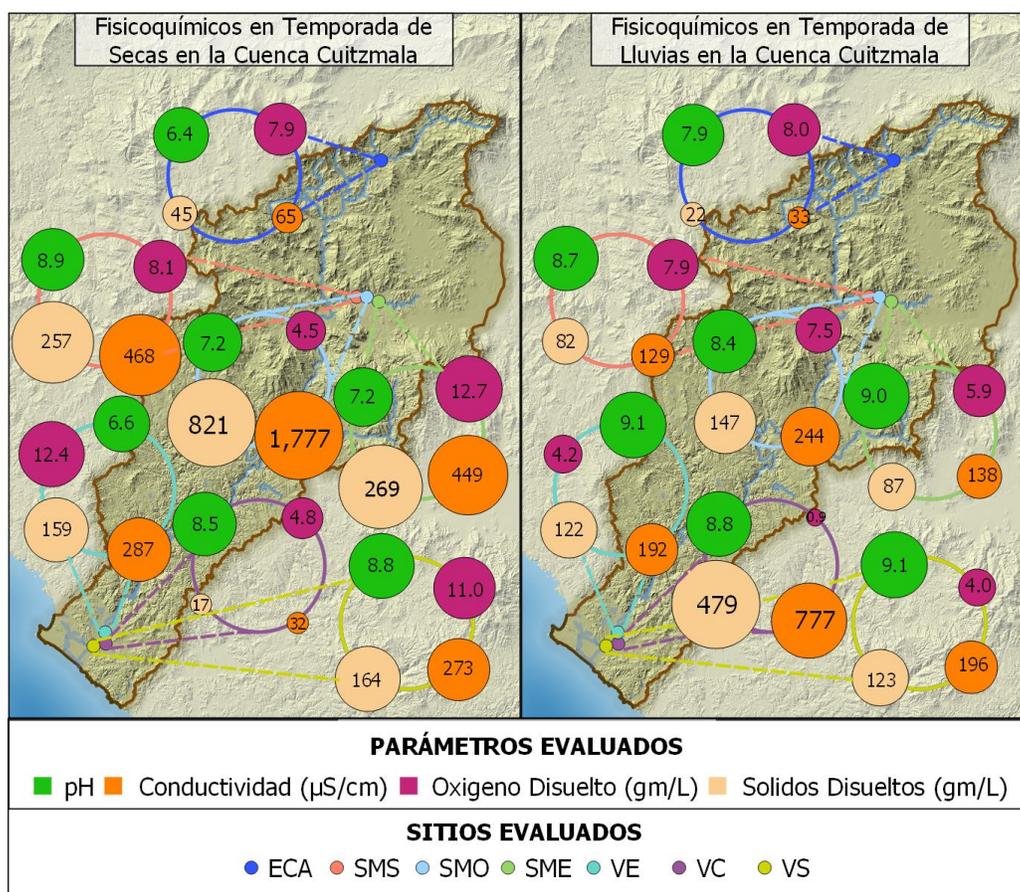


Figura 43 Parámetros Fisicoquímicos de la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia con datos de Vaca-Velasco, 2012).

En lo que al contenido de nutrientes se refiere, destaca que parámetros como el fósforo y el nitrógeno se reportaron por debajo de los intervalos aceptables, sin embargo, otros, como el amonio y los nitratos, tienen valores que rebasan lo recomendado. Al parecer, estos nutrientes están relacionados con las actividades ganaderas. Por su parte, el exceso de ortofosfato podría estar relacionado con el uso de detergentes y de agroquímicos, mientras que el incremento de carbono total en las secas, en especial en la cuenca media, se deriva del aumento en la actividad microbiana, ocasionada por el descenso del río y por el uso de agroquímicos en las zonas de agricultura intensiva aledañas a la localidad (Figura 44).

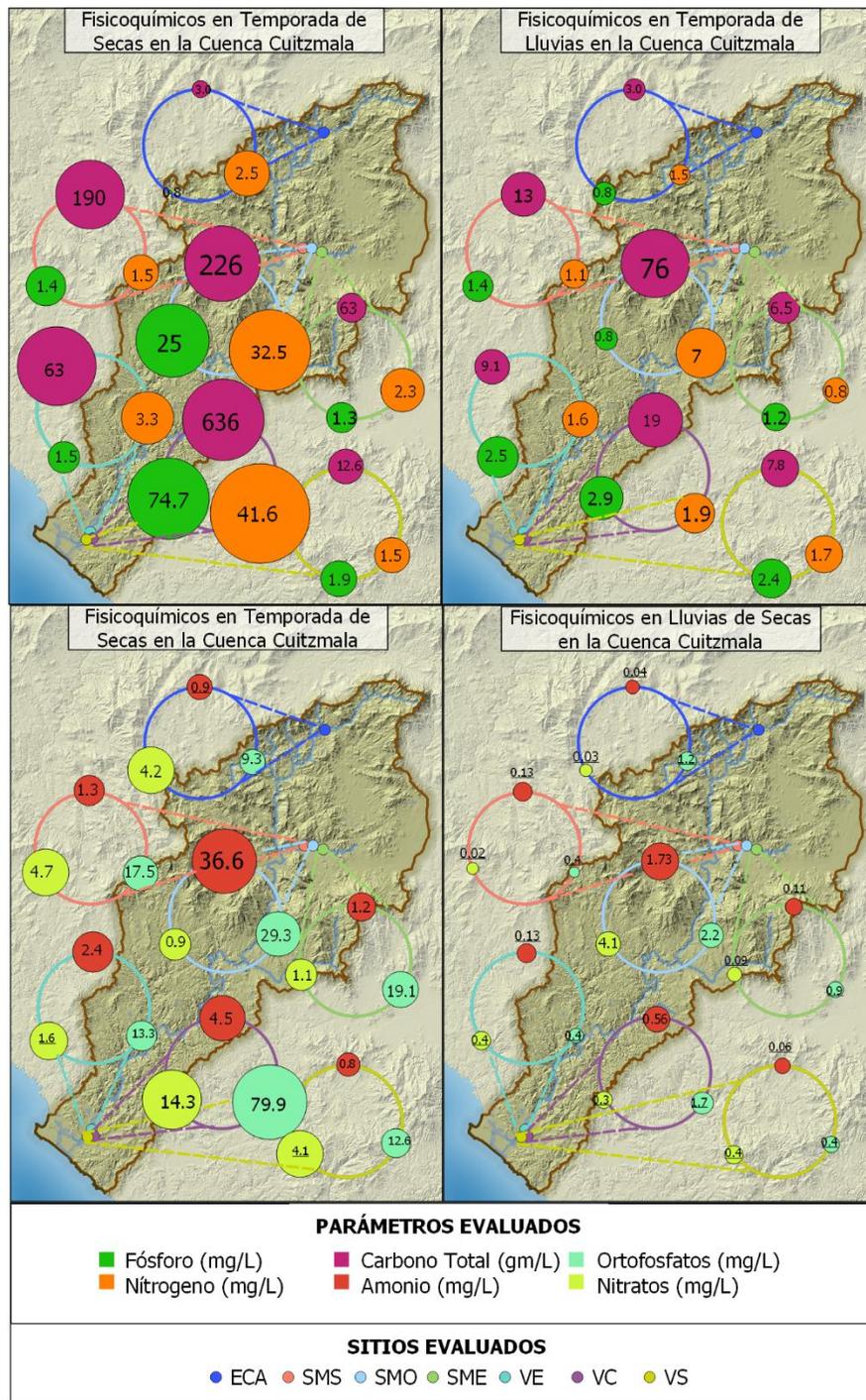


Figura 44 Parámetros del Contenido de Nutrientes de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Vaca-Velasco, 2012).

Los parámetros en los que se aprecia con mayor claridad los efectos de las actividades humanas son los de tipo bacteriológico. Tanto en la parte baja y media de la cuenca, los sitios evaluados al centro de las localidades tienen valores por encima de los límites permitidos. El bajo valor en la relación entre coliformes y enterococos fecales en la parte media (CF/EF <1), refleja una contaminación por las heces humanas. De igual forma, el alto cociente en la parte sur (CF/EF=371) refleja una contaminación por heces del ganado. En general, el número de enterococos es alarmante y tiene una fuerte influencia estacional; en la época de secas, en la parte media de la cuenca, se concentran debido a las actividades humanas. En las lluvias, estos microorganismos se concentran en la parte baja de la cuenca, en gran medida, por el arrastre de las heces del ganado en toda la cuenca (Figura 45).

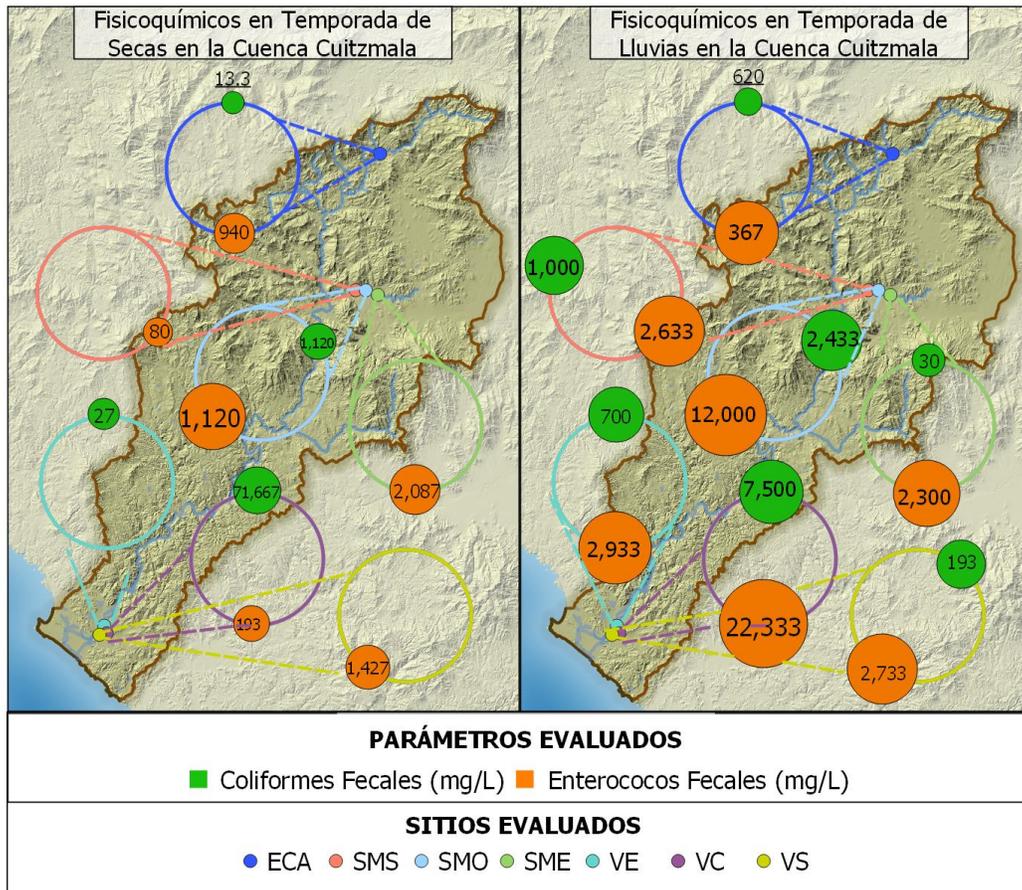


Figura 45 Parámetros Bacteriológicos de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos Vaca-Velasco, 2012).

b) El Uso de Pesticidas en la Cuenca

El uso de pesticidas para el control de plagas es algo común sobre las zonas de cultivos en la costa sur de Jalisco, cuyo uso indiscriminado, en algunos sitios, ha ocasionado el reporte de severos problemas a la salud y al medio ambiente. A pesar de que la cuenca presenta una actividad agrícola relativamente baja, en comparaciones a otras zonas aledañas, los reportes en diversos trabajos donde se han entrevistado a campesinos y ganaderos indican el uso ocasional de estos productos agroquímicos a lo largo de la cuenca⁸⁷ (Figura 46).

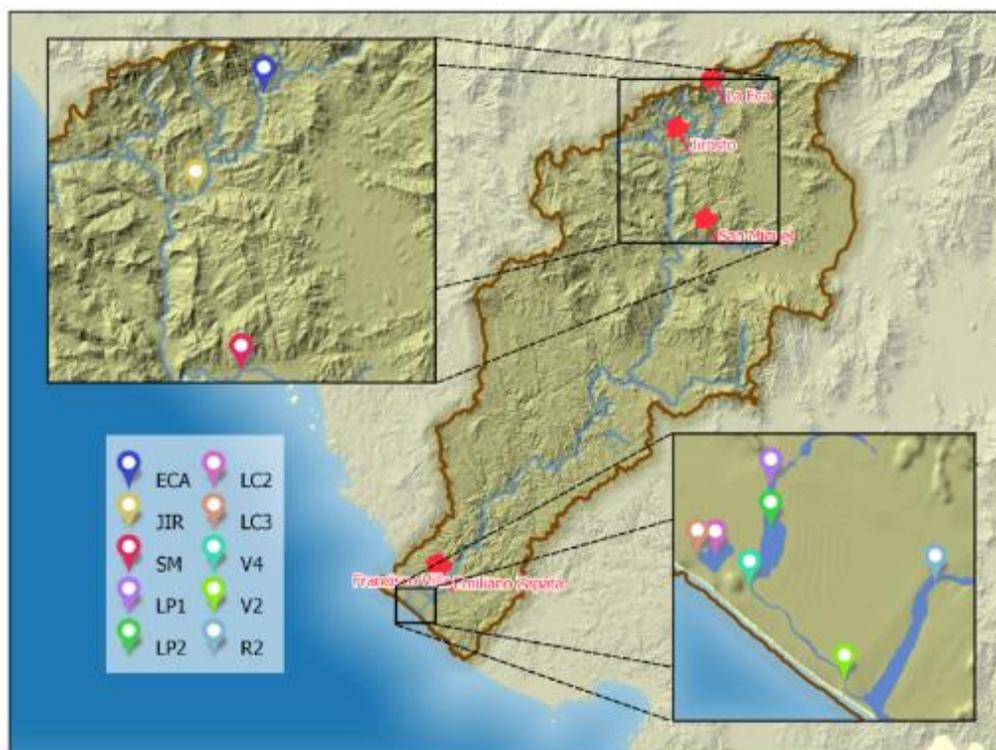


Figura 46 Mapa de los Sitios Evaluados Para la Identificación de Praderas Ganaderas en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Monsiváis-Molina, 2012).

Esta situación reportada, aunada el desconocimiento de los efectos y riesgos del uso de dichos productos en el medio ambiente de la cuenca; motivó a Monsiváis-Molina (2012) a realizar un estudio para identificar la cantidad de pesticidas utilizados en diferentes regiones de la cuenca. El trabajo se realizó durante el periodo de secas y lluvias del 2010, y fue acotado a los plaguicidas organoclorados y organofosforados. Los primeros, debido a su larga permanencia en el ambiente y, los segundos, por ser los de mayor consumo en el país²⁸.

El estudio arrojó como resultado, la presencia de 17 plaguicidas organoclorados y 5 organofosforados (Tabla 20). Entre estos se localizaron, dos catalogados como prohibidos (dieldrín y endrín); uno de uso suspendido (DDT); dos restringidos (lindano y metoxicloro); y uno no autorizado (heptacloro). Las mayores concentraciones se registraron, en mayor cantidad y diversidad, en los humedales localizados dentro del área de la reserva.

Tabla 19 Plaguicidas Evaluados (Modificado de Monsiváis-Molina, 2012).

Organoclorados		Organofosforados
α -HCH	heptacloro	etoprofos
β -HCH	heptacloro epóxido	malatión
γ -HCH	α -endosulfán	metil paratión
δ -HCH	β -endosulfán	diazinón
DDT	sulfato de endosulfán	
DDE		
DDD		
metoxicloro		
dieldrín		
endrín		
endrín aldehído		
endrín cetona		

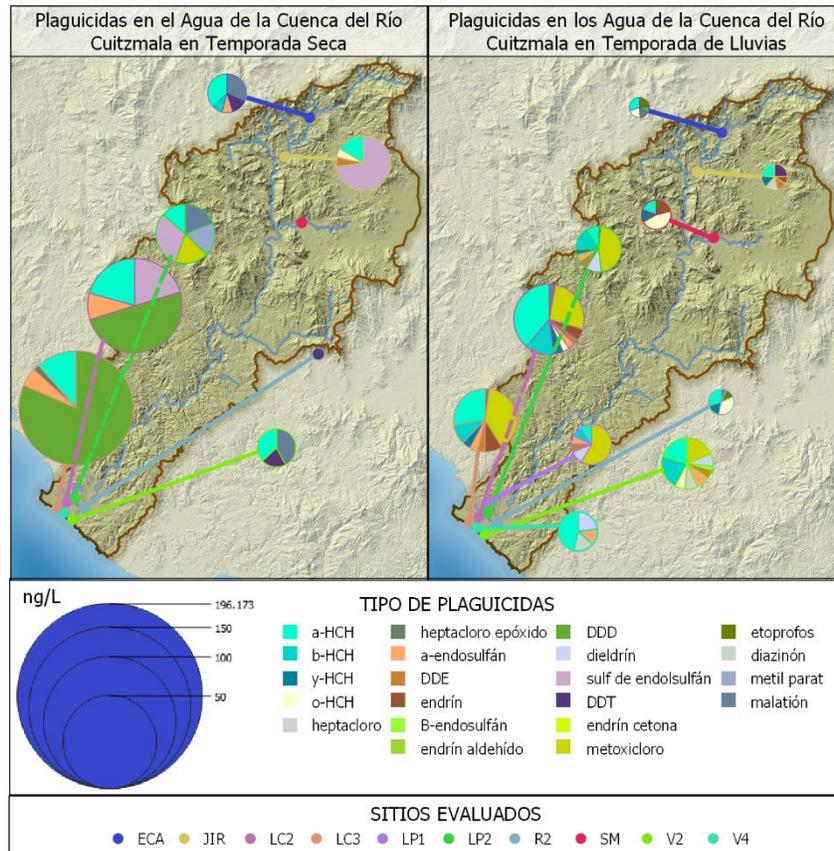


Figura 47 Contenido de Plaguicidas en el Agua dentro de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de Monsiváis-Molina, 2012).

En el caso del lindano y el heptacloro, su concentración corresponde a un valor que indica un uso antiguo (>15 años). Por su parte, el dieldrín y el metoxicloro presentan valores bajos, lo que quiere decir que son poco utilizados. Únicamente el malation y el DDT presentan concentraciones que pueden llegar a comprometer al medio ambiente y a la salud de la población. Las concentraciones en el caso de este último son una evidencia de un exceso de uso, aun tiempo después de su fecha de prohibición.

En el caso de los compuestos contenidos en el agua, la mayor cantidad se encontró durante la temporada de secas, mientras que la mayor diversidad se presentó durante las lluvias. En las secas los pesticidas más comunes son el DDD, α -HCH, sulfato de endosulfán y malatión, mientras que en las lluvias lo son el α -HCH, el metoxicloro, el β -HCH y el δ -HCH (Figura 47). Respecto a los contaminantes presentes en los sedimentos, contrario al caso del agua, la mayor cantidad y diversidad se presentó durante las secas, siendo el heptacloro el compuesto con mayor concentración a lo largo del año (Figura 48).

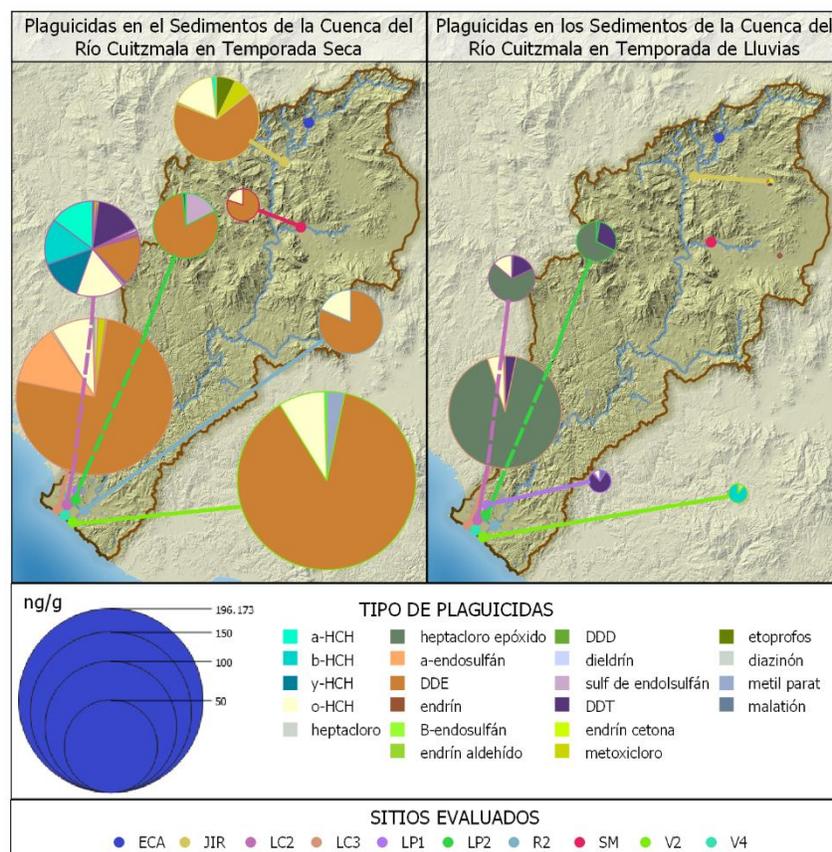


Figura 48 Contenido de Plaguicidas en Sedimentos dentro de la Cuenca del Río Cuitzmalá (Autoría propia con datos de Monsiváis-Molina, 2012).

Tomando como referencia estos dos estudios, se puede considerar que la cuenca del río Cuitzmalá tiene una calidad de agua moderadamente buena, a pesar de los efectos de las actividades humanas. Esta situación responde a la alta capacidad de “depuración” que tiene

los cuerpos de agua, propiedad derivada de las características de su red de drenaje y de la temporalidad de las lluvias.

Durante la época de secas, los contaminantes tienden a acumularse en el agua y en los sedimentos. Es en esta temporada cuando se acentúan las concentraciones de algunos nutrientes (como el fósforo y el nitrógeno), así como de bacterias patógenas y de agroquímicos (pesticidas). Una vez que comienzan las lluvias, estos contaminantes se diluyen. La incidencia de eventos de precipitación intensos, haciendo ingresar un gran volumen de agua en un periodo de tiempo corto, aunados a la morfometría de la cuenca que drena rápidamente su flujo al mar, funcionan como un depurador natural que ocurre año con año.

6.4 La Erosión Hídrica

El impacto de las gotas de lluvia directamente sobre la superficie del suelo sin cobertura vegetal, suele ocasionar el desprendimiento de las partículas, las cuales pueden tapan los micro poros del suelo, reduciendo su capacidad de infiltración. Así mismo, habiendo una pendiente, el suelo puede ser arrastrado desde las partes altas de la cuenca hacia las zonas de depósito en las partes bajas, por efecto de la escorrentía. A este fenómeno de pérdida de suelo se le conoce como erosión hídrica, y aunque es un proceso que ocurre de manera natural, su intensidad cambia en función de factores como el relieve, el tipo de cubierta vegetal, el desarrollo de los suelos y las actividades humanas^{44,109}.

La ejecución de distintas políticas de desarrollo en la costa sur de Jalisco, ha ocasionado la transformación de gran parte del territorio hacia el establecimiento de zonas de agricultura y praderas ganaderas^{55,96}. Esta pérdida de la cobertura vegetal, aunada a otros factores de la región (e.g. la incidencia de huracanes, lo accidentado del relieve y el escaso desarrollo de los suelos), ha desencadenado un serio problema de erosión en la misma^{40,56,58,59}.

Ante esta situación, Maass y colaboradores⁵⁹, a mediados de los 80's se dieron a la tarea de evaluar la pérdida de suelo de las prácticas de manejo llevadas a cabo en los principales sistemas productivos: el cultivo de pastos (Guinea y Buffel) y de maíz. Evaluando también la efectividad del uso de prácticas de control como, la utilización del mantillo y el rastrojo de maíz, y el uso de franjas de pasto de 3m y 10m de ancho debajo de los campos de maíz. El trabajo se realizó durante dos periodos distintos, un año en el que la precipitación fue de 820mm, y otro menos lluvioso de 670mm. Entre los principales resultados, se documentó la enorme importancia que tiene el bosque tropical seco para controlar la erosión, ya que en los sitios conservados los valores de erosión fueron prácticamente nulos, independientemente de la intensidad de las lluvias. Caso contrario a lo ocurrido en los sitios con cultivos de maíz y pasto, donde la erosión llegó a ser hasta 100 veces mayor, presentándose valores hasta tres veces más grandes en el año más lluvioso, en comparación con el otro de menor precipitación (Figura 49).

Respecto a las practicas evaluadas para reducir la erosión, estos autores mostraron que el recubrimiento del suelo con hojarasca (mantillo) o residuos de cultivo (rastrojo), resultó ser muy efectivo. Los otros tratamientos (las franjas estabilizadoras de pasto de 3m y 10m bajo los cultivos de maíz), no presentaron un efecto tan marcado (Figura 49).

Sin duda, los trabajo realizado a nivel de parcela son un referente para el estudio e implementación de estrategias en la reducción de la erosión en los bosques tropicales secos a escalas locales. Sin embargo, en un territorio con características más heterogéneas y de mayor extensión, como la cuenca del río Cuitzmala, es necesario implementar otro tipo de modelos para poder evaluar la magnitud de esta problemática a escala de toda la cuenca.

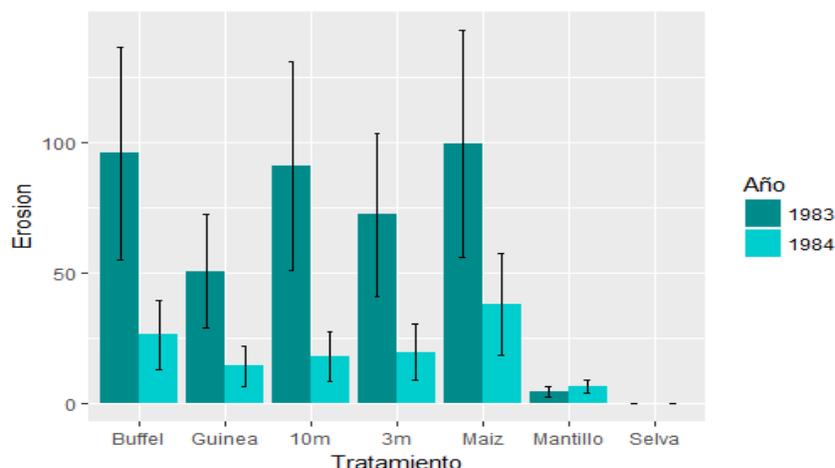


Figura 49 Erosión del Bosque Tropical Seco Bajo Diferentes Condiciones de Manejo. Erosión en: ton ha⁻¹ año⁻¹ (Modificado de Maass et al., 1988).

Con la idea de expresar la ocurrencia del fenómeno a nivel de la cuenca del río Cuitzmala, en el presente trabajo se realizó una modelación utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo, conocida como RUSLE¹⁰⁹. Este modelo tiene como ventaja principal el uso de información geográfica de diversos tipos (precipitación, relieve, cobertura vegetal y tipos de suelos) que hoy en día se obtiene y genera con relativa facilidad. Sin embargo, no tienen una verificación en el campo, por lo que los resultados deben ser considerados más en un sentido de riesgo de erosión, que como un valor absoluto (Figura 50).

Tabla 20 Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

Riesgo de erosión	Superficie	Pérdida (aproximada)	Características
<u>Muy alto</u>	26%	>200 ton ha ⁻¹ año ⁻¹	Zonas de vegetación degradadas o deforestadas; pendientes de 13° - 25°
<u>Alto</u>	29%	50-200 ton ha ⁻¹ año ⁻¹	Zonas de vegetación degradadas o deforestadas; pendientes de 8° - 19°
<u>Moderado</u>	13%	10-50 ton ha ⁻¹ año ⁻¹	Zonas de vegetación degradadas o deforestadas; lomeríos con pendientes de 4.5° - 13°

<u>Ligero</u>	5%	2-10 ton ha ⁻¹ año ⁻¹	Zonas de vegetación conservada; lugares planos con pendientes < 4.5°
<u>Nulo</u>	27%	0-2 ton ha ⁻¹ año ⁻¹	Zonas de vegetación conservada

De acuerdo a dicho modelo, en la cuenca existe un riesgo de pérdida de suelo de aproximadamente 15 millones de toneladas anuales, lo que equivale a un promedio de 136 ton ha⁻¹ año⁻¹. El fenómeno presenta múltiples variaciones a lo largo y ancho de la cuenca, observándose como principales factores de influencia a las condiciones del relieve (el grado y la longitud de la pendiente) y los sitios de mayor precipitación. Así mismo, se destaca un efecto considerable de la vegetación únicamente en aquellos sitios mejor conservados.

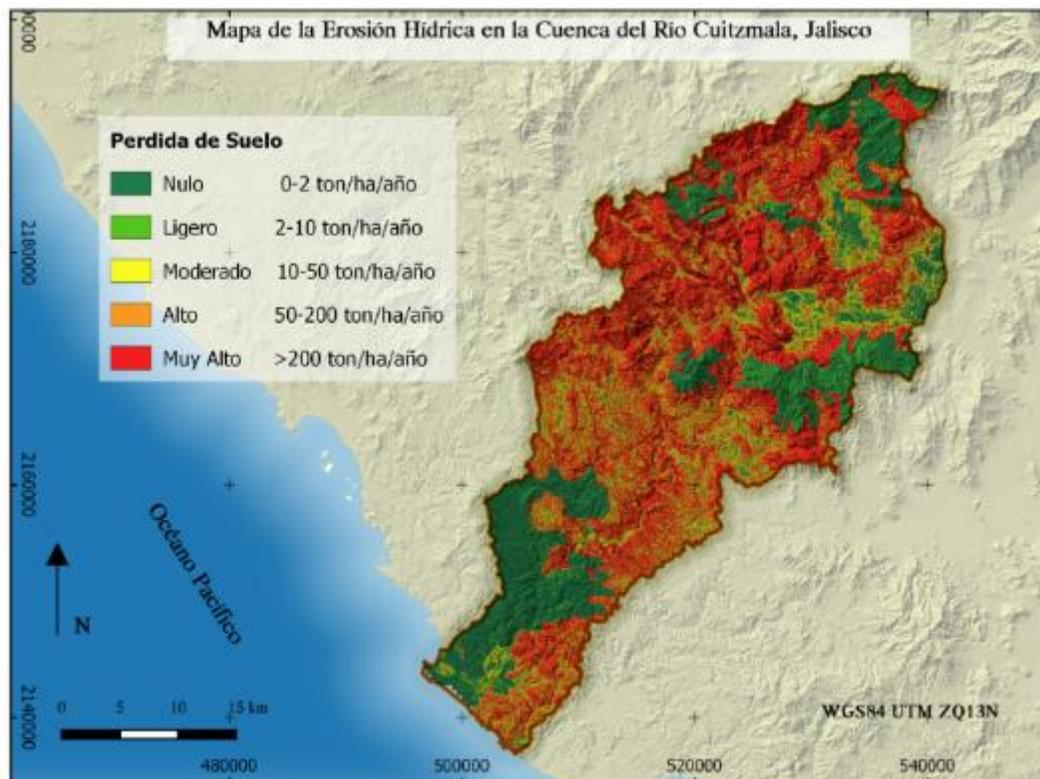


Figura 50 Mapa de Riesgo de Erosión Hídrica de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

6.5 El Cambio de la Cubierta Vegetal y los Usos de Suelo

Tal y como se mencionó en la sección de políticas públicas, el cambio de la cubierta vegetal y del uso de suelo en la región de la costa sur de Jalisco, ha sido consecuencia de las estrategias de desarrollo implementadas por los distintos gobiernos federales desde hace más de 70 años². Por ende, estudiar la manera en que se han desarrollado estos cambios es crucial para entender las condiciones actuales de la región e, inclusive, inferir el efecto futuro que puede tener la implementación de diferentes tipos de políticas.

En años recientes se han realizado diferentes trabajos a este respecto para evaluar los cambios a la cobertura vegetal, en conjunto con los factores sociales asociados. Tal es el caso de Flores-Casas en el 2015⁹⁶ y el de Kolb y colaboradores, en el 2018⁵⁵. Ambos trabajos coinciden en que los principales procesos de cambios para la región han sido: la deforestación de los bosques tropicales secos para la creación de praderas ganaderas; la degradación de las zonas forestales a causa del pastoreo y la actividad forestal (maderera); y, en fechas más reciente, la regeneración natural de los praderas abandonadas a causa de la migración.

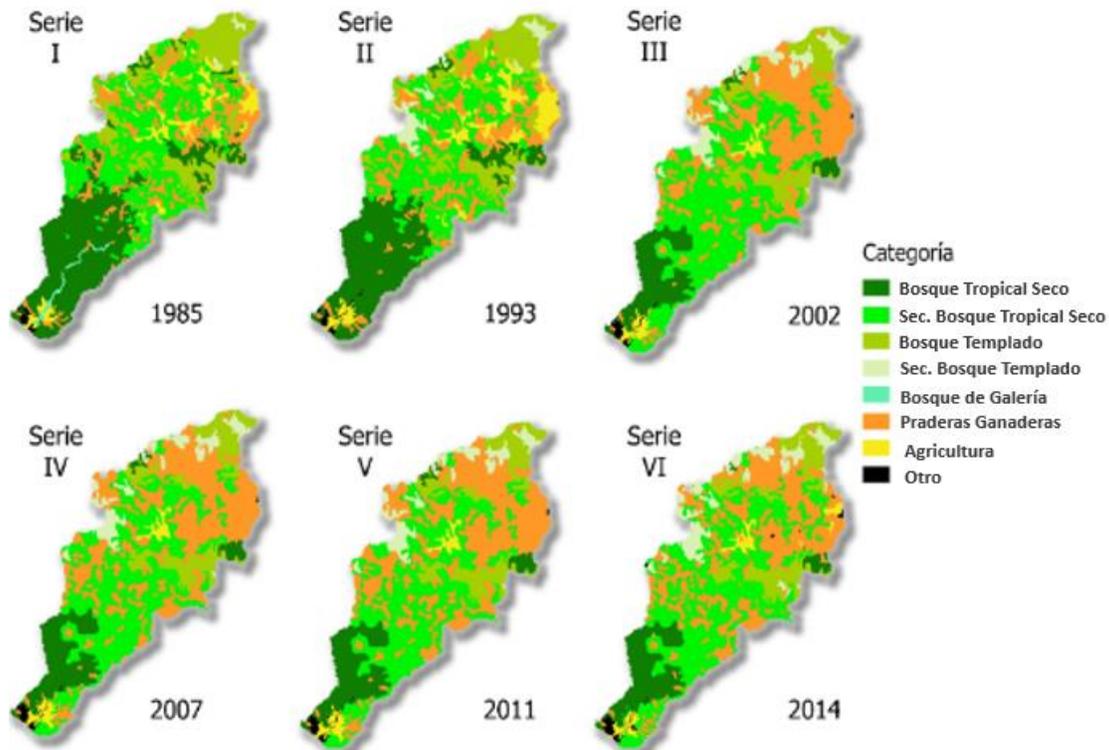


Figura 51 Coberturas de Uso de Suelo y Vegetación Documentadas por INEGI en la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia con datos de INEGI, 1991, 2000, 2005, 2010, 2014 y 2017).

Los elementos del relieve tienen una fuerte influencia en el cambio de cobertura. Así, por ejemplo, los sitios cercanos a cuerpos de agua perennes son más propensos a la deforestación y a la degradación, en comparación a los de tipo estacionales. De igual forma, las zonas planas son más propensas a transformarse a un uso agrícola y las laderas en praderas ganaderas. Es en éstas últimas zonas en donde hay una mayor recuperación natural (Figura 51).

El periodo de cambio más crítico fue la década de los 90's, en la cual se presentó la mayor pérdida forestal debido al incremento de las praderas ganaderas. Su impulso desplazó al cultivo de maíz como la principal actividad productiva. Desde entonces, la extensión agrícola se ha mantenido estable, ocupando una escasa superficie, sin embargo, en los últimos años se ha reportado un cambio importante de zonas de agricultura temporal hacia una agricultura de riego (Tabla 22).

Para el caso puntual de la cuenca del Río Cuitzmala, y de acuerdo a la cartografía referente al tema reportada por el INEGI desde los años 80 (Tabla 22), se ha presentado la misma tendencia regional en los procesos de cambio. La principal tendencia de transformación ha sido el cambio de las superficies de bosque tropical a zonas de praderas, en especial en la década de los 90's; y actualmente una reconversión de praderas hacia zonas forestales^{22,97-100,106} (Figura 52).

Este proceso de transformación a praderas ganaderas en la cuenca del Río Cuitzmala, ocurre en dos etapas. En la primera hay una degradación de los bosques tropicales secos, derivada del pastoreo y la actividad forestal (maderera), seguida por una de deforestación, en los ecosistemas naturales son desmontadas para el establecimiento de los cultivos de maíz y posteriormente inducidas para el establecimiento de praderas ganaderas, particularmente en los lomeríos (Figura 52). Esta deforestación, además de poner en riesgo a la biodiversidad de la zona, y como ya vimos, también ha alterado gravemente la dinámica hidrológica de la cuenca.

Tabla 21 Proceso Histórico Relacionado al Cambio de Uso de Suelo en la Cuenca del Río Cuitzmala. (Autoría propia, con datos de INEGI, 1991, 2000, 2005, 2010, 2014 y 2017).

Periodo	Tendencia de cambio (TC)	Principales procesos de cambio
<u>1985-1993</u>	22%	Pérdida total de los bosques de galería al sur; degradación de bosques templados y transformación de bosques templados degradados a zonas agrícolas en las partes altas (TC: 26%).
<u>1993-2002</u>	29%	Degradación de los bosques tropicales secos (TC: 45%); transformación de áreas agrícolas a praderas ganaderas (TC: 74%); transformación de bosques tropicales degradados a praderas (TC: 20%)
<u>2002-2007</u>	2.4%	Transformación de bosques tropicales a praderas ganaderas (TC: 7.8%); transformación de bosques tropicales degradados a praderas ganaderas (TC: 1.4%)
<u>2007-2011</u>	2.5%	Transformación de bosques tropicales degradados a praderas ganaderas (TC: 3.6%); regeneración natural de zonas de pradera (TC= 2.4%).
<u>2011-2014</u>	3.4%	Regeneración natural de zonas de pradera (TC= 2.4%); transformación de bosques tropicales degradados a praderas (TC: 8.3 %).

La pérdida de la cobertura vegetal disminuye la tasa de evapotranspiración, aumentando la escorrentía. Esto hace que se reduzca el tiempo de permanencia del agua en la cuenca, con lo cual, también disminuye la capacidad de infiltración. Si tomamos como referente valores de escorrentía calculados a través del balance hídrico (presentado en la sección 1.1), así como los datos de cobertura de uso de suelo más reciente, tenemos que, en el 47% del territorio, con una cubierta vegetal degradada, la escorrentía se ha duplicado

mientras que en el 30%, con una cubierta de praderas ganaderas, esta última se ha triplicado. Es decir, las actividades humanas han alterado la hidrología en el 77% de la superficie de la cuenca.

Es importante aclarar que este aumento de la escorrentía, producto de la deforestación, no necesariamente significa un aumento del agua disponible, ya que la deforestación va acompañada de severos procesos de degradación de suelos (encostramiento) y pérdida significativa de la infiltración. El resultado es que, toda esa agua que no se evapotranspira, tampoco se queda en la cuenca, pues al no infiltrarse en el suelo, escurre de manera superficial llegando rápidamente a la parte baja de la cuenca, aumentando el riesgo de inundaciones.

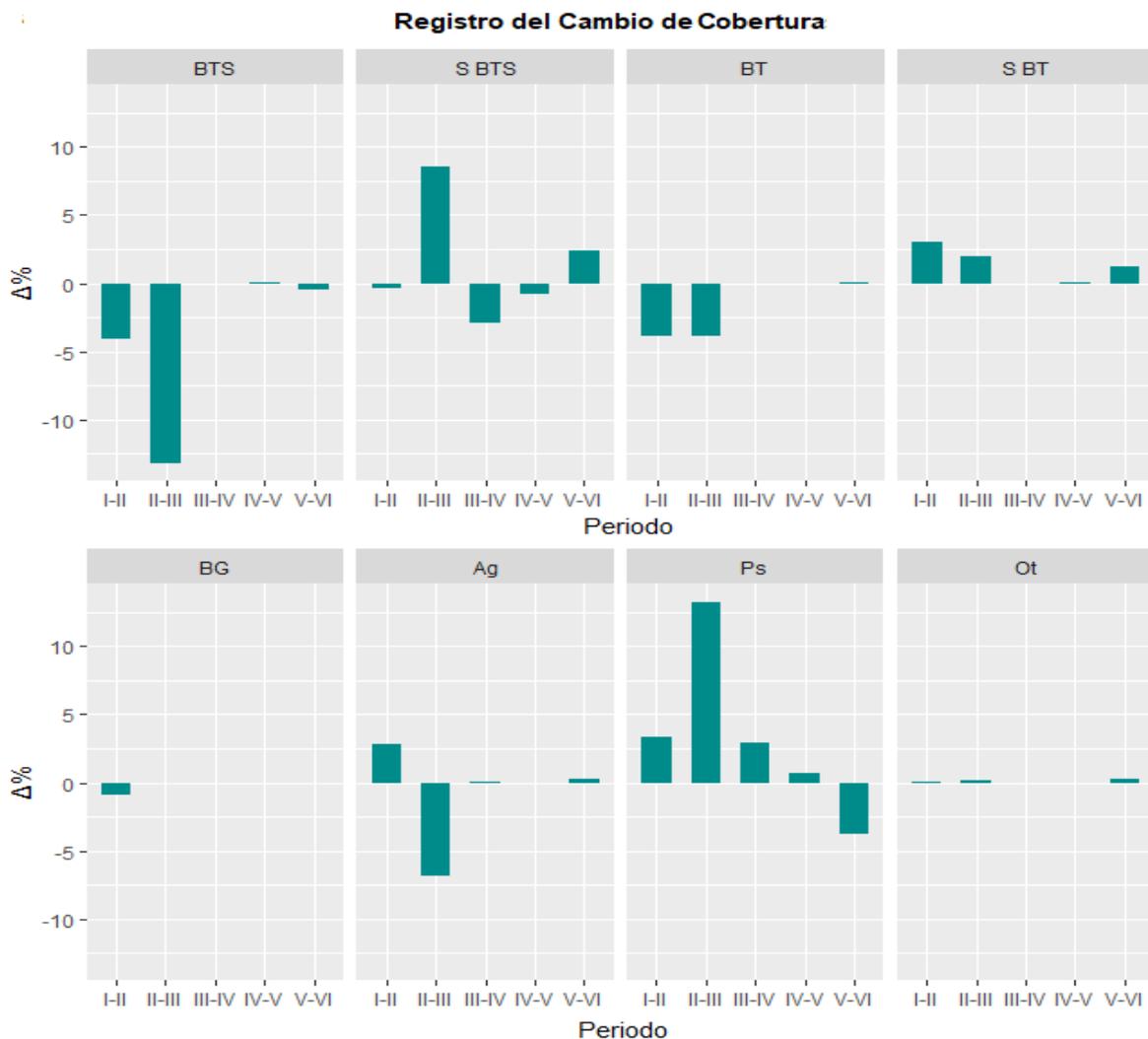


Figura 52 Porcentaje de ganancia y/o pérdida de coberturas. El porcentaje se toma en función de la superficie total de la cuenca. BTS (Bosque Tropical Seco), S BTS (Bosque Tropical Seco Secundario), BT (Bosque Templado), S BT (Bosque Templado Secundario), BG (Bosque de Galería). (Autoría propia).

7 RECOMENDACIONES

A lo largo de la caracterización que se ha hecho de la cuenca del río Cuitzmala, se documentaron los principales problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos y el territorio. En total se registraron 50 problemáticas, de las cuales, diez corresponden a características biofísicas de la cuenca. El resto de los problemas detectados (50) corresponde a aspectos más relacionados con el ámbito social, mostrando la manera como se ha manejado el territorio en las últimas décadas (Tabla 21). Se puso particular interés en identificar problemas, para así orientar las recomendaciones hacia la superación de los obstáculos al que se enfrentan los tomadores de decisiones de manera cotidiana, particularmente la falta constante de recursos (humanos, financieros y de infraestructura), situación que limita considerablemente su margen de maniobra para poder incidir en los problemas presentes en el territorio¹¹⁰. Así, por ejemplo, considerando el tema de la calidad del agua, es difícil atender esta problemática sin la debida planeación y conocimiento del socioecosistema, pues conduciría a la implementación de acciones poco efectivas y difícilmente operativas (e. g. instalación de costosas plantas de tratamiento). Con un entendimiento de la dinámica funcional de la cuenca, es posible identificar acciones como la conservación y restauración de los sistemas ribereños, así como prácticas que contribuyan a reducir la tasa de erosión, lo que brindarían resultados más efectivos y a un costo mucho menor. Es decir, ante la limitante de recursos humanos, financieros y de infraestructura en la cuenca, habrá que identificar las necesidades más básicas y los problemas más apremiantes, a fin de apoyar la elaboración de una adecuada planeación estratégica⁷³.

Tabla 22 Principales Problemáticas de la Cuenca del Río Cuitzmala. Número de Efectos (E); Número de causas (C). En rojo se presentan los principales nodos críticos. Los recuadros grises corresponden a problemas de corte social y los verdes a problemas de corte biofísico (Autoría propia).

Problemática	C	E	Total	Problemática (continuación...)	C.	E.	Total
1.-Falta de prácticas de ganadería sustentable	8	16	24	26.-La zona baja tiene menor disponibilidad de agua	6	5	11
2.-La distribución de agua favorece a los intereses económicos	8	12	20	27.-Falta de capacitación en el uso de agroquímicos	7	4	11
3.-Transformación de bosques a praderas ganaderas	11	9	20	28.-Contaminación en el agua por la ganadería	10	1	11
4.-No hay ordenamientos territoriales a nivel local	2	17	19	29.-La alta demanda de agua de los servicios turísticos	10	1	11
5.-Alto riesgo de erosión	12	7	19	30.-Políticas de ordenamiento que no incorporan el enfoque de cuencas	0	10	10
6.-Alta demanda de agua en las zonas de infiltración	17	2	19	31.-Las percepciones e intereses de la cuenca no están representadas en la CONAGUA	3	7	10
7.-Escasa diversidad de actividades productivas	9	8	17	32.-Las zonas altas contaminan a las bajas	9	1	10
8.-Incremento de la escorrentía en los últimos años	12	5	17	33.-Contaminación de los humedales	9	1	10

9.-Políticas públicas que no incorporan las particularidades del territorio	3	13	16	34.-El abandono de parcelas	9	1	10
10.-La ganadería como principal actividad productiva	6	10	16	35.-Eventos constantes de precipitación extrema	2	7	9
11.-Los suelos no son aptos para la agricultura	7	9	16	36.-La ganadería es el mayor consumidor de agua	5	4	9
12.-CONAGUA no considera la dinámica espacio-temporal de la hidrología de la cuenca	5	10	15	37.-Las intervenciones científicas responden en su mayoría solo a intereses académicos	0	8	8
13.-Falta de prácticas de agricultura sustentable	7	8	15	38.-Relieve accidentado	1	7	8
14.-Las vasta extensión de las praderas ganaderas	11	4	15	39.-Tiempo corto de permanencia del agua en la cuenca	3	5	8
15.-La alteración de la dinámica hidrológica	11	4	15	40.-Migración	6	2	8
16.-Riesgo de deforestación en zonas parceladas de los ejidos	12	3	15	41.-Suelos con poca retención de agua	3	4	7
17.-Demanda desproporcional de agua subterránea	15	0	15	42.-Diferente disponibilidad de agua a lo largo de la cuenca	1	6	7
18.-El efecto adverso de las políticas externas en los ecosistemas	4	10	14	43.-Bajo potencial de infiltración profunda	1	6	7
19.-Los altos niveles de marginación social	7	7	14	44.-Dominancia de cauces de primer y segundo orden	2	5	7
20.-Falta de procesos de participación ciudadana	1	12	13	45.-Escasa extensión de las áreas infiltración	4	3	7
21.-Los suelos son poco desarrollados	3	10	13	46.-Riesgo de enfermedades gastrointestinales durante las secas	6	1	7
22.-Nula escorrentía en años secos	4	8	12	47.-Incremento de la precipitación en los últimos años		4	6
23.-La CONAGUA no contempla los efectos colaterales al otorgar sus concesiones	6	6	12	48.-Concentración de contaminantes en las secas		1	6
24.-Vulnerabilidad de la parte baja por eventos extremos	10	2	12	49.-Cambio climático	0	4	4
25.-Diferentes visiones de desarrollo a nivel municipal	3	8	11	50.-Fenómenos climáticos (El Niño y La Niña)	1	2	3

Las problemáticas documentadas, fueron analizadas incorporando la metodología del “marco lógico”, herramienta de planeación ampliamente utilizada por diversas instituciones al alrededor del mundo (CEPAL, Unión Europea, ONU, etc.)⁷⁷. Con este método, se identificaron las relaciones que cada problemática tiene con los demás problemas. De esta manera, se puede discriminar si existe una relación directa entre los problemas, y si esta relación corresponde a una causa (entradas) o un efecto (salidas). Mediante este ejercicio se identificaron los principales nodos críticos, es decir, aquellos problemas que presentan un mayor número de relaciones con los otros problemas (Figura 53).

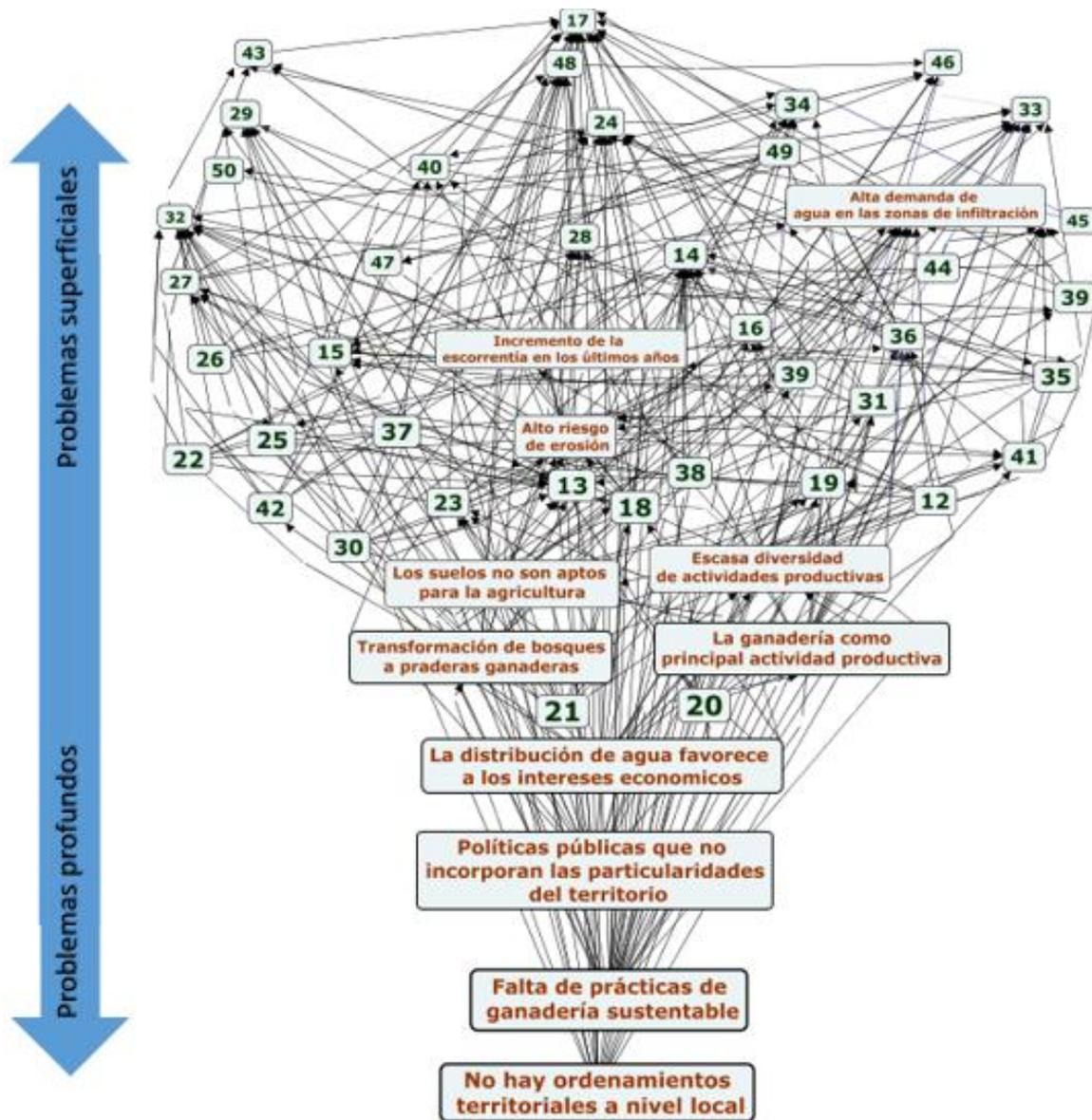


Figura 53 Árbol de Problemas en la Cuenca del Río Cuitzmala. Con letra café se resaltan los nodos críticos, con número se resalta el resto de los problemas de acuerdo con la numeración de la Tabla 21 (Autoría propia)

Una vez identificada la manera en que se relacionan los problemas, éstos se graficaron a manera de árbol (organizando las problemáticas de abajo hacia arriba de acuerdo con el número de efectos que provocan). De esta manera, se diferenciaron aquellas problemáticas superficiales (con mayor número de interacciones de tipo causa), de las problemáticas más profundas (aquellas con un mayor número de efectos). Dado el gran número de problemas y la alta complejidad de interacciones detectadas, se preparó una tabla identificando los problemas más críticos y resumiendo las interacciones más importantes (Tabla 22).

De los once nodos críticos identificados en la tabla (en letra roja), tres están relacionados a las características ambientales de la cuenca, aspectos propios de su naturaleza en los que hay pocas posibilidades de incidir (*i.e.*, la tendencia a la erosión, el incremento del efecto en la zona del cambio climático y el bajo potencial agrícola de los suelos). Los ocho problemas restantes, son de tipo social, en donde se pueden generar cambios significativos tan solo modificando la manera en que las personas toman decisiones y realizan sus actividades.

Muchas de estas problemáticas sociales constituyen asuntos que se pueden abordar desde el ámbito local, estableciendo acuerdos y normas entre las personas, los núcleos agrarios, y las autoridades municipales. Sin embargo, es importante reconocer que existen otros problemas en donde las decisiones se toman en altos niveles de gobierno, a través de marcos normativos de mayor jerarquía e instituciones más centralizadas, lo que rebasa la capacidad local de atenderlos.

Considerando lo anterior, y con respecto a las ocho problemáticas sociales detectadas, se identificaron aquellas más cercanas a la base del “árbol de problemas”, priorizando de este modo a aquellas más profundas, que, al ser atendidas, tendrán un mayor efecto dentro de la cuenca. Una vez hecha esta priorización, se analizaron cuáles de esto problemas son más viables de abordar desde la perspectiva y el contexto locales (Tabla 22).

Tabla 23 Análisis de Intervención para los Nodos Críticos de Corte Social (Autoría propia).

PROBLEMÁTICA	ACTORES SOCIALES INVOLUCRADOS	VIABILIDAD DE INTERVENCIÓN
NO HAY ORDENAMIENTOS TERRITORIALES A NIVEL LOCAL	<ul style="list-style-type: none"> • Autoridades Locales • Instituciones gubernamentales • Organizaciones No gubernamentales • Académicos 	<p><u>Alta.</u></p> <p>Su viabilidad depende de la disposición de las autoridades locales, ya que ellos son los principales responsables. También es importante el papel de las instituciones gubernamentales en los estímulos y financiamientos. Así como la participación de la academia y de las ONG’s, ambas como facilitadores sociales y generadores de información técnica.</p>
FALTA DE PRÁCTICAS DE GANADERÍA SUSTENTABLE	<ul style="list-style-type: none"> • Ganaderos • Autoridades Locales • Instituciones gubernamentales • Organizaciones No gubernamentales 	<p><u>Media.</u></p> <p>Para esto es indispensable la identificación de los actores sociales involucrados en la ganadería y de la caracterización de estos sistemas. Así mismo, es necesario identificar ONG,s y académicos como facilitadores sociales y fuentes de información técnica para le generación e implementación de indicadores.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Académicos 	Es importante también la implementación de estímulos gubernamentales que beneficien a los ganaderos interesados en implementar prácticas más sustentables.
POLÍTICAS PÚBLICAS QUE NO INCORPORAN LAS PARTICULARIDADES DEL TERRITORIO	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno Federal • Gobierno Estatal 	<u>Baja.</u> Estos instrumentos se generan de manera jerárquica de arriba hacia abajo, y están sujetos a los intereses particulares de cada administración.
LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA FAVORECE A LOS INTERESES ECONÓMICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno Federal • CONAGUA 	<u>Baja.</u> Los instrumentos legales para obtener concesiones, favorecen esta situación. La modificación de estos instrumentos jurídicos y reglamentos dependen de la CONAGUA.
TRANSFORMACIÓN DE BOSQUES A PRADERAS GANADERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Autoridades Locales • Pequeños propietarios • Organizaciones No gubernamentales • Académicos 	<u>Alta.</u> Las autoridades locales están facultadas para regular los cambios del uso de suelo. Sin embargo, es necesario identificar las zonas más vulnerables y establecer estrategias en conjunto con las autoridades y los pequeños propietarios. Vinculando los acuerdos a los ordenamientos territoriales
ESCALA DE DIVERSIDAD DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS	<ul style="list-style-type: none"> • Autoridades locales • Instituciones gubernamentales • Organizaciones No gubernamentales • Académicos 	<u>Media.</u> Esta problemática requiere de los estímulos y facilidades de las autoridades de los distintos niveles. Así como del trabajo académico y de las ONG's para identificar actividades potenciales, que fortalezcan las capacidades locales, y generen información pertinente.

Los problemas más cercanos a la base del árbol fueron: la falta de ordenamientos territoriales a nivel de la cuenca; la falta de prácticas de ganadería sustentable; la incidencia de políticas públicas que no incorporan las particularidades del territorio; la transformación de los bosques tropicales a praderas ganaderas; la distribución del agua en favor de los intereses económicos; y la escasa diversidad de actividades productivas. De estos, dos

fueron descartados debido a que escapan del marco de injerencia local: por un lado, lo relacionado a la distribución de agua y, por el otro, las políticas públicas de los gobiernos estatal y federal. En la Tabla 22 se enlistan estas 6 problemáticas analizadas con mayor detalle, incluyendo la identificación de los principales actores sociales involucrados, así como una propuesta de intervención y su posible viabilidad.

Ahora bien, del análisis realizado a las 50 problemáticas identificadas a lo largo de la elaboración de este trabajo, aunado a la implementación de metodología del marco lógico, se identificaron cuatro problemáticas prioritarias a abordar. El criterio utilizado fue la consideración de que son las que tienen mayores alcances para influir en la cuenca en su conjunto, y que son aspectos que se pueden abordar desde el ámbito local.

1. Falta de ordenamientos territoriales a nivel de toda la cuenca.
2. La transformación de los bosques tropicales a cultivos de pasto.
3. La falta de prácticas de ganadería sustentable.
4. La escasa diversidad de actividades productivas.

Para cada una de estas problemáticas, se identificó un objetivo de manejo claro, así como metas concretas para lograrlo (Figura 53). De este modo, tenemos cuatro estrategias potenciales, interrelacionadas entre sí, que tendrán un efecto directo e indirecto en la mayoría de las problemáticas identificadas para la cuenca del Río Cuitzmala, las cuales se condensan en el siguiente “Plan de acción”.

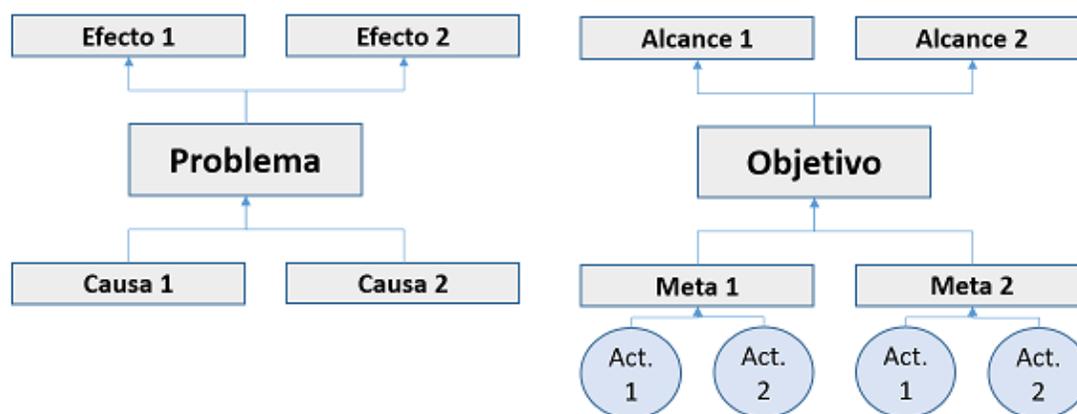


Figura 54 Esquema Utilizado para la Definición de las Estrategias de Intervención (Autoría propia).

7.1 Líneas Estratégicas de Acción para el Manejo de los Recursos Hídricos (Figuras 55 y 56).

OBJETIVO 1: DISEÑAR E IMPLEMENTAR ORDENAMIENTOS TERRITORIALES A NIVEL LOCAL EN LA CUENCA.

Las políticas impuestas desde mediados del siglo pasado han dejado una huella socio-ambiental en la costa sur de Jalisco. Estos efectos se reflejan en un deterioro de los ecosistemas originales producto de las fuertes presiones sobre sus recursos naturales, particularmente el agua y un sustrato edáfico para las actividades agropecuarias. El

deterioro de los servicios ambientales que brinda la cuenca a sus habitantes ha ocasionado, a su vez, estragos como la disminución de la cantidad y calidad de agua disponible.

El impulso a las políticas públicas mal implementadas sigue siendo un serio problema en la región. Sin embargo, existen instrumentos como los ordenamientos territoriales que bien elaborados, pueden mitigar o disminuir los efectos adversos de las decisiones políticas en los ecosistemas. Siendo, además, un elemento que se encuentra dentro de las facultades y obligaciones de los gobiernos locales (municipios y núcleo agrarios).

OBJETIVO 2: DISMINUIR LA TASA DE TRANSFORMACIÓN DE LOS BOSQUES TROPICALES A PRADERAS GANADERAS.

El tema de la ganadería, como principal actividad en la cuenca, está motivada ya sea por su alto rendimiento económico, como una actividad complementaria para algunos ejidatarios, ya sea porque tienen poca tierra, porque ésta la dedican a la agricultura, o porque no tienen más alternativas y/o carecen de capacidades técnicas para realizar otras actividades. Es en este sentido, que se propone este objetivo. Más aun, considerando, como se discutió más arriba, que la deforestación altera gravemente el funcionamiento de los ecosistemas. Tan solo para el caso del agua, la transformación para el cultivo de praderas ganaderas triplica los niveles de escorrentía, desencadenando serios problemas de erosión e incrementando el riesgo de inundación en la parte baja de la cuenca.

Para atender esta problemática es necesario identificar sus múltiples causas y sus efectos. Algo complejo sin lugar a dudas, pero que en la mayoría de los casos se pueden abordar desde los ámbitos locales en compañía de los habitantes, los académicos, ONGs, y las autoridades locales.

OBJETIVO 3: IMPLEMENTAR PRÁCTICAS DE GANADERÍA SUSTENTABLE.

La ganadería es la principal actividad productiva de la cuenca, lo que la convierte en una de las principales fuentes de ingresos económicos para las familias que la habitan. No obstante, dicha actividad es la causante de los principales problemas ambientales en la misma. La ganadería no sólo representa un drástico cambio del uso de suelo, sino que, además, siendo el mayor consumidor de agua superficial y subterránea, está relacionada con la contaminación de los cuerpos de agua.

Como ya se planteó más arriba, hablar de la sustentabilidad de la ganadería es un tema controversial, sin embargo, debido al papel económico y social que tiene esta actividad productiva en la cuenca, es necesario implementar acciones que ayuden: en una primera etapa, a reducir su huella ecológica; en una segunda, a construir nuevos modelos de producción y de diversificación de mercados; y en una tercera, hacia una diversificación de actividades.

OBJETIVO 4: LA DIVERSIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.

La mayoría de las poblaciones que migraron a la cuenca en los años 50's, eran agricultores provenientes del altiplano mexicano, quienes llegaron con la promesa de que serían dotados de tierras fértiles para establecer sus cultivos agrícolas. Sin embargo, las

condiciones de la costa sur de Jalisco impidieron a plenitud el desarrollo de estas actividades.

En los 90's, se impulsó la ganadería concentrando el desarrollo económico en una sola actividad. En teoría, la actividad ganadera tiene un mayor potencial que la agrícola en la cuenca. No obstante, además de tener una huella ecológica enorme, no satisface las necesidades sociales, ya que la mayoría de las comunidades en la cuenca presentan algún grado de marginación.

La decisión de dedicarse a la actividad ganadera es más bien por falta de otras opciones, ya sea porque carecen del conocimiento y/o de las capacidades técnicas para aprovechar otros recursos naturales, o porque los estímulos gubernamentales van en ese sentido. La producción de la ganadería responde y pone a las personas al servicio del mercado; situación que tiene que cambiar, buscando la manera de poner los mercados al servicio de las personas.

Meta 1: Impulsar procesos de participación ciudadana.

Esta es una de las principales metas de la presente propuesta, ya que cerca del 50% del territorio le pertenece a ejidos y comunidades agrarias, en donde las decisiones para el uso del territorio se toman por consenso y a través de los usos y costumbres de cada comunidad. Esto es, la efectividad de cualquier proyecto encaminado al manejo sustentable del territorio y de sus recursos naturales, tiene que partir de la integración de los actores locales involucrándolos durante todo el proceso, desde la planeación y ejecución. En este sentido las actividades propuestas para alcanzar esta meta son las siguientes:

- Identificar a los actores sociales, sus vínculos y relaciones de poder, relacionados con el territorio y sus problemáticas.
- Analizar de forma colectiva las fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades presentes en el territorio.
- Evaluar los escenarios posibles y deseados, derivados del manejo de la cuenca.
- Identificar qué procesos históricos han influido en la toma de decisiones respecto al manejo del territorio y sus recursos en cada localidad de la cuenca.
- Establecer acuerdos para implementar acciones que mitiguen los efectos de la de las actividades humanas en los ecosistemas, por ejemplo: parches de vegetación en las parcelas, conservación y restauración de la vegetación ripiara, etc.
- Evaluar escenarios prospectivos (económicos, sociales y ambientales) en el corto mediano y largo plazo, bajo diferentes modelos de producción y de aprovechamiento de recursos naturales.
- Elaborar programas de manejo de manera participativa para el aprovechamiento de los recursos naturales potencialmente aprovechables.

Meta 2: Integrar problemáticas de la cuenca a las agendas de investigación científica.

Dado que uno de los objetivos de la Estación de Biología de Chamela es incidir en las problemáticas locales, es indispensable encausar las investigaciones en la resolución de los problemas prioritarios de la cuenca. La academia cuenta con capacidades técnicas para

generar información valiosa para la toma de decisiones en la cuenca, en específico para el manejo sustentable del territorio y de los recursos naturales presentes en la misma. En este sentido las actividades propuestas son las siguientes:

- Compilar y poner a disposición, a manera de reporte técnico, la información disponible y útil para la elaboración de los ordenamientos territoriales (tal y como se hace en el presente trabajo).
- Generar información técnica, para la zonificación y del territorio a nivel de núcleo agrario. Por ejemplo: unidades de respuesta hídrica; zonas potenciales de erosión; áreas de aprovechamiento, conservación y restauración; zonas de recarga acuífera; etc.
- Evaluar la dinámica de cambio de uso de suelo y vegetación a nivel local, en la cuenca.
- Identificar las áreas potenciales de deforestación dentro de la cuenca.
- Identificar y evaluar los escenarios potenciales de cambio de uso de suelo y sus efectos en la dinámica social y ecológica.
- Diseñar medidas de manejo en los niveles de núcleo agrario que ayuden a mitigar los efectos de esta práctica en las áreas forestales.
- Generar indicadores que permitan evaluar la vulnerabilidad que presenta cada región de la cuenca.
- Identificar los recursos naturales con potencial de aprovechamiento.
- Generar esquemas de manejo para el aprovechamiento de los recursos naturales.

Meta 3: Articular las estrategias de desarrollo inter-municipal bajo el enfoque de cuencas.

Las visiones de desarrollo de los dos municipios son distintas. Así, por ejemplo, en el norte (Villa Purificación) se le da prioridad a la ganadería y en el sur (La Huerta) al turismo. Por lo tanto, es necesario articular sus estrategias de planeación territorial bajo un enfoque de cuencas. De lo contrario, se pueden suscitar situaciones en las que se externalicen o ignoren los efectos ocasionados por alguna actividad por parte de un municipio sobre el otro (e. g. la presencia de coliformes fecales en los humedales a causa de la actividad ganadera aguas arriba). Para lo anterior, se propone lo siguiente

- Incorporan mecanismos de planeación inter-municipal bajo un enfoque de cuencas.
- Establecer un esquema de compensaciones y mitigaciones entre los municipios:
- Incorporar en cada municipio mecanismos de planificación para la actividad ganadera bajo un enfoque de cuencas.
- Establecer un esquema de compensaciones y mitigaciones entre los municipios y los ganaderos.
- Incorporar en cada municipio mecanismos de aprovechamiento de los recursos naturales bajo un enfoque de cuencas.
- Gestionar y aportar incentivos financieros para el fortalecimiento de capacidades técnicas de las comunidades en la cuenca.

Meta 4: Gestionar incentivos y financiamientos con las instituciones gubernamentales.

La participación de las instituciones gubernamentales (Semarnat, Conafor, Semadet, Jicosur, etc.) es importante por dos aspectos: por un lado, porque se necesitan recursos de financiamientos para la elaboración de estos proyectos; y, por el otro, porque dotan de legitimidad a los procesos e instrumentos generados. Por lo tanto, se propone lo siguiente:

- Impulsar la elaboración de estos instrumentos de ordenamiento en las agendas y programas prioritarios para la región.
- Gestionar recursos (financieros y humanos) para la elaboración de dichos instrumentos.

Meta 5: Regular, con apoyo de las autoridades locales, el incremento/reducción de las praderas ganaderas.

Legalmente, la regulación de los cambios de uso de suelo está a cargo de las autoridades locales, quienes deben contar con los instrumentos de ordenamiento territorial y la información técnica necesaria para la toma efectiva de decisiones. En este sentido, las actividades propuestas son las siguientes:

- Construir mecanismos de regulación de cambio de uso de suelo con las autoridades locales.
- Incentivar, con financiamiento y capacitación técnica, el aprovechamiento sustentable de los bosques tropicales.

Meta 6: Regulación forestal de las áreas parceladas de los ejidos.

Cerca del 30% de la superficie forestal de la cuenca se localiza en áreas parceladas, en las cuales los propietarios toman decisiones de acuerdo a sus propios intereses, siendo un riesgo constante la deforestación de estas áreas. En este sentido, se propone lo siguiente:

- Establecer acuerdos para el manejo sustentable de las parcelas con cubierta vegetal.
- Implementar un sistema de aprovechamiento forestal sustentable y de silvicultura.
- Participar en programas de “pago por servicios ambientales”.
- Implementar prácticas de restauración ecológica en las áreas de uso común de los ejidos.

Meta 7: Incorporar la visión de cuenca en los ordenamientos territoriales locales.

Este es un rubro bastante extenso, por lo tanto, solo se acotará a la necesidad de realizar una zonificación acotada a la actividad ganadera, tanto en las praderas inducidas, como en las actividades de ganadería extensiva. En este sentido se proponen las siguientes actividades:

- Identificar las zonas de la cuenca con mayor resiliencia para el cultivo de pasto.
- Identificar las zonas de la cuenca con mayor resiliencia para la ganadería extensiva.

- Establecer índices de agostaderos.
- Establecer estrategias para mitigar el riesgo de erosión en las praderas ganaderas.

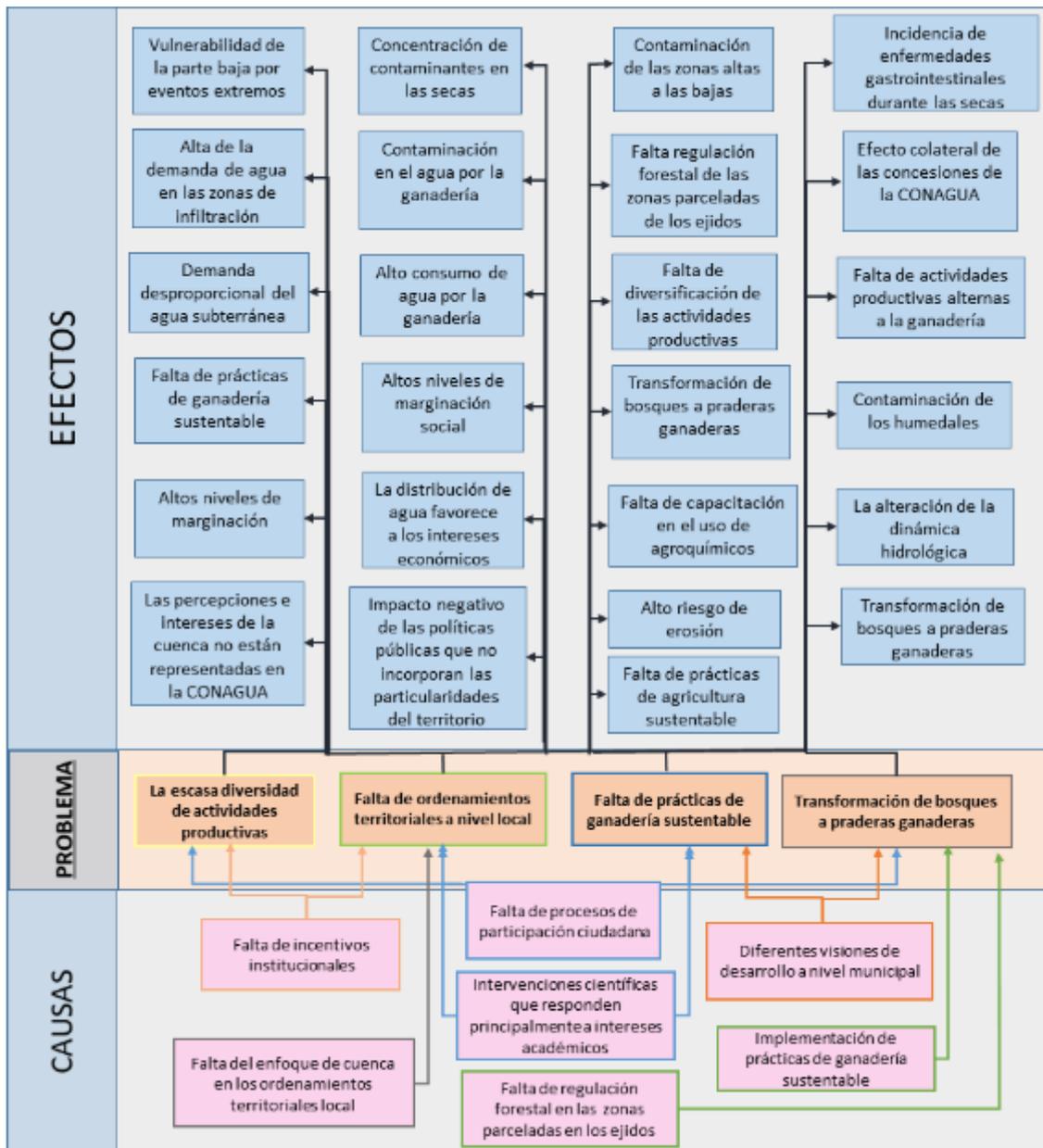


Figura 55 Modelo de Marco Lógico (**Problemas**) Utilizado para Definir el Plan de Acción para el Manejo de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

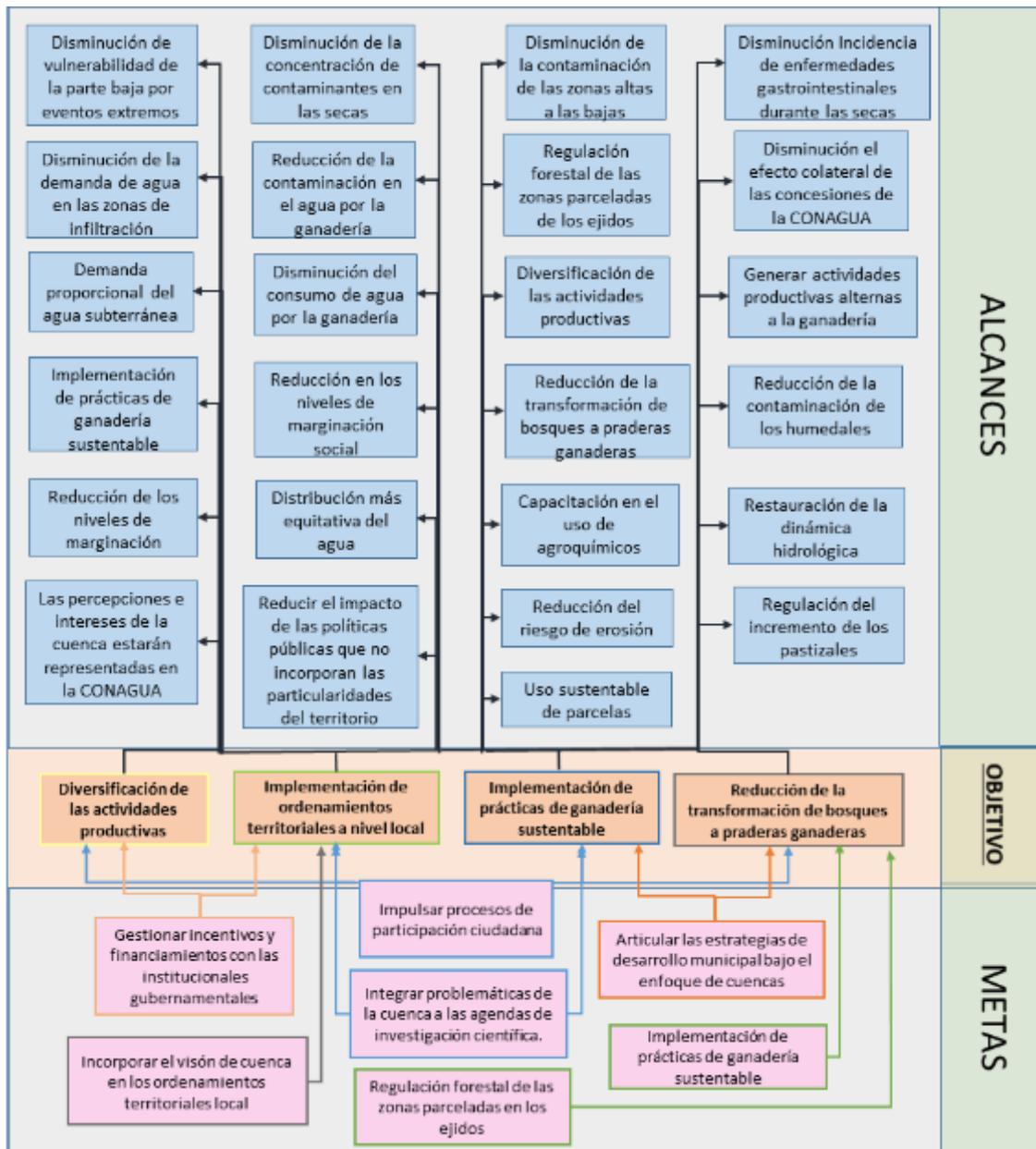


Figura 56 Modelo de Marco Lógico (Objetivos) Utilizado para Definir el Plan de Acción para el Manejo de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cuitzmala (Autoría propia).

8 CONSIDERACIONES FINALES

El presente reporte técnico es un instrumento que, haciéndolo llegar de forma oportuna a los tomadores de decisiones de la región de la Costa de Jalisco, y en específico a aquellos funcionarios públicos de los municipios de Villa Purificación y La Huerta, podrá ser un documento base para la planeación territorial de una cuenca de importancia nacional (especialmente en lo referente al “Programa Nacional de Reservas de Agua”), sobre uno de los recursos en la región que ha generado mayor controversia en los últimos años: el agua.

Este reporte técnico tiene su origen y está motivado en el marco de la investigación transdisciplinaria, especialmente en lo que se refiere a la necesidad de generar información que sea oportuna a los problemas actuales, en un formato claro y preciso para la toma de decisiones. Sin embargo, es necesario reconocer que todo lo aquí planteado, incluyendo la identificación de los problemas y las recomendaciones dadas, vienen desde la académica y son puestas sobre la mesa como una contribución que permita detonar, en el corto plazo, un proceso de transdisciplina más completo. Aunque ciertamente existen algunas experiencias en la zona a este respecto^{11,15,16,103}, en su mayoría se trata de procesos aislados que difícilmente incluyen a toda la cuenca como unidad de estudio y análisis. Resolver este aspecto es de suma relevancia, ya que la cuenca es reconocida como el espacio físico a través del cual se pueden delimitar, espacialmente, las interacciones de los seres humanos con los ecosistemas de los cuales no solo dependen, sino que forman parte como un socioecosistema integrado.

En este sentido, es importante mencionar que el presente trabajo, más que una revisión de la literatura existente para la región, es un ejercicio de integración que trata de sintetizar aquella información disponible y esencial para el manejo integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Cuitzmala. Por ende, más que una búsqueda exhaustiva, se priorizó aquella literatura cuyos elementos, en su conjunto, mostraran, a grandes rasgos, los componentes y las relaciones que integran al socioecosistema de la cuenca. Es también importante señalar, que la principal utilidad del presente trabajo es poner a disposición una guía para la política pública y la planeación territorial de la cuenca. A partir del mismo y dependiendo el tema, será necesario profundizar en las fuentes consultadas o generar nuevos estudios al respecto.

Entre los aportes más importantes a destacar, está la representación espacial, en forma de mapas, de gran parte de la información consultada y generada. Lo anterior es importante en términos de comunicación para los potenciales usuarios, ya que muestra el “dónde” y el “cómo” ocurren los fenómenos, dejando de manifiesto que, si bien la cuenca es una unidad funcional, existen una gran variabilidad dentro de la misma, la cual tiene que ser considerada en la toma de decisiones, tanto del territorio, como de sus recursos naturales.

Así mismo, y en un sentido autocrítico, es importante señalar tanto las fortalezas, como las debilidades del presente trabajo. Entre sus fortalezas identificamos: 1) la vasta cantidad de información disponible, en una de las regiones ecológicas más estudiadas del país; 2) el papel que tiene el reporte como repositorio de datos, el cual puede ser consultado de

manera clara y puntual; y 3) la propuesta de un plan de acción, con cuatro líneas estratégicas a ejecutarse. En contraste, entre las limitaciones identificadas, podemos mencionar: 1) la falta de información por debajo del nivel municipal (insuficiencia de datos a nivel de localidad y de núcleo agrario); 2) la acotada escala temporal (hay información como lo referente a la calidad del agua, que necesita ser actualizada); 3) el sesgo de información hacia las ciencias naturales y a las investigaciones de la UNAM; y 4) la falta de retroalimentación por parte de los usuarios a quienes está destinado este trabajo (en buena medida producto de las regulaciones impuestas con respecto a las salidas de campo, producto de la crisis sanitaria ocurrida durante la ejecución del estudio). Estas limitaciones se constituyen como guías para orientar futuros trabajos, así como un acicate para continuar con este esfuerzo transdisciplinario emprendido en la zona de estudio,

Solo resta reiterar la importancia de seguir abonando en el tema de investigación sobre el manejo del agua y del territorio, pues resulta trascendental para la región. Investigación que debe ser de corte inter y transdisciplinaria, socioecosistémica, a nivel de toda la cuenca, de largo plazo y fortaleciendo, como parte de las intervenciones sociales, el co-diseño y la acción participativa.

Literatura Citada y Otras Fuentes de Información Consultada

1. Tello Díaz, C. La colonización de la costa de Jalisco: 1953-1959. *Relac. Estud. Hist. y Soc.* (2014). doi:10.24901/rehs.v35i140.110
2. Tello Díaz, C. *La transformación del paisaje: colonización, desarrollo y conservación de la Costalegre de Jalisco, en la región de Cuixmala y Careyes (1943-1993)*. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2012).
3. Tello Díaz, C. *Los señores de la costa. Historias de poder en Careyes y Cuixmala*. (Grijalbo, 2014).
4. Noguera, F., Vega-Rivera, J. H., Garcia Aldrete, A. N. & Quesada Avendaño, M. *Historia natural de Chamela*. (Instituto de Biología, 2002).
5. Sarukhán, J. & Maass, J. M. Bases Ecológicas Para el Manejo de Cuencas. in *Medio Ambiente y Desarrollo en México* 81–114 (Porrúa, 1990).
6. Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A. & Maass, M. Structure and functioning of tropical deciduous forest in western México. in *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico* (eds. Robichaux & Yetman) 19–35 (University of Arizona Press, 2000).
7. Maass, J. M., Martínez-Yrizar, A., Patiño, C. & Sarukhán, J. Distribution and annual net accumulation of above-ground dead phytomass and its influence on throughfall quality in a Mexican tropical deciduous forest ecosystem. *J. Trop. Ecol.* **18**, 821–834 (2002).
8. Maass, M., Martínez-Yrizar, A. & Sarukhán, J. Investigación ecológica en cuencas hidrográficas. in *Patrimonio Natural de México. Cien casos de éxito*. 220–221 (CONABIO, 2010).
9. Maass, M. *et al.* Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Rev. Ecosistemas* (2010). doi:10.7818/re.2014.19-2.00
10. Alcamo, J. *et al.* *Ecosystems and human well-being : a framework for assessment*. (Island Press, 2003).
11. Castillo, A. *et al.* The dry tropical forest at risk: Conflicts between agricultural and cattle use, tourism development, and provision of ecosystemic services in the coast of Jalisco, Mexico. *Interciencia* **34**, 844–850 (2009).
12. Pujadas Botey, A. Comunicación y participación social en el programa de ordenamiento ecológico territorial de la costa de Jalisco y la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala. (CIECO, UNAM, 2013).
13. Schroeder, N. M. & Castillo, A. Collective action in the management of a tropical dry forest ecosystem: Effects of Mexico's property rights regime. *Environ. Manage.* **51**, 850–861 (2013).
14. Riensche, M., Castillo, A., Flores-Díaz, A. & Maass, M. Tourism at Costalegre, Mexico: An ecosystem services-based exploration of current challenges and alternative futures. *Futures* **66**, 70–84 (2015).

15. Maass, J. M. *et al.* Ecosystem Services of Tropical Dry Forests Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecol. Soc.* **10**, (2005).
16. Castillo, A. *et al.* Linking social–ecological knowledge with rural communities in Mexico: lessons and challenges toward sustainability. *Ecosphere* **9**, (2018).
17. Solórzano Murillo, L. S. Percepciones sobre servicios ecosistémicos relacionados con el agua en comunidades rurales de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco. (UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, 2008).
18. Sánchez Matías, M. Los beneficios del monte: percepción social y consumo de los servicios ecosistémicos derivados de la biodiversidad vegetal en la cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco. (UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, 2010).
19. Pérez-Escobedo, M. Necesidades de información para el manejo de los socio-ecosistemas en la región Chamela-Cuixmala, Jalisco. (Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, 2011).
20. Piña-Poujol, P. C. Regionalización eco-hidrológica de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México. (UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, 2007).
21. INEGI. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. *Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas* (2010). Available at: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/. (Consultado el 10 de October de 2018)
22. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie VI. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2017).
23. Pahl-Wostl, C. Requirements for Adaptive Water Management. in *Adaptive and Integrated Water Management* (2007). doi:10.1007/978-3-540-75941-6_1
24. Sánchez Navarro, R. *et al.* Programa Nacional de Reservas de Agua en México: Experiencias de Caudal Ecológico y la Asignación de Agua al Ambiente. *Programa Nacional de Reservas de Agua en México: Experiencias de Caudal Ecológico y la Asignación de Agua al Ambiente* (2015). doi:10.18235/0000215
25. CONAGUA. *Estudios de campo para la determinación de caudal ecológico en las reservas de la zona de Jalisco. Documento de evaluación del caudal ecológico.* (2013).
26. CONAGUA. Registro Publico de Derechos de Agua. *Comisión Nacional del Agua* (2018). Available at: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>. (Consultado el 18 de Julio de 2018)
27. Flores-Díaz, A. C. *et al.* Hierarchical procedure for creating local typologies for riparian zone research and management based on biophysical features. *Phys. Geogr.* **39**, 118–139 (2018).

28. Monsiváis Molina, A. S. B. Determinación de la presencia de plaguicidas organoclorados y organofosforados en agua y sedimentos del Río Cuitzmala, Jalisco. (Facultad de -ciencias, UNAM, 2012).
29. Vaca Velasco, A. D. Propuesta de manejo de agua residual en dos comunidades de la cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco. (Instituto de Ecología, UNAM, 2012).
30. Bonilla-Meza, S. Evaluación para identificar prioridades de rehabilitación en el humedal del Cuitzmala, Jalisco. (UNAM, Instituto de Ecología, 2007).
31. López Tapia, D. M. Elaboración de criterios para la restauración de la cuenca del río Cuitzamala, Jalisco con base en un análisis de agua. (UNAM, Instituto de Ecología, 2008).
32. Saldaña Espejel, A. Prioridades de restauración para la recuperación de servicios ecosistémicos asociados a los aspectos hidrológicos de la cuenca del río Cuitzmala, en el Pacífico Mexicano (CAPÍTULO IV). (UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, 2008).
33. Ulrich, G. D. Write a Good Technical Report. *IEEE Trans. Prof. Commun.* **1**, 14–19 (1984).
34. Mathes, J. C. & Stevenson, D. W. Designing Technical Reports: Writing for Audiences in Organizations. *ERIC* (1976).
35. Collins, S. L. *et al.* An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Front. Ecol. Environ.* **9**, 351–357 (2011).
36. Dunne, T. & Leopold, L. B. *Water in Environmental Planning*. W.H.Freeman & Co Ltd (1978). doi:10.2307/3808399
37. Stuart Chapin, F., Matson, P. A. & Vitousek, P. M. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology* (2012). doi:10.1007/978-1-4419-9504-9
38. Pahl-Wostl, C. The implications of complexity for integrated resources management. *Environ. Model. Softw.* **22**, 561–569 (2007).
39. Álvarez-Yépiz, J. C., Martínez-Yrizar, A. & Fredericksen, T. S. Special Issue: Resilience of tropical dry forests to extreme disturbance events. *For. Ecol. Manage.* **426**, 1–6 (2018).
40. Maass, M. *et al.* Long-term (33 years) rainfall and runoff dynamics in a tropical dry forest ecosystem in western Mexico: Management implications under extreme hydrometeorological events. *For. Ecol. Manage.* **426**, 7–17 (2018).
41. Cuervo-Robayo, A. P. *et al.* An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *Int. J. Climatol.* **34**, 2427–2437 (2014).
42. Zavoianu, I. *Morphometry of drainage basins*. *Morphometry of drainage basins*. (1985). doi:10.1016/0022-1694(87)90063-1
43. Chang, M. *Forest hydrology*. (CRC Press, 2006).

44. Cooper, J. D. *Soil Water Measurement. A Practical Handbook*. (John Wiley & Sons, 2016).
45. Patra, H. P., Adhikari, S. K. & Kunar, S. *Groundwater Prospecting and Management*. (2016). doi:10.1007/978-981-10-1148-1
46. Armanini, A. *Principles of river hydraulics. Principles of River Hydraulics* (2017). doi:10.1007/978-3-319-68101-6
47. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales Climatológicos. Continuo Nacional. Escala 1: 1,000,000. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2008).
48. Davie, T. *Fundamentals of Hydrology*. **298**, (Routledge, 2008).
49. Todd, D. K. *Groundwater hydrology*. (1995).
50. Cortés Ávila, F. de J. Estudio geohidrológico de la subcuena 'Río Cuitzmala', en la costa de Jalisco. (UNAM, Facultad de Ingeniería, 2001).
51. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1: 1,000,000. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2002).
52. IUSS Working Group WRB. *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106* (2014). doi:10.1017/S0014479706394902
53. Edelman, M., Macau, E. E. N. & Sanjuán, M. A. F. *New insights and perspectives in chaotic, fractional, and complex dynamics. Understanding Complex Systems* (2018). doi:10.1007/978-3-319-68109-2_1
54. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie II. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2015).
55. Kolb, M. *et al.* Land Use and Cover Change Modeling as an Integration Framework: A Mixed Methods Approach for the Southern Coast of Jalisco (Western Mexico). in *Geomatic Approaches for Modeling Land Scenarios* 241–268 (Springer, 2018). doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_12
56. Garcia-Oliva, F., Martinez Lugo, R. & Maass, J. M. Long-term net soil erosion as determined by ¹³⁷Cs redistribution in an undisturbed and perturbed tropical deciduous forest ecosystem. *Geoderma* **68**, 135–147 (1995).
57. Cotler, H. & Ortega-Larrocea, M. P. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena* **65**, 107–117 (2006).
58. Martínez-Trinidad, S., Cotler, H., Etchevers, J. D., Ordaz-Chaparro, V. M. & León-González, F. de. Effect of Management on Soil Aggregation in a Tropical Dry Ecosystem. *Terra Latinoam.* **26**, 299–307 (2008).
59. Maass, J. M., Jordan, C. F. & Sarukhan, J. Soil Erosion and Nutrient Losses in Seasonal Tropical Agroecosystems Under Various Management Techniques. *Soc. Br. Ecol. Ecol. Appl.* **25**, 595–607 (1988).

60. Lux, B. Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014).
61. Delagadillo, A. & Moreno, A. Morfometría de cuencas. *Rev. la Asoc. Geol. Argentina* (2012).
62. Esper Angillieri, M. Y., Espejo, K., Lara, G., Perucca, L. & Rothis, M. Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad/peligrosidad por aluviones, caso de estudio: Cuenca del río del agua, San Juan, Argentina. *Rev. la Asoc. Geol. Argentina* **73**, 513–519 (2016).
63. Biswas, A., Das Majumdar, D. & Banerjee, S. Morphometry Governs the Dynamics of a Drainage Basin: Analysis and Implications. *Geogr. J.* (2014). doi:10.1155/2014/927176
64. López, F. & Romero, M. Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir. *Papeles Geogr.* 47–62 (1987).
65. Sreedevi, P. D., Owais, S., Khan, H. H. & Ahmed, S. Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS. *J. Geol. Soc. India* (2009). doi:10.1007/s12594-009-0038-4
66. Cruz Romero, B., Fernanda & Gaspari, J. Delimitación de la cuenca del río Cuale, Jalisco, con herramientas de SIG como base para determinar su morfometría y escorrentía superficial. *Ciencia, Tecnol. e Innovación para el Desarrollo. México* (2013).
67. Martínez, G. & Díaz, J. J. Morfometría en la cuenca hidrológica de San José del Cabo, Baja California Sur, México. *Rev. Geológica América Cent.* 83–100 (2010). doi:10.15517/rgac.v0i44.3447
68. Boyd, C. E. *Water quality: An introduction*. (Springer, 2015). doi:10.1007/978-3-319-17446-4
69. Canter, L. W. *River water quality monitoring. River Water Quality Monitoring* (2018). doi:10.1201/9781351076418
70. DOF. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. *Diario Oficial de la Federación* 1–223 (1917). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
71. DOF. Ley Agraria. *Diario Oficial de la Federación* 1–46 (1992).
72. DOF. Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación* 1–222 (1992).
73. Villasante, T. & Martín Gutiérrez, P. Redes y conjuntos de acción: para aplicaciones estratégicas en los tiempos de la complejidad social. *Redes. Rev. Hisp. para el análisis redes Soc.* (2018). doi:10.5565/rev/redes.87
74. Maass, M. & Equihua, M. La Red Internacional de Investigación Ecológica a Largo Plazo (ILTER) a 20 años de su creación: sus avances y retos. *Bosque (Valdivia)* (2015). doi:10.4067/s0717-92002014000300016

75. Berkes, F., Folke, C. & Colding., J. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press, 2000. Cambridge University Press (2000).
76. Villasante, T. R. Historias y enfoques de una articulación metodológica participativa. *Cimas* (2010).
77. Ortegón, E., Pacheco, J. F. & Prieto, A. Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. 1–68 (2005).
78. Gobierno de Villa Purificación. Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018. *Gac. Munic.* 11 (2015). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
79. Gobierno de La Huerta. Plan Municipal de Desarrollo 2012-2030. *Gac. Munic.* (2012).
80. INEGI. Características de las localidades y del entorno urbano 2014. (2014).
81. CONAPO. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015. (2016).
82. INEGI. Marco Geostadístico Nacional. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2018).
83. INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2010).
84. RAN. Tierras uso común. Entidad Federativa Jalisco. *Regist. Agrar. Nac.* (2017).
85. RAN. Perimetrales núcleos agrarios. Entidad Federativa Jalisco. *Regist. Agrar. Nac.* (2017).
86. Burgos, A. & Maass, J. M. Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of Western Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* **104**, 475–481 (2004).
87. Cotler Ávalos, H. & Lazos Chavero, E. La Multifuncionalidad De Agroecosistemas En La Cuenca Del Río Cuitzmala, Jalisco, México. *Agric. Soc. y Desarro.* **16**, 513–537 (2020).
88. Ostrom, E. *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action* (Cambridge university press, 2015). doi:10.1017/CBO9781316423936
89. Burgos, A. L., Bocco, G. & Sosa, J. *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. (2015). doi:10.1080/00207728808547192
90. Villasante, T. Reversión y desborde popular. **11**, (2006).
91. Periódico Oficial. Ordenamiento Ecológico de la Región Costa del Estado de Jalisco. *Periódico Oficial 'El Estado de Jalisco'* (1999).
92. Periódico Oficial. Ordenamiento Ecológico Territorial de Jalisco. *Periódico Oficial 'El Estado de Jalisco'* (2001).

93. Anta, S., Arreola, A. V., González, M. A. & Acosta, J. *Ordenamiento Territorial Comunitario: Un debate de la sociedad civil hacia la construcción de políticas públicas*. (Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2006). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
94. Burgos, A. *et al.* Investigación Ecológica a Largo Plazo y su proyección en México. *Cienc. Desarro.* **33**, 24–31 (2007).
95. Murray-Tortarolo, G., Jaramillo, V. J., Maass, M., Friedlingstein, P. & Sitch, S. The decreasing range between dry- and wet-season precipitation over land and its effect on vegetation primary productivity. *PLoS One* **12**, 1–11 (2017).
96. Flores Casas, R. Modelado de los cambios de usos de suelo en las áreas de influencia de la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala. *UNAM* (Instituto de Biología, UNAM, 2015).
97. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie I. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (1991).
98. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie II. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2000).
99. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie IV. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2010).
100. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie III. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2005).
101. Imbert, D. & Portecop, J. Hurricane disturbance and forest resilience: Assessing structural vs. functional changes in a Caribbean dry forest. *For. Ecol. Manage.* **255**, 3494–3501 (2008).
102. Lazos-Chavero, E., Mwampamba, T. H. & García-Frapolli, E. Uncovering links between livelihoods, land-use practices, vulnerability and forests after hurricane Jova in Jalisco, Mexico. *For. Ecol. Manage.* **426**, 27–38 (2018).
103. Aguilar-Román, E., Castillo, A. & Güiza, F. Vulnerability and risk management after Hurricane Patricia in a rural community on the Jalisco coast, Mexico. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **45**, (2020).
104. Tapia-Palacios, M. A. *et al.* Abiotic and biotic changes at the basin scale in a tropical dry forest landscape after Hurricanes Jova and Patricia in Jalisco, Mexico. *For. Ecol. Manage.* **426**, 18–26 (2018).
105. Maass, M. Integrating food-water-energy research through a socio-ecosystem approach. *Front. Environ. Sci.* **5**, 1–8 (2017).

106. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de suelo y vegetación. Continuo Nacional. Escala 1: 250,000. Serie V. *Instituto Nac. Estad. Geogr. e Informática* (2014).
107. INEGI. INEGI Presenta Carta del Uso de Suelo y Vegetación Serie VI. *Comun. Prensa Núm. 535/17* Página 1/2 (2017).
108. Umair, A. & Umair, A. Analysis of Drainage Morphometry and Watershed Prioritization of Romushi -Sasar Catchment, Kashmir Valley, India using Remote Sensing and GIS Technology. *Int. J. Adv. Res. Journalwww.journalijar.com Int. J. Adv. Res.* **2**, 5–23 (2014).
109. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A. & Porter, J. P. RUSLE: revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* (1991). doi:10.1201/9780203739358-5
110. Contreras, P., Jarquín, S., Chagoya, V. & Ambrosio, G. *Manual de Planeación Estratégica. Manual de Planaeción Estratégica* (2004).