

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA DEL RÍO COPALITA, BAJO EL ENFOQUE DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

TESIS QUE PRESENTA:

Nayeli García Juárez

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Ph.D. Salvador Lozano Trejo



---

Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.  
Agosto de 2019.



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA DEL RÍO COPALITA, BAJO EL  
ENFOQUE DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

TESIS QUE PRESENTA:

Nayeli García Juárez

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Ph. D. Salvador Lozano Trejo



La presente tesis titulada “Sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita, bajo el enfoque de bienes y servicios ecosistémicos” se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

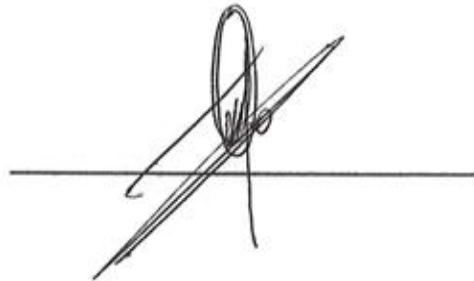
DIRECTOR:

Ph.D. SALVADOR LOZANO TREJO

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a solid horizontal line.

ASESOR:


DR. ERNESTO CASTAÑEDA HIDALGO

A handwritten signature in black ink, featuring a large circular loop and a long diagonal stroke, positioned above a solid horizontal line.

ASESORA:

DRA. GISELA M. SANTIAGO MARTÍNEZ

A handwritten signature in black ink, with a large circular loop and a long horizontal stroke, positioned above a solid horizontal line.

	Nombre de la Información Documentada:	Código: ITVO-AC-PR-08-02
	Autorización de entrega de tesis del Comité.	Revisión: 0
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Página 1 de 1

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, a 20 de agosto de 2019

NAYELI GARCÍA JUÁREZ  
 ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
 EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS  
 P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis “Sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita, bajo el enfoque de bienes y servicios ecosistémicos”. Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la AUTORIZACIÓN para que proceda a la entrega del documento final de la misma en formato digital (PDF); para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.



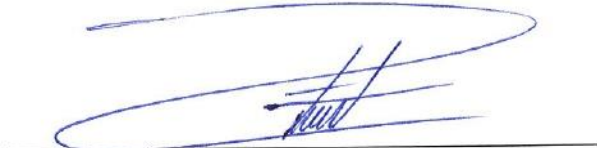
SALVADOR LOZANO TREJO  
 DIRECTOR DE TESIS




ERNESTO CASTAÑEDA HIDALGO  
 ASESOR



GISELA MARGARITA SANTIAGO MARTÍNEZ  
 ASESORA



SALVADOR LOZANO TREJO  
 ENCARGADO DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

	Nombre de la Información Documentada:	Código: ITVO-AC-PR-08-03
	Autorización de entrega de Tesis DEPI.	Revisión: 0
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Página 1 de 1

EXPEDIENTE: 20DIT0009G  
Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, 20/Agosto/2019  
No. de Oficio: DEPI/684/2019  
Asunto: Autorización.

**NAYELI GARCÍA JUÁREZ**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**P R E S E N T E**

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: “Sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita, bajo el enfoque de bienes y servicios ecosistémicos”.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

**ATENTAMENTE**

  
**SALVADOR LOZANO TREJO**  
**ENCARGADO DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del número de becario 632243, con el tema de investigación “Sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita, bajo el enfoque de bienes y servicios ecosistémicos”

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por brindarme las facilidades para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de mis estudios de posgrado.

A mi director de tesis:

Al Ph D. Salvador Lozano Trejo por ser mi guía desde la licenciatura, por su apoyo incondicional, mucha paciencia, por compartir sus conocimientos, por sus consejos de vida y sobre todo su amistad. Muchísimas gracias.

A mis asesores:

Al Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo por sus observaciones acertadas, sus chistes para mejorar el día y su amistad.

A la Dra. Gisela M. Santiago Martínez por sus observaciones acertadas, por sus ánimos y su amistad.

Al Dr. Ignacio Ocampo Fletes por su apoyo en la estancia en el Colegio de Postgraduados campus Puebla, por sus aportaciones al proyecto y amistad.

Al Dr. Santiago López Ridaura por sus observaciones a los artículos, sus contribuciones al proyecto y su amistad.

A todos los doctores por sus cátedras y enseñanzas: Dr. Salvador, Dr. Casta, Dra. Gis Santiago, Dr. Vicente y Mtra. Isa.

A la Mtra. Virginia Hernández Viera. Gerente del comité de Playas limpias de Santa María Huatulco por la información brindada.

Al Mtro. Edén Hernández Vásquez. Ex-Gerente operativo del comité de cuenca Copalita-Tonameca por la información brindada.

Al Biol. Ignacio D. González Mora Coordinador del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y la Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas (REMEXCU) por la información brindada y amistad.

A los presidentes municipales, funcionarios y habitantes por brindarnos la información en la entrevista.

Al Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz por su apoyo para adquirir información respecto a la parte forestal de la cuenca.

A mis amigos Juan Martínez, Dulce Hernández, Abraham Santiago, Yadira Santiago, David Quero, Miriam Molina y Félix Estudillo gracias por todo su apoyo en estos años.

A mis amigos de la maestría Dani A. Canseco y Rolando F. Rodríguez por su apoyo y risas interminables; también a Aldo por las risas en los momentos de estrés y su amistad.

A mis hermanitos académicos Francisco Ramírez Martínez y Miguel A. López Justo por su apoyo en las entrevistas y su amistad.

A mis amigos del CECYTE Oaxaca: Gaby García, Yetzeyal Gómez, Lulú Romualdo, Margarito Ruiz, Gerardo Ramos, Ezequías Acevedo, Ardan Maldonado, Alejandro Luis, Miguel A. Aguilar, Madga Labrada, Guadalupe Ornelas, María del Carmen y María de Jesús por contribuir a mi crecimiento profesional y personal.



## DEDICATORIAS

“El secreto de la sabiduría, del poder y del conocimiento es la humildad”

Ernest Hemingway

“Un gramo de bondad vale más que una tonelada de intelecto”

Alejandro Jodorowsky

Te dedico especialmente a ti todos mis logros, mujer de fuerza, amor y lucha incondicional. Te adoro infinitamente hermosísima madre Catalina Juárez García.

A mi padre que a pesar de todo me ha enseñado mucho.

A mis hermanos: Concepción, Manuel, Rogelio y Ross por su ejemplo de vida y su amor incondicional.

A mis amores Gaby, Alex, Lisi y Yasibita por motivarme a ser una mejor persona.

A mis cuñados Oscar Sánchez Osorio y Verónica Campio Gómez por su apoyo y amistad.

A mi tío-papá Antonio García y tía Angela Jarquín por sus consejos y su apoyo incondicional.

A mi mejor amigo-hermano Juan Martínez Hernández por su cariño y apoyo incondicional, siempre estaré agradecida con la vida por haberlo encontrado en el camino.

A todos mis seres queridos por haber creído en mí.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Sistemas socioecológicos.....	4
2.2 Enfoque de cuencas desde las políticas públicas.....	5
2.3 Cuencas hidrográficas.....	5
2.3.1 Tipos de cuenca.....	7
2.4 Sustentabilidad en una cuenca.....	8
2.4.1 Bienes y servicios ecosistémicos (BSE).....	9
2.4.2 Pago de servicios ecosistémicos.....	12
2.5 Evaluación de la sustentabilidad.....	14
2.5.1 Índice relativo de sustentabilidad (IRS).....	14
2.5.2 Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS).....	15
<b>CAPÍTULO III. BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS GENERADOS POR LA CUENCA RÍO COPALITA, OAXACA</b> .....	18
3.1 Resumen.....	18

3.2. Abstract.....	19
3.3 Introducción.....	21
3.4 Materiales y métodos.....	22
3.4.1 Localización del área de estudio.....	22
3.4.2 Técnicas de investigación.....	23
3.4.3 Análisis de la información.....	24
3.5 Resultados y discusión.....	25
3.7 Conclusiones.....	34
3.8 Agradecimientos.....	34
3.9 Referencias.....	34
<b>CAPÍTULO IV. SUSTENTABILIDAD DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COPALITA, BAJO EL ENFOQUE DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....</b>	<b>39</b>
4.1 Resumen.....	40
4.2. Abstract.....	40
4.3 Introducción.....	41
4.4 Materiales y métodos.....	42
4.4.1 Localización del área de estudio.....	42
4.4.2 Metodología para la evaluación de la sustentabilidad	43
4. 5 Resultados y discusión.....	47
4. 5.1 Selección de las variables por dimensión.....	48
4.5.2 Evaluación de las variables seleccionadas por dimensión.....	49
4.5.3 Evaluación de sustentabilidad y contribución de las dimensiones.....	53
4.5.4 Propuesta de acciones para la sustentabilidad en la cuenca Río Copalita.....	55
4.6 Conclusiones.....	57
4.7 Agradecimientos.....	57
4. 8 Literatura citada.....	57
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO VIII. ANEXOS.....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Atributos de los ecosistemas y agroecosistemas.....	17
2	Bienes y servicios ecosistémicos de la cuenca Río Copalita....	27
3	Ecuaciones que estiman el IRS y la contribución de cada atributo o dimensión al IRS.....	45
4	Escala de evaluación de las dimensiones y del IRS con su clasificación porcentual.....	46
5	Listado de variables ambientales (X), sociales (Y) y económicas (Z).....	47
6	Listado de variables seleccionadas con su transformación y clasificación.....	49
7	Evaluación de la contribución de las dimensiones de la cuenca Río Copalita.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Partes de la cuenca.....	6
2	Tipos de cuencas.....	8
3	Diversidad de servicios geosistémico.....	12
4	Línea del tiempo del pago de servicios ambientales.....	13
5	Ruta del índice relativo de sustentabilidad.....	15
6	Estructura operativa del MESMIS.....	16
7	Localización de la subcuenca Río Copalita, Oaxaca, México.....	23
8	Tendencia temporal de la producción de alimentos derivados de la agricultura en la cuenca Río Copalita en el período 2013-2017.....	28
9	Tendencia temporal del volumen de producción maderable en la cuenca Río Copalita en el período 2013-2017.....	29
10	Tendencia temporal de la disponibilidad natural media <i>per cápita</i> en la cuenca Río Copalita en el período 1950-2010.....	30
11	Tendencia temporal de la precipitación en tres estaciones climatológicas de la cuenca Río Copalita en el período 1980-2013.....	31
12	Tendencia temporal de la temperatura en tres estaciones climatológicas de la cuenca Río Copalita en el período 1980-2013.....	32
13	Tendencia espacial de coeficientes de infiltración (CINF) y escurrimiento (CESC) ajustados por efecto de covariable en los diferentes tipos de uso de suelo y vegetación.....	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Listado de variables de la dimensión ambiental para evaluar sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita.....	77
2	Listado de variables de la dimensión social para evaluar sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita.....	80
3	Listado de variables de la dimensión económica para evaluar sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita.....	82

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo el conocer el grado de sustentabilidad de la cuenca Río Copalita, bajo el enfoque de bienes y servicios ecosistémicos para el diseño de acciones de aprovechamiento y manejo sustentable. Se utilizó la metodología de Millennium Ecosystem Assessment (2005) para la identificación de bienes y servicios ecosistémicos. Posteriormente, se llevó a cabo la evaluación de sustentabilidad mediante la metodología del índice Relativo de Sustentabilidad (2002) con la integración de variables indicadoras, las cuales se evaluaron por dimensión. Para ello, se colectó información mediante la aplicación de una entrevista estructurada para la generación de información primaria y la investigación documental para la secundaria. Se identificaron 14 de los 24 bienes y servicios ecosistémicos reportados por la MEA en la cuenca Río Copalita. En la evaluación de sustentabilidad se encontró que la dimensión ambiental presenta mayor contribución a la sustentabilidad, seguida por la dimensión social. Por lo tanto, es importante la generación de estrategias para cada bien y servicio ecosistémico. Finalmente se plantean acciones de manejo sustentable bajo la conceptualización del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (2000).

## **SUMMARY**

The objective of this study was to know the state of sustainability of the Río Copalita basin, under the ecosystem goods and services for the design of actions of used and sustainable management. The Millennium Ecosystem Assessment methodology (2005) was used to identify ecosystem goods and services. Subsequently, the sustainability evaluation was carried out using the methodology of the Relative Sustainability Index (2002) with the integration of indicator variables, which were evaluated by dimension. Finally, the development of a strategy of sustainable management with the methodology of the Framework for the Evaluation of Management Systems of natural resources incorporating Sustainability Indicators (2000). For this, information was collected through the application of the structured interview for the generation of primary information and documentary research for secondary school. They were identified 14 of the 24 ecosystem goods and services reported by the MEA in the Copalita River basin. In the evaluation of sustainability, it was found that the environmental dimension has a greater contribution to sustainability, followed by the social dimension. Therefore, sustainable management actions are proposed under the conceptualization of the Framework for the Evaluation of Natural Resources Management Systems incorporating Sustainability Indicators (2000).



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN GENERAL**

Los efectos del cambio climático y las actividades antropogénicas en los ecosistemas, se han podido observar de manera crítica a través de los últimos 65 años (MEA, 2005). Desde 1983 que fue conformada la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, para atender al llamado formulado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y establecer una agenda global para el cambio; se publica en 1987 el informe "Nuestro Futuro Común" o Informe Brundtland, el cual plantea la necesidad de modificar el modelo económico imperante, a otro que incorpore las dimensiones social, económica y ambiental; hacia un nuevo paradigma que garantice la sustentabilidad de la especie humana (Brundtland, 1987). Por más de 20 años se ha intentado abordar la degradación ambiental, la pobreza y los altibajos de la economía global, bajo el nuevo paradigma. Para lo cual se han empleado distintos enfoques desde el gobierno y la ONU, tratando de resolver la problemática de matiz multivariable,

multidimensional y multifactorial; situación que es ajena, a muchos funcionarios públicos tomadores de decisiones, con sus consecuentes fracasos.

Investigadores mexicanos han contribuido notablemente a estos enfoques con metodologías y marcos de evaluación, como el de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Maserá *et al.*, 1999, 2000, López-Ridaura *et al.*, 2005) y los índices relativos de sustentabilidad (Casas-Cazáres, 2002 y Casas-Cazáres *et al.*, 2009) que han demostrado sentar las bases para el diseño de estrategias de manejo sustentable de los agroecosistemas y los recursos naturales.

En los abordajes territoriales también destacan los de Maass Moreno (UNAM) y Helena Cottler (Centrogeo), con modelos socioambientales bajo el enfoque de cuencas hidrográficas (MIC), así como el de bienes y servicios ecosistémicos (BSE). Por ejemplo, Chaves y Alipaz (2007) con el concepto de sustentabilidad en las cuencas hidrográficas marca un auge, ya que resalta como un manejo dinámico y holístico, en función de su hidrología, medio ambiente, vida y política de recursos hídricos, es decir, las personas que dependen de su medio ambiente y políticas de los recursos hídricos, para satisfacer sus necesidades y mejorar la calidad de vida. En México desde 1992 se establece que las cuencas significan la oportunidad de los mexicanos para una planeación del desarrollo integral, que la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 1992) destaca en su artículo 3, en el sentido de que la cuenca es la unidad básica de planeación para la gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas vitales.

Por consiguiente, resulta fundamental evaluar la sustentabilidad de cuencas hidrológicas para generar datos sobre funcionalidad, como un elemento clave para su recuperación, gestión y mantenimiento. El manejo sustentable de las cuencas depende de la capacidad que tengamos para distinguir sus puntos críticos (Maserá *et al.*, 2000) y las propiedades naturales que señalan Conway (1985) y Pretty (2008). Por lo que resulta relevante verificar si es aplicable la conceptualización generada, al ámbito de cuencas.

En el estado de Oaxaca la cuenca más estudiada es la del Río Copalita, desde el año 2004, al ser la proveedora de agua y servicios ecosistémicos al complejo turístico de Bahías de Huatulco (BH) y el Parque Nacional Huatulco. Sin embargo, se han identificado procesos acelerados de cambio de uso del suelo en condiciones de una alta fragilidad natural del territorio de la cuenca. Los ecosistemas que contiene están siendo alterados en estructura y función; por lo tanto, una gran biodiversidad de flora y fauna se encuentra en riesgo (SAGARPA y SEDAFPA, 2014). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es conocer el grado de sustentabilidad de la cuenca Río Copalita, bajo el enfoque de bienes y servicios ecosistémicos para el diseño de acciones de aprovechamiento y manejo sustentable.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1 Sistemas socioecológicos**

La dependencia humana al ambiente comienza a estudiarse en la década de los 50's. No obstante, el enfoque de sistemas ecológicos inició con la inclusión de la termodinámica, en la cual se utilizó el concepto de recursos naturales para todo lo que provenía de los ecosistemas, así como la biósfera en general y la parte fundamental del mantenimiento de las sociedades humanas, en esencia los materiales o insumos directos o indirectos del entorno natural, no creados por la actividad humana (Caro-Caro y Torres-Mora, 2015). Asimismo, el enfoque socioecosistémico en cuencas fundamenta los diferentes agentes de interacción no sólo son los entes físicoquímicos que siguen leyes naturales; entes biofísicos con procesos evolutivos y entes sociobiofísicos con procesos culturales (Maass, 2012; Caro-Caro y Torres-Mora, 2015; Maass, 2018).

## **2.2 Enfoque de cuencas desde las políticas públicas**

Debido a que las cuencas son sistemas naturales integrados, estas originan diferentes interacciones entre sus elementos. En consecuencia, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas. De igual manera, las interrelaciones en el manejo de los recursos tienen vínculo con la falta de educación ambiental, la degradación de un recurso como el agua, la falta de aplicación de leyes y tecnologías inapropiadas (Cotler, 2015).

Por otra parte, las instituciones gubernamentales se han orientado más en lo económico (aumentando la productividad y apoyos a sectores vulnerables) desvalorizando a lo ambiental, lo cual genera problemas severos en el hábitat disminuyendo la disponibilidad de bienes y servicios ecosistémicos (suelo, agua, biodiversidad, alimento, empleo, organización y cosmovisión), ya que un ambiente degradado afectará en los derechos principales de las personas como la salud entre otros (Quintero-Burgos, 2008).

## **2.3 Cuencas hidrográficas**

La cuenca es un espacio geográfico delimitado por un parteaguas o línea divisoria de aguas, donde las precipitaciones pluviales escurren por diferencial de altitud, conformando una red de drenaje (ríos y arroyos), concentrando sus aguas en una

corriente principal. Las cuencas hidrográficas contienen recursos naturales e infraestructura creada por los habitantes, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano (Cuevas, 2010).

Asimismo, las cuencas presentan gradientes altitudinales desde las zonas altas de las montañas, donde el agua que precipita, se escurre aguas abajo por arroyos y ríos. Por esta razón, para su estudio es dividida en tres franjas con estratos altitudinales diferenciados como: cuenca alta, media y baja (Figura 1).



Fuente: Ordoñez-Gálvez, 2011.

Figura 1. Partes de una cuenca.

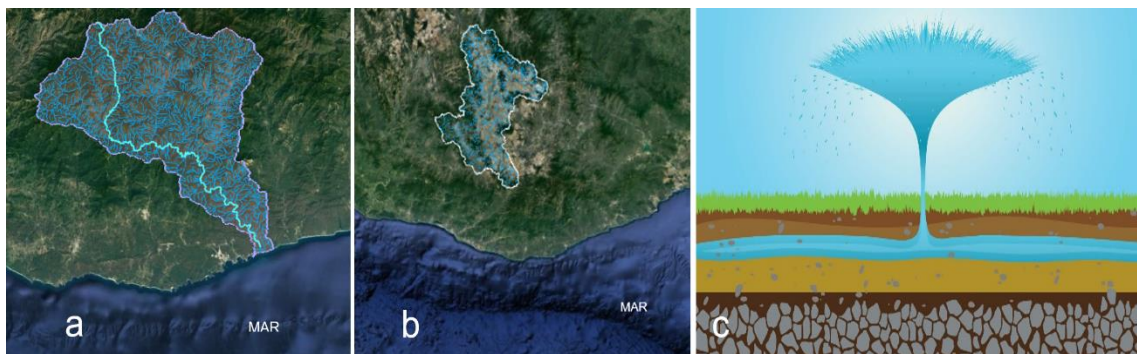
La clasificación de este gradiente permite entender los fenómenos socioambientales que se desencadenan por la transformación humana, al aprovechar los bosques y suelos que prevalecen en los segmentos altitudinales de la cuenca (Ordoñez-Gálvez, 2011). Adicionalmente, de acuerdo con

Viramontes-Olivas *et al.* (2008), las características morfométricas de una cuenca son:

1. Parámetros de forma: el área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está conceptualizada como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.
2. Parámetros de relieve: es uno de los parámetros determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella depende en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio.
3. Red de Drenaje: la densidad de drenaje provee una liga entre los atributos de forma de la cuenca y los procesos que operan a lo largo del curso de la corriente. También refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos y vegetacionales, además de incorporar la influencia del hombre.

### 2.3.1 Tipos de cuenca

De acuerdo con Ordoñez-Gálvez (2011) existen tres tipos de cuencas por la evacuación de aguas (Figura 2):



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEGI-SIATL (2019).

Figura 2. Tipos de cuencas a) exorreicas o abiertas, b) endorreicas o cerradas y c) arreicas.

1. Exorreicas o abiertas: drenan sus aguas a otras cuencas, al mar o al océano.
2. Endorreicas o cerradas: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.
3. Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

## 2. 4 Sustentabilidad en una cuenca

Capacidad del sistema socio-ambiental imperante, para mantener el flujo de bienes y servicios ecosistémicos por largo plazo, a pesar de las perturbaciones



(presiones antropogénicas y climáticas), que inciden sobre la cuenca. Este concepto ha sido construido para tener una referencia conceptual, integrada de los escritos de Conway (1985), Cotler (2007) y Maass (2012).

Por lo tanto, Casas-Cazáres (2009) y otros autores no mencionados aquí, coinciden en que la sustentabilidad debe buscar la conciliación de los intereses de las tres dimensiones del desarrollo:

1. Ambiental: capacidad de la naturaleza para desarrollarse y recuperarse de la acción humana.
2. Social: capacidad de un sistema ecológico está en función de las relaciones que los humanos establecen entre sí.
3. Económica: interacción ser humano-naturaleza y de la transformación hecha en la naturaleza con instrumentos y tecnología, para generar valor económico.

#### 2.4.1 Bienes y servicios ecosistémicos (BSE)

Los bienes y servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que la sociedad recibe del funcionamiento de los ecosistemas. Se clasifican en cuatro categorías (MEA, 2005):

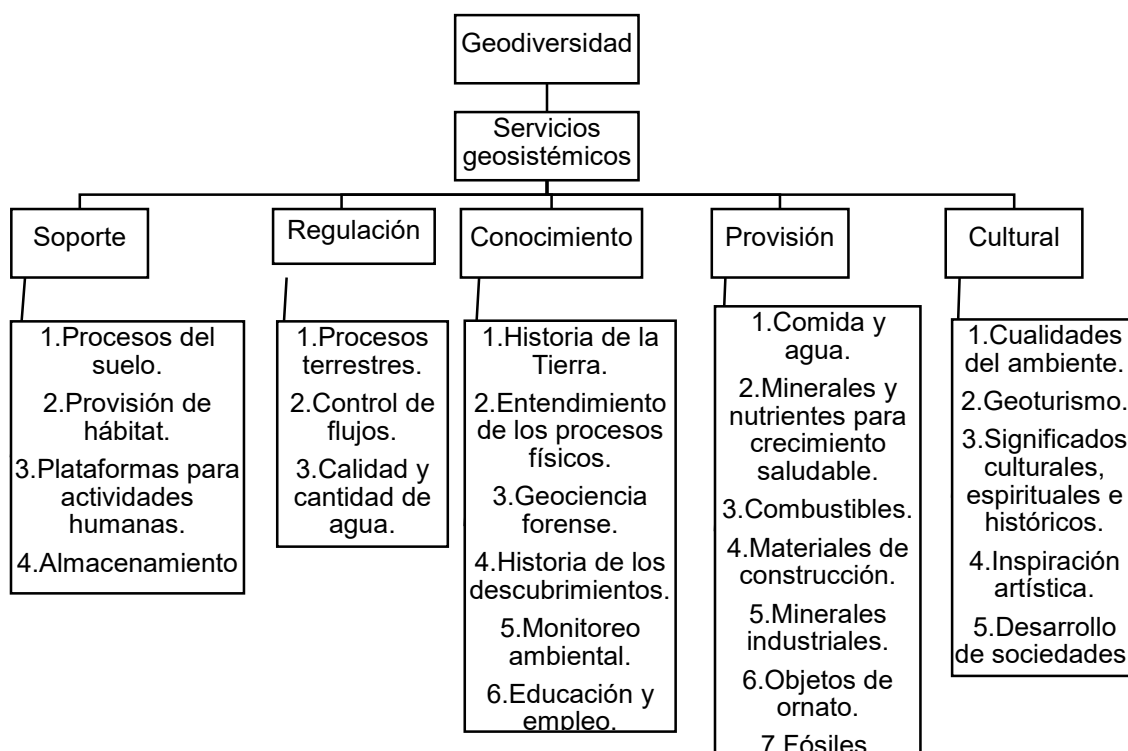
1. Servicios de apoyo o soporte: son los beneficios y servicios que sustentan los procesos de los ecosistemas, así como propician el abastecimiento del resto de los servicios. Entre ellos se catalogan los principales recursos como suelo, biodiversidad, agua, caudal ecológico, etc.
2. Aprovechamiento: son aquellos bienes y servicios que se derivan de los recursos soporte, para uso humano. Además, algunos pueden ser renovables. Entre los cuales, se clasifican las materias primas, el alimento (agroecosistemas), huella hídrica, recursos medicinales y ornamentales.
3. Servicios de regulación: son aquellos bienes y servicios que regulan las condiciones del ambiente mediante los procesos y funciones naturales de los ecosistemas. Entre ellos encontramos las condiciones del clima, inundaciones, escurrimiento-infiltración, fijación de C, tratamiento de desechos y control de escurrimiento.
4. Culturales-estéticos: son aquellos bienes y servicios que son producto de las percepciones individuales o colectivas anexas al contexto sociocultural. Entre ellos se derivan los espirituales, ciencia y educación cosmovisión.

Para la realización de estudios de los bienes y servicios ecosistémicos BSE, se debe determinar quiénes pueden beneficiarse del suministro de estos. De acuerdo con Mokondoko *et al.* (2018) los BSE son consumidos, así como

exportados dentro y fuera de las cuencas, por lo que los alcances de provisión son:

1. Local: los servicios son consumidos en el área donde se producen.
2. Regional: son consumidos en el resto de la cuenca o sobrepasan los límites de la misma.
3. Nacional: la población en general obtiene un beneficio de ellos y los consume más allá del área donde se generan.
4. Global: la humanidad se ve beneficiada de su adecuada conservación.

Desde el punto de vista geológico los servicios ecosistémicos, son llamados servicios geosistémicos, planteando que es vital la variación abiótica como la geológica (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicas (formas y procesos terrestres) y del suelo (Gray, 2004; Gray, 2011) entendida como la geodiversidad, ya que sin esta diversidad no fuera posible proporcionar servicios a la humanidad (Figura 3):



Fuente: Gray (2011).

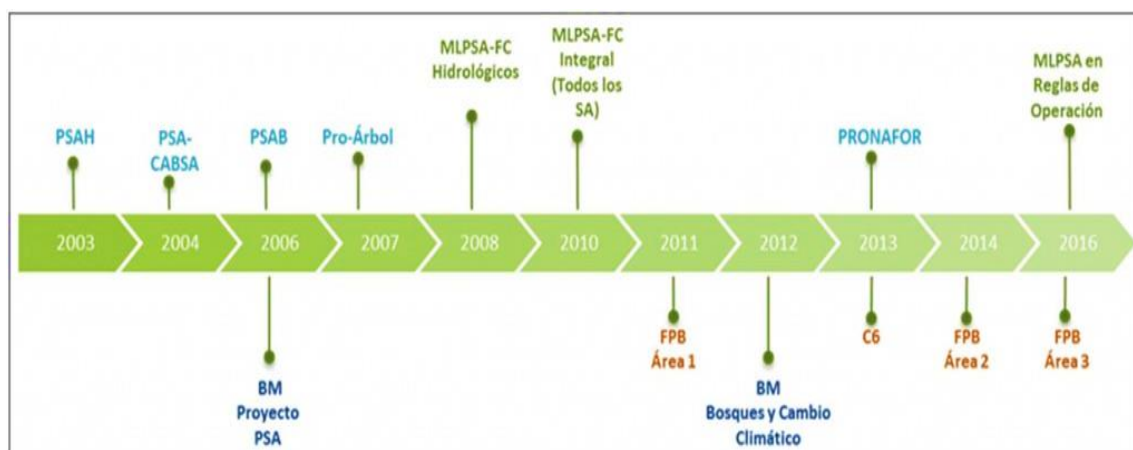
Figura 3. Diversidad de servicios geosistémicos.

## 2. 4. 2 Pago de servicios ecosistémicos

El Pago de Servicios Ambientales (PSA) es una política de conservación de ecosistemas, que coadyuva a evitar el cambio de uso de suelo, disminuir riesgos de incendios y de sanidad forestal, al tiempo que fomenta el mantenimiento de la productividad primaria. Se concibe como un instrumento económico utilizado por la Comisión Nacional Forestal, el cual sirve para retribuir económicamente a los dueños de los terrenos en donde se generan los beneficios derivados de los ecosistemas y promover su mantenimiento. El programa de servicios ambientales hidrológicos (PSAH) a partir de 2003 (Figura 4), además se enlaza a la operación de Pro árbol, PRONAFOR, mecanismos locales de Pago por servicios

hidrológicos (PSH) a través de fondos concurrentes. Asimismo, la implementación de programas para desarrollar el mercado de servicios ambientales (CONAFOR, 2018) (Figura 4):

1. Pago de servicios ambientales por captura de carbono y los derivados de la biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales (PSA-CABSA).
2. Pago por Servicios Ambientales del Bosque.



Fuente: CONAFOR (2018).

Figura 4. Línea del tiempo del PSA.

Los pagos se otorgan en compensación a la conservación y manejo sustentable de los ecosistemas forestales, dividido en dos modalidades: servicios ambientales hidrológicos y conservación de la biodiversidad. Ambas modalidades están basadas en aportaciones económicas a los dueños y poseedores de territorios forestales. Se convoca a proveedores de servicios ambientales para

ser retribuidos por el gobierno federal mediante un pago por resultados, es decir, terrenos forestales que mantienen una cobertura forestal en buen estado de conservación, incluyendo a los que tienen manejo y aprovechamiento forestal legalmente autorizado. Mediante un convenio pactado por cinco años entre el dueño de la tierra y la CONAFOR se formaliza el compromiso de pago por conservar los ecosistemas (CONAFOR, 2013).

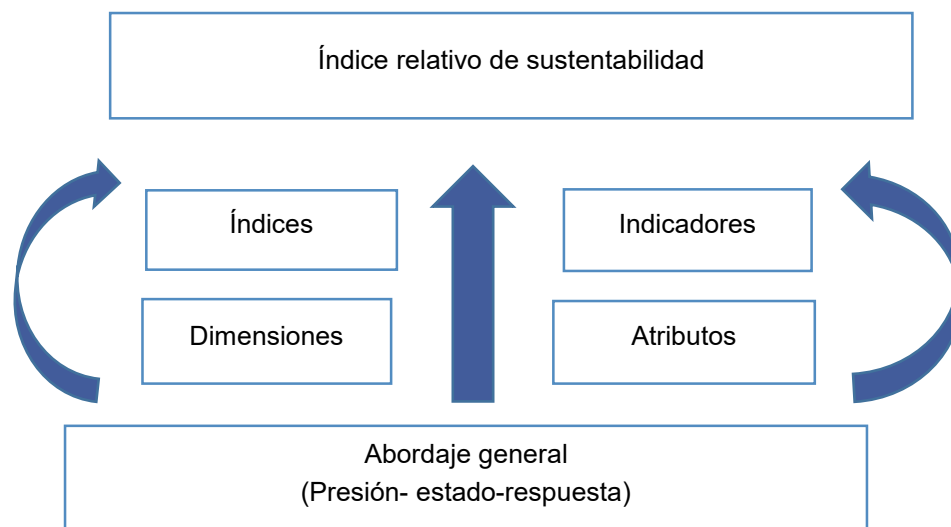
## **2. 5 Evaluación de la sustentabilidad**

La sustentabilidad del desarrollo territorial puede evaluarse mediante diferentes metodologías. Los itinerarios metodológicos para estudiar el papel de la agricultura en el desarrollo sustentable en el ámbito regional, proveen de importantes elementos de análisis, tales como las relaciones jerárquicas entre sistemas de producción en el marco de distintos niveles espaciales y temporales (Torres-Lima *et al.*, 2004).

### **2.5.1 Índice relativo de sustentabilidad (IRS)**

Esta metodología tiene un abordaje general de presión-estado-respuesta (PER), el cual integra las dimensiones ambiental, social y económica del paradigma mediante índices o variables que promueven o inhiben la sustentabilidad. Al igual se compone por atributos o propiedades naturales (productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, equidad y autodependencia) con los

indicadores que nos puedan señalar el estado en que se encuentran los bienes y servicios de los ecosistemas (Figura 5) (Casas-Cazáres, 2002).

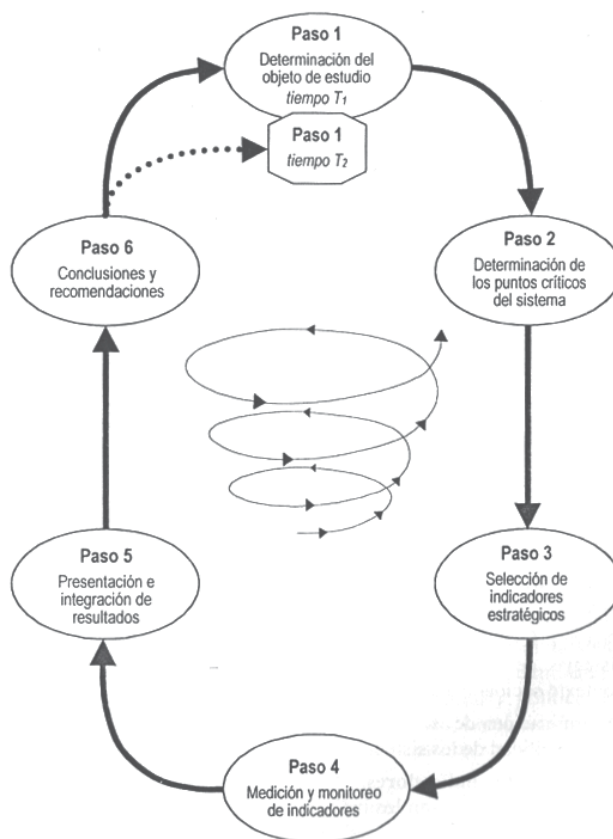


Fuente: Casas-Cazáres, 2002.

Figura 5. Ruta del IRS.

### 2.5.2 Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)

El MESMIS es una herramienta metodológica para evaluar sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales, con énfasis en el contexto de los productores campesinos y en el ámbito local, desde la parcela hasta la comunidad. Incluyendo, la comprensión integral de los sistemas de manejo que surgen de las interrelaciones entre los procesos ambientales, sociales y económicos. Esta metodología tiene una estructura operativa que consta de seis pasos (Figura 6.).



Fuente: Masera *et al.*, 2000.

Figura 6. Estructura operativa del MESMIS.

Los atributos o propiedades naturales de los ecosistemas y agroecosistemas son características importantes que se deben atender, para que un sistema sea sustentable, y por lo tanto, en la evaluación sea esencial para la derivación de indicadores (Masera *et al.*, 2000) (Cuadro 1).



Cuadro 1. Atributos de los ecosistemas y agroecosistemas.

Atributos	Descripción
Productividad	Es la capacidad del agroecosistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios. Representa el valor del atributo en un periodo de tiempo determinado.
Estabilidad	Es la propiedad del sistema de tener un estado de equilibrio dinámico estable.
Resiliencia	Es la capacidad del sistema de retomar el estado de equilibrio o mantener el potencial productivo después de sufrir perturbaciones graves.
Confiabilidad	Es la capacidad del sistema de mantener su productividad o beneficios deseados en niveles cercanos al equilibrio, ante perturbaciones normales del ambiente.
Adaptabilidad	Es la capacidad del sistema de continuar siendo productivo o, de modo más general, brindando beneficios, ante cambios de largo plazo en el ambiente.
Equidad	Es la capacidad del sistema para distribuir de manera justa, tanto intra como intergeneraciones, los beneficios y costos relacionados con el manejo de los recursos naturales.
Autodependencia	Es la capacidad del sistema de regular y controlar sus interacciones con el exterior.

Fuente: Masera *et al.* (2000).

## CAPÍTULO III

### BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS GENERADOS EN LA CUENCA RÍO COPALITA, OAXACA

#### **Goods and ecosystem services generated in the River Copalita basin, Oaxaca**

Nayeli García Juárez<sup>1</sup>, Salvador Lozano Trejo<sup>1</sup>, Ignacio Ocampo Fletes<sup>2</sup>, Santiago López Ridaura<sup>3</sup>, Ernesto Castañeda Hidalgo<sup>1</sup>, Gisela Santiago Martínez<sup>1</sup>.

**Palabras clave:** beneficios, ecosistemas, manejo sustentable, subsistencia.  
**Keywords:** benefits, ecosystems, sustainable management, subsistence.

---

#### 3.1 Resumen

**Introducción:** La humanidad recibe beneficios directos e indirectos del funcionamiento de los ecosistemas para satisfacer necesidades, llamados bienes y servicios ecosistémicos (BSE); sin embargo, factores climáticos y antropogénicos afectan el flujo de los mismos, lo cual pone en riesgo progresivo la subsistencia humana. Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo identificar los BSE que proporciona la cuenca Río Copalita a sus habitantes.

**Método:** El estudio se realizó del 2017 al 2019 en la subcuenca, ubicada dentro de la cuenca Río Copalita y Otros. Se utilizó la metodología de la evaluación de los ecosistemas del Milenio (MEA), técnicas de investigación documental considerando las dimensiones

de estudio del paradigma de la sustentabilidad.

**Resultados:** Se identificaron 11 servicios ecosistémicos: hábitat, producción primaria, diversidad de especies, captura de carbono, formación de suelos, clima, escurrimientos, infiltración, purificación, turismo de naturaleza y culturales; y tres bienes ecosistémicos: extracción de madera, agua, producción de alimentos y fibras. En cuanto a las tendencias destacan los servicios con tendencia al alza como clima (precipitación y temperatura) y bienes de producción de alimentos bajo temporal a la baja.

**Conclusión:** La cuenca Río Copalita genera el 58.33% BSE, de los registrados por MEA. Asimismo, el complejo turístico Bahías de Huatulco (BH) es su principal demandante del recurso hídrico. No obstante, las tendencias de degradación ecológica reflejan una posible disminución de la capacidad del territorio para mantener el flujo de los bienes y servicios ecosistémicos.

<sup>1</sup>Maestría en Productividad en Agroecosistemas, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Tecnológico Nacional de México. Oaxaca de Juárez. E-mail: lozanos2004@gmail.com.

<sup>2</sup> Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla.

<sup>3</sup> Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Texcoco, Estado de México.

© Universidad De La Salle Bajío (México).

### 3.2 Abstract

**Introduction:** Humanity receives the direct and indirect benefits of the functioning of ecosystems to meet the needs, ecosystem goods and services (BSE); However, climatic and anthropogenic factors affected their flow, which puts human subsistence at risk. The objective of this study is to identify the ecosystem goods and services provided by the Copalita River basin to its inhabitants.

**Method:** The study was carried out from 2017 to 2019 in the sub-basin of the Copalita River, located within the Copalita River Basin and Others. The Millennium Ecosystem Assessment (MEA) methodology, documentary research techniques were used considering the dimensions of study of the sustainability paradigm.

**Results:** The 11 ecosystem services were identified: habitat, primary production, species diversity, carbon sequestration, soil formation, climate, runoff, infiltration, purification, nature and cultural tourism; and three ecosystem goods: wood extraction, water, food and fiber production. In terms of trends, services with an upward trend such as climate

(precipitation and temperature) and food production goods stand out from temporary downwards.

**Conclusion:** The Copalita River basin generates 58.33% BSE, of those registered by MEA. Also, the tourist complex Bahías de Huatulco (BH) is its main claimant of water resources. However, trends of ecological degradation reflect a possible decrease in the capacity of the territory to maintain the flow of ecosystem goods and services.

---

### 3.3 Introducción

La degradación de los ecosistemas son consecuencia de los problemas ambientales generados principalmente por el crecimiento demográfico, que ha intensificado la deforestación y el cambio de uso de suelo en el planeta: por lo que el flujo de bienes y servicios ecosistémicos (BSE) ha disminuido, para satisfacer las necesidades vitales de los seres humanos. En los últimos 14 años surgieron diferentes contribuciones al estudio de los ecosistemas, tal es el caso de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA 2005), con investigaciones que revelan las tendencias de disminución. Además, la inclusión del mapeo mediante software para identificar la magnitud de transformación de los ecosistemas y la política de pago de servicios ambientales, son aspectos fundamentales para impulsar la protección de las cuencas hidrográficas (Challenger *et al.*, 2014, 10-12; Challenger *et al.*, 2018, 2-3). En América Latina y Asia destacan nuevos abordajes como la evaluación de ecosistemas marinos, los cuales favorecen al entendimiento de los vínculos socio ecosistémicos (Muñoz *et al.* 2017, 13; Zhao *et al.* 2018, 114). Aportaciones recientes destacan la importancia social, ambiental y económica en las cuencas hidrológicas (Aguilar *et al.* 2018, 166).

En México, la importancia de cuencas tuvo su base en la publicación de la Ley de Aguas Nacionales en 1992, la cual destaca en su artículo 3, que “la cuenca es la unidad básica de planeación para la gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas vitales”, así como la oportunidad de los mexicanos, para una planeación del desarrollo sustentable (LAN 1992, 5). Por consiguiente, estudios en relación a los servicios ecosistémicos con enfoque de cuenca, comienzan a realizarse 15 años más tarde en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal; con el fin de identificar y evaluar servicios ecosistémicos, así como sus diferentes procesos (Almeida *et al.* 2007, 58-59). De igual manera, en la cuenca del Río Eslava, Distrito Federal; se tomaron en cuenta a los actores sociales en la elaboración del diagnóstico para los servicios ecosistémicos en la reserva de la Biosfera en el Triunfo, Chiapas (López *et al.*, 2016, 28; Chávez 2015, 182-186).

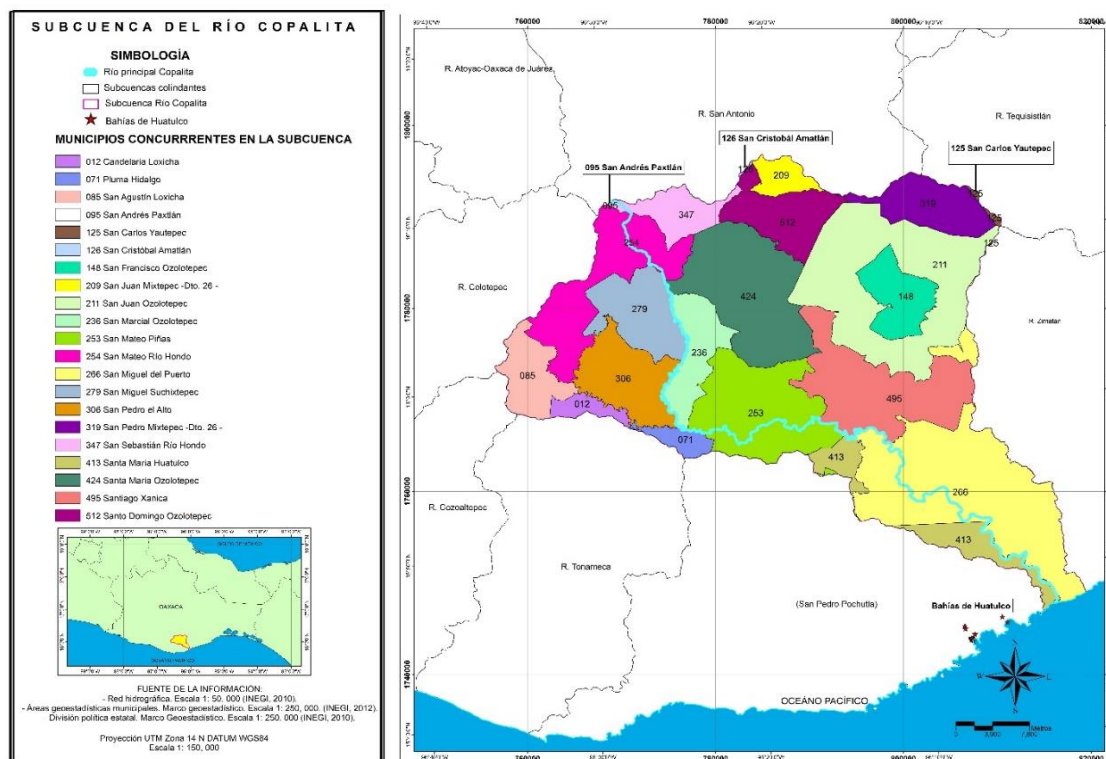
En el estado de Oaxaca la cuenca más estudiada es la del Río Copalita desde el año 2004, al ser la proveedora de agua y servicios ecosistémicos al complejo turístico de Bahías de Huatulco (BH) y a más de 30,000 habitantes por más de 30 años (González *et al.* 2009, 5; Mendoza *et al.* 2018, 68). A pesar de ello, no existen estudios para Oaxaca En

condiciones de una alta fragilidad natural, el territorio ha sido utilizado para producir maíz y frijol, bajo condiciones de agricultura de roza-tumba y quema (Bautista, 2014, 90-91), en suelos que provoca la disminución de su fertilidad, estimándose una tasa de  $17 \text{ t}^1\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  de pérdida de suelo en la cuenca alta (Ramírez *et al.* 2015). Consecuentemente los ecosistemas de bosques templados son fragmentados y alterados en estructura y función; por lo tanto, una gran biodiversidad de flora expresada en 12 formaciones vegetales diferentes y una gran diversidad de fauna representada por más de 30 especies ubicadas en algún estatus de riesgo (CITES 2013; NOM-059-2010; IUCN 2018; SAGARPA y SEDAPA 2014). El objetivo del presente estudio identificar los bienes y servicios ecosistémicos y su análisis de tendencias en la cuenca Río Copalita, Oaxaca.

### **3.4 Materiales y métodos**

#### **3.4.1 Localización del área de estudio**

La zona de estudio fue la subcuenca del Río Copalita, que forma parte de la cuenca Río Copalita y Otros. Esta pertenece a la Región Hidrográfica 21 denominada Costa de Oaxaca. La subcuenca se encuentra localizada entre los paralelos  $16^{\circ}14'6.01''$  y  $15^{\circ}47'19.35''$  latitud norte y los meridianos  $96^{\circ}20'2.42''$  y  $96^{\circ}2'56.20''$  de longitud oeste con una superficie aproximada de 153 000 ha; conformada por seis microcuencas: Santa Anita, La venta, San Cristóbal, Yuviaga, San Jerónimo y San Miguel; donde concurren 21 municipios correspondientes a los Distritos de Pochutla y Miahuatlán, ubicados en las regiones socioculturales de la Costa y Sierra Sur del estado de Oaxaca (SIATL-INEGI, 2018) (Figura 1).



**Figura 7.** Localización de la subcuenca Río Copalita, Oaxaca, México.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de INEGI (2010,2012).

Presenta aspectos fisiográficos con su perfil de elevaciones del cauce principal que va de 0 a más de 2 400 msnm (SIATL-INEGI, 2018), así como diferentes tipos de vegetación desde bosques de encino-pino, bosques de pino, bosques de pino-encino, selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia. En la cuenca se han reportado vertebrados como el jaguar (*Panthera onca*), ocelote (*Leopardus pardalis*), jabalí (*Pecari tajacu*), mapache (*Procyon lotor*), martucha (*Potos flavus*), murciélago (*Artibeus jamaicensis*), colibrí endémico de la Sierra Sur (*Eupherusa cyanophrys*), colibrí canela (*Amazilia rutila*), chara verde (*Cyanocorax yncas*), rana de árbol (*Plectrohyla bistincta*) y coralillo (*Micrurus browni*) (SAGARPA y SEDAPA 2014).

### 3.4.2. Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación empleadas fueron la entrevista semiestructurada, la cual permite generar información primaria, y la investigación documental. La aplicación de la

entrevista de manera entrevista de manera dirigida dirigida a 12 presidentes municipales: San Mateo Río Hondo, San Sebastián Río Hondo, San Juan Ozolotepec, Santo Domingo Ozolotepec, Santa María Ozolotepec, San Marcial Ozolotepec, San Francisco Ozolotepec, San Miguel Suchixtepec, San Pedro el Alto, Santiago Xanica, San Mateo Piñas y San Miguel del Puerto; los de mayor concurrencia territorial. Asimismo, a ocho funcionarios estatales, ambas entrevistas con una estructura de ocho preguntas ambientales, 12 sociales y 12 económicas. La aplicación se realizó en el período de noviembre 2018 a marzo del 2019.

La segunda técnica permitió la generación de información secundaria consistente en la obtención de estudios generados por instituciones oficiales y organizaciones no gubernamentales, realizados en el período de 2008-2018. También se generó información mediante los buscadores: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Dialnet, World Wide Science, Springer Link, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) y Google Scholar. Además, se utilizó el informe reportado por la SAGARPA y SEDAPA (2014) en su plan rector, que consta de un diagnóstico ambiental y socioeconómico; que presenta propuestas concretas para el desarrollo territorial. Posteriormente, la información se clasificó con los siguientes criterios: año, servicios ecosistémicos y dimensiones de la sustentabilidad (ambiental, social y económica).

#### 3.4.3. Análisis de la información

El análisis de información se realizó en dos fases, la de identificación y la de elaboración de las gráficas de tendencias de bienes y servicios ecosistémicos. La identificación de los BSE se realizó mediante la metodología Millennium Ecosystem Assessment (2005), que se fundamenta en la clasificación de cuatro categorías: soporte, aprovisionamiento, regulación, culturales y estéticos. Para la gráficas de tendencias (espaciales y temporales) se utilizó el procedimiento de “medias móviles” Excel versión 2013, describiéndose el comportamiento de la producción de alimentos y fibras, extracción de madera, variables de clima, escurrimientos e infiltración.



### 3.5 Resultados y discusión

**1. Bienes y servicios ecosistémicos de la cuenca Río Copalita.** Se identificaron 14 bienes y servicios ecosistémicos de los 24 que reporta MEA (2005). Asimismo, se reconocieron cuatro grupos de beneficiarios: familias, complejo turístico, población rural de municipios y turistas, de los cuales destaca el complejo turístico BH como el demandante principal de recurso hídrico con 6,328 m<sup>3</sup>/día.

El Cuadro 2 se observan los bienes y servicios ecosistémicos identificados como: los servicios del hábitat y producción primaria son generados por las 108,880 ha de superficie (71.16% del territorio total), los cuales producen materia orgánica para un contenido medio de 4.57% y hasta el 16.54% que beneficia al suelo y su microbiota (SAGARPA y SEDAPA 2014). La materia orgánica es un indicador de calidad de suelo, ya que en sus procesos microbiológicos se derivan los nutrientes a las plantas (Pulido-Moncada 2018, 6). Por lo tanto, con la vegetación natural existente se beneficia la captura de carbono, ya que la transferencia de CO<sub>2</sub> atmosférico al suelo se realiza a través de ella y contribuye a la provisión de suelos fértiles, que apoyan la agricultura de subsistencia, la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones rurales (Balesdent et al. 2018, 599). También, aumenta la capacidad de renovación y la calidad del agua, mantiene la biodiversidad y fortalece el reciclaje elemental (Lal et al. 2015, 82). Por otra parte, Mori et al. (2017, 16-17) señalan que la biodiversidad promueve la funcionalidad de los ecosistemas como la producción primaria, descomposición, ciclo de nutrientes e interacciones tróficas. En consecuencia, apoya una amplia gama de servicios ecosistémicos como la producción de alimentos, regulación del clima, control de plagas y polinización.

En los bienes de producción de alimentos y fibras aumenta considerablemente, debido a la demanda de alimentos de más de 36,000 habitantes en la cuenca y los turistas que arriban al Complejo turístico BH. Con respecto a lo anterior, González *et al.* (2015, 34) señalan que la capacidad de los agroecosistemas para proporcionar alimentos depende del servicio de regulación, debido, a que hay variaciones climatológicas los cultivos no serán viables y no habrá producción de fibras y alimentos. Por otra parte, sí la elaboración de bienes de aprovisionamiento lleva un manejo correcto, los agroecosistemas que los gene-

ran son beneficiados con la atracción de polinizadores, ciclado de nutrientes, recursos genéticos variados, calidad del agua, evita la erosión del suelo y un control biológico equilibrado.

El servicio de regulación que destaca es el clima, ya que posee seis tipos que van desde la parte alta con el C(E)(w2) (w) catalogado como un clima semifrío subhúmedo y templado subhúmedo; la parte media con un clima A(C)m(w) semicálido húmedo y Aw2(w) cálido subhúmedo; en la parte baja prevalecen el clima Aw1(w) y Aw0(w) cálido subhúmedo. El clima contribuye al origen del suelo, ya que las complejas interacciones entre varios factores dan cuenta del tipo de suelo, grosor y fertilidad (SAGARPA y SEDAPA 2014). Lara Pulido *et al.* (2018, 133) señalan a los servicios de regulación como los más valiosos económicamente, incluso superiores a los servicios culturales o de aprovisionamiento. Aunque el mercado no reconoce el valor económico, se destinan recursos públicos insuficientes para su conservación. Para lo cual se requiere que los proveedores de servicios de regulación sean compensados económicamente, sino probablemente cambiaran el uso actual y el funcionamiento de los ecosistemas será degradado, disminuyendo el flujo de BSE; en consecuencia, se verán afectados sus habitantes a mediano y largo plazo.

En la cuenca habitan las etnias zapoteca y chontal, la zapoteca ocupa la mayor extensión de la cuenca. A pesar de la urbanización por la cercanía al complejo turístico de BH se conservan estas dos etnias. Cabe destacar al municipio de San Carlos Yautepec, con la presencia de estas dos etnias, las cuales conservan sus lenguas maternas. Por otra parte, San José del Pacífico implementa el ecoturismo comunitario, que puede servir como ejemplo para el resto de los municipios que tienen condiciones similares y que pertenecen a la cuenca alta, ya que esta zona es potencial para la implementación de este tipo de proyectos. La Rosa *et al.* (2016) argumentan que las ciudades y pueblos, como cualquier otro ecosistema, brindan servicios específicos a sus habitantes y se benefician de los sistemas naturales circundantes. Debido a la muy diversa gama de usos de la tierra y ecosistemas en contextos urbanos que proporcionan servicios culturales específicos, incluidos los valores paisajísticos y recreativos, culturales y educativos. Por ello, estos autores hacen una recopilación de indicadores para la evaluación de este servicio ecosistémico.

**Cuadro 2.** Bienes y servicios ecosistémicos de la cuenca Río Copalita.

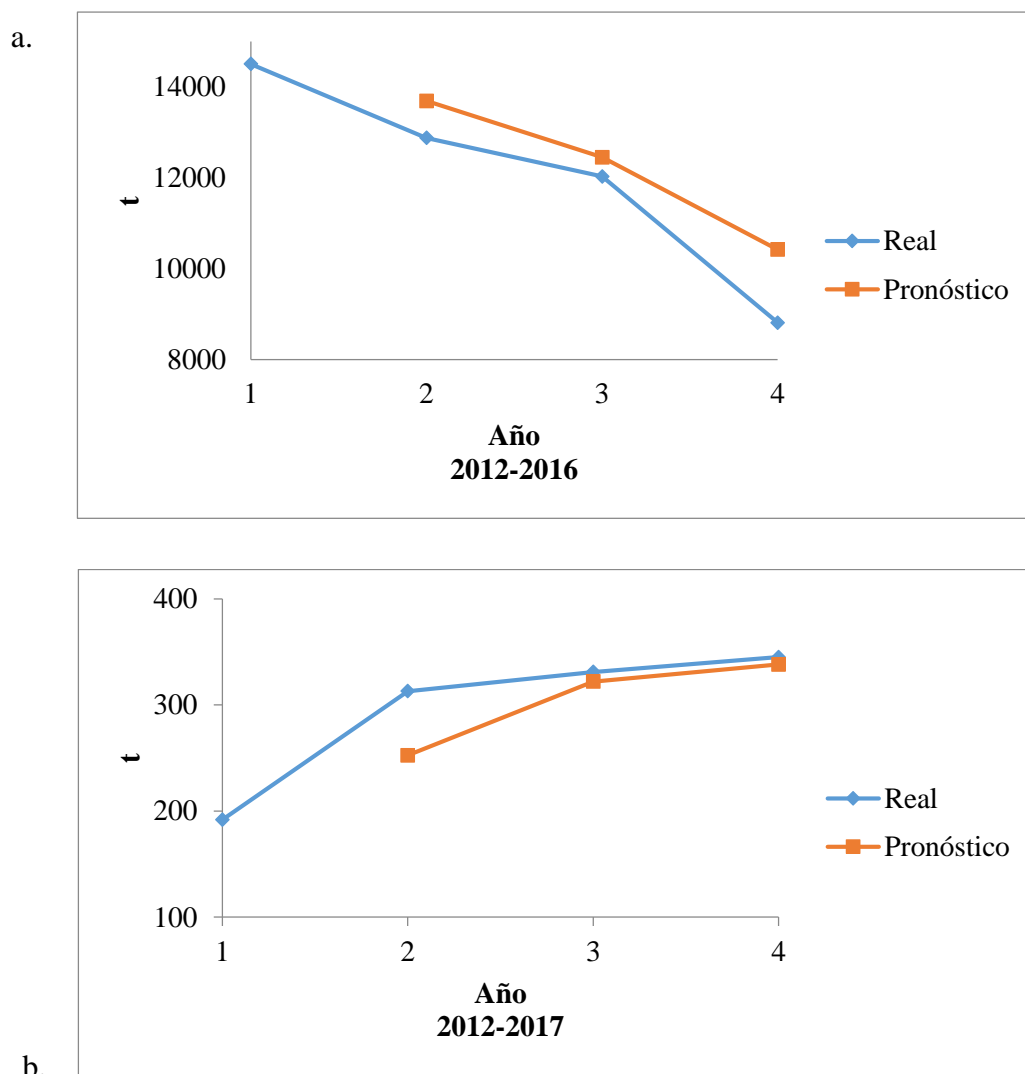
Clasificación de BSE	Bienes y servicios ecosistémicos	Indicadores
Servicios de soporte	Hábitat (Biodiversidad)	<sup>1</sup> 12 formaciones vegetales (108,880 ha superficie)
	Producción primaria	<sup>6</sup> 254 fauna y 275 flora
	Diversidad de especies	<sup>2</sup> ND
	Captura de carbono	<sup>3</sup> 17 t ha año <sup>-1</sup>
	Formación de suelos	
Bienes de aprovisionamiento	Producción de alimentos y fibras.	<sup>1</sup> 27,000 a 41,000 ha
	Extracción de madera	<sup>1</sup> >20,000 ha y tala clandestina
Servicios de regulación	Agua	<sup>4</sup> Dnma > 20,000 m <sup>3</sup> \hab\ año
	Clima	<sup>6</sup> Seis variantes climáticas
	Escurrimientos	<sup>5</sup> 20 a 77 % de las pp anuales
	Infiltración	<sup>5</sup> 16.4 a 156.96 L h <sup>-1</sup> m <sup>2</sup>
	Purificación	
Servicios culturales y estéticos	Turismo de naturaleza	<sup>1</sup> <2000 ha
	Culturales	<sup>6</sup> Dos etnias (chontales y zapotecos)

<sup>1</sup>Formaciones vegetales: bosque de encino-pino, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, sabana, manglar, pastizal inducido, selva de galería, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperenifolia. Calculada a través de SIG, con vectoriales 2010 de USV INEGI. Estimada con digitalización de imágenes de satélite. <sup>2</sup>No disponible. <sup>3</sup>Modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT, versión 2009). Ramírez *et al.* (2015). <sup>4</sup>Shiklomanov y Rodda (2003). <sup>5</sup>Simulador de lluvias. Horton (1941). <sup>6</sup>SAGARPA y SEDAPA, (2014).

## 2. Análisis de tendencia los bienes y servicios ecosistémicos

**Producción de alimentos y fibras.** Según las estadísticas oficiales SIAP/SAGARPA se siembran bajo condiciones de temporal un promedio de 21,917.29 ha con cultivos de maíz, frijol, café, manzana, calabaza, maguey, miltomate y pera. No obstante, de la superficie total se cosecha un promedio de 18,034 ha. En el periodo del 2012 a 2016 la tendencia decrece con una media anual de 12,325.37 t año<sup>-1</sup> y un coeficiente de variación de 17.50% (Figura 8a). Con respecto a la producción bajo riego, se siembran en promedio 104.27 ha con cultivos de maíz, frijol, papaya, aguacate, manzana, orégano y plátano. Sin embargo, de la superficie total cosechada 100.31 ha, así como en el periodo del 2012 a 2016 la

tendencia hacia el alza debido a que se producen  $243.05 \text{ t año}^{-1}$  y un coeficiente de variación de 54.21% (Figura 8b).

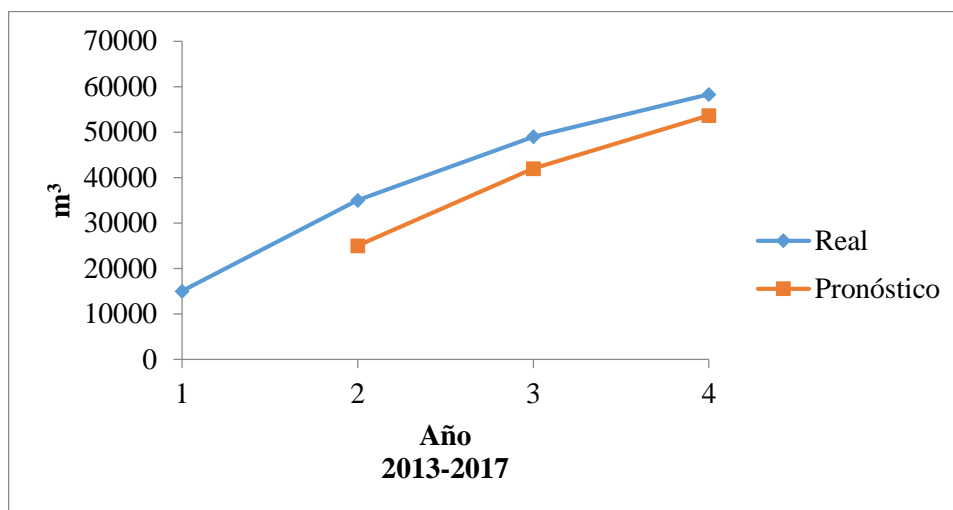


**Figura 8.** Tendencia de la producción de alimentos derivados de la agricultura en la cuenca Río Copalita en el período 2012-2016: a. Producción bajo temporal y b. Producción bajo riego.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del SIAP (2018).

**Extracción de madera.** La vegetación ocupa una extensión territorial de 121,005 ha. Abarca desde bosques de coníferas, bosque mesófilo de montaña, selva caducifolia, selva perennifolia, selva subcaducifolia y bosque de pino; con una superficie total aprovechada de 24,443 ha. En el período del 2013 a 2017 se detecta una tendencia hacia el alza porque

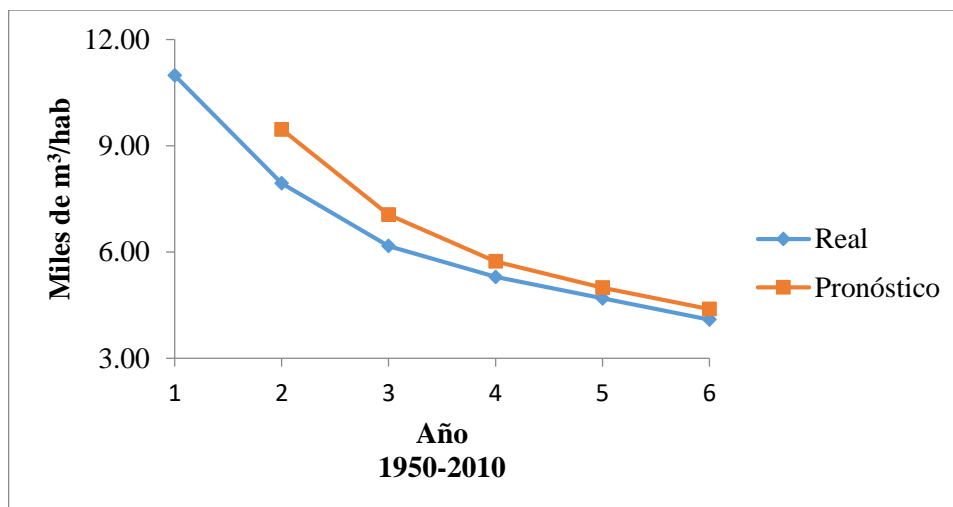
se extrae un volumen total de 186,566.40 m<sup>3</sup> con un volumen medio anual de 37,313.28 m<sup>3</sup> (Figura 9).



**Figura 9.** Tendencia temporal del volumen de producción maderable en la cuenca Río Copalita en el período 2013-2017.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la SEMARNAT (2019).

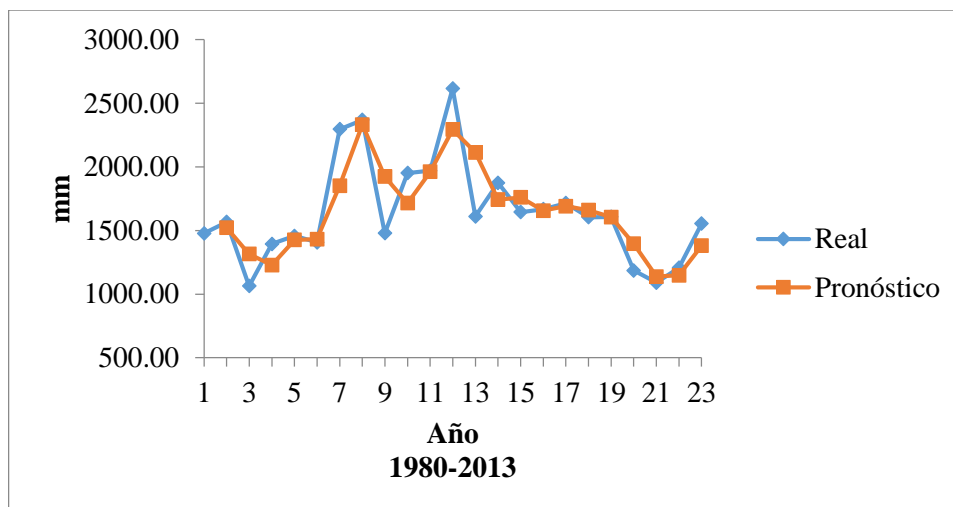
**Agua.** La Comisión Nacional del Agua desempeña sus funciones administrativas a través de 13 organismos de cuenca y la cuenca del Río Copalita pertenece al organismo V denominado Pacífico Sur (CONAGUA, 2016). Por ello, la disponibilidad natural media *per cápita* es una referencia de lo que sucede en el organismo. En el período de 1950 a 2010 la tendencia es decreciente con una media anual de 8.13 m<sup>3</sup> hab año<sup>-1</sup> y un coeficiente de variación de 59.54% (Figura 10).



**Figura 10.** Tendencia de la disponibilidad natural media *per cápita* en la cuenca Río Copalita en el período 1950-2010.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la CONAGUA y SEMARNAT (2007–2017).

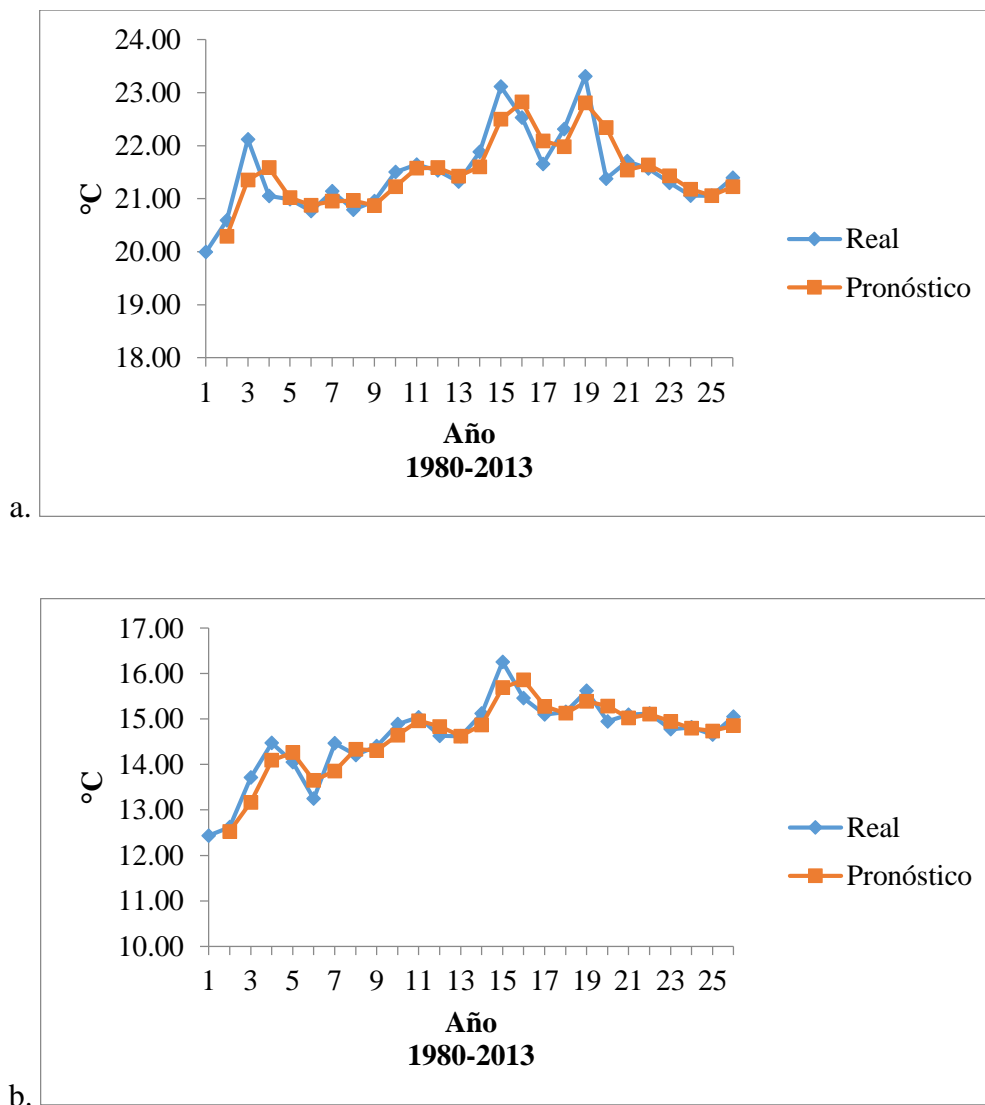
**Clima.** Para el análisis de tendencia de las condiciones del clima se destacan: precipitación y temperatura y su tendencia en el tiempo. Existen siete estaciones climáticas: San José del Pacífico, San Mateo Río Hondo, San Miguel Suchixtepec, San Pedro el Alto, Jalatengo, San Francisco Ozolotepec y la Hamaca. En la actualidad operan sólo las primeras tres. La precipitación que registraron las estaciones de San Miguel Suchixtepec y San José del Pacífico (cuenca alta) en el periodo de 1980-2014 tiene una tendencia con menores oscilaciones. En la estación de San Mateo Río Hondo presenta las mayores variaciones. Por lo tanto, la precipitación media máxima es de 2,722 mm y una media mínima de 1,251 mm anual en el gradiente espacial desde los 150 msnm hasta los 2,800 msnm. En la figura 11 se identifica una tendencia temporal hacia el alza del periodo de 1985 a 1995 y en los siguientes 15 años una tendencia al alza.



**Figura 11.** Tendencia temporal de la precipitación en tres estaciones climatológicas de la cuenca Río Copalita en el período 1980-2013.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del IMTA (2016).

En la temperatura de medias máximas se encontró que en San Miguel Suchixtepec tiene un promedio de altas de 21.60 °C y un coeficiente de variación de 5.81%. En la estación de San José del Pacífico obtiene un promedio de 21.12 °C y un coeficiente de variación de 7.93%. En la estación de San Mateo Río Hondo con un promedio de 21.54 °C y una variación de 2.74%, lo cual muestra una tendencia hacia el alza (Figura 12a). En el caso de temperatura de medias de la estación de San Miguel Suchixtepec reporta un promedio anual de 14.96°C y una variación de 3.8%. Para la estación de San José del Pacífico una media de 14.33°C con una variación de 8.13%. En la estación de San Mateo Río Hondo una media anual de 14.35°C y un coeficiente de variación de 1.3%, en el periodo de 1980 a 2013 la tendencia es hacia el alza (Figura 12b).

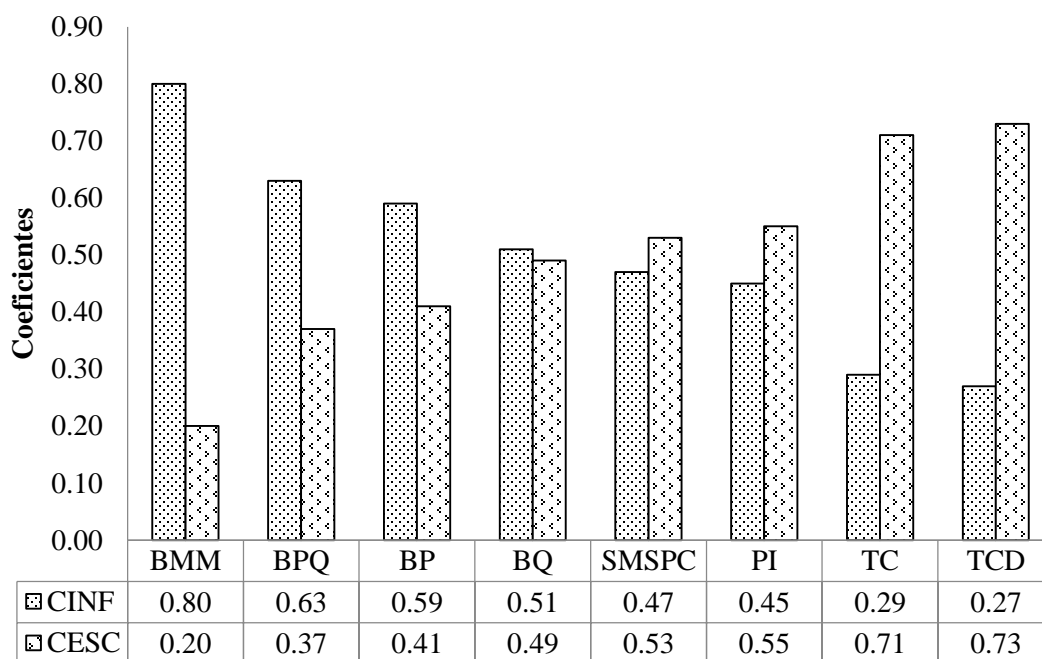


**Figura 12.** Tendencia temporal de la temperatura en tres estaciones climatológicas de la cuenca Río Copalita en el período 1980-2013: a. Temperatura media máxima y b. Temperatura media medias. Fuente: Elaboración propia con datos del IMTA (2016).

**Escurrencimiento e infiltración.** Estas variables dependen de la cubierta vegetal existente, ya que esta protege al suelo y determina el impacto directo de la precipitación, al detener o reducir la magnitud del impacto de gota de lluvia sobre el suelo desnudo; si el agua es interceptada por la vegetación, tendrá más posibilidades de ser infiltrada al permanecer más tiempo en el mismo espacio físico (Lotz 2018, 58), influyendo la pendiente, a mayor pendiente menor volumen de aguas infiltradas (Yañez *et al.*, 2017, 196-197; López *et al.*, 2016, 110) y sin cobertura vegetal menor aun será el volumen de agua infiltrada . En los



experimentos de lluvia simulada el bosque mesófilo de montaña presenta el menor volumen de escurrimiento (20%) y mayor infiltración (>80%), gracias a la presencia de suelos de mejor estructura y a la permanencia de mayor diversidad florística, en comparación con otras formaciones vegetales (Gual y Rendón2017, 6-8). En contraste, la tierra de cultivo y en descanso muestran menor volumen de infiltración (29 y 27%) y mayor escurrimiento (71 y 73%), debido a que son tierras que dejan de utilizar un tiempo determinado y vuelven a ser utilizadas para los cultivos, además son tierras que se encuentran en laderas con pendientes muy pronunciadas, propiciando mayor escorrentía (Wang *et al.*, 2017, 284-285) (Figura 13).



**Figura 13.** Tendencia espacial de coeficientes de infiltración (CINF) y escurrimiento (CESC) ajustados por efecto de covariable en los diferentes tipos de uso de suelo y vegetación.

BMM= Bosque mesófilo de montaña, BPQ= Bosque de pino-encino, BQ= Bosque de encino, BP= Bosque de pino, PI= Pastizal inducido, SMSPC= Selva mediana subperennifolia con café, TC= Tierra de cultivo y TCD= Tierra de cultivo en descanso.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de campo de simulador de lluvia SAGARPA y SEDAPA (2014).

### 3.7 Conclusiones

La cuenca Río Copalita ofrece el 58.33% de los BSE identificados por MEA, los cuales se encuentran en degradación progresiva, dada la alta fragilidad natural del territorio. Los bienes de producción de alimentos y fibras destacan por su importancia económica y el autoabasto para aproximadamente 28,000 habitantes. Sin embargo, tienen una tendencia hacia la baja en producción de alimentos bajo temporal y bajo riego tiene tendencia hacia el alza; los bienes se han visto afectados por factores ambientales como las sequías, lluvias torrenciales e intensidad de vientos. Por ello, los productores están tomando la alternativa de cultivos bajo riego para obtener mayores rendimientos y diferentes opciones de autoconsumo.

### 3.8 Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor, también a los presidentes municipales, funcionarios y habitantes por brindarnos la información en la entrevista.

### 3.9 Referencias

- Aguilar, Francisco Xavier. Obeng, Elizabeth Asantewaa. and Cai, Zhen. (2018). Water quality improvements elicit consistent willingness to pay for the enhancement of forested watershed ecosystem services. *Environmental Development XXX*: 158-171.
- Almeida Leñero, Lucía. Nava, Mariana. Ramos, Alya. Ordoñez, María de Jesús. y Junovsky, Julieta. (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México: *Gaceta ecológica* (84): 53-64.
- Balesdent, Jérôme. Basile-Doelsch, Isabelle. Chadoeuf, Joël. Cornu, Sophie. Derrien, Delphine. Fekiacova, Zuzana. and Hatté, Christine. (2018). Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature DLIX (7715)*: 599-602.

- Bautista, Juan Carlos. (2014). Sustentabilidad del sistema de manejo R-T-Q en la cuenca del Río Copalita, Oaxaca. Tesis de maestría en ciencias en Productividad de Agroecosistemas, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.
- Challenger, Antony. Bocco, Gerardo. Equihua, Miguel. Lazos-Chavero, Elena. y Maass, Miguel. 2014. La aplicación del concepto del sistema socioecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación ambiental* 6(2): 1-21.
- Challenger, Antony. Cordova, Ana. Lazos Chavero, Elena. Equihua, Miguel. and Maass, Manuel. (2018). Opportunities and obstacles to socioecosystem-based environmental policy in Mexico: expert opinion at the science-policy interface. *Ecology and Society* 23(2): 31.
- Chávez Cortés, Marta Magdalena. (2015). Valoración del entorno natural de la cuenca del río Eslava, D.F. *Espiral XXII* (62): 171-204.
- CITES. (2018). Lista de la convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres.  
<https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2013/S-Appendices-2013-06-12.pdf>  
(junio de 2018).
- CONAGUA. (2016). Atlas del agua en México. [http://201.116.60.25/publicaciones/AAM\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf) (enero de 2019).
- CONAGUA y SEMARNAT. (2007-2017). Estadísticas del agua en México. Ediciones 2007 - 2017. México.
- González Esquivel, Carlos. Gavito, Mayra E. Astier, Martha. Cadena-Salgado, Martin. del-Val, Ek. Villamil-Echeverri, Laura. Merlín Uribe and Yair. Balvanera, Patricia. (2015). Ecosystem service trade-offs, perceived drivers, and sustainability in contrasting agroecosystems in central Mexico. *Ecology and Society* XX (1): 1-38.
- González Mora, Ignacio Daniel. De la Lanza Espino, Guadalupe y Sánchez Navarro, Rafael. (2009). Memoria del Taller: propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco. Manejo del agua en cuencas hidrográficas: desarrollo de nuevos modelos en México. México, D. F: WWF.
- Gual-Díaz, M. y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, X(1): 1-83.

- Horton, Robert E. (1941). An approach toward physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Proceedings* (5): 399-417.
- IMTA. (2016). Extractor rápido de información climatológica III (ERIC). Software v. 1.0, México. [http://hidrosuperf.imta.mx/sig\\_eric/](http://hidrosuperf.imta.mx/sig_eric/) (enero de 2019).
- INEGI. (2010). División política estatal. Marco geoestadístico. Escala: 1:250,000. Red hidrográfica 1:50, 000. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/> (marzo de 2019).
- INEGI. (2012). Áreas geoestadísticas municipales. Marco geoestadístico. Escala: 1:250,000. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/> (marzo de 2019).
- La Rosa, Daniele. Spyra y Marcin. Inostroza, Luis. (2016). Indicators of cultural ecosystem services for urban planning: a review. *Ecological Indicators* LXI: 74-89.
- Lal, Rattan. Negassa and Wakene. Lorenz, Klaus. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability* XV: 79-86.
- LAN. (1992). Ley de Aguas Nacionales. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_240316.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf) (agosto de 2018).
- Lara Pulido, José Alberto. Guevara Sanginés, Alejandro. Martelo, Camilo Arias. (2018). A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. *Ecosystem Services* XXXI: 126-141.
- López Báez, Walter. Palacios Herrera, Byrom G. y Reynoso Santos, Roberto. (2016). Diagnóstico de los servicios ecosistémicos en la Reserva de la Biósfera el Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* VII (34): 21-34.
- López Báez, Walter. Reynoso Santos, Roberto. Castro Mendoza, Itzel. Salinas Cruz, Eileen. y Magdalena Sánchez, Reynol. (2016). Capacidad de infiltración de la cuenca del río Cuxtepeques, Chiapas, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* XXXVII (3): 103-112.
- Lotz, Tom. Opp and Christian. He, Xun. (2018). Factors of runoff generation in the Dongting Lake basin based on a SWAT model and implications of recent land cover change. *Quaternary International* CDLXXV: 54-62.
- MEA. (2005). *Ecosystems and human wellbeing: a framework for assessment*. Washington, EUA: Island press.

- Mendoza Ontiveros, Martha Marivel. Monterrubio Cordero, Juan Carlos. y Fernández Almeda, María José. (2018). Impactos sociales del turismo en el centro integralmente planeado Bahías de Huatulco, México. *Gestión turística* (15): 47-73.
- Mori, Akira S. Lertzman, Kenneth P and Gustafsson, Lena. (2017). Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology* LIV (1): 12-27.
- Muñoz Sevilla, Norma Patricia and Le Bail, Maxime. (2017). Latin American and caribbean regional perspective on ecosystem based management of large marine ecosystems goods and services. *Environmental Development* XXII: 9-17.
- NOM-059-SEMARNAT-2010. (2010). Norma Oficial Mexicana.  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010) (marzo de 2018).
- Pulido-Moncada, M. Lozano, Z. Delgado, M. Dumon, E. Van Ranst, D. Lobo, D Gabriels y Cornelis, W M. (2018). Using soil organic matter fractions as indicators of soil physical quality. *Soil use and management* XXXIV (2): 1-10.
- Ramírez Cruz, Hilario. Fernández Reynoso, Demetrio. Martínez Menez, Mario R. González Guillén, Manuel J. Romero Manzanares, Angélica. Luna Cavazos, Mario y Lozano Trejo, Salvador. (2015). Aplicación del modelo SWAT para el análisis del flujo base en una cuenca mexicana del Pacífico Sur. 1er Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología. Querétaro, México.
- SAGARPA y SEDAPA. (2014). Plan Rector de la Cuenca emblemática del Río Copalita. Informe final. Oaxaca de Juárez: SAGARPA y SEDAPA.
- SEMARNAT. (2019). Aprovechamiento forestal 2013-2017. Oaxaca: Autor.
- Shiklomanov, I.A. y Rodda, John C. (2003). World water resources at the Beginning of the 21st century. Nueva York, USA: UNESCO.
- SIAP. (2018). Anuario estadístico de la Producción Agrícola.  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (octubre de 2018).
- SIATL-INEGI. (2018). Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas.  
[http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#) (agosto de 2018).
- UICN. (2018). Lista Roja de especies.  
<http://www.iucnredlist.org/> (julio de 2018).

- Wang, Linhua. Ma, Bo. and Wu, F. (2017). Effects of wheat stubble on runoff, infiltration, and erosion of farmland on the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. *Solid Earth* VIII (2): 281-290.
- Yáñez Gutiérrez, Fernando. Hermoza Espezúa, Rosa María. y Bazán Tapia, Luis Rubén. (2017). Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. *Anales Científicos* LXXVIII (2): 191-199.
- Zhao, Mingyue. Peng, Jian. Liu, Tianyi. and Wang, Yanglin. (2018). Mapping watershed-level ecosystem services bundles in the Pearl River Delta, China. *Ecological Economics* CLII: 106-117.

## **CAPÍTULO IV**

### **SUSTENTABILIDAD DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COPALITA, BAJO EL ENFOQUE DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

#### **[SUSTAINABILITY OF THE SUBCUENCA THE COPALITA RIVER UNDER THE APPROACH OF ECOSYSTEM SERVICES AND GOODS, OAXACA]**

Nayeli García Juárez<sup>1</sup>, Salvador Lozano Trejo<sup>2§</sup>, Ignacio Ocampo Fletes<sup>3</sup>, Santiago López Ridaura<sup>4</sup>, Ernesto Castañeda Hidalgo<sup>2</sup>, Gisela M. Santiago Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas. Tecnológico Nacional de México (TecNM). Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. <sup>2</sup>Profesor investigador. División de Estudios de Posgrado e Investigación. TecNM-ITVO. <sup>3</sup>Profesor Investigador Titular. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla Núm. 205, Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. <sup>4</sup>Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de México. §Autor para correspondencia: (lozanos2004@gmail.com).

## **SUSTENTABILIDAD DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COPALITA, BAJO EL ENFOQUE DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

### **4.1 RESUMEN**

El presente estudio tiene como objetivo conocer el grado de sustentabilidad y elaborar una estrategia de manejo sustentable y aprovechamiento de los bienes y servicios ecosistémicos. Se identificaron indicadores por dimensión de contribución a la sustentabilidad, así como el análisis e integración de un IRS a través de la metodología de Casas y la conceptualización del Millennium Ecosystem Assessment con la clasificación de los bienes y servicios ecosistémicos. La información primaria se generó con la aplicación de la entrevista estructurada y la investigación documental para la secundaria. Se encontró que en la cuenca Río Copalita presenta muy baja sustentabilidad, la dimensión ambiental mayormente fortalecida, seguida por la social y económica. En contraste, se sugiere implementar indicadores sistémicos para la evaluación de cuencas.

**Palabras clave:** *ambiental, económico, sistémico y social.*

### **4.2 ABSTRACT**

The present study has as objective the knowledge of the sustainability and the development of a sustainable management strategy and the use of ecosystem goods and services. Indicators were identified by dimension of contribution to sustainability, as well as the analysis and evaluation of sustainability through the Casas methodology, in addition to the conceptualization of the Millennium Ecosystem Assessment with the classification of ecosystem goods and services. The primary information was generated with the application of the structured interview and documentary research for the secondary. It was found that in the Copalita River basin it has very low sustainability, the environmental



dimension mostly strengthened, followed by social and economic. However, it is suggested to implement more systemic indicators for basin assessment.

**Index words:** *environmental, economic, systemic and social.*

### 4.3 INTRODUCCIÓN

La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo establece una agenda global para el cambio, a partir de la publicación la publicación del informe "Nuestro Futuro Común" o Informe Brundtland el cual plantea la necesidad de modificar el modelo económico, que incorpore las dimensiones social, económica y ambiental, hacia un nuevo paradigma, que garantice la sustentabilidad de la especie humana (Brundtland, 1987). En consecuencia, se diseñan abordajes a diferentes escalas que integren a las tres dimensiones de la sustentabilidad como es el caso de las cuencas hidrográficas, por su estructura sistémica que conduce a una mejor comprensión del socioecosistema (Maass y Cotler, 2007; Pineda-López *et al.*, 2007; Challenger *et al.*, 2014; Challenger *et al.*, 2018b).

De igual manera, la UNESCO fomenta programas de evaluación como es el caso del Programa Hidrológico Internacional (PHI), con el objetivo de mejorar la capacidad de administración y conservación de los recursos hídricos (UNESCO, 2005). Con ello se crean metodologías de evaluación para desarrollar estos programas, como el índice de sustentabilidad de cuencas (WSI) que integra además aspectos de hidrología, medio ambiente, sociales y económicos de recursos hídricos, ya que las personas dependen del ambiente y de políticas de los recursos hídricos, para satisfacer sus necesidades y mejorar la calidad de vida (Chaves y Alipaz, 2007). Los estudios con enfoque de bienes y servicios ecosistémicos se han realizado en forma de diagnósticos estado, identificación y evaluación tomando en cuenta a los actores sociales (Aguilar *et al.*, 2018; Almeida-Leñero

*et al.*, 2007; Balvanera y Cotler, 2007; Benites *et al.*, 2007; Chávez-Cortés, 2015; López *et al.*, 2016; MEA, 2005; Muñoz-Sevilla y Lee-Bail, 2017; Zhao *et al.*, 2018). No obstante, la aplicación de este enfoque es limitada por el escaso desarrollo de metodologías y disponibilidad de información con base en aspectos sociales, ambientales y económicos.

Este estudio desarrolla la inclusión de la evaluación de sustentabilidad con enfoque de bienes y servicios ecosistémicos. Además, plantea la conceptualización de la sustentabilidad de una cuenca como la capacidad del sistema socio-ambiental para mantener el flujo de bienes y servicios ecosistémicos por largo plazo, a pesar de las perturbaciones que inciden sobre la cuenca (Cotler, 2007; Maass, 2012). Es decir, este punto de vista incluye una relación estrecha entre tomadores de decisiones y los ecosistemas. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue conocer el grado de sustentabilidad y elaborar una propuesta de acciones de manejo sustentable y aprovechamiento de los bienes y servicios ecosistémicos.

#### **4.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

##### 4.4.1 Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los meses de agosto de 2017 a junio del 2019, en la sub cuenca del Río Copalita, que forma parte de la cuenca Río Copalita y Otros. Esta pertenece a la Región Hidrográfica 21 denominada Costa de Oaxaca. La sub cuenca se encuentra localizada en los paralelos 16°14'6.01" y 15°47'19.35" latitud Norte y los meridianos 96°20'2.42" y 96° 2'56.20" de longitud Oeste con una superficie aproximada de 153 000 ha. La subcuenca está conformada por seis microcuencas: Santa Anita, La venta, San Cristóbal, Yuviaga, San Jerónimo y San Miguel. Donde concurren 21 municipios correspondientes a los Distritos de Pochutla y Miahuatlán, ubicados en las regiones

socioculturales de la Costa y Sierra Sur del estado de Oaxaca. Los climas presentes en el área de estudio son el C(E) (w2), catalogado como semifrío subhúmedo, [C(E)(w2) como templado subhúmedo [A(C)m] semicálido húmedo y [Aw0, Aw1 y Aw2] cálido subhúmedo (INEGI-SIATL, 2019).

Presenta aspectos fisiográficos con su perfil de elevaciones del cauce principal que va de 0 a más de 2 400 msnm, así como diferentes tipos de vegetación, los principales son los bosques de encino-pino, bosques de pino, bosques de pino-encino, selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia. En la cuenca se han reportado vertebrados como el jaguar (*Panthera onca*), ocelote (*Leopardus pardalis*), jabalí (*Pecari tajacu*), mapache (*Procyon lotor*), martucha (*Potos flavus*), murciélago (*Artibeus jamaicensis*), colibrí endémico de la Sierra sur (*Eupherusa cyanophrys*), colibrí canela (*Amazilia rutila*), chara verde (*Cyanocorax yncas*), rana de árbol (*Plectrohyla bistincta*) y coralillo (*Micrurus browni*) (SAGARPA y SEDAPA, 2014).

#### 4.4.2 Metodología para la evaluación de la sustentabilidad

Se utilizó la metodología del Índice Relativo de Sustentabilidad de acuerdo a Casas-Cázares *et al.* (2009), la cual expresa que la sustentabilidad como capacidad de un sistema socioecológico está en función de las relaciones humanas que establecen entre sí (dimensión social), generación de recursos económicos a partir de los recursos naturales (dimensión económica), y la capacidad natural de los ecosistemas para desarrollarse y recuperarse de la acción humana (dimensión ecológica). La fórmula propuesta para el cálculo de la sustentabilidad es  $S = f(Da, Ds, De)$  donde S = sustentabilidad, Da, Ds y De son las dimensiones ambiental, social y económica, por lo que, el grado de

sustentabilidad obtenido para cualquier sistema está en función de la contribución o inhibición de cada dimensión.

**Definición y análisis de variables.** Se realizó un listado de las variables para cada dimensión con los siguientes datos: descripción, estimación, unidades y tendencia a la sustentabilidad. Posteriormente, con los valores originales de cada variable y por dimensión, se seleccionaron las variables de mayor peso relativo y posición jerárquica con el uso del programa estadístico Paleontological Statistics (PAST) v. 3.23 con la función de componentes principales para su clasificación, dentro de cada dimensión (Hammer *et al.*, 2001).

**Transformación de variables a escala Likert.** La calificación de cada variable se refiere a la tendencia de contribuir o inhibir la sustentabilidad. Para esto, las variables originales se transformaron a una escala Likert dentro del rango de -5 a +5 y sus límites están definidos por el intervalo proporcional ( $X_p$ ).

**Integración del Índice Relativo de Sustentabilidad.** En la integración de las dimensiones sus valores son  $>0.5$  y  $<0.5$  indican la ausencia de sustentabilidad en una escala de 0 a 1. La integración del Índice Relativo de Sustentabilidad (IRS) se realizó con variables de mayor posición jerárquica e incluyendo todas las variables. Se llevó a cabo una integración de las ecuaciones para determinar la contribución a la sustentabilidad por dimensión, la cual tiene una escala de 0 a 1 (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Ecuaciones que estiman el IRS y la contribución de cada atributo o dimensión al IRS.**

Fórmula	Descripción
(1) $C_{kt} = \left( \sum_{i=1}^{I_{kt}} V_{ikt} \right) / I_{kt} * e$	<p><math>C_{kt}</math> = Es la contribución de la dimensión o atributo k-ésimo al IRS, en el tiempo t-ésimo.</p> <p><math>I_{kt}</math> = Número de variables o indicadores de las k dimensiones o atributos en el tiempo t.</p>
(2) $IRS_t = \left( \sum_{k=1}^{K_t} C_{kt} * I_{kt} \right) / \sum_{k=1}^{K_t} I_{kt}$	<p><math>V_{ikt}</math> = Valor del i-ésimo indicador en la escala de Likerts<sup>□</sup>. Donde: i= 1, 2, 3, ..., <math>I_{kt}</math>. k= 1, 2, 3, ..., <math>K_t</math>. y, t=1, 2, 3, ..., T.</p>
(3) $IRS_t = \sum_{k=1}^{K_t} \sum_{i=1}^{I_{kt}} V_{ikt} \sum_{i=1}^{K_t} I_{kt} * e$	<p>e = Valor máximo absoluto de la escala Likert* de los <math>V_{ikt}</math></p> <p><math>IRS_t</math> = Índice Relativo de Sustentabilidad en el tiempo t</p>

□.- La escala Likert, es una escala de evaluación discreta que propone el evaluador para convertir los valores naturales en clases. Éstas clases son números naturales enteros que pueden variar por ejemplo de -5, -4, -3, -2, -1 a +1, +2, +3, +4 +5 como en la evaluación que se hace en este estudio.  
Fuente: Casas-Cázares *et al.* (2009).

**Calificación y prioridad de la sustentabilidad.** De acuerdo con Casas-Cázares et al. (2009) propone la calificación de prioridad de atención a los programas de desarrollo sustentable (Cuadro 4). Posteriormente, con los resultados obtenidos y transformación la escala de sustentabilidad de 0-1 a 0-100%, se resta 0.5 a los valores de calificación obtenidos por dimensión e IRS; este producto se toma como valor absoluto que se multiplica por una constante de 200.

**Cuadro 4. Escala de evaluación de las dimensiones y del IRS con su clasificación porcentual.**

Descripción de la calificación De las Dimensiones	Clasificación porcentual	Escala de Evaluación del IRS y Dimensión	Clasificación porcentual del Índice Relativo de Sustentabilidad	Descripción de la Calificación	Prioridad de Atención
Muy alta ausencia *	[ 80 - 100]	[ 0.0 - 0.1 ]	[ 80 - 100]	Muy alta Insustentabilidad	1
Alta ausencia *	[ 60 - 80]	[ 0.1 - 0.2 ]	[ 60 - 80]	Alta insustentabilidad	2
Mediana ausencia *	[ 40 - 60]	[ 0.2 - 0.3 ]	[ 40 - 60]	Mediana insustentabilidad	3
Baja deficiencia *	[ 20 - 40]	[ 0.3 - 0.4 ]	[ 20 - 40]	Baja insustentabilidad	4
Muy baja ausencia *	[ 0 - 20]	[ 0.4 - 0.5 ]	[ 0.0 - 20]	Muy baja insustentabilidad	5
Muy baja ontribución	[ 0 - 20]	[ 0.5 - 0.6 ]	[ 0.0 - 20]	Muy baja sustentabilidad	6
Baja contribución	[ 20 - 40]	[ 0.6 - 0.7 ]	[ 20 - 40]	Baja sustentabilidad	7
Mediana contribución	[ 40 - 60]	[ 0.7 - 0.8 ]	[ 40 - 60]	Mediana sustentabilidad	8
Alta contribución	[ 60 - 80]	[ 0.8 - 0.9 ]	[ 60 - 80]	Alta sustentabilidad	9
Muy alta contribución	[ 80 - 100]	[ 0.9 - 1.0 ]	[ 80 - 100]	Muy alta sustentabilidad	10

\*contribución por dimensión.

Fuente: Casas-Cázares (2009).

Para la elaboración de las acciones para el manejo sustentable y aprovechamiento de los bienes y servicios ecosistémicos se utilizó la conceptualización del Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) propuesto por Masera *et al.* (2000), mediante la identificación de atributos y puntos críticos a escala de cuenca. En la generación de la información se aplicaron dos técnicas, la primera fue la entrevista estructurada por 37 temas pertenecientes a la dimensión ambiental, social y económica. La entrevista fue aplicada a ocho funcionarios estatales y presidentes municipales; ambas entrevistas con una estructura de ocho preguntas ambientales, 13 sociales y 12 económicas. La aplicación se realizó en el período de noviembre 2018 a marzo del 2019. La segunda técnica de la investigación documental generada durante los últimos 10 años por instituciones de investigación y gubernamentales.

## 4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la cuenca del Río Copalita se identificaron 28 variables ambientales, 13 variables sociales y 7 económicas (Cuadro 5) mostrando la tendencia de contribuir o inhibir la sustentabilidad de la cuenca.

**Cuadro 5. Listado de variables ambientales (X), sociales (Y) y económicas (Z).**

Variable indicadoras	Unidades	Calificación de la variable 1-5	Tendencia a la sustentabilidad	
X1	Número de especies de vertebrados terrestres	Unidades	2	a>X1
X2	Superficie forestal total	ha	4	a>X2
X3	Número de especies en categoría de riesgo	Unidades	3	a<X3
X4	Diversidad de tipos vegetacionales	Unidades	3	a>X4
X5	Volumen total de agua para los procesos indispensables	m <sup>3</sup> /año	2	a<X5
X6	Disponibilidad media por habitante	ha	2	a<X6
X7	Disponibilidad natural media por habitante	m <sup>3</sup> /hab	4	a>X7
X8	Volumen anual de agua demandado por turistas	m <sup>3</sup> /tur/año	3	a<X8
X9	Flujo de caudal medio	m <sup>3</sup> /s	2	a>X9
X10	Eficiencia de cosecha en régimen temporal	ha	3	a>X10
X11	Eficiencia de cosecha en régimen de riego	ha	3	a>X11
X12	Rendimiento temporal	tha <sup>-1</sup>	2	a>X12
X13	Rendimiento por riego	tha <sup>-1</sup>	4	a>X13
X14	Producción de temporal	t	4	a<X14
X15	Producción de riego	t	4	a>X15
X16	Número de especies que se cultivan por municipio	Unidades	3	a<X16
X17	Número de programas de conservación de suelos	Unidades	1	a>X17
X18	Superficie de obras de conservación de suelos	ha	1	a>X18
X19	Índice de tierras que aprovechan la fertilidad natural de los suelos	ha	1	a<X19
X20	Superficie para la agricultura	ha	1	a<X20
X21	Superficie extraída para madera	ha	1	a<X21
X22	Volumen de agua en agroecosistemas	m <sup>3</sup> /año	1	a<X22
X23	Productividad del agua	kg <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>	4	a>X23
X24	Porcentaje del volumen de agua infiltrada en suelos	Porcentaje	3	a>X24
X25	Variación de temperatura y precipitación	Unidades	1	a<X25
X26	Número de etnias que utilizan y manejan los recursos naturales	Unidades	3	a<X26
X27	Superficie por pago hidrológico	Unidades	ND*	a<X27
X28	Superficie por pago de CO <sub>2</sub>	Unidades	ND*	a<X28
Y1	Porcentaje de municipios con organizaciones productivas	Porcentaje	3	a>Y1

Y2	Porcentaje de municipios con productores de subsistencia	Porcentaje	1	a<Y2
Y3	Porcentaje de municipios con productores comerciales	Porcentaje	3	a<Y3
Y4	Porcentaje de municipios que usan el territorio bajo sistemas agroforestales	Porcentaje	2	a<Y4
Y5	Porcentaje de municipios con programas y proyectos para el manejo de protección o fuente de agua de manantiales	Porcentaje	1	a>Y5
Y6	Porcentaje de municipios con políticas implementadas para la protección de cuencas	Porcentaje	3	a>Y6
Y7	Porcentaje de municipios que implementan políticas encaminadas a la protección de la calidad de agua	Porcentaje	3	a>Y7
Y8	Porcentaje de municipios que tienen artesanos	Porcentaje	2	a>Y8
Y9	Porcentaje de municipios con organizaciones en la defensa de los recursos naturales	Porcentaje	3	a>Y9
Y10	Porcentaje de municipios por bienes comunales (usos y costumbres)	Porcentaje	5	a>Y10
Y11	Educación ambiental	Porcentaje	3	a>Y11
Y12	Cosmovisión (Ética ambiental)	Porcentaje	3	a>Y12
Y13	Porcentaje de la población en línea de pobreza y pobreza extrema	Porcentaje	2	a<Y13
Z1	Miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas bajo temporal	\$	1	a>Z1
Z2	Miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas bajo riego	\$	3	a>Z2
Z3	Costos de agua por municipio	\$	1	a<Z3
Z4	Presupuesto para actividades de conservación	\$	1	a>Z4
Z5	Presupuesto para actividades productivas	\$	1	a>Z5
Z6	Presupuesto para agenda ambiental	\$	1	a>Z6
Z7	Pago de servicios hidrológicos	\$	ND*	a>Z7

\*No disponible

#### 4.5.1 Selección de las variables por dimensión

El análisis multivariante de componentes principales ubicó ocho variables mejor ponderadas que contribuyen a la sustentabilidad, las cuales son: superficie forestal total (X2), volumen total de agua para los procesos indispensables (X5), eficiencia de cosecha en régimen temporal (X10), porcentaje de municipios con productores de subsistencia (Y2), porcentaje de municipios con programas y proyectos para el manejo y protección a fuente de agua de manantial (Y5), porcentaje de municipios con gobernanza de bienes



comunales (Y10), miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas bajo riego (Z2) y presupuesto para actividades productivas (Z5) (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Listado de variables seleccionadas con su transformación y clasificación.**

Dimensión	Variable	Promedio general	Calificación de la variable 1-5	Tendencia a la sustentabilidad
A*	X2	121,004	4	a>X2
A*	X5	6'639,042.6	2	a<X5
A*	X10	82.4	3	a>X10
S**	Y2	85.7	1	a<Y2
S**	Y5	9.5	1	a>Y5
S**	Y10	90.5	5	a>Y10
E***	Z2	33499.9	3	a>Z2
E***	Z5	0	1	a>Z5

\*A=Ambiental, \*\*S=Social y \*\*\*E=Económica.

#### 4.5.2 Evaluación de las variables seleccionadas por dimensión

En la dimensión ambiental destaca como variable determinante la superficie forestal total que es de 121,005 ha versus las 24,442 ha que han sido utilizadas para la agricultura, ganadería y extracción forestal, con alternancia de aproximadamente 20,000 ha de agricultura de roza-tumba-quema (SIAP, 2018). Mayor superficie forestal contribuye a la sostenibilidad ambiental, ya que cuando existe más cobertura vegetal se benefician todos los ciclos biogeoquímicos, incluidos los servicios de soporte para la fauna, y de regulación como la infiltración, retención del agua y suelo (Leirana-Alcocer y Bautista-Zúñiga, 2014). Por ello, el cambio de uso de suelo (CUS) impacta directamente en el flujo de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y soporte (López-Moreno *et al.*, 2014; Monárrez-González *et al.*, 2018). De acuerdo con los resultados reportados por Jullian *et al.* (2018), la cobertura vegetal nativa retiene en mayor cantidad las precipitaciones pluviales, lo cual en las cuencas hidrográficas hay una mayor interacción de diferentes

tipos de vegetación y por lo tanto, al conservarse la cobertura vegetal se espera mayor regulación hídrica. Por otra parte, Torres-Salinas *et al.* (2016) reportan la importancia de la cobertura vegetal, ya que en la región del Biobío de Chile debido a la degradación ambiental se perdió vegetación nativa y se reforestó con monocultivos forestales, los cuales afectaron el abastecimiento de agua.

La segunda variable es volumen total de agua para procesos indispensables estimada en 6,639,042.61 m<sup>3</sup> se encuentra en grado de presión moderado (CONAGUA y SEMARNAT, 2018; REPDA, 2019). No obstante, en la cuenca Río Copalita se ubica el complejo turístico Bahías de Huatulco el cual es reconocido a nivel mundial, esto hace que su derrama turística aumente cada año, estadísticas reportadas por SECTUR tuvieron una llegada de 730,709 turistas con una estadía en promedio de tres días, lo cual aumentó la presión principalmente del recurso hídrico con un volumen total de agua demandada de 319, 819 m<sup>3</sup> (SECTUR, 2017). Por consiguiente, esta variable inhibe a la sustentabilidad ya que sí existe mayor presión al recurso hídrico afecta el flujo de los bienes de aprovisionamiento y los servicios de regulación (Bicking *et al.*, 2018). Tamayo-Garza y Álamo-Borga (2016) argumentan que la industria turística es insostenible debido al deterioro ambiental que provocan. Por tanto, proponen la implementación de buenas prácticas en el uso racional del agua en la Riviera Maya. Además, Salgot y Folch (2018) plantean la importancia de la integración de una planta tratadora de aguas residuales para la regeneración y la reutilización del agua con el fin de aumentar los recursos hídricos aprovechables.

La tercera variable es eficiencia de cosecha en régimen temporal con un promedio de 82.39 ha anuales (SIAP, 2018). La eficiencia contribuye a la sustentabilidad, ya que a

mayor eficiencia de producción por kilogramo por ha habrá menos necesidad de desmontar los cerros. En consecuencia, esto perjudica principalmente a los bienes de aprovisionamiento como el suministro de alimentos y fibras para el autoconsumo y venta local, así como a los servicios de regulación y el deterioro o explotación de los servicios de soporte (Palacios-Agundez *et al.*, 2015). Estudio reportado por Olguín-López *et al.* (2017) donde realiza la comparación entre componentes de rendimiento concluyen que el maíz tiene los máximos valores de mazorcas por planta, granos por mazorca y peso de 1,000 granos, en los métodos tradicionales como la labranza de conservación y labranza con discos, los cuales son empleados en la cuenca ya que el maíz es el principal cultivo de autoabasto.

En la dimensión social, la primera variable que sobresale, productores de subsistencia con el 86%, seguidos por los productores comerciales en un 52% y productores agroforestales 38%. Debido a la importancia del autoconsumo en territorio rural son los productores de granos básicos los principales que aportan a la sostenibilidad social, así como el flujo de los servicios de aprovisionamiento (Ibarrola-Rivas and Galicia, 2017). Por el contrario, en la cuenca Río Copalita destacan organizaciones productivas como Coordinación Estatal de Productores de Café (CEPCO) y apoyos de SAGARPA en materia de esquejes de vainilla, aguacate y café. De acuerdo con Pinto (2018) la falta de apoyo al sector agrícola provoca movimientos sociales para realizar propuestas políticas con el fin de lograr la soberanía alimentaria y modos de producción agrícolas lo cual está sucediendo en América Latina.

La segunda variable, es programas y proyectos para el manejo de protección o fuente de agua de manantiales en la cual se aplica el 9.5%. Cabe destacar la importancia de

organización mediante el tequio para la limpieza y mantenimiento de los manantiales, ya que en la cuenca Río Copalita, la mayor parte de la población rural consume agua de los manantiales, ya que no cuentan con sistema de agua potable. Además, en la cuenca no cuentan con programas o agendas ambientales que les proporcionen los gobiernos estatales o federales, por ello, se rigen por la máxima autoridad que es la Asamblea General. Este tipo de acciones contribuyen a la sostenibilidad de la dimensión social a través de la organización y a la sostenibilidad ambiental mediante la conservación del recurso hídrico, así como el flujo de los servicios de soporte, bienes de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios culturales y estéticos (García-Cepeda *et al.*, 2016). En este sentido, Domínguez-Serrano y Castillo-Pérez (2018) mencionan la importancia de las organizaciones comunitarias como gestoras del agua en el estado de Veracruz. No obstante, existe atraso en servicios potables debido a la falta de apoyo institucional en México que pudiera mejorar la organización de las comunidades locales. Por ejemplo, en otros países de Latinoamérica se unen o vinculan instituciones para lograr la sostenibilidad de los servicios hídricos en territorio rural.

La tercera variable es la gobernanza, estimada en 90.48%, la cual se lleva a cabo por usos y costumbres en el territorio rural y partidos políticos en territorio urbano. En la cuenca Río Copalita la mayor parte de su territorio es rural, los pobladores eligen a sus gobernantes mediante la asamblea que es la máxima autoridad. En las comunidades rurales se manifiesta una mayor comunicación entre sus gobernantes y población. Por lo tanto, esta variable contribuye a la dimensión social para aportar a una mayor sostenibilidad ambiental. Es importante una buena gobernanza ya que aporta a la conservación de los servicios de soporte, bienes de aprovisionamiento, servicios de

regulación, servicios culturales y estéticos (Cifuentes-Guerrero *et al.*, 2017). Zamora-Saenz *et al.* (2016) señalan la importancia de una buena gobernanza para conservar los servicios ambientales, la clave son los comuneros como los tomadores de decisiones, aunque el pago por servicios no sea redituable para algunas comunidades.

En la dimensión económica, la primera variable es miles de pesos por producción de los principales cultivos bajo riego, cuantificada en \$33,499.93 anuales por ha. Los productores toman alternativas para obtener mayores rendimientos y diferentes opciones de autoconsumo y venta, tal es el caso de implementar cultivos bajo riego. Este tipo de alternativas contribuyen a la sostenibilidad económica porque favorece al sustento de las familias, así mismo a la conservación de los servicios de soporte, servicios de regulación y bienes de aprovisionamiento (Jägermeyr *et al.*, 2017). Blandi y Sarandón *et al.* (2018), argumentan que los productores en el afán de tener mayores ganancias apuestan a la innovación tecnológica, para lo cual es prioritario el asesoramiento técnico, de mercado e implementación de políticas que impulsen la producción sostenible de alimentos. La segunda variable es el presupuesto para actividades productivas, en la cuenca en este rubro no cuentan con ningún tipo de apoyo económico en la producción de alimentos y fibras, ya que como en su mayoría es para autoconsumo, los productores financian sus granos y semillas.

#### 4.5.3 Evaluación de la sustentabilidad y contribución de las dimensiones

En general, la cuenca Río Copalita presenta una muy baja sustentabilidad con un IRS de 0.53, es decir un 5% de sustentabilidad. Al respecto, Casas-Cázares *et al.* (2009) reportan un estudio realizado en dos comunidades de Valles Centrales de Oaxaca con un IRS de 0.51; por lo tanto, que influye la cercanía la ciudad ya que hay mayor presión de

los recursos naturales. Asimismo, la sustentabilidad es diferente para las regiones y para las comunidades.

En cuanto a la dimensión ambiental presenta baja presencia de contribución de sustentabilidad con un IRS de 0.67, lo cual sugiere la falta de políticas públicas y una agenda ambiental que sea impulsada por el gobierno. Challenger et al. (2018b) señala que se requiere para conducir eficazmente la gestión ambiental y el desarrollo sustentable en México. La dimensión social se ubica en muy baja ausencia de la contribución con un IRS de 0.47, esta requiere de mayor conectividad con la dimensión económica con una muy baja ausencia de la contribución y un IRS de 0.40 (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Evaluación de la contribución de las dimensiones de la cuenca Río Copalita.**

Variable	Promedio general	Calificación de la variable por cuenca en escala 1-5	Tendencia a la sustentabilidad
	Dimensión ambiental	Dimensión ambiental	
A2	121004	2	a >X2~sust
A5	6639042.6	4	a <X5~sust
A10	82.4	4	a > X10~sust
Contribución		0.67	
Calificación		Baja presencia	
Prioridad		7	
	Dimensión social	Dimensión social	
S2	85.7	1	a <Y2~sust
S5	9.5	1	a >Y5~sust
S10	90.5	5	a >Y10~sust
Contribución		0.47	
Contribución		Muy baja ausencia	
Prioridad		5	
	Dimensión económica	Dimensión económica	
E2	33499.9	3	a >Z2~sust
E5	0	1	a >Z5~sust
Contribución		0.4	
Calificación		Baja ausencia	
Prioridad		4	
Contribución general		0.53	
Calificación general		Muy baja presencia	

#### 4.5.4 Propuesta de acciones para la sustentabilidad en la cuenca Río Copalita

En la creación de una propuesta de aprovechamiento sustentable de los BSE se contempló la identificación de los puntos críticos mediante el MESMIS y las 48 variables debido a la escala de cuenca. Se identificaron los puntos críticos siguientes: erosión del suelo, inexistencia de aportes en materia de salud en las fincas cafetaleras, falta de una agenda ambiental gubernamental y por lo tanto falta de proyectos, bajo nivel de empleo familiar, falta de capacitación, no se llevan registros de ganancias e inversiones en las fincas, falta de apoyos económicos para infraestructura productiva, presencia y manejo de plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), cochinilla rosada del hisbico (*Maconellicoccus hirsutus*) y enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*). (SENASICA, 2019a; SENASICA, 2019b; SENASICA, 2019c).

La sustentabilidad en la cuenca del Río Copalita, con enfoque de bienes y servicios ecosistémicos, debe integrar los puntos críticos e indicadores sistémicos que fortalezcan las dimensiones ambiental, social y económica en su conjunto. La creación de una agenda ambiental como base para emprender la sostenibilidad ambiental, debe contribuir a la regulación de actividades como la tala ilegal y la cacería de fauna silvestre. Además, coadyuvar a la detención del proceso de transformación, el cual se manifiesta en el cambio de uso de suelo como lo es el sistema de manejo de roza-tumba-quema (RTQ) que ha prevalecido en el territorio del estado de Oaxaca por más de 150 años y que afecta aproximadamente 21,000 ha de la cuenca del Río Copalita (SAGARPA y SEDAPA, 2014), por lo que la capacitación a campesino o pequeños productores debe enfocarse hacia una agricultura de conservación o agroecológica (Altieri y Nicholls, 2012; Nicholls y Altieri, 2019). De acuerdo con Challenger *et al.* (2018a), las políticas ambientales del

socioecosistema son esenciales para fomentar un proceso de toma de decisiones más inclusivo y pertinente.

En cuanto a los indicadores sociales deben promover los empleos para las mujeres, ya que debido a la migración las jefas de familia revelan la falta empleo que obliga a sus hombres adultos y jóvenes a abandonar la comunidad rural. Además, la escasez de servicios básicos de salud y educación en las fincas cafetaleras ya que se encuentran lejos de las cabeceras municipales. Debido a lo antes mencionado, se manifiesta una falta de oportunidades locales para complementar la economía familiar. Por otro lado, dada la crisis del café son pocos los administradores de las haciendas cafetaleras y la población de la comunidad que emplea trabajadores con precios bajos (Baumeister, 2017). Entre otros elementos que inhiben la sostenibilidad social y ambiental en las comunidades de las regiones Sierra Sur y Costa, son la falta de apoyo directo a los cafeticultores con programas de capacitación y provisión de insumos para combatir las plagas y enfermedades. Es necesario fomentar una mayor comunicación entre autoridades locales, estatales y federales que coadyuven a la implementación de acciones concretas relacionadas con las variables señaladas.

En la parte económica impulsar a que la gestión se realice desde las comunidades rurales y no de intermediarios. Asimismo, las capacitaciones técnicas en las fincas cafetaleras, igualmente la implementación de registros de entradas y salidas para que tengan un mayor desarrollo en materia de contabilidad y análisis económico. De acuerdo con Barrita-Ríos *et al.* (2018) la implementación del café orgánico en Pluma Hidalgo tiene mayor rentabilidad en comparación con el café convencional que se cultiva en la mayoría de los municipios, para lo cual señalan que tienen las mismas actividades excepto la



fertilización y el composteo. Por otra parte, implementar los créditos verdes y pago de servicios ambientales para todos los municipios que abarcan la cuenca Río Copalita.

#### **4.6 CONCLUSIONES**

La cuenca del Río Copalita tiene muy baja sustentabilidad como lo muestra el IRS. En la dimensión ambiental sobresale la falta de una agenda ambiental y su apoyo económico, una política gubernamental para la implementación de programas en municipios que promuevan la producción sustentable de bienes y servicios. En la dimensión social resalta la práctica de la gobernanza en territorio de bienes comunales, lo cual contribuye a la sostenibilidad de la dimensión ambiental en el mantenimiento de los ecosistemas y por lo tanto, los beneficios que se obtienen de los mismos. La dimensión económica se haya deprimida, debido a la falta de apoyo en el ámbito agrícola, ya que son afectados principalmente por cambio climático (periodos secos prolongados dentro de la temporada de lluvias), disminución de precios de mercado, plagas y enfermedades. Por ello, los productores toman alternativas para obtener mayores rendimientos y diferentes opciones de autoconsumo.

#### **4.7 AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 632243 otorgada al primer autor, también a los presidentes municipales, funcionarios y habitantes por brindarnos la información en la entrevista.

#### **4.8 LITERATURA CITADA**

- Aguilar, F. X., E. A. Obeng and Z. Cai, 2018. Water quality improvements elicit consistent willingness to pay for the enhancement of forested watershed ecosystem services. *Environmental Development* 30: 158-171.
- Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Revista Gaceta ecológica* (84) 53-64.

- Altieri, M. Á. y C. I. Nicholls. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7(2): 65-83.
- Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica* (84-85): 8-15.
- Barrita-Ríos, E. E., M. A. Espinosa-Trujillo. y F. C. Pérez-Vera. 2018. Rentabilidad de dos sistemas de producción de café cereza (*Coffea arabica* L.) en Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. *Agroproductividad* 11(3): 104-107.
- Baumeister, E. 2017. Transición cafetalera en América Central: de haciendas hacia una mayor presencia productiva de pequeños y medianos productores. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* (2): 33-58.
- Benites, A., J. Campos, J. Faustino, R. Villalobos y R. Madrigal. 2007. Identificación de servicios ecosistémicos como base para el manejo participativo de los recursos naturales en la cuenca del río Otún. Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* (55):83-90.
- Bicking, S., B. Burkhard, M. Kruse and F. Müller. 2018. Mapping of nutrient regulating ecosystem service supply and demand on different scales in Schleswig-Holstein, Germany. *One Ecosystem* 3: 1-37.
- Blandi, M. L., R. M. Rigotto y S. J. Sarandón. 2018. Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables: La incorporación del invernáculo en agricultores platenses. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 50(1): 203-2016.
- Brundtland, G. H. 1987. *Our common future/world commission on environment and Development*. Oxford: Oxford University press.
- Casas-Cázares, R., F. V. González Cossío, E. García-Moya, T. Martínez-Saldaña, B. y V. Peña Olvera. 2008. Contribución de la dimensión ambiental al desarrollo sustentable de tres agroecosistemas campesinos. *Revista Terra Latinoamericana* 26 (3): 275-284.
- Casas-Cázares, R. F. V. González Cossío, E. García-Moya, T. Martínez-Saldaña, B. y V. Peña Olvera. 2009. Sostenibilidad y estrategia en agroecosistemas campesinos de los Valles Centrales de Oaxaca. *Agrociencia* 43 (3): 319-331.
- Challenger, A., G. Bocco, M. Equihua, E. Lazos-Chavero y M. Maass. 2014. La aplicación del concepto del sistema socioecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación ambiental* 6(2): 1-21.
- Challenger, A., A. Cordova, E. Lazos-Chavero, M. Equihua, and M. Maass. 2018a. Opportunities and obstacles to socioecosystem-based environmental policy in Mexico: expert opinion at the science-policy interface. *Ecology and Society* 23(2): 31.
- Challenger, A., A. Cordova, E. Lazos-Chavero, M. Equihua, y M. Maass. 2018b. La opinión experta evalúa la política ambiental mexicana: Hacia la gestión de socioecosistemas. *Gestión y política pública* 27(2): 431-473.
- Chávez, H. and S. Alipaz. 2007. An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Journal of Water Resources Management* 21: 883-895.
- Chávez-Cortés, M. M. 2015. Valoración del entorno natural de la cuenca del río Eslava, D.F. *Espiral* 62(22): 171-204.
- Cifuentes-Guerrero, A., D. G. Contreras, L. Fernández-Almaza, N. Medina Rodríguez y N. A. Ubaque-Mozo. 2017. Análisis del capital natural del Páramo de Chontales (Sotaquirá) a partir de los Servicios Ecosistémicos y Servicios Ambientales: Una

- aproximación a la planificación ambiental del territorio. *Revista de Tecnología* 16(2): 27-68.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Estadísticas del agua en México. Ediciones 2017. México. pp. 73-99.
- Cotler, H. 2007. El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Segunda edición. México, D.F. 347 p.
- Domínguez-Serrano, J. y E. Castillo-Pérez. 2018. Las organizaciones comunitarias del agua en el estado de Veracruz. Análisis a la luz de la experiencia latinoamericana. *Estudios demográficos y urbanos* 33(2): 469-503.
- García-Cepeda, I. X., L. Almeida-Leñero y V. Ávila-Akerberg. 2016. Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. *Teoría y Praxis* (19). Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/4561/456146535005/>
- Hammer, Ø., D. A. Harper and Ryan, P. D. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4(1):9.
- Ibarrola-Rivas, M. J. and L. Galicia. 2017. Rethinking Food Security in Mexico: Discussing the Need for Sustainable Transversal Policies Linking Food Production and Food Consumption. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* (94): 106-121.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2019. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL). (Consultado: 26/02/2019). Disponible en [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#)
- Jägermeyr, J., A. Pastor, H. Biemans and D. Gerten. 2017. Reconciling irrigated food production with environmental flows for Sustainable Development Goals implementation. *Nature communications* 8: 1-9.
- Jullian, C., L. Nahuelhual, B. Mazzorana. y M. Aguayo. 2018. Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)* 39(2): 277-289.
- Leirana-Alcocer, J. L. y F. Bautista-Zúñiga. 2014. Patrones de asociación entre la cobertura vegetal y la calidad del suelo en el matorral costero de la reserva Ría Lagartos, Yucatán. *Ciencia UAT* 8(2): 44-53.
- López-Báez, W., B. G. Palacios-Herrera. y R. Reynoso-Santos. 2016. Diagnóstico de los servicios ecosistémicos en la Reserva de la Biósfera el Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34): 21-34.
- López-Moreno J, I Zabalza, S. Vicente-Serrano, J. Revuelto, M. Gilaberte, C. Azorin-Molina, E. Morán-Tejeda, J. García-Ruiz and C. Tague. 2014. Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: scenarios in the upper aragón river, spanish pyrenees. *Science of the total environment* 493: 1222-1231.
- Maass, J. M. y H. Cotler. 2007. El protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. *In: H. Cotler (comp.). El manejo integral de cuencas en México. 2ª. ed.*

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. pp. 41-58.
- Maass, J.M. 2012. El manejo sustentable de socio-ecosistemas. In: J. L. Calva (coord.), Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable. Tomo 14 de la colección Análisis Estratégico para el Desarrollo, Juan Pablos Editor-Consejo Nacional de Universitarios, México. pp. 267-290.
- Masera, O., Astier, M. y López-Ridaaura., S. 2000. El marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada. México, D. F. Mundiprensa. 347 p.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human wellbeing: a framework for assessment Washington, DC: Island Press.
- Monárrez-González, J. C., G. Pérez-Verdín, C. López-González, M. A. Márquez-Linares y M. D. S. González-Elizondo. 2018. Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y bosques* 24(2):1-16.
- Muñoz-Sevilla, N. P. and M. Le-Bail. 2017. Latin American and Caribbean regional perspective on ecosystem based management of large marine ecosystems goods and services. *Environmental Development* 22: 9-17.
- Nicholls, C. I. y M. A. Altieri. 2019. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación UNED* 11(1), S55-S61.
- Olguín-López, J. L., G. Gutiérrez, R. Darío, J. A. Carranza-Montaño, E. Scopel, O. A. Barreto-García y A. Talavera-Villareal. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia (Arica)* 35(1):51- 61.
- Palacios-Agundez, I., M. Onaindia, P. Barraqueta and I. Madariaga. 2015. Provisioning ecosystem services supply and demand: The role of landscape management to reinforce supply and promote synergies with other ecosystem services. *Land Use Policy* 47:145-155.
- Pineda-López, R. Domínguez-Cortazar, M. A. Quintanar-Quintanar, E. Gilio, M. C. Roitman-Genoud, P. Fonseca-Tapia, A. L. García-Franco, M. P. Briceño, M. E. Vázquez –Sánchez, G. y J. Rickards-Guevara. 2007. El protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. In: H. Cotler (comp.). *El manejo integral de cuencas en México*. 2a. ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. pp. 313-338.
- Pinto, L. H. 2018. Movimientos sociales populares frente el Tercer Sector: estudio comparado de organizaciones campesinas de Brasil, Argentina y México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* (23):133-156.
- Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). 2019. Consulta la base de datos del Repda "Registro Público de Derechos de Agua" 2019 en México. Comisión Nacional del Agua. (Consultado: 21/01/2019). Disponible en: <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- Salgot, M. and M. Folch. 2018. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health* (2): 64-74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Pesca y Acuicultura (SEDAPA). 2014. Plan Rector de la Cuenca emblemática del Río Copalita. Informe final. Oaxaca de Juárez.

- Secretaría de Turismo (SECTUR). 2017. Indicadores de la actividad turística 2017. Oaxaca de Juárez. (Consultado: 08/06/19). Disponible en: <http://www.sectur.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2018/03/01.indicadores-turismo-2017-Cierre-definitivo.pdf>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019a. Ficha técnica de la Broca del café (*Hypothenemus hampei*) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 2017. (Consultado: 08/06/2019). Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131767/Ficha\\_Tecnica\\_Broca\\_del\\_caf\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131767/Ficha_Tecnica_Broca_del_caf_.pdf)
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019b. Ficha técnica cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 2017. (Consultado: 08/06/2019). Disponible en: [http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Literatura/Especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras/CochinillaRosada\\_Ficha%20t%C3%A9cnica.%20SENASICA,%202009.pdf](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Literatura/Especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras/CochinillaRosada_Ficha%20t%C3%A9cnica.%20SENASICA,%202009.pdf)
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019c. Doceavo informe mensual. Programa fitosanitario contra la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 2018. (Consultado: 08/06/2019). Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429469/Informe\\_No\\_\\_12\\_Diciembre\\_2018\\_Roya\\_del\\_cafeto.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429469/Informe_No__12_Diciembre_2018_Roya_del_cafeto.pdf)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Anuario estadístico de la Producción Agrícola en México 2006-2017. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (08/10/2018). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tamayo-Garza, J. F y Álamo-Borja, V. 2016. Mejores prácticas para el uso racional del agua en la industria hotelera de la Riviera Maya, Quintana Roo, México. TURyDES, 9(20): 1-22.
- Torres-Salinas, R., G. Azócar García, N. Carrasco Henríquez, M. Zambrano Bigiarini y T. Costa, B. Bob. 2016. Desarrollo forestal, escasez hídrica, y la protesta social mapuche por la justicia ambiental en Chile. Ambiente & Sociedade. Sao Paulo. 19(1): 121-146.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2005. Hydrology for the Environment, Life and Policy-HELP. Paris: UNESCO. P. 20.
- Zamora-Saenz, I., G. Cabestany-Ruiz, M. Lucio-Hernández, L. M. García-Cueva y E. Vargas-Pérez. 2016. Percepción social sobre el pago por servicios ambientales hidrológicos en los bienes comunales de San Pedro y San Felipe Chichila, Taxco, Guerrero. Sociedad y ambiente (10): 57-77.
- Zhao, M., J. Peng, T. Liu. and Y. Wang. 2018. Mapping watershed-level ecosystem services bundles in the Pearl River Delta, China. Ecological Economics 152: 106-117.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

La cuenca Río Copalita genera 58.33% de los BSE que registra MEA, los cuales se encuentran en degradación progresiva, dada la alta fragilidad natural del territorio. De acuerdo con la evaluación de la sustentabilidad la dimensión ambiental es la más fortalecida, seguida por la dimensión social y la dimensión económica. Cabe destacar que el ejercicio de la gobernanza en el territorio rural bajo la forma de organización de “Bienes Comunes”, una forma propiedad social de la tierra el “Derecho Consuetudinario”, estarían fortaleciendo la dimensión social para contribuir a una mayor sostenibilidad ambiental. Sin embargo, es necesario fortalecer la dimensión económica, buscando una mayor equidad en la promoción y ejecución de programas de gobierno con proyectos de corte rentable que incrementen los ingresos económicos a la vez que se salvaguarda la protección

de la cuenca. Se requiere de un verdadero ejercicio de gobierno que fomente el equilibrio de los intereses de bien común, inversión y producción sustentable; es decir una mayor equidad en la distribución de los beneficios del desarrollo económico.

## **CAPÍTULO VI**

### **RECOMENDACIONES**

Se enlistan a continuación las recomendaciones que deben ser considerados por el investigador que estará a cargo de llevar adelante la evaluación la sustentabilidad.

1. Se sugiere que se utilicen especies indicadoras como anfibios, insectos y nutrias.
2. Indicadores no sólo sean entendibles para los investigadores sino también para los tomadores de decisiones en las diferentes dimensiones del desarrollo.
3. Es necesario el diseño de estrategias sustentables de manejo, que detengan la degradación de la capacidad de los ecosistemas, para seguir brindando los BSE identificados



4. La participación de las comunidades, tanto en la determinación de indicadores y el diseño de las estrategias.
  
5. Difundir estos resultados en los municipios concurrentes en la cuenca para los tomadores de decisiones.

## CAPÍTULO VII

### LITERATURA CITADA

- Aguilar, F. X., E. A. Obeng, and Z. Cai. 2018. Water quality improvements elicit consistent willingness to pay for the enhancement of forested watershed ecosystem services. *Environmental Development* (30): 158-171.
- Almeida Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica* (84): 53-64.
- Altieri, M. Á. y C. I. Nicholls. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7(2): 65-83.
- Balesdent, J., I. Basile-Doelsch, J. Chadoeuf, S. Cornu, D. Derrien, Z. Fekiacova, and C. Hatté. 2018. Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* 559(7715): 599.
- Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica* (84-85): 8-15.
- Barrita-Ríos, E. E., M. A. Espinosa-Trujillo. y F. C. Pérez-Vera. 2018. Rentabilidad de dos sistemas de producción de café cereza (*Coffea arabica* L.) en Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. *Agroproductividad* 11(3): 104-107.
- Baumeister, E. 2017. Transición cafetalera en América Central: de haciendas hacia una mayor presencia productiva de pequeños y medianos productores. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* (2): 33-58.

- Bautista, J. C. 2014. Sustentabilidad del sistema de manejo R-T-Q en la cuenca del Río Copalita, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.
- Bicking, S., B. Burkhard, M. Kruse and F. Müller. 2018. Mapping of nutrient regulating ecosystem service supply and demand on different scales in Schleswig-Holstein, Germany. *One Ecosystem* 3: 1-37.
- Benites, A., J. Campos, J. Faustino, R. Villalobos y R. Madrigal. 2007. Identificación de servicios ecosistémicos como base para el manejo participativo de los recursos naturales en la cuenca del río Otún. Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* (55):83-90.
- Bicking, S., B. Burkhard, M. Kruse and F. Müller. 2018. Mapping of nutrient regulating ecosystem service supply and demand on different scales in Schleswig-Holstein, Germany. *One Ecosystem* 3: 1-37.
- Blandi, M. L., R. M. Rigotto y S. J. Sarandón. 2018. Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables: La incorporación del invernáculo en agricultores platenses. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 50(1): 203-2016.
- Brundtland, G. H. 1987. *Our common future/world commission on environment and Development*. Oxford: Oxford University press.
- Caro-Caro, C. y M. A. Torres-Mora. 2015. Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia* 19(2): 237-252.
- Casas-Cazáres, R. 2002. Sustentabilidad de tres agroecosistemas campesinos de los Valles Centrales de Oaxaca. Tesis de Doctorado en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Estado de México, México.
- Casas-Cázares, R., F. V. González Cossío, E. García-Moya, T. Martínez-Saldaña, B. y V. Peña Olvera. 2008. Contribución de la dimensión ambiental al desarrollo sustentable de tres agroecosistemas campesinos. *Revista Terra Latinoamericana* 26 (3): 275-284.
- Casas-Cazáres, R., F. V. González-Cossío, T. Martínez-Saldaña, E. García-Moya y V. Peña-Olvera. 2009. Sostenibilidad y estrategia en agroecosistemas campesinos de los Valles Centrales de Oaxaca. *Agrociencia* 43(2): 319-331.
- Challenger, A., G. Bocco, M. Equihua, E. Lazos-Chavero y M. Maass. 2014. La aplicación del concepto del sistema socioecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación ambiental* 6(2): 1-21.

- Challenger, A., A. Cordova, E. Lazos-Chavero, M. Equihua and M. Maass. 2018a. Opportunities and obstacles to socioecosystem-based environmental policy in Mexico: expert opinion at the science-policy interface. *Ecology and Society* 23(2): 31.
- Challenger, A., A. Cordova, E. Lazos-Chavero, M. Equihua, y M. Maass. 2018b. La opinión experta evalúa la política ambiental mexicana: Hacia la gestión de socioecosistemas. *Gestión y política pública* 27(2): 431-473.
- Chaves, H. and S. Alipaz. 2007. An integrated indicator for basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. *Journal of water resources management* 21: 883-895.
- Chávez-Cortés, M. M. 2015. Valoración del entorno natural de la cuenca del río Eslava, D.F. *Espiral* 22(62): 171-204.
- Cifuentes-Guerrero, A., D. G. Contreras, L. Fernández-Almaza, N. Medina Rodríguez y N. A. Ubaque-Mozo. 2017. Análisis del capital natural del Páramo de Chontales (Sotaquirá) a partir de los Servicios Ecosistémicos y Servicios Ambientales: Una aproximación a la planificación ambiental del territorio. *Revista de Tecnología* 16(2): 27-68.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2007-2017). Estadísticas del Agua en México. Estadísticas del agua en México. Ediciones 2007 - 2017. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Atlas del Agua en México. (Consultado: 26/01/2019). Disponible en: [http://201.116.60.25/publicaciones/AAM\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Estadísticas del agua en México. Ediciones 2017. México. pp. 73-99.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal. (Consultado: 22/01/2019) Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/acciones-y-programas/apoyos-conafo>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2018. Perspectiva forestal. (Consultado: 24/01/19). Disponible en: [https://www.conafor.gob.mx/innovacion\\_forestal/?p=5441](https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=5441).
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). 2013. Lista de la convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (Consultado: 03/06/2018). Disponible en:

<https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2013/S-Appendices-2013-06-12.pdf>

- Conway, G. R. 1985. Agroecosystem analysis. *Agricultural administration* 20(1): 31-55.
- Cotler, H. 2007. El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Segunda edición. México, D.F. pp. 347.
- Cotler, H. 2015. Incidencia del enfoque de cuencas en las políticas públicas de México. In: A. Burgos, G. Bocco y J. Sosa Ramírez (eds.). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. Universidad Autónoma de México. México, D.F. pp. 31-44.
- Cuevas, M. L., Garrido, A. y Sotelo, E. I. 2010. In: H. Cotler (ed.). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Pluralia Ediciones e Impresiones SA de CV, México, D.F. pp. 10-13.
- Domínguez-Serrano, J. y E, Castillo-Pérez. 2018. Las organizaciones comunitarias del agua en el estado de Veracruz. *Análisis a la luz de la experiencia latinoamericana. Estudios demográficos y urbanos* 33(2): 469-503.
- García-Cepeda, I. X., L. Almeida Leñero y V. Ávila-Akerberg. 2016. Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de Abies religiosa de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. *Teoría y Praxis* (19). Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/4561/456146535005/>
- González Esquivel, C., M. E. Gavito, M. Astier, M. Cadena-Salgado, E. del-Val, L. Villamil-Echeverri, Y. Merlín Uribe and P. Balvanera, 2015. Ecosystem service trade-offs, perceived drivers, and sustainability in contrasting agroecosystems in central Mexico. *Ecology and Society* 20 (1): 49-60.
- González Mora, I. D., G. De la Lanza Espino y R. Sánchez Navarro. 2009. Memoria del Taller: propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco. *Manejo del agua en cuencas hidrográficas: desarrollo de nuevos modelos en México*. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte IAP México. 19 p.
- Gray, M. 2004. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Wiley, Chichester. 448 p.

- Gray, M. 2011. Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation* 38(03): 271–274.
- Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa, 2017. Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, 10 (1): 1-83.
- Hammer, Ø., D. A. Harper and Ryan, P. D. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4(1):9.
- Horton, R. E. 1941. An approach toward physical interpretation of infiltration capacity. *Soil science society of América* (5): 399-417.
- Ibarrola-Rivas, M. J. and L. Galicia. 2017. Rethinking Food Security in Mexico: Discussing the Need for Sustainable Transversal Policies Linking Food Production and Food Consumption. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* (94): 106-121.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2016. Extractor rápido de información climatológica III (ERIC). Software v. 1.0, México. (Consultado: 08/01/2019). Disponible en: [http://hidrosuperf.imta.mx/sig\\_eric/](http://hidrosuperf.imta.mx/sig_eric/)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI-SIATL). 2018. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (15/08/2018). Disponible en: [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI-SIATL). 2019. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL). (Consultado: 26/02/2019). Disponible en [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#)
- Jägermeyr, J., A. Pastor, H. Biemans and D. Gerten. 2017. Reconciling irrigated food production with environmental flows for Sustainable Development Goals implementation. *Nature communications* 8: 1-9.
- Jullian, C., L. Nahuelhual, B. Mazzorana. y M. Aguayo. 2018. Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)* 39(2): 277-289.
- La Rosa, D., M. Spyra and L. Inostroza. 2016. Indicators of cultural ecosystem services for urban planning: a review. *Ecological indicators* 61: 74-89.
- Lal, R., W. Negassa, and K. Lorenz, 2015. Carbon sequestration in soil. *Current opinion in environmental sustainability* 15: 79-86.

- Lara Pulido, J. A., A. Guevara Sanginés and C. A. Martelo. 2018. A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. *Ecosystem Services* 31: 126-141.
- Lee, Hannah. 2015. *Climate Change Biology*. California, USA: Academic Press. pp: 281-282.
- Leirana-Alcocer, J. L. y F. Bautista-Zúñiga. 2014. Patrones de asociación entre la cobertura vegetal y la calidad del suelo en el matorral costero de la reserva Ría Lagartos, Yucatán. *Ciencia UAT* 8(2): 44-53.
- López-Báez, W., B. G. Palacios Herrera y S. Roberto Reynoso. 2016. Diagnóstico de los servicios ecosistémicos en la Reserva de la Biósfera el Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (34): 21-34.
- López-Moreno J, I Zabalza, S. Vicente-Serrano, J. Revuelto, M. Gilaberte, C. Azorin-Molina, E. Morán-Tejeda, J. García-Ruiz and C. Tague. 2014. Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: scenarios in the upper aragón river, spanish pyrenees. *Science of the total environment* 493: 1222-1231.
- López-Ridaura, S. Van Ittersum, M. K. Maser, O. Leffelaar, P. A. Astier, M. and Van Keulen, H. 2005. Sustainability evaluation; applying ecological principles and tools to natural resource managements systems. In: Maples, A. D. (ed). *Sustainable Development: New Research*. Nova Science Publishers, Inc. New York. pp: 139-167.
- Lotz, T., C. Opp. and X. He. 2018. Factors of runoff generation in the Dongting Lake basin based on a SWAT model and implications of recent land cover change. *Quaternary International* 475: 54-62.
- Maass, J. M. y H. Cotler. 2007. El protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. *In*: H. Cotler (comp.). *El manejo integral de cuencas en México*. 2ª. ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. pp. 41-58.
- Maass, J. M. 2012. El manejo sustentable de socio-ecosistemas. In J. L. Calva (coord.), *Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable*. Consejo Nacional de Universitarios, México. pp. 267-290.
- Maass, J. M. 2018. Los sistemas socio-ecológicos (SSA) desde el enfoque socioecosistémico (SES). In V. S. Ávila-Foucat. y M. Perevochtchikova (Eds.), *Sistemas socio-ecológicos: Marcos analíticos y estudios en Oaxaca, México*. México, Ciudad de México: UNAM. pp. 19-67.
- Maser, O., Astier, M., y López-Ridaura., S. 1999. *Sustentabilidad y Manejo de recursos naturales: el marco para la evaluación de sistemas de manejo*

- incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada. México, D. F. Mundiprensa. 109 p.
- Masera, O., Astier, M. y López-Ridaura., S. 2000. El marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada. México, D. F. Mundiprensa. 347 p.
- Mendoza Ontiveros, M. M., J. C. Monterrubio Cordero, y M. J. Fernández Almeda. 2018. Impactos sociales del turismo en el centro integralmente planeado Bahías de Huatulco, México. *Gestión turística* (15): 47-73.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and human wellbeing: a framework for assessment* Washington, DC. Island Press.
- Mokondoko-Delgadillo, P., Flores-Díaz, A., González Mora, I., González-Terrazas, D. I., Machorro-Reyes, J., Ríos-Patrón, E. 2018. Servicios ecosistémicos. Fundamentos desde el manejo de cuencas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, REMEXCU. Ciudad de México. 51 p.
- Monárrez-González, J. C., G. Pérez-Verdín, C. López-González, M. A. Márquez-Linares y M. D. S. González-Elizondo. 2018. Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y bosques* 24(2):1-16.
- Mori, A. S., K. P. Lertzman and L. Gustafsson. 2017. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of applied ecology* 54 (1): 12-27.
- Muñoz-Sevilla, N. P. and M. Le Bail. -2017. Latin American and caribbean regional perspective on ecosystem based management of large marine ecosystems goods and services. *Environmental development* 22: 9-17.
- Nicholls, C. I. y M. A. Altieri. 2019. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación UNED* 11(1), S55-S61.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010). 2010. (Consultado: 12/03/2018). Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010)
- Olguín-López, J. L., G. Gutiérrez, R. Darío, J. A. Carranza-Montaño, E. Scopel, O. A. Barreto-García y A. Talavera-Villareal. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia (Arica)* 35(1):51- 61.



- Ordoñez-Gálvez, J. J. 2011. ¿Qué es una cuenca hidrológica? 1ª. ed. Lima Perú. 43 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2005. Hydrology for the Environment, Life and Policy-HELP. Paris: UNESCO. P. 20.
- Palacios-Agundez, I., M. Onaindia, P. Barraqueta and I. Madariaga. 2015. Provisioning ecosystem services supply and demand: The role of landscape management to reinforce supply and promote synergies with other ecosystem services. *Land Use Policy* 47:145-155.
- Pineda-López, R. Domínguez-Cortazar, M. A. Quintanar-Quintanar, E. Gilio, M. C. Roitman-Genoud, P. Fonseca-Tapia, A. L. García-Franco, M. P. Briceño, M. E. Vázquez –Sánchez, G. y J. Rickards-Guevara. 2007. El protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. In: H. Cotler (comp.). El manejo integral de cuencas en México. 2a. ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. pp. 313-338.
- Pinto, L. H. 2018. Movimientos sociales populares frente el Tercer Sector: estudio comparado de organizaciones campesinas de Brasil, Argentina y México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* (23):133-156.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical transactions of the royal society of London B. Biological Sciences* 363: 447-465.
- Pulido-Moncada, M., Z. Lozano, M. Delgado, E. Dumon, D. Van Ranst, G. D. Lobo and W. M. Cornelis,. 2018. Using soil organic matter fractions as indicators of soil physical quality. *Soil use and management* 34 (2): 187-196.
- Quintero-Burgos, G. 2008. Políticas públicas y el medio ambiente. *Revista tecnología en marcha* 21(1): 141-151.
- Ramírez Cruz, H., D. Fernández Reynoso, M. R. Martínez Menez, M. J. González Guillén, A. Romero Manzanares, M. Luna Cavazos, y S. Lozano Trejo. 2015. Aplicación del modelo SWAT para el análisis del flujo base en una cuenca mexicana del Pacífico Sur. In: 1er Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología. Querétaro, México.
- Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). 2019. Consulta la base de datos del Repda "Registro Público de Derechos de Agua" 2019 en México. Comisión Nacional del Agua. (Consultado: 21/01/2019). Disponible en: <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>

- Salgot, M. and M. Folch. 2018. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health* (2): 64-74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Pesca y Acuicultura (SEDAPA). 2014. Plan Rector de la Cuenca emblemática del Río Copalita. Informe final. Oaxaca de Juárez.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2016. Atlas del agua en México. México, D.F. pp. 20-58.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Estadísticas del Agua en México. México, D.F. pp. 23-30.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2019. Aprovechamiento forestal 2013-2017 (Consultado: 18/02/19). Disponible en: [https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/seif\\_oaxaca/component/content/category/16-contenidos](https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/seif_oaxaca/component/content/category/16-contenidos)
- Secretaría de Turismo (SECTUR). 2017. Indicadores de la actividad turística 2017. Oaxaca de Juárez. (Consultado: 08/06/19). Disponible en: <http://www.sectur.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2018/03/01.indicadores-turismo-2017-Cierre-definitivo.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Anuario estadístico de la Producción Agrícola en México 2006-2017. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (08/10/2018). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019a. Ficha técnica de la Broca del café (*Hypothenemus hampei*) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 2017. (Consultado: 08/06/2019). Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131767/Ficha\\_T\\_cnica\\_Broca\\_del\\_caf\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131767/Ficha_T_cnica_Broca_del_caf_.pdf)
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019b. Ficha técnica cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 2017. (Consultado: 08/06/2019). Disponible en: [http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Literatura/Especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras/CochinillaRosada\\_Ficha%20t%C3%A9cnica.%20SENASICA,%202009.pdf](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Literatura/Especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras/CochinillaRosada_Ficha%20t%C3%A9cnica.%20SENASICA,%202009.pdf)
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019c. Doceavo informe mensual. Programa fitosanitario contra la roya del

- cafeto (*Hemileia vastatrix*) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 2018. (Consultado: 08/06/2019). Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429469/Informe\\_No\\_\\_12\\_Diciembre\\_2018\\_Roya\\_del\\_cafeto.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429469/Informe_No__12_Diciembre_2018_Roya_del_cafeto.pdf)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Anuario estadístico de la Producción Agrícola en México 2006-2017. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (08/10/2018). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shiklomanov, I.A. and J. C. Rodda. 2003. World water resources at the Beginning of the 21st century. Nueva York, USA: UNESCO.
- Tamayo-Garza, J. F y V. Álamo-Borja. 2016. Mejores prácticas para el uso racional del agua en la industria hotelera de la Riviera Maya, Quintana Roo, México. *TURyDES*, 9(20): 1-22.
- Torres-Lima, P., L. Rodríguez-Sánchez y Sánchez-Jerónimo, Ó. 2004. Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional: El marco de la agricultura. *Región y sociedad* 16(29):109-144.
- Torres-Salinas, R., G. Azócar García, N. Carrasco Henríquez, M. Zambrano Bigiarini, T. Costa y B. Bob. 2016. Desarrollo forestal, escasez hídrica, y la protesta social mapuche por la justicia ambiental en Chile. *Ambiente & Sociedade*. Sao Paulo. 19(1): 121-146.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2018. Lista Roja de especies (30/04/2018). Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/>
- Viramontes-Olivas, O. A., L. F. Escoboza-García, C. Pinedo-Álvarez, A. Pinedo-Álvarez, V. M. Reyes-Gómez, J. Román-Calleros y A. Pérez-Márquez. 2008. Morfometría de la cuenca del Río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua* 1(3):21-31.
- Wang, Linhua. Ma, Bo. and Wu, F. 2017. Effects of wheat stubble on runoff, infiltration, and erosion of farmland on the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. *Solid Earth* VIII (2): 281-290.
- Yañez Gutiérrez, F., R. M. Hermoza Espezúa y L. R. Bazán Tapia. 2017. Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. *Anales Científicos* 78(2):191-199.
- Zamora-Saenz, I., G. Cabestany-Ruiz, M. Lucio-Hernández, L. M. García-Cueva y E. Vargas-Pérez. 2016. Percepción social sobre el pago por servicios

ambientales hidrológicos en los bienes comunales de San Pedro y San Felipe Chichila, Taxco, Guerrero. *Sociedad y ambiente* (10): 57-77.

Zhao, M., J. Peng, T. Liu and Yanglin. Wang. 2018. Mapping watershed-level ecosystem services bundles in the Pearl River Delta, China. *Ecological Economics* 152: 106-117.

## CAPÍTULO VIII

### ANEXOS

Anexo 1. Listado de variables de la dimensión ambiental para evaluar sustentabilidad de la cuenca del Río Copalita.

Variable	Descripción	Estimación	Unidades	Tendencia a la Sustentabilidad
X1	Número de especies de vertebrados terrestres	Total de especies de vertebrados por tipo de vegetación	Unidades	a >X1~sust
X2	Superficie forestal total	Total de la superficie forestal	ha	a >X2~sust
X3	Número de especies en categoría de riesgo	Total de especies de fauna y flora en alguna categoría de riesgo	Unidades	a <X3~sust
X4	Diversidad de tipos vegetacionales	Número de tipos vegetacionales que ocupan la cuenca	Unidades	a >X4~sust
X5	Volumen total de agua para los procesos indispensables	Total de agua que utilizada para la agricultura, procesos industriales, la que ensucia y contamina a través de esos mismos procesos	m <sup>3</sup> /año	a <X5~sust
X6	Disponibilidad media por habitante	Total de superficie ecológicamente necesaria para la alimentación de los ciudadanos y superficie construida por habitante.	ha	a <X6~sust
X7	Disponibilidad natural media por habitante	Volumen total de de agua demandada anualmente por habitantes	m <sup>3</sup> / hab	a>X7~sust
X8	Volumen anual de agua demandado por turistas	Volumen total de agua demandada anualmente por turistas	m <sup>3</sup> / tur/año	a <X8~sust
X9	Flujo de caudal medio	Volumen de agua que pasa por un cuerpo de agua.	m <sup>3</sup> /s	a >X9~sust

X10	Eficiencia de cosecha en régimen temporal	ICRT=(Superficie cosechada temporal/superficie total sembrada temporal)(100) en el período de 2007-2016.	ha	a > X10~sust
X11	Eficiencia de cosecha en régimen de riego	ICRR=(Superficie cosechada riego/superficie total sembrada riego)(100) en el período de 2007-2016.	ha	a > X11~sust
X12	Rendimiento temporal	Total de los principales cultivos producidos en régimen temporal (frijol, maíz, manzana, aguacate, café arábica, durazno y papaya).	tha <sup>-1</sup>	a > X12~sust
X13	Rendimiento por riego	Total de los principales cultivos producidos en régimen riego (frijol, maíz, aguacate y papaya).	tha <sup>-1</sup>	a > X13~sust
X14	Producción de temporal	Total de toneladas producidas en temporal en el período de 2012-2016.	t	a < X14~sust
X15	Producción de riego	Total de toneladas producidas en riego en el período de 2012-2016.	t	a > X15~sust
X16	Número de especies que se cultivan por municipio	Total de especies que se cultivan por municipio.	Unidades	a < X16~sust
X17	Número de programas de conservación de suelos	Total de programas dirigidos a la construcción de obras de conservación de suelos	Unidades	a > X17~sust
X18	Superficie de obras de conservación de suelos	Total de superficie que cuenta con obras de conservación de suelo y agua	ha	a > X18~sust
X19	Índice de tierras que aprovechan la fertilidad natural de los suelos	IFNS=(Superficie agrícola no usa fertilizantes/superficie total sembrada) (100)	ha	a < X19~sust
X20	Superficie para la agricultura	Total de todos los cultivos sembrados en temporal y riego en el período de 2007-2016.	ha	a < X20~sust
X21	Superficie extraída para madera	Total de hectáreas de madera.	ha	a < X21~sust
X22	Volumen de agua en agroecosistemas	Volumen total de agua utilizada en los agroecosistemas.	m <sup>3</sup> /año	a < X22~sust
X23	Productividad del agua	PA= Total de kg de cultivos principales en la cuenca/total	kg <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>	a > X23~sust

		de agua utilizada en la agricultura.		
X24	Porcentaje del volumen de agua infiltrada en suelos	Porcentaje total del volumen de agua infiltrada en suelos.	Porcentaje	a >X24~sust
X25	Variación de temperatura y precipitación	Total de los promedios de la variación de temperatura más precipitación	Unidades	a <X25~sust
X26	Número de etnias que utilizan y manejan los recursos naturales	Total de etnias involucradas en el uso y manejo de recursos naturales.	Unidades	a <X26~sust
X27	Superficie por pago hidrológico	Total de superficie que cuenta con algún pago hidrológico	Unidades	a <X27~sust
X28	Superficie por pago de CO <sub>2</sub>	Total de superficie que cuenta con algún pago de CO <sub>2</sub>	Unidades	a <X28~sust

---

## Anexo 2. Listado de variables de la dimensión social para evaluar sustentabilidad de la cuenca Río Copalita.

Variable	Descripción	Estimación	Unidades	Tendencia a la Sustentabilidad
Y1	Porcentaje de municipios con organizaciones productivas	de Total de municipios con organizaciones sociales para la producción de alimentos y fibras.	Porcentaje	a >Y1~sust
Y2	Porcentaje de municipios productores de subsistencia	de Total de municipios con productores de subsistencia de granos básicos (maiz, frijol)	Porcentaje	a <Y2~sust
Y3	Porcentaje de municipios productores comerciales	de Total de municipios con productores comerciales, ganaderos, agricultura, etc, que utilizan el suelo fértiles y agua para generar ganancias económicas	Porcentaje	a < Y3~sust
Y4	Porcentaje de municipios que usan el territorio bajo sistemas agroforestales	de Total de municipios que usan el territorio bajo sistemas agroforestales	Porcentaje	a < Y4~sust
Y5	Porcentaje de municipios con programas y proyectos para el manejo de protección o fuente de agua de manantiales	de Total de municipios con programas y proyectos orientados en el manejo de protección o fuente de agua de manantiales.	Porcentaje	a >Y5~sust
Y6	Porcentaje de municipios con políticas implementadas para la protección de cuencas	de Total de municipios con políticas implementadas para la protección de cuencas (cobertura vegetal para disminuir escorrentías y aumentar la infiltración).	Porcentaje	a >Y6~sust
Y7	Porcentaje de municipios que implementan políticas encaminadas a la protección de la calidad de agua	de Total de municipios con políticas encaminadas a la protección de la calidad de las fuentes de agua y su distribución.	Porcentaje	a >Y7~sust
Y8	Porcentaje de municipios que tienen artesanos	de Total de municipios con artesanos que se encuentran en los municipios con turismo.	Porcentaje	a > Y8~sust
Y9	Porcentaje de municipios con organizaciones en la defensa de los recursos naturales	de Total de municipios con organizaciones en la defensa de los recursos naturales.	Porcentaje	a >Y9~sust



Y10	Porcentaje de municipios por bienes comunales.	Total de municipios por bienes comunales (usos y costumbres).	Porcentaje a >Y10~sust
Y11	Educación ambiental	Total municipios con actores sociales enfocados a la conservación (usuarios, gobierno, ONG's y fundaciones).	Porcentaje a > Y11~sust
Y12	Cosmovisión (Ética ambiental)	Total de municipios con personas involucradas que participan en algún proyecto de conservación.	Porcentaje a > Y12~sust
Y13	Porcentaje de la población en línea de pobreza y pobreza extrema	Porcentaje de la población en línea de pobreza y pobreza extrema.	Porcentaje a <Y13~sust

---

Anexo 3. Listado de variables de la dimensión económica para evaluar sustentabilidad de la cuenca Río Copalita.

Variable	Descripción	Estimación	Unidades	Tendencia a la Sustentabilidad
Z1	Miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas bajo temporal	Total de miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas (frijol, maíz, manzana, aguacate, café arábica, durazno y papaya) del período 2007-2017.	\$	a >Z1~sust
Z2	Miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas bajo riego	Miles de pesos por producción de los principales agroecosistemas (frijol, maíz, manzana, aguacate, café arábica, durazno y papaya) del período 2007-2017.	\$	a >Z2~sust
Z3	Costos de agua por municipio	Costos de agua por municipio	\$	a <Z3~sust
Z4	Presupuesto para actividades de conservación	Total de presupuesto asignado al impulso de actividades de conservación	\$	a >Z4~sust
Z5	Presupuesto para actividades productivas	Total de presupuesto asignado al impulso de actividades de productivas	\$	a >Z5~sust
Z6	Presupuesto para agenda ambiental	Total de presupuesto asignado al impulso a la agenda ambiental	\$	a >Z6~sust
Z7	Pago de servicios hidrológicos	Total del pago de servicios hidrológicos	\$	a >Z7~sust