



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo
Integral Regional Unidad Oaxaca**

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales
Administración de los Recursos Naturales

**Análisis y evaluación de las interacciones del sistema socio ecológico forestal de
Oaxaca con el marco conceptual FPEIR y el modelo de ecuaciones estructurales**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO EN:
Maestría en Ciencias

Presenta:
Edith Rivera Jiménez

Director de Tesis
Dr. Juan Regino Maldonado

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca

Julio 2019

AGREDECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca que me autorizó para realizar la maestría en ciencias

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca

A mi director de tesis el Dr. Juan Regino Maldonado, por su asesoría en el desarrollo de este trabajo

A todos los integrantes de mi comisión revisora de tesis: Dra. Patricia Soledad Sánchez Medina, Dra. Elia María del Carmen Méndez García, M en C. María de los Ángeles Ladrón de Guevara Torres y Dr. Luis Arturo Tapia Guerrero.

A mis compañeros y amigos del área de administración: Natalia, Dailin, Moisés, Hugo y José Porfirio, por su enseñanza y apoyo incondicional.

A mis compañeros y amigos del CIIDIR, quienes hicieron que mi estancia en Oaxaca fuera una gran experiencia. En especial a Citlalli, Adriana, Edwin, Miguel, Luis y William.

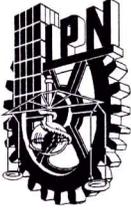
DEDICATORIA

A mis padres Eloina y Norberto

A mi hermano Víctor

A toda mi familia y amigos

Y especialmente a Juan pablo



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca siendo las 12:00 horas del día 30 del mes de mayo del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR OAXACA para examinar la tesis titulada:
Análisis y evaluación de las interacciones del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca con el marco conceptual FPEIR y el modelo de ecuaciones estructurales

Presentada por el alumno:

Rivera Jiménez
Apellido paterno Apellido materno
Nombre(s) Edith

Con registro:

B	1	7	0	2	2	6
---	---	---	---	---	---	---

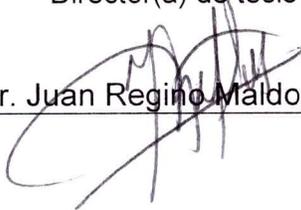
aspirante de:

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

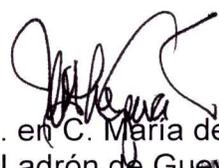
Director(a) de tesis


Dr. Juan Regino Maldonado


Dra. Patricia Soledad Sánchez Medina


Dra. Elia María del Carmen Méndez García


Dr. Luis Arturo Tapia Guerrero


M. en C. María de los Ángeles Ladrón de Guevara Torres

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez


CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca el día 17 del mes de junio del año 2019, el (la) que suscribe Rivera Jiménez Edith alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales con número de registro B170226, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Juan Regino Maldonado y cede los derechos del trabajo intitulado Análisis y evaluación de las interacciones del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca con el marco conceptual FPEIR y el modelo de ecuaciones estructurales, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección flaysrivera@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Edith Rivera Jiménez

Nombre y firma

CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

Resumen

Los bosques son proveedores de importantes servicios ecosistémicos que producen bienestar humano; pero diversos factores antropogénicos promueven cambios en su estado, por lo cual el gobierno ha implementado diversas estrategias de conservación. Sin embargo, se desconoce cómo es la dinámica entre los elementos sociales y ambientales que inciden en el estado del bosque, por lo que el objetivo fue realizar un análisis y evaluación de las interacciones del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca con el marco conceptual Fuerzas motrices directas-Presión o fuerzas motrices indirectas-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR) y el modelo de ecuaciones estructurales. Con un análisis factorial se seleccionaron 26 indicadores que fueron los más representativos para las variables del FPEIR y se alimentaron con información secundaria de fuentes de información oficial. Los indicadores de cada variable se agregaron en índices. Se realizó un análisis de tendencias para cada indicador y los índices agregados. Los resultados del análisis de tendencias fueron los siguientes: los indicadores y el índice agregado de las variables fuerzas motrices indirectas y directas aumentan; es decir hubo un crecimiento en la población de Oaxaca y las exportaciones de algunos productos agrícolas, así como en la expansión de la superficie agrícola y urbana, y la producción ganadera. La mayoría de los indicadores que evidencian la reducción de la pérdida de la cubierta forestal aumentan, lo que corrobora una disminución de la variable estado. La reducción en 2 indicadores y el índice agregado de los servicios ecosistémicos de provisión confirma la disminución de los mismos. El incremento en los indicadores y los índices agregados de servicios ecosistémicos de regulación y culturales, así como los de bienestar humano y la respuesta revelan un aumento en estas variables.

El planteamiento de las relaciones entre las variables o prueba de hipótesis se probó con el sistema de ecuaciones estructurales y se obtuvo que el aumento de las fuerzas motrices indirectas incrementa las fuerzas motrices directas y estas a su vez inciden negativamente en el estado de la cubierta forestal (aumenta la pérdida de la cubierta forestal); la pérdida de la cubierta forestal reduce los servicios ecosistémicos de provisión, pero no los servicios ecosistémicos de regulación y culturales. La pérdida de los servicios ecosistémicos de provisión y la no reducción de los servicios ecosistémicos de regulación y culturales no

disminuyen el bienestar humano. El incremento del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos (respuesta) no ha incidido en la reducción de las fuerzas motrices indirectas y directas. A su vez, la respuesta no ha logrado disminuir significativamente la pérdida de la cubierta forestal y los servicios ecosistémicos de provisión, no incide en la reducción de la pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación y culturales porque estos tienden a aumentar y, por último, no se encontró relación entre la respuesta y el bienestar humano.

Palabras clave: FPEIR, Sistema socio ecológico, Sistema de ecuaciones estructurales

Abstract

Forests are providers of important ecosystem services that produce human well-being; but various anthropogenic factors promote changes in their state, which is why the government has implemented various conservation strategies. However, it is not known how is the dynamics between the social and environmental elements that affect the state of the forest, so the objective was to perform an analysis and evaluation of the interactions of the social ecological forest system of Oaxaca with the conceptual framework of Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) and the model of structural equations. With a factorial analysis, 26 indicators were selected that were the most representative for the DPSIR variables and were fed with secondary information from sources of official information. With the indicators, aggregate indices were made for each variable and an analysis of individual trends and aggregate indices. For which it was obtained that the indicators and the aggregate index of the indirect and direct driving force variables increase; that is to say, there was a growth in the population of Oaxaca and the exports of some agricultural products, as well as in the expansion of the agricultural and urban surface, and livestock production. Most of the indicators that show the reduction in the loss of forest cover increase, which corroborates a decrease in the state variable. The reduction in 2 indicators and the aggregate index of ecosystem services for provision confirm their reduction. The increase in indicators and aggregate indices of regulatory and cultural ecosystem services, as well as those of human well-being and response reveal an increase in these variables.

The approach of the relations between the variables or test of hypothesis was tested with the system of structural equations and it was obtained that the increase of the indirect motor forces increases the direct driving forces and these in turn have a negative impact on the state of the forest cover (increases the loss of forest cover); the loss of forest cover reduces ecosystem services provision, but not regulatory and cultural ecosystem services. The loss of ecosystem services for provision and the non-reduction of ecosystem regulation and cultural services do not diminish human well-being. The increase in the payment program for hydrological environmental services (response) has not affected the reduction of indirect and direct driving forces. In turn, the response has not significantly reduced the loss of forest cover and ecosystem services provision, does not affect the reduction of the loss of

regulatory and cultural ecosystem services because these tend to increase and, finally, no relationship was found between the response and human well-being.

Keywords: DPSIR, Socio-ecological system, System of structural equations

Índice general

Resumen.....	3
Abstract	5
Introducción	11
Capítulo I.....	13
Antecedentes	13
1.1 Los factores de cambio directos e indirectos en las cubiertas forestales.....	13
1.2 Políticas públicas forestales-pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH)	14
1.3 Servicios ecosistémicos y bienestar humano.....	16
1.4 El Programa de PSA y la deforestación: los SE y BH	17
Capítulo 2.....	18
2.1. Planteamiento del problema.....	18
2.2. Pregunta de investigación.....	20
2.3. Justificación.....	20
2.4. Objetivos	22
2.4.1 Objetivo general	22
2.4.2 Objetivos específicos.....	22
Capítulo 3.....	22
3.1. Marco conceptual	22
Capítulo 4.....	32
4.1. Hipótesis.....	32
4.2. Modelo de investigación	33
Capítulo 5.....	35
Metodología	35
5.1. Tipo de investigación	35
5.2. Unidad de análisis	35
5.3. Operacionalización de las variables	37
5.4. Conceptualización de las variables y sus indicadores	37
5.5. Recolección de datos.....	48
5.6. Análisis estadístico.....	49
5.6.1. Prueba piloto y análisis factorial	49
5.6.2. Análisis individual de tendencias e índices agregados.....	50
5.6.3. Análisis con el modelo de ecuaciones estructurales (SEM).....	51

Capítulo 6.....	54
Resultados	54
6.1. Tendencia de los indicadores individuales.....	54
6.2. Tendencias de los índices agregados.....	65
6.3. Modelo de estimación	69
6.4. Interpretación de los coeficientes de ruta y prueba de hipótesis	73
Capítulo 7.....	79
7.1. Discusión.....	79
7.2. Conclusiones	82
7.3. Alcances de la investigación	83
7.4. Recomendaciones.....	84
7.5. Limitaciones.....	84
7.6. Referencias bibliográficas y anexos.....	85

Índice de figuras

Figura 1. Estructura del sistema socio ecológico (McGinnis y Ostrom, 2014).....	25
Figura 2. Estructura del sistema socio ecológico (McGinnis y Ostrom, 2014).....	27
Figura 3. Modelo de investigación para el análisis de las interacciones socio ecológicas del SSE forestal de Oaxaca, elaboración propia con base en Wei et al. (2019), Sun et al. (2018), Santos-Martin et al. (2013) y Kandziora et al. (2013).....	34
Figura 4. Mapa del estado de Oaxaca, elaboración propia.....	36
Figura 5. Valores obtenidos en el análisis y evaluación de las interacciones socio ecológicas del SSEF de Oaxaca con el modelo de ecuaciones estructurales (Smart-PLS 3.0). * no significativos $p>0.05$, nivel de significancia del 95%	72

Índice de tablas

Tabla 1 Indicadores propuestos para la variable fuerzas motrices indirectas.....	38
Tabla 2 Indicadores propuestos para la variable fuerzas motrices directas.....	40
Tabla 3 Indicadores propuestos para la variable estado	42
Tabla 4 Indicadores propuestos para la variable Impacto-servicios ecosistémicos.....	45
Tabla 5 Indicadores propuestos para la variable Impacto-bienestar humano.....	47
Tabla 6 Indicadores propuestos para la variable respuesta	48
Tabla 7. Lista de indicadores seleccionados por análisis factorial y de componentes principales....	50
Tabla 8. Clasificación de las tendencias de acuerdo al valor de la pendiente de regresión lineal....	51
Tabla 9. Criterios para la interpretación de los coeficientes de ruta	54
Tabla 10. Tendencia de los indicadores de la variable fuerzas motrices indirectas	54
Tabla 11. Tendencia de los indicadores de la variable fuerzas motrices directas	56
Tabla 12. Tendencia de los indicadores de la variable estado.....	57
Tabla 13. Tendencia de los indicadores de la variable Impacto-servicios ecosistémicos de provisión.	59
Tabla 14. Tendencias de los indicadores de la variable Impacto-servicios ecosistémicos de regulación.....	61
Tabla 15. Tendencia de los indicadores de la variable Impacto-servicios ecosistémicos culturales.	62
Tabla 16. Tendencia de los indicadores de la variable Impacto-Bienestar humano.....	63
Tabla 17. Tendencia de los indicadores de la variable respuesta.....	64
Tabla 18. Tendencia de los índices agregados	66
Tabla 19. Valores para probar la consistencia interna y validez convergente.....	70
Tabla 20. Validez discriminante.....	70
Tabla 21. Valores de R^2	72
Tabla 22. Valores de los coeficientes de ruta del sistema de ecuaciones estructurales.....	73

Índice de gráficas

Gráfica 1 Habitantes (1980-2017).....	55
Gráfica 2 Exportación de dátiles, piñas y aguacate (2004-2014).....	55
Gráfica 3 Exportación de café (2004-2014).....	55
Gráfica 4 Superficie agrícola (1996-2011).....	56
Gráfica 5 Producción de carne bovina (1998-2017)	56
Gráfica 6 Producción de carne ovina (1980-2016)	56
Gráfica 7 Producción de carne caprina (1980-2016).....	56
Gráfica 8 Superficie de infraestructura urbana (1998-2017).....	57
Gráfica 9 Cobertura medida del dosel de los árboles (2009-2015).....	58
Gráfica 10 Disponibilidad base media de agua (1998-2015).....	58
Gráfica 11 Bosque afectado por el cambio de uso de suelo (1998-2017).....	58

Gráfica 12 Selva afectada por el cambio de uso de suelo (1998-2017)	58
Gráfica 13 .- Producción forestal maderable total (1990-2017).....	60
Gráfica 14 Producción forestal no maderable (1990-2017)	60
Gráfica 15 Agua para consumo humano	60
Gráfica 16 Agua almacenada por las principales presas (1990-2016)	61
Gráfica 17 Recarga media total de acuíferos (1998-2017).....	61
Gráfica 18 Superficie destinada voluntariamente a la conservación (2004-2017).....	62
Gráfica 19 Proyectos de conservación y aprovechamiento del patrimonio natural y cultural (2008-2013)	62
Gráfica 20 Ingreso generado por actividades ecoturísticas (2002-2011)	62
Gráfica 21 Población económicamente activa (2005-2016)	63
Gráfica 22 Ingreso de la población ocupada (2005-2013)	63
Gráfica 23 Cobertura de agua potable (1990-2016).....	64
Gráfica 24 Esperanza de vida (1980-2017).....	64
Gráfica 25 Superficie de bosque con PSAH	65
Gráfica 26 Monto asignado para la conservación de bosques mediante el PSAH.....	65
Gráfica 27 Fuerzas motrices indirectas	66
Gráfica 28 Fuerzas motrices directas	66
Gráfica 29 Estado	66
Gráfica 30 Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión.....	66
Gráfica 31 Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación.....	67
Gráfica 32 Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	67
Gráfica 33 Impacto-Bienestar humano	67
Gráfica 34 Respuesta.....	67

Introducción

El análisis integral de los sistemas ambientales es un proceso necesario para entender cómo se comportan y relacionan los elementos que lo integran a fin de poder generar posibles soluciones a los problemas de la alteración de uno o de varios elementos que integran los sistemas. El bosque es un complejo sistema de relaciones en donde cada uno de los elementos que lo conforman son importantes en su estabilidad, y la alteración de algún elemento propicia un desbalance del sistema en general. Por lo cual, es importante entender el comportamiento de todos los elementos sociales y ambientales que conforman un sistema socio ecológico como el bosque a fin de generar un verdadero manejo integral del sistema (Anderies et al., 2004). Por lo tanto, el marco conceptual Fuerzas motrices indirectas-Presión o fuerzas motrices directas-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR) es una herramienta que permite estructurar información e identificar importantes relaciones causa-efecto entre la parte social, económica y ecológica de un sistema. Las relaciones se pueden probar y medir con distintas pruebas estadísticas empleando indicadores numéricos que se disponen para cada variable del marco conceptual. Algunos estudios empíricos que emplean el FPEIR para analizar problemáticas ambientales establecen que las variables fuerzas motrices indirectas y la fuerzas motrices directas de cambio están muy relacionadas: las fuerzas motrices directas provocan un cambio en el estado del sistema, lo que desencadena una serie de impactos en la estructura funcional del sistema, y se traduce en una alteración de los servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales, los cuales son la base del bienestar de los humanos (Montes y Sala, 2007). Como los servicios ambientales que se obtienen de los bosques son diversos, el gobierno ha implementado programas como el pago de servicios ambientales a fin de garantizar su conservación. En México, existen diversas modalidades de conservación de los servicios ambientales o ecosistémicos como lo es el pago por servicios ambientales para la conservación de la biodiversidad, para la captura de carbono y para la conservación de los servicios ambientales hidrológicos (Muñoz-Piña et al., 2008 y Engel et al., 2008). Esta última modalidad de conservación ha sido implementada en diversas regiones del país a fin de reducir la pérdida de la cubierta forestal y garantizar la infiltración del agua al subsuelo. Sin embargo, no se tiene bien claro si esta estrategia de mitigación ha logrado su objetivo: frenar la pérdida de las cubiertas forestales, si tiene una relación con los factores indirectos y directos que provocan el

cambio en las cubiertas forestales, es decir, si incide en procesos sociales, económicos y demográficos, los cuales son los principales factores que propician el cambio de uso de suelo. En el estado de Oaxaca, autores como Ordoñez y Rodríguez (2008); Velázquez et al. (2003); Durán et al. (2007) han documentado que pérdida de la cobertura vegetal es provocada principalmente por el cambio de uso de suelo, producto de actividades como la agricultura, ganadería, tala clandestina, incendios forestales, plagas entre otros. Por lo cual, surge el interés de conocer la interacción de la pérdida de la cubierta forestal con otras variables sociales y ambientales que intervienen en este proceso a fin de ir hacia un verdadero manejo integral del sistema forestal de Oaxaca. En esta investigación, además de emplear el marco conceptual FPEIR para analizar las interacciones de las variables que lo integran, se usó el sistema de ecuaciones estructurales, ya que con esta herramienta estadística se puede estimar las relaciones entre las variables y confirmar al mismo tiempo todas las hipótesis planteadas. Estudios realizados por Wei et al. (2019), Sun et al. (2018), Santos-Martín et al. (2013) combinan el uso de ambas herramientas para analizar aspectos como los factores que influyen en la emisión de CO₂ en China, la pobreza del agua rural en China y evaluar los efectos directos e indirectos que la pérdida de biodiversidad y los servicios de los ecosistemas tienen sobre el bienestar humano en España. Con base en lo descrito, el objetivo del estudio fue analizar y evaluar las interacciones del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca con en el planteamiento del modelo conceptual FPEIR y el modelo de ecuaciones estructurales. Por lo cual, el presente estudio está integrado de siete capítulos. En el capítulo I se contextualiza sobre los factores de cambio directos e indirectos que inciden en las cubiertas forestales, la respuesta del gobierno para reducir el cambio, los servicios ecosistémicos y su relación con el bienestar humano.

El capítulo 2 aborda el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, la justificación y los objetivos. En el capítulo 3 se aborda el marco conceptual. El capítulo 4 contiene las hipótesis y el modelo de investigación. El capítulo 5 contempla la metodología empleada, es decir el tipo de investigación, la unidad de análisis, la operacionalización de las variables, conceptualización de las variables y sus indicadores, colecta de datos, y análisis estadístico. En el Capítulo 6 se presentan los resultados del análisis de tendencias de los indicadores individuales y de los índices agregados, el modelo de estimación, y la interpretación de los coeficientes de ruta y prueba de hipótesis. Por último en el capítulo 7

se aborda la discusión, conclusiones, alcances de la investigación, recomendaciones, limitaciones, y referencias bibliográficas y anexos.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Los factores de cambio directos e indirectos en las cubiertas forestales

Desde los orígenes del hombre hasta nuestros días, las acciones humanas están estrechamente relacionadas al medio ambiente, ya que el ser humano satisface sus necesidades de alimento, protección y sustento de los diferentes ecosistemas del mundo. Entre 1960 y 2000, la población del mundo se duplicó a 6 mil millones. Esto provocó un incremento en la demanda de los servicios ecosistémicos que brindan los bosques (MEA, 2005).

Por lo tanto, la demanda de los servicios ecosistémicos está estrechamente relacionada a actividades de producción y extracción como la ganadería, la agricultura y la urbanización. Estas actividades son las responsables directas de problemas ambientales como la pérdida de la cubierta forestal, la cual también es conocida como deforestación.

La deforestación es considerada como la eliminación o pérdida de la cubierta forestal nativa para favorecer diferentes actividades productivas. El cambio es ocasionado por actividades antropogénicas o factores naturales (Goll et al., 2014; SEMARNAT, 2006).

El auge por medir y monitorear la pérdida de la cubierta forestal tuvo sus inicios en 1980. En este periodo, la FAO realizó las primeras estimaciones globales e individuales de deforestación y perturbación de los bosques de países de África, Asia y el nuevo mundo. En los 90's, el Instituto de Recursos Mundiales y Whitmore y Sayer (1992) realizaron estudios similares en algunos países que evaluó la FAO y ambas coinciden en la existencia de la pérdida de la cubierta forestal (Whitmore y Sayer, 1992).

La pérdida de la cubierta forestal es un problema ambiental consecuencia del régimen político, el autarquismo, el modelo de apertura de mercados y el neoliberalismo o globalización (García-Romero et al., 2010). En México, las políticas públicas y la reforma

agraria fueron las principales causas de la deforestación. Las políticas públicas de fomento, de reparto agrario y de colonización promovieron el cambio de uso de suelo de tierras con vegetación natural a tierras de uso agropecuario, ya que consideraban que las tierras de vegetación natural eran tierras ociosas que necesitaban producir (Bray y Merino, 2004). Por tanto, el gobierno federal fue una de las fuerzas más poderosas que produjo la deforestación mediante el cambio de uso de suelo. Por lo cual, diversos investigadores e instituciones han evaluado el problema de la pérdida de la cubierta forestal en el país. Los métodos, las regiones y los períodos de análisis sobre la deforestación son diferentes en cada estudio que se ha realizado al respecto. Aunque existen varios estudios sobre la deforestación, aún existen vacíos y omisiones del tema.

1.2 Políticas públicas forestales-pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH)

Las políticas públicas ambientales surgen para solucionar problemas ambientales como la modificación de ecosistemas originales, la sobre explotación de ríos, la extinción de numerosas especies y la emisión de gases y contaminantes que ocasionan cambios en el clima (SEMARNAT, 2006; Micheli, 2002). Las políticas públicas forestales son parte de la política pública ambiental mexicana que surgen ante la crisis forestal presente en el transcurso de varias décadas.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, las leyes de reforma modificaron los derechos de acceso a la tierra y los recursos naturales. La privatización de las tierras comunales y nacionales permitió la concesión a inversionistas extranjeros y nacionales. Los inversionistas talaron los bosques de manera desmedida, construyeron caminos y abrieron minas sin control alguno (Merino-Pérez, 2004). Tras la entrada en vigor de la Constitución de 1917, las comunidades agrarias recuperaron el dominio de sus tierras y se le concedió a la nación el derecho de regular el aprovechamiento de los recursos naturales. Así, las cooperativas ejidales realizaron las extracciones forestales (Madrid et al., 2009). Sin embargo, las empresas privadas continuaron haciendo uso desmedido de los recursos forestales por falta de apoyo financiero y técnico a las comunidades (Bray y Merino, 2004). Después de la suspensión de importaciones forestales, las concesiones forestales se reintrodujeron a favor de grandes empresas privadas (Merino-Pérez, 2004; Bray, Merino y

Barry, 2004). Las empresas implementaron métodos extractivos que dejaron los bosques degradados y con impactos importantes en la biodiversidad. Las condiciones de degradación aún permanecen en diversas áreas del país.

Posteriormente, el gobierno buscó la producción forestal social previa elaboración de planes de aprovechamiento forestal integral (Bray y Merino-Pérez, 2007; Bray et al., 2004; Merino-Pérez, 2004). Sin embargo, las necesidades de conservación y uso sustentable de los bosques no se consideraron, aunque las leyes en materia forestal promulgadas en los años noventa promovían la regularización de la actividad forestal. (SEMARNAT, 2006; Merino-Pérez, 2004). Por lo tanto, en 1996 la SEMARNAP implementó el programa de desarrollo forestal (PRODEFOR) como una estrategia de aprovechamiento, conservación y restauración de los bosques. El programa incluyó la participación directa de los dueños o poseedores de los bosques, impulsó el manejo comunitario forestal e incorporó criterios de sustentabilidad para mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales. El PRODEFOR fue operado por la SEMARNAP hasta septiembre de 2001 y posteriormente por la CONAFOR (Madrid et al., 2009, SEMARNAT, 2006, DOF, 2002, DOF, 1998).

En 1997, en paralelo al PRODEFOR, la SEMARNAP aplicó el proyecto de conservación y manejo sustentable de recursos forestales (PROCYMAF I) ejecutado sólo en los estados de Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca. El programa buscó fortalecer los procesos de conservación, protección y manejo de los ecosistemas forestales de las comunidades y ejidos (DOF, 1997). Entre 2004-2008 el PROCYMAF II se operó como una segunda etapa del PROCYMAF I. El programa fue ejecutado por la CONAFOR a partir del 2006 y se aplicó solo en los estados de Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Quintana Roo (Del Ángel-Mobarak, 2012).

El 20 de febrero de 2007, el gobierno mexicano lanzó el programa ProÁrbol para dar continuidad a lo que establecía el plan nacional de desarrollo 2007-2012 (DOF, 2007). El ProÁrbol otorgó estímulos a los poseedores y propietarios de terrenos y se enfocó en realizar acciones de protección, conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de bosques, selvas y zonas áridas (Del Ángel-Mobarak, 2012).

Posteriormente, en 2013, el Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) se instrumentó como una nueva política pública forestal. Los objetivos del programa fueron mejorar la calidad de vida de los dueños y poseedores de terrenos forestales, la conservación de los ecosistemas, el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales y mantener la provisión de bienes y servicios ambientales (CONAFOR, 2014).

El pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) es una modalidad de apoyo de los programas PRODEFOR, PROCYMAF, ProÁrbol y PRONAFOR e inició en el 2002 bajo la regulación del PROCIMAF I y continúa hasta estos días. El PSAH tiene como objetivo conservar la cobertura boscosa y evitar la erosión para garantizar la recarga de acuíferos y manantiales. Por lo tanto, el PSAH es considerado una respuesta, con la cual el gobierno busca resolver el problema de la deforestación.

1.3 Servicios ecosistémicos y bienestar humano

La satisfacción de las necesidades humanas propicia la conversión de ecosistemas terrestres en terrenos de cultivo, fraccionamientos, espacios de producción, entre otros (Balvanera y Cotler, 2007). Esto se traduce en problemas ambientales de explotación, degradación y destrucción de ecosistemas acuáticos y terrestres. Por lo tanto, la satisfacción de necesidades provoca alteraciones en los ecosistemas de donde se obtienen bienes y servicios. Las alteraciones regularmente se dan en los procesos ecológicos ecosistémicos como la transformación de la energía solar en biomasa, almacenamiento y transferencia de energía en las cadenas alimentarias, ciclos biogeoquímicos y mineralización de la materia orgánica. Estos procesos son la base de la producción de los servicios ecosistémicos (De Groot, Wilson y Bouman, 2002).

El concepto de servicios ecosistémicos nace en la década de los 90's para enfatizar la relación humano-ambiente y resaltar la dependencia del ser humano en la disponibilidad de los recursos naturales (Bastian et al., 2012). En este estudio, se utilizará el concepto de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005); definido como "*el beneficio que la gente obtiene de los ecosistemas*". Las clasificaciones o categorizaciones de los servicios ecosistémicos son inconsistentes entre autores como Bastian et al. (2012), Daily et al. (2009), MEA (2005) y De Groot et al. (2002). Para este estudio, se utilizará la clasificación

de servicios ecosistémicos de regulación, provisión, culturales y de sustento; esta clasificación es la más empleada y es la que propuso la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005). Costanza et al. (1997) consideran a los servicios ecosistémicos como capital natural, ya que brindan bienestar humano, el cual es entendido como un agregado de múltiples aspectos que incluye el material básico para una buena vida, libertad de elección, salud, relaciones sociales y seguridad (MEA, 2005).

1.4 El Programa de PSA y la deforestación: los SE y BH

La eficacia y valoración de la actuación pública tiene precedente en el trabajo realizado por Selznik en 1949. Sin embargo, el estudio de la implementación de las políticas públicas repunta a principios de los 60's (Subirats, 1992). Durante esta década, áreas científicas de los Estados Unidos se interesan en el estudio de las acciones públicas. El interés surge por la percepción de incapacidad del gobierno para resolver problemas sociales como la pobreza, desigualdad y discriminación (Villanueva, 1996). Durante los 80's, el sentimiento de incapacidad del gobierno para resolver problemas se extiende a nivel mundial (Routh, 2002). A mediados de los 80's, Villanueva realizó un análisis de las políticas públicas mexicanas; su análisis fue una reacción de protesta a tantas políticas y programas gubernamentales sin éxito (Villanueva, 1996).

Robalino et al. (2015) evaluaron el efecto del pago por los servicios de los ecosistemas y la implementación de áreas protegidas para disminuir la deforestación en Costa Rica; los resultados hallaron que ambas herramientas ayudan a reducir el problema de la deforestación.

Asímismo, Arriagada et al. (2015) evaluaron el efecto del programa de pago por servicios ambientales en los aspectos socioeconómicos y las cubiertas forestales. El análisis encontró que el incremento de la participación de los agricultores costarricenses para someter sus propiedades bajo el régimen de protección permite que las cubiertas forestales se conserven.

En el contexto mexicano, Costedoat et al. (2015) analizaron el efecto del pago por servicios ambientales en el estado de la cubierta forestal de 13 comunidades del estado de Chiapas. Los autores encontraron que las áreas forestales en donde se aplicó el incentivo económico

se conservaron 12 y 14.7 % más que las áreas no sometidas a esta estrategia de conservación.

Capítulo 2

2.1. Planteamiento del problema

La humanidad obtiene de los bosques servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales y de soporte. Los de provisión son aquellos recursos forestales maderables y no maderables utilizados para satisfacer necesidades directas. Los de regulación intervienen en aspectos como la mitigación y adaptación al cambio climático, barreras contra desastres naturales, y la regulación de los ciclos biogeoquímicos esenciales. Los culturales son beneficios espirituales y de recreación obtenidos al contacto directo con el bosque. Los de soporte permiten la subsistencia de los tres servicios ecosistémicos descritos anteriormente. (DOF, 2013, MEA, 2005). Sin embargo, autores como Briones-Salas y González (2016), CONAFOR (2014), Roura-Pascual et al. (2009) y Chazdon (2008) demuestran que los servicios ecosistémicos y la diversidad biológica del mundo están amenazados por factores de disturbio como la agricultura, ganadería, tala clandestina, urbanización, especies invasoras y deforestación. Los factores de disturbio ocasionan parches en la vegetación y provocan inestabilidad en las poblaciones de los sistemas hasta su probable extinción (Zalapa et al., 2005; Bowers y Matter, 1997).

En Oaxaca, la reducción de las cubiertas forestales está relacionada principalmente a factores de disturbio como los incendios, la expansión de las áreas de cultivo y pastizales y fenómenos naturales como huracanes (Durán et al., 2007). Por lo cual, la diversidad biológica y riqueza ecosistémica que caracteriza al estado de Oaxaca son amenazados por factores de disturbio como los descritos anteriormente (Ordoñez y Rodríguez, 2008).

Debido a las amenazas de la deforestación en la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos de Oaxaca, diversos autores han realizado estudios que giran en torno al tema de la deforestación.

Corona et al. (2016) en un periodo de análisis de 1985 a 1995 hallaron que el bosque tropical seco del municipio de San Pedro Pochutla tuvo una pérdida anual de 1.26% y el municipio de Santa María Huatulco una pérdida promedio anual de 0.59%.

Díaz-Gallegos, et al. (2010) en su análisis de tendencias de la deforestación en el periodo de 1978-2000, encontraron que los bosques tropicales caducifolios y sub caducifolios experimentan una tasa de deforestación del 1.6%, los bosques tropicales perennes y sub perennes del 1% y los bosques montañosos de niebla el 0.8%.

Velázquez et al. (2003) encontraron que el estado de Oaxaca entre 1980 y 2001 perdió anualmente el 1% de bosque primario de coníferas y montañas de niebla, 2% de la vegetación primaria tropical sub perennifolia y 3% del matorral xerófilo secundario. Estas alteraciones pueden estar relacionadas con fenómenos naturales (como los incendios de 1998), la ganadería y la expansión de áreas de cultivo y pastizales (promovidos por programas como la siembra de agave mezcalero) (Duran et al., 2007).

El gobierno a través de las políticas públicas forestales de conservación como el pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), implementado en el estado de Oaxaca a partir del 2003, busca reducir el problema de la deforestación en Oaxaca, ya que el pago tiene como objetivo conservar los bosques para mejorar la cantidad y calidad de agua, y garantizar los servicios ecosistémicos que brindan bienestar social (Muñoz-Piña et al., 2008). Sin embargo, estudios sobre la deforestación anteriormente referidos demuestran la persistencia de la pérdida de la cubierta forestal pese a la implementación de programas de conservación como el PSAH.

Por lo tanto, es relevante analizar si la respuesta de conservación del gobierno (el pago por servicios ambientales hidrológicos) ha logrado incidir en la pérdida de las cubiertas forestales y a su vez como éstas se relacionan con otros factores internos y externos al problema. Por lo cual, el análisis de la relación que existen entre el pago por servicios ambientales hidrológicos, la pérdida de las cubiertas forestales, los factores directos e indirectos que inciden en este cambio y su impacto en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano ayudarán a mejorar las estrategias de manejo de los bosques.

Así, el uso de un marco conceptual que integre elementos sociales y ambientales en el análisis de una problemática ambiental, como el cambio en las coberturas forestales, es una herramienta de gran ayuda para promover estrategias de manejo de los recursos al considerar los principales aspectos que intervienen en el problema.

El modelo conceptual de análisis Fuerzas motrices indirectas-Presión-Estado-Impacto-Respuestas (FPEIR) es una herramienta de análisis holístico de problemáticas ambientales, que permite identificar los factores sociales y ambientales que intervienen en la problemática ambiental central. Además, el FPEIR liga la intención de políticas públicas con los resultados esperados mediante un análisis cuantitativo.

Por lo cual, el análisis de las relaciones del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca se realizó empleando el marco conceptual FPEIR. La integralidad del análisis permitirá profundizar en las relaciones que se dan entre las causas directas y subyacentes de un problema, la respuesta ante el problema y los aspectos ecológicos y sociales que deben ser considerados. Por la naturaleza del modelo conceptual se podrán identificar indicadores para integrarse en la evaluación de la gestión de los recursos forestales.

2.2. Pregunta de investigación

¿Cómo se relacionan los factores directos e indirectos de cambio, el cambio de la cobertura forestal, la respuesta del gobierno, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca?

2.3. Justificación

El estado de Oaxaca fue seleccionado como unidad de análisis porque es la entidad con mayor diversidad biológica, alberga una gran complejidad vegetal, es un potencial proveedor de servicios ambientales y experimenta una rápida pérdida de la cubierta forestal (Velázquez et al., 2003). La pérdida de la cubierta forestal es un problema ambiental del cual la mayoría de los estudios solo analizan los valores de pérdida, las causas, las implicaciones y la continuidad del problema. Pocos proyectos se interesan en analizar la interacción de los elementos sociales y ambientales que actúan en un problema como la pérdida de la cubierta forestal; es decir, escasos estudios analizan las interacciones entre los

factores sociales, demográficos y económicos conocidos como fuerzas motrices indirectas de cambio; las fuerzas motrices directas como el cambio de uso de suelo; la pérdida de las cubiertas forestales, la respuesta del gobierno ante el problema de la pérdida de la cubierta forestal y el impacto en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. La relevancia de un análisis holístico radica en que un problema ambiental no está aislado de los elementos sociales que participan en el sistema, por lo tanto, conocer cómo interactúan todos los elementos es importante para centrar las estrategias de manejo de un recurso hacia las variables que inciden más en el problema. Estas relaciones han sido poco abordadas desde un marco conceptual integral y metodológico como el FPEIR (Fuerza directa de cambio- Presión-Estado-Impacto-Respuesta).

De acuerdo con este marco, los desarrollos sociales y económicos ejercen presión en el medio ambiente y consecuentemente el estado cambia, es decir, la disponibilidad de recursos y la biodiversidad cambian. Esto produce impactos en los ecosistemas y consecuentemente en la salud humana. Los impactos negativos finalmente conducen a respuestas de la sociedad, formulando y ejecutando políticas, estrategias, leyes y tratados internacionales en beneficio del medio ambiente (Goll et al., 2014).

Por lo tanto, el FPEIR es un marco útil en el análisis de sistemas grandes y complejos como los bosques, ya que por las características de las variables que lo integran se pueden construir indicadores a partir de datos secundarios para medir las relaciones entre las variables, es decir el FPEIR permite realizar análisis cuantitativos. No obstante, para estimar los vínculos entre las variables del FPEIR, se requiere emplear un método de análisis matemático como el sistema de ecuaciones estructurales, el cual permite evaluar las relaciones de dependencia tanto múltiple como cruzadas y confirmar diversas hipótesis al mismo tiempo a partir de la teoría explicativa.

Por lo cual, emplear ambas herramientas de análisis para entender un sistema complejo como los bosques permitirán tener un bosquejo general de lo que está sucediendo en el sistema socio ecológico forestal de Oaxaca y avanzar hacia un verdadero manejo integral de los bosques. Asimismo, detectar si la respuesta del gobierno para frenar la pérdida de la cubierta forestal está logrando los objetivos planteados.

2.4. Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Analizar y evaluar las interacciones de los elementos sociales y ambientales del sistema socio ecológico forestal de Oaxaca empleando el modelo conceptual FPEIR y el modelo de ecuaciones estructurales.

2.4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el sistema forestal de Oaxaca bajo el enfoque de sistema socio ecológico
2. Identificar las variables que conforman el marco conceptual FPEIR en el sistema socio ecológico forestal de Oaxaca
3. Seleccionar dimensiones e indicadores para cada una de las variables que integran el marco conceptual FPEIR
4. Conocer las relaciones entre las variables del marco conceptual FPEIR:
 - Fuerzas motrices indirectas y fuerzas motrices directas
 - Fuerzas motrices directas y estado
 - Estado y servicios ecosistémicos
 - Servicios ecosistémicos y bienestar humano
 - Respuesta y fuerzas motrices indirectas, directas, estado, servicios ecosistémicos, y bienestar humano

Capítulo 3

3.1. Marco conceptual

Este estudio utilizará cuatro marcos conceptuales que son la base del conocimiento que se debe tener para alcanzar el objetivo de la investigación: 1) Sistema socio ecológico (SSE),

2) Servicios ecosistémicos (SE), 3) Bienestar humano (BH), y 4) Fuerzas motrices indirectas-Fuerzas motrices directas o presión-estado-impacto-Respuesta (FPEIR).

El marco conceptual de SSE será utilizado solo para caracterizar el sistema socio forestal de Oaxaca. El objetivo de la caracterización es identificar y definir los elementos que conforman el sistema social y ecológico de los bosques de Oaxaca. Autores como Leslie et al. (2015), Rebaudo y Dangles, (2014), Basurto et al. (2013), y Cinner et al. (2012) han utilizado el marco conceptual de SSE para caracterizar ecosistemas complejos como sistemas costeros, humedales, arrecifes de coral y sistemas de pesca bentónica de pequeña escala.

El marco conceptual de servicios ecosistémicos permite reconocer, demostrar y capturar el valor de la biodiversidad y resalta que la pérdida o alteración de la misma tiene efectos directos en el bienestar humano, en virtud de que el humano necesita de los recursos que provee el bosque y que son mantenidos por la biodiversidad. Además, porque los marcos conceptuales de servicios ecosistémicos y bienestar humano son componentes de las variables estado e impacto en el modelo FPEIR de acuerdo con los estudios realizados por Díaz et al. (2018), Vidal-Abarca et al. (2014), Santos-Martin et al. (2013) y Kandziora et al. (2013). El marco conceptual fuerzas motrices externas-presión-estado-impacto-respuesta (FPEIR) se utilizó porque agrega y sintetiza la complejidad de un problema en cinco variables que conforman al modelo. El FPEIR ha sido empleado en el estudio de problemáticas ambientales como causas de la deforestación y la degradación forestal, diagnósticos socioecológicos, ecología y manejo de plantas invasoras, degradación del suelo, pérdida de la biodiversidad y erosión de playas (Semeoshenkova et al., 2017; Goll et al., 2014; Roura-Pascal et al., 2009).

Por lo tanto, esta sección tiene el propósito de describir a profundidad los marcos conceptuales utilizados en este estudio.

1) El SSE: Tiene su base en la teoría de juegos de Neumann, la teoría de costos de transacción de Williamson, teoría de elección social y teoría de bienes públicos, y recursos comunes de Ostrom. Sin embargo, este marco se construye a partir del marco de análisis y desarrollo institucional (IAD por sus siglas en inglés). El IAD centra su atención en las reglas de uso del recurso y los atributos de la comunidad como niveles de confianza. Su diseño fue principalmente para solucionar problemas colectivos e implementar nuevas

políticas. El marco de SSE es una abstracción conceptual sobre la estructura y funcionamiento de porciones del territorio y considera la relación interdependiente y dinámica entre los sistemas sociales y ecológicos (Berkes y Folke, 1998). Asimismo, el marco tiene una dimensión operativa espacial delimitada por criterios administrativos y/o biofísicos. En cada SSE se puede observar un subsistema ecológico y un subsistema social. El primero está representado por uno o más tipos de ecosistemas y el segundo está compuesto por beneficiarios de los servicios ecosistémicos y otros actores sociales (formales y no formales). Los beneficiarios y los actores sociales son los reguladores de las relaciones entre ambos subsistemas (Laterra et al., 2015).

El marco de SSE se caracteriza por tener dos grupos de variables. El primer grupo se conoce como variables de primer nivel las cuales son (i) sistema de recursos; (ii) unidades de recursos; (iii) sistema de gobernanza; (iv) actores; (v) interacciones; (vi) resultados; (vii) ecosistemas relacionados y (viii) condiciones sociales, económicas y políticas. Las variables de segundo nivel están contenidas en las variables de primer nivel (McGinnis y Ostrom, 2014) (Figura 1). Por lo tanto, la caracterización del sistema forestal de Oaxaca a partir del marco conceptual de SSE ayudará en tres aspectos importantes. Primero, permitirá conocer los elementos que componen al sistema; segundo, ayudará a conocer las interacciones inter sistema y con otros sistemas, y tercero permitirá entender las alteraciones de los elementos que conforman el SSE forestal de Oaxaca utilizando el modelo FPEIR.

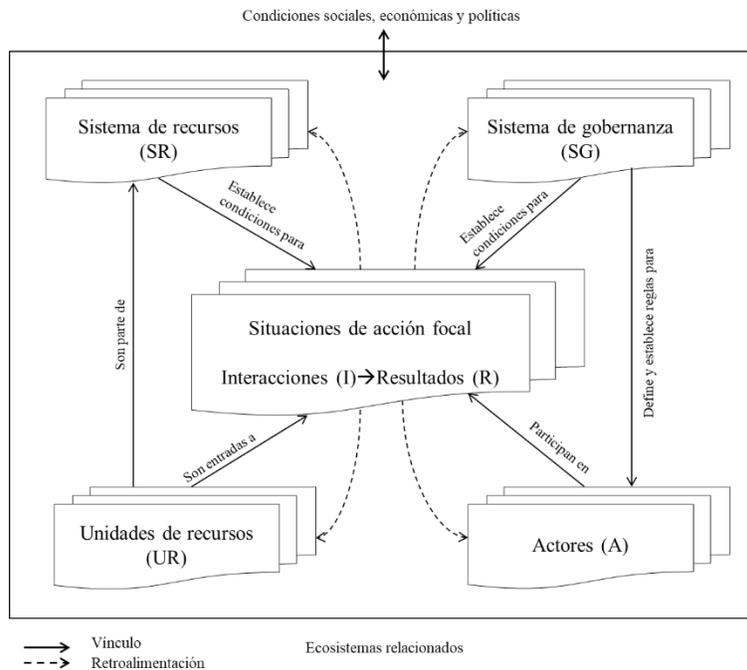


Figura 1. Estructura del sistema socio ecológico (McGinnis y Ostrom, 2014)

2) Servicios Ecosistémicos (SE): analiza la integridad, dinámica y complejidad de los componentes bióticos y abióticos (Binder et al., 2013). Los SE se definen como las contribuciones de la estructura y función del ecosistema que en combinación con otros insumos producen bienestar humano (Burkhard et al., 2010). Este marco promueve la sostenibilidad de las funciones del ecosistema mediante la traducción de los procesos ecológicos a las entidades de importancia (De Groot et al., 2002) y funciona como una herramienta vinculante de gestión entre el medio ambiente y el bienestar humano (MEA, 2005).

Los SE son clasificados en servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de apoyo o soporte. Los primeros son los productos obtenidos directamente de los ecosistemas como alimentos, fibra, combustible y agua. Los segundos son beneficios obtenidos del resultado de procesos ecosistémicos como la regulación del clima, el control de la erosión y purificación del agua. Los terceros son beneficios intangibles como el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión y la recreación que producen satisfacción personal al tener contacto directo con los ecosistemas (De Groot et al., 2010; MEA, 2005). Los servicios ecosistémicos de apoyo o soporte son la cuarta categoría y se consideran como el requisito previo para la producción de los otros tres servicios ecosistémicos (MEA,

2005). Sin embargo, los servicios ecosistémicos están sometidos a factores antropogénicos que amenazan su estabilidad y simultáneamente repercuten en el bienestar humano (MEA, 2005).

3) Bienestar Humano (BH): Será abordado desde el enfoque ambiental, ya que los servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales y de soporte son básicos para el bienestar humano (Kandziora et al., 2013; MEA, 2005). El bienestar humano se entiende como las conexiones de un conjunto de aspectos como el material básico para una buena vida, salud, buenas relaciones sociales y seguridad (MEA, 2005). El acceso al material básico para una buena vida está catalogado como la disponibilidad de alimentos y fibras y el acceso de algunos servicios de regulación como la purificación del agua. Regularmente este aspecto del bienestar humano está fuertemente vinculado a los servicios de provisión (MEA, 2005). No obstante, la salud está fuertemente vinculada a los servicios de provisión, regulación y culturales. La relación de la salud con los servicios de provisión se da primordialmente cuando un individuo tiene la capacidad de obtener alimentos. La relación con la salud y los servicios de regulación se establece cuando se altera algún elemento o proceso de un servicio de regulación, ejemplo alteración en el ciclo del agua que influye en la regulación de la disponibilidad del agua. Los servicios culturales y la salud se relacionan cuando se pierde o degrada algún ecosistema y deja de brindar beneficios espirituales y recreativos a la humanidad, lo cual provoca cambios en la salud emocional y física (MEA, 2005).

La seguridad se refiere a la seguridad ecológica y la seguridad social. La primera significa que debe haber un capital ecológico mínimo para asegurar el flujo de los servicios ecosistémicos (MEA, 2005). La segunda considera los conflictos sociales generados por rencillas entre los diferentes sectores de la sociedad debido a la disminución de los servicios ecosistémicos. Por lo tanto, el manejo y la conservación de los servicios ecosistémicos requieren de un conocimiento profundo y completo para que los cambios en el estado de los servicios no influyan negativamente en el bienestar humano.

Se empleó el marco conceptual de servicios ecosistémicos y bienestar humano, ya que los autores que usan el marco conceptual FPEIR para analizar problemáticas ambientales en la variable estado bosquejan estos dos marcos conceptuales.

4) El FPEIR: Surge del marco Presión-Estado-Respuesta (PSR) propuesto por Rapport y Friend (1979). El PSR se basó en la causalidad de las acciones humanas que ocasionan presiones e inducen cambios en el medio ambiente y para lo cual la sociedad responde con políticas y programas. Sin embargo, este marco no buscó especificar la forma en que interactúan las actividades humanas y el estado del medio ambiente. Consecuentemente, la Agencia de Protección al Medio Ambiente de EE UU (EPA, por sus siglas en inglés) incluyó al marco PSR el efecto del cambio en el estado del ambiente, Presión-Estado-Respuesta-Efectos (PSRE). La UNEP también adoptó este marco, pero lo adaptó a Presión-Estado-impactos-Respuesta (PSIR). En 1995, la agencia ambiental europea adopta el marco FPEIR (DPSIR, por sus siglas en inglés) porque ayuda a entender problemas ambientales (Smith et al., 2016). El marco permite aclarar las relaciones entre las tendencias socioeconómicas, la condición del medio ambiente y la respuesta de la sociedad a dichas condiciones (Roura-Pascual et al., 2009). Las variables que integran el FPEIR son Fuerzas Motrices Indirectas (F), Fuerzas Motrices directas o Presiones (P), Estado (E), Impactos (I) y Respuesta (R) (Figura 2).

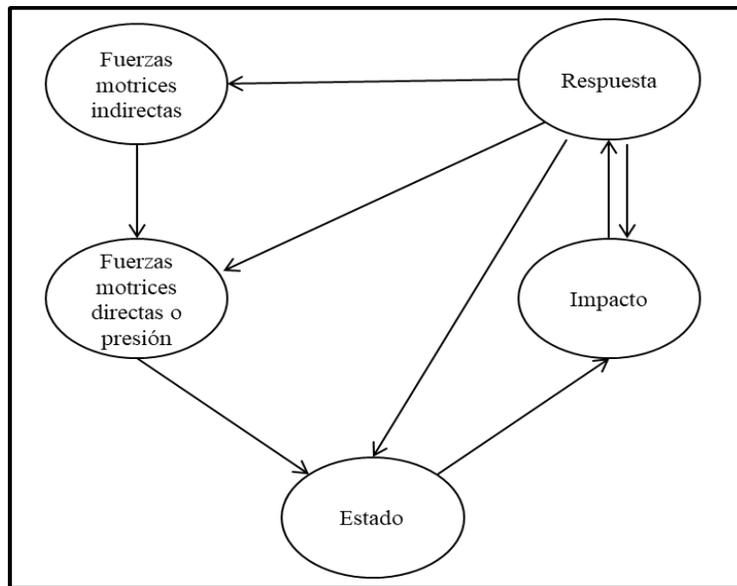


Figura 2. Estructura del sistema socio ecológico (McGinnis y Ostrom, 2014)

El marco FPEIR se utiliza en análisis cualitativos y cuantitativos de problemas ambientales. Los análisis cualitativos se centran solo en categorizar cada variable del modelo. Los análisis cuantitativos, además de categorizar, emplean indicadores medibles para cada

variable y establecen relaciones causa-efecto con análisis matemáticos. Algunos autores que utilizaron el FPEIR para realizar análisis cualitativos de ecosistemas terrestres son Goll et al. (2014), Ramírez-Marcial et al. (2014) y Roura-Pascual et al. (2009). a) Goll et al. (2014) analizaron las causas de la deforestación y la degradación forestal en Liberia durante 1990-2010; b) Ramírez-Marcial et al. (2014) realizaron un diagnóstico socioecológico de la cuenca del Río Grijalva, México para promover su restauración, c) Porta y Poch (2011) analizaron y evaluaron problemas de degradación de tierras considerando interacciones entre las sociedades humanas y el medio ambiente de España, México y Togo, d) Roura-Pascual et al. (2009) estudiaron la ecología y manejo de plantas invasoras en Fynbos Sudafrica y e) Maxim, Spangenberg y O'Connor (2009) analizaron con el FPEIR las fuerzas que promueven riesgos químicos y ejercen presiones en la biodiversidad de Europa.

Algunos que han empleado el FPEIR para realizar análisis cuantitativos de problemáticas ambientales son Wei et al. (2019) analizaron cuáles fueron los factores influyentes de las emisiones de carbono en China; Díaz et al. (2018) exploraron las relaciones entre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, el bienestar humano y las causas directas e indirectas responsables de su degradación de la Cuenca del Biobío en Chile; Hou et al. (2014) analizaron las influencias socioeconómicas en la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano en Jiangsu China; Vidal-Abarca et al. (2014) utilizaron el FPEIR para conocer la vinculación entre los complejos componentes ecológicos y sociales de los sistemas fluviales en España y Santos-Martín et al. (2013) emplearon este marco para evaluar los efectos directos e indirectos de la pérdida de biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el bienestar humano en España.

Los estudios anteriores demuestran que el uso del marco conceptual FPEIR puede ser empleado para analizar problemas ambientales desde un enfoque cualitativo o cuantitativo, dependiendo del objetivo de la investigación.

Las fuerzas motrices indirectas: En el tema de la deforestación Sarmin et al. (2016) hallaron que en general los factores socio-económicos son las fuerzas de cambio que promueven la deforestación. De los factores socio-económicos, el crecimiento de la población es el principal contribuyente de la deforestación de los manglares en todo el

mundo porque aumenta la demanda de espacio adicional para el hogar y actividades económicas de sustento. Goll et al. (2014) encontraron que las fuerzas motrices indirectas están relacionadas con la crisis civil, recolección de leña y producción de carbón, uso de maquinaria para el aserrado de madera, el comercio de carne de animales silvestres, tala comercial, actividades mineras, fracaso de la política para la gestión de los recursos forestales, cambio climático, crecimiento demográfico, expansión agrícola, planificación insostenible del uso de la tierra, construcción de carreteras y la pobreza.

En otro contexto, Ehara et al. (2018) mencionan que las fuerzas motrices indirectas son la presión que la sociedad ejerce sobre el medio ambiente como consecuencia del desarrollo social y económico. Díaz et al. (2018) y Semeoshenkova et al. (2016), Vidal-Abarca et al. (2014) y Santos-Martín et al. (2013), Vacik, et al. (2007) coinciden en que los factores demográficos, económicos, sociopolíticos y culturales son las fuerzas motrices indirecta que desencadenan el cambio ambiental. Hou et al. (2014) relacionan a las fuerzas motrices indirectas con los cambios en la tierra como producto del estilo de vida de las sociedades que está asociada a sus niveles de consumo y producción. Otros estudios como los de Kelble et al. (2013), Tsai et al. (2009), Roura-Pascal et al. (2009) resaltan que las fuerzas motrices indirectas son los factores que producen un cambio en el ecosistema producto de los requerimientos de producción y consumo de una sociedad en crecimiento, por ejemplo, generar energía con la quema de combustibles fósiles contamina el aire, acidifica los océanos, entre otros.

Las fuerzas motrices directas o Presiones: En el tema de la deforestación Sarmin et al., (2016) detectaron que el cambio de uso de suelo fue la principal presión que promueve la deforestación. Las actividades más frecuentes del cambio de uso de suelo son la acuicultura, la agricultura y los espacios urbanos e industriales. Goll et al. (2014) encontraron que el cultivo cambiante, la urbanización y el asentamiento rural, la tala selectiva, la caza furtiva, las actividades de desempleo, las prácticas de cosecha insostenibles y la demanda del mercado son las principales presiones que promueven la deforestación.

Los estudios de Ehara et al. (2018), Díaz et al. (2018), Vacik et al. (2007) concuerdan en que la presión que se ejerce sobre el ambiente es provocada por el desarrollo económico y

social. Roura-Pascal et al. (2009) determinan que la presión son las fuerzas que el medio ambiente recibe de los procesos de producción y consumo de la sociedad. Semeoshenkova et al. (2017) y Sarmin et al. (2016), Hou et al. (2014) coinciden en que los cambios en el uso de la tierra y los recursos son presiones que cambian el estado del ambiente. Vidal-Abarca et al. (2014) y Santos-Martín et al. (2013) definen a las presiones como los impulsores directos que provocan cambios en el uso de la tierra, el clima, provocan contaminación y sobreexplotación, benefician a las especies invasoras y afectan la integridad del ecosistema.

El Estado: Sarmin et al. (2016) y Goll et al. (2014) concuerdan que la deforestación afecta el estado de los ecosistemas, reduce la cubierta vegetal de ecosistemas como los manglares y los bosques, a su vez, afecta negativamente a la biodiversidad. Ehara et al. (2018) definen al estado como las características físicas, biológicas y químicas de un sistema y el estado de los servicios ecosistémicos como medios de subsistencia de una sociedad. Díaz et al. (2018) conceptualizan al estado como la alteración en los ecosistemas y la biodiversidad y que se refleja en la condición de los servicios ecosistémicos que necesita la sociedad para subsistir. Semeoshenkova et al. (2017) relacionan el estado con el nivel y tendencia de la degradación del sistema para determinar su capacidad futura para brindar servicios ecosistémicos. Hou et al. (2014) definen esta variable como la condición física, biológica y química de un área determinada que puede ser medida. Vidal-Abarca et al. (2014) y Santos-Martín et al. (2013) coinciden en que es el cambio en la condición de los ecosistemas y la biodiversidad que afecta directamente los servicios ecosistémicos.

Impacto: Ehara et al. (2018) definen al impacto como el efecto en el funcionamiento del ecosistema y la economía que influye en la salud de la sociedad. Díaz et al. (2018) y Semeoshenkova et al. (2017) como los cambios en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. Para esta variable Sarmin et al. (2016) encontraron que la deforestación y la degradación reducen los servicios ecosistémicos productivos de protección. Goll et al. (2014) hallaron que la destrucción del hábitat de la vida silvestre genera conflictos entre la vida silvestre y los humanos, ya que se pierden servicios ecosistémicos forestales y se generan problemas de salud. Hou et al. (2014), Vidal-Abarca et al. (2014) y Santos-Martín

et al. (2013) resaltan que el impacto en los ecosistemas provoca cambios en la disponibilidad de los servicios ecosistémicos, los cuales influyen en el bienestar humano. Roura-Pascal et al. (2009) y Vacik et al. (2007) definen al impacto como los efectos en la biodiversidad, la salud del humano, y el desempeño económico y social.

Respuesta: Sarmin et al. (2016) señalan que las políticas, las leyes forestales nacionales, implementar iniciativas como programas de replantación y constitución de bosques son respuestas que el gobierno realiza para solucionar problemas de deforestación. Además, Goll et al. (2014) mencionan que la creación de reservas forestales nacionales y las sanciones a la exportación de productos madereros son estrategias para combatir la degradación ambiental. Díaz et al. (2018) definen a la respuesta como las acciones que realizan las sociedades para conservar los ecosistemas y/o contrarrestar el cambio. Semeoshenkova et al. (2017), Sarmin et al. (2016) y Hou et al. (2014), Vidal-Abarca et al. (2014) y Santos-Martín et al. (2013) coinciden en que son regulaciones o gestiones adaptativas para compensar, prevenir o mejorar los cambios que ha sufrido el medio ambiente. Kelble et al. (2013), Tsai et al. (2009) y Vacik et al. (2007) son las iniciativas del gobierno, las organizaciones o la comunidad para proteger algún recurso en particular. Por último, Ehara et al. (2018) resaltan que las respuestas pueden afectar directa o indirectamente las cuatro variables de un sistema.

La mayoría de estudios que emplean el marco conceptual FPEIR son análisis descriptivos de problemáticas ambientales y pocos son los que pasan al análisis de relaciones causales entre las variables empleando indicadores y métodos matemáticos.

El estudio cuantitativo que realizaron Díaz et al. (2018) de las relaciones entre el ecosistema del río y el sistema social de la Cuenca del Biobío, Chile, reporta que la pérdida de biodiversidad se asociaba positivamente con los servicios culturales, los bienes materiales del componente bienestar humano y las presiones. Las fuerzas motrices indirectas se asociaron negativamente con los servicios reguladores y culturales, los bienes no materiales y las presiones. Las respuestas institucionales no se correlacionaron con ningún componente del FPEIR.

Otro estudio que empleó el marco conceptual para analizar las complejas interconexiones entre los ecosistemas fluviales y los sistemas sociales en España usando indicadores y

análisis multivariado es el de Vidal-Abarca et al. (2014). El estudio encontró correlaciones significativas entre la pérdida de biodiversidad acuática y los servicios ecosistémicos de provisión, una asociación negativa entre esta última con el bienestar humano no material y otra positiva con el bienestar humano material. Los servicios ecosistémicos culturales se relacionaron con la mayoría de los índices agregados de las variables FPEIR. Entre la dimensión de bienestar humano no material y los factores impulsores indirectos de cambio se correlacionaron negativamente. Obtuvieron relaciones positivas entre las presiones, las fuerzas motrices indirectas y las respuestas. Pero las presiones se relacionaron negativamente con la pérdida de biodiversidad acuática.

En el análisis de las relaciones entre los componentes del marco FPEIR, Santos-Martin et al. (2013) halló que todos los componentes analizados en el modelo están fuertemente relacionados. El aumento de las presiones provoca un aumento de la pérdida de biodiversidad, el aumento de las repuestas como la creación de áreas protegidas reduce la pérdida de la biodiversidad. También encontró una fuerte relación causal positiva entre los conductores y las presiones. La pérdida de biodiversidad influye positivamente en la prestación de servicios de aprovisionamiento, pero produce un deterioro en los servicios de regulación. También existe un vínculo positivo, pero débil entre la pérdida de biodiversidad y la prestación de servicios culturales y no encontraron un vínculo claro entre los servicios ecosistémicos y bienestar humano en la dimensión de la salud.

Capítulo 4

4.1. Hipótesis

H1: Las fuerzas motrices indirectas tienen un impacto positivo en las fuerzas motrices directas

H2: Las fuerzas motrices directas tienen un impacto positivo en el estado del sistema

H3: El estado del sistema tiene un impacto positivo en los servicios ecosistémicos de provisión

H4: El estado del sistema tiene un impacto positivo en los servicios ecosistémicos de regulación

H5: El estado del sistema tiene un impacto positivo en los servicios ecosistémicos culturales

H6: Los servicios ecosistémicos de regulación tienen un impacto positivo el bienestar humano

H7: Los servicios ecosistémicos de provisión tienen un impacto positivo el bienestar humano

H8: Los servicios ecosistémicos culturales tienen un impacto positivo el bienestar humano

H9: La respuesta tiene un impacto negativo en las fuerzas motrices indirectas

H10: La respuesta tiene un impacto negativo en las fuerzas motrices directas

H11: La respuesta tiene un impacto negativo en el estado

H12: La respuesta tiene un impacto negativo en los servicios ecosistémicos de provisión

H13: La respuesta tiene un impacto negativo en los servicios ecosistémicos de regulación

H14: La respuesta tiene un impacto negativo en los servicios ecosistémicos culturales

H15: La respuesta tiene un impacto positivo en el bienestar humano

4.2. Modelo de investigación

Con base en los estudios anteriormente descritos se planteó el modelo de investigación (Figura 3). Este modelo presenta las relaciones hipotéticas entre variables latentes del FPEIR que se plantean en el marco conceptual original (es decir, las fuerzas motrices indirectas, las fuerzas motrices directas o presiones, el estado, el impacto y la respuesta) (Figura 2) (Wei et al., 2019; Sun et al., 2018; Santos-Martin et al., 2013 y Kandziora et al., 2013). Sin embargo, en la variable impacto del modelo original FPEIR se realizó una adaptación siguiendo el planteamiento que realizan Santos-Martin et al. (2013) y Kandziora et al. (2013), ya que estos autores plantean que a nivel de la variable impacto de encuentran los servicios ecosistémicos y el bienestar humano.

El modelo de investigación plantea las relaciones entre las variables latentes es decir, entre los impulsores de cambio, tanto directos como indirectos, el estado del bosque, el impacto en los servicios ecosistémicos y el bienestar humano, y la respuesta de política ambiental empleada para evitar el cambio en la cubierta forestal. En el modelo, la respuesta se consideró como una variable exógena que no depende de otras variables, mientras que el resto de las variables se consideraron como variables endógenas, las cuales dependen de otras variables. En el modelo las variables manifiestas, es decir los indicadores definitivos con los cuales se midieron las relaciones entre las variables latentes se obtuvieron después de seleccionar indicadores empleados en diversas investigaciones relacionadas a este tema de investigación y elegir los más representativos por análisis factorial.

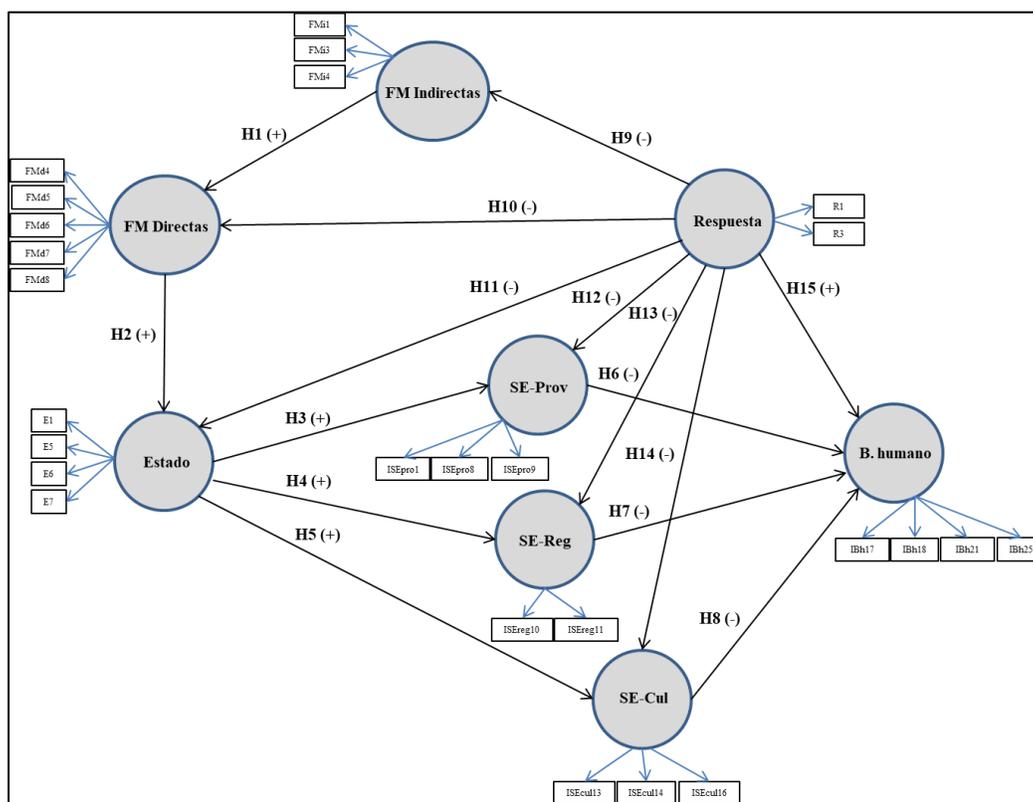


Figura 3. Modelo de investigación para el análisis de las interacciones socio ecológicas del SSE forestal de Oaxaca, elaboración propia con base en Wei et al. (2019), Sun et al. (2018), Santos-Martin et al. (2013) y Kandziara et al. (2013).

Capítulo 5

Metodología

5.1. Tipo de investigación

Autores como Wei et al. (2019); Sun et al. (2018); Díaz et al. (2018); Vidal-Abarca et al. (2014); Santos-Martín et al. (2013); Porta y Poch (2011) y Maxim et al. (2009), emplearon el marco FPEIR para realizar análisis cuantitativos de problemáticas ambientales y sociales, ya que emplean indicadores medibles para cada variable y establecen relaciones causa-efecto con análisis matemáticos. Por lo cual esta investigación tiene un enfoque cuantitativo y es longitudinal.

Asimismo es una investigación confirmatoria porque las relaciones propuestas con el marco de referencia FPEIR se confirmaron con el modelo de ecuaciones estructurales, el cual prueba los vínculos causales entre las variables latentes medidas por su conjunto de variables manifiestas o indicadores.

5.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis será el sistema socioecológico forestal de Oaxaca, por que la entidad ocupa a nivel nacional el quinto lugar en superficie forestal y tercero en superficie de bosques y selvas, se caracteriza como uno de los estados con mayor diversidad biológica en ecosistemas como bosques tropicales, bosques de niebla, bosques espinosos, selvas húmedas y secas, y zonas desérticas (Meave et al., 2012, García-Mendoza et al., 2004).

El estado de Oaxaca se localiza al sureste del territorio mexicano y posee una extensión territorial de aproximadamente 93 700 hectáreas (García-Mendoza et al., 2004). Se localiza entre los 15° 39' y 18° 40' de latitud norte, y los 93° 52' y 98° 33' de longitud oeste. Al norte colinda con el estado de Puebla y Veracruz, al este con Chiapas, al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero (INEGI, 1996).

La temporada de lluvias es de junio a octubre y la de secas es de noviembre a mayo, con un rango de precipitación total anual de 430 a 3,600 mm. La entidad presenta climas de los grupos cálido, semicálido, templado y semiseco. Posee un rango de temperatura media anual de 15 a 28.3 °C (INEGI, 1996). El estado tiene ocho regiones fisiográficas que son

resultado de una topografía muy accidentada (Velázquez et al., 2003). La población de la entidad es de aproximadamente 3.5 millones de habitantes que están dispersos en los 570 municipios. A su vez, el estado tiene 1 562 núcleos agrarios de los cuales 841 son ejidos y 721 son comunidades. El estado cuenta con al menos 16 grupos étnicos diferentes como Amuzgo, Chatino, Chinanteco, Chocho, Chontal, Cuicateco, Huave, Ixcateco, Mazateco, Mixe, Mixteco, Náhuatl, Triqui, Zapoteco, Zoque y el Popoloca, los cuales son hablantes de 157 variantes lingüísticas (Ordoñez y Rodríguez, 2008).

El 35.4 % de la extensión territorial está cubierta por bosques de clima templado y bosques tropicales. El 29 % del territorio es selva alta, mediana y baja. Estos valores posicionan a la entidad en el quinto lugar en superficie forestal y tercero en superficie de bosques y selvas a nivel nacional. Además, la entidad se caracteriza como uno de los estados con mayor diversidad biológica presente en ecosistemas como bosques tropicales, bosques de niebla, bosques espinosos, selvas húmedas y secas, y zonas desérticas (Meave et al., 2012, García-Mendoza et al., 2004). La entidad posee más de 12 500 especies de flora y fauna debido a la compleja heterogeneidad ambiental (Ordoñez y Rodríguez, 2008).

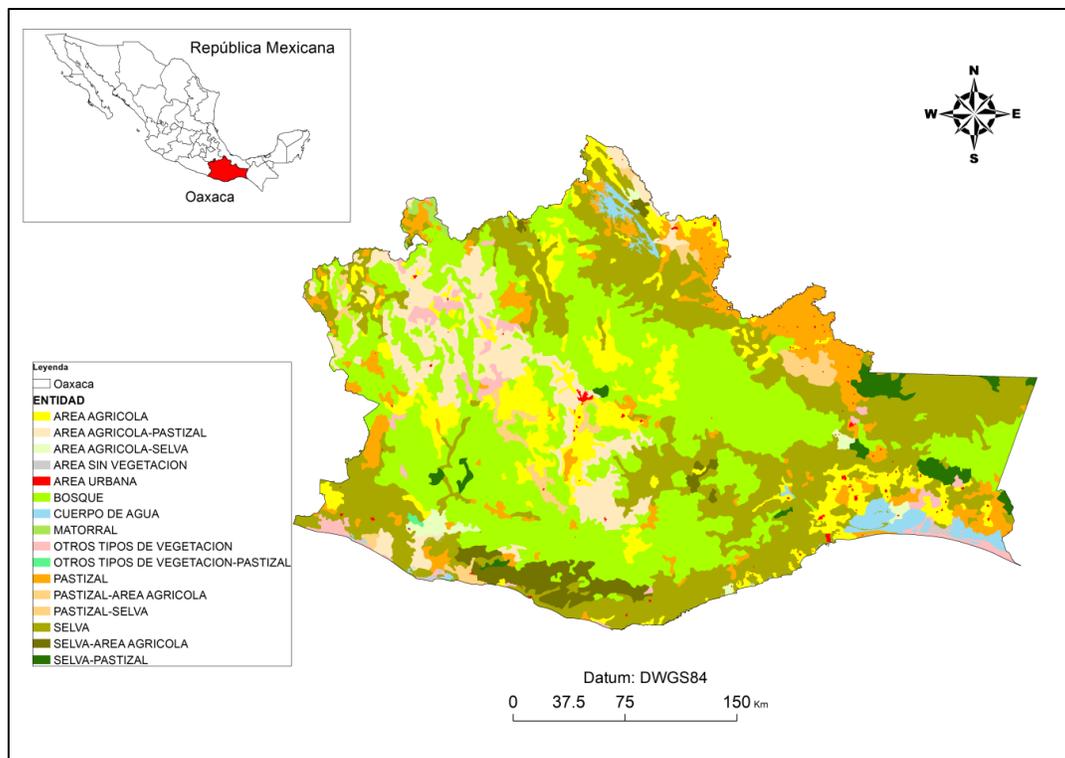


Figura 4. Mapa del estado de Oaxaca, elaboración propia

5.3. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables consistió en i) adaptar una definición para cada variable que integra el modelo de investigación, tomando como referencia los estudios que utilizaron el marco conceptual FPEIR y ii) seleccionar los indicadores para cada variable, los cuales son la herramienta de medición de las interacciones entre las variables latentes del modelo de investigación y su grupo de variables manifiestas. De los estudios de Sun et al. (2018), Díaz et al. (2018), Vidal-Abarca et al. (2014), Santos-Martín et al. (2013) se seleccionaron los indicadores para cada variable del modelo de investigación.

De acuerdo a Santos-Martín et al. (2013) y Vidal Abarca et al. (2014), los indicadores seleccionados debían cumplir con las siguientes características:

- (1) Comprensibles y ampliamente aceptados
- (2) Expresar claramente la información y la sensibilidad a otros componentes del marco de FPEIR
- (3) Temporalmente explícitos para que las tendencias se midan a lo largo del tiempo
- (4) Escalables para agregarse a diferentes niveles de escala
- (5) Cuantificables para comparar fácilmente la información obtenida
- (6) Deben contener datos estadísticos oficiales

La viabilidad de los indicadores se corroboró cuando se encontraron datos que fueron temporalmente explícitos para medir tendencias a lo largo del tiempo para cada indicador propuesto. A cada indicador se le determinó su unidad de medida y la fuente de información de donde se obtuvo.

5.4. Conceptualización de las variables y sus indicadores

Fuerzas motrices indirectas: se define como los aspectos demográficos, económicos, culturales, y sociopolíticos que producen cambios en los ecosistemas cuando las sociedades tratan de satisfacer sus necesidades de alimentación, refugio, bienes y salud. (Ehara et al., 2018; Díaz et al., 2018; Semeoshenkova et al., 2016; Hou et al., 2014; Vidal- Abarca et al.,

2014; Santos-Martín et al., 2013; Kelble et al., 2013; Roura-Pascal et al., 2009; Vacik et al., 2007).

En total se seleccionaron 8 indicadores que se definen a continuación (Tabla 1):

- **Habitantes:** Individuo que ocupa un espacio en un tiempo determinado de una área geográfica específica (CONAGUA, 2015).
- **Población urbana:** cuando se habita en una localidad que tiene más de 2 500 habitantes (INEGI, 2018).
- **Población rural:** cuando se habita en una localidad que tiene menos de 2 500 habitantes (INEGI, 2018).
- **Producto Interno Bruto:** Magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país (o una región) durante un período determinado de tiempo, normalmente un año (INEGI, 2018).
- **Exportación de dátiles, piñas y aguacate:** Productos nacionales que se comercializan en el extranjero (ACEM, 2018)
- **Exportación de café:** Productos nacionales que se comercializan en el extranjero (ACEM, 2018)
- **Inversión extranjera directa:** Inversión que se realiza en la entidad federativa en diversos sectores económicos cuyo origen es extranjero (ACEM, 2018)
- **Turistas extranjeros:** se refiere al registro de entradas al país de extranjeros cuyo motivo de estancia es el turismo o negocio (ACEM, 2018).

Tabla 1 Indicadores propuestos para la variable fuerzas motrices indirectas.

NOMBRE DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
FUERZAS MOTRICES INDIRECTAS	Demográfica	Habitantes		CONAGUA 2015
		Población urbana	Número	
		Población rural		INEGI 2018
	Económica	Producto Interno Bruto	Pesos	
		Exportación de dátiles, piñas y aguacate		
		Exportación de café	Dólares	ACEM 2018
	Sociopolítica	Inversión extranjera directa		
		Turistas extranjeros	Número	ACEM 2018

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales.

Fuerzas motrices directas: Esta variable también se conoce como presión, pero para este estudio se empleó el término fuerzas motrices directas; se define como los impulsores directos que producen un cambio en el estado del ambiente y que afectan su integridad (Ehara et al., 2018; Díaz et al., 2018; Vacik et al., 2007; Roura-Pascal et al., 2009; Semeoshenkova et al., 2016; Sarmin et al., 2016; Vidal- Abarca et al., 2014; Santos-Martín et al., 2013; Tsai et al., 2009). Para esta variable se determinaron 12 indicadores divididos en 3 dimensiones que coinciden con los impulsores indirectos de cambio conceptualizados por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005). Estos impulsores son los factores subyacentes que promueven las presiones y que afectan a los ecosistemas ejemplo, cambio de uso de la tierra, cambio climático, contaminación, sobreexplotación y especies exóticas invasoras.

Definición de los indicadores para la variable fuerzas motrices directas (Tabla 2):

- **Precipitación:** Agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra (CONAGUA, 2018).
- **Temperatura:** Nivel de calor que tiene el aire en un sitio determinado y en un momento específico (CONAGUA, 2018).
- **Depresiones tropicales:** Fenómeno natural formado por viento intenso (velocidad máxima superior a 1190km/h), lluvias torrenciales y tormentas (CONAGUA, 2018).
- **Superficie agrícola:** Extensión del territorio destinada a la producción de productos agrícolas (SNIARN, 2018).
- **Producción de carne bovina:** Carne de origen bovino para el consumo humano (SAGARPA, 2018).
- **Producción de carne ovina:** Carne de origen ovino para el consumo humano (SAGARPA, 2018).
- **Producción de carne caprina:** Carne de origen caprino para el consumo humano (SAGARPA, 2018).
- **Superficie de infraestructura urbana:** Extensión del territorio destinada a la infraestructura habitacional, industrial y de transporte (SNIARN, 2018).
- **Producto Interno Bruto que genera la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza:** Magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario

que genera la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza de un país (o una región) durante un período determinado de tiempo (normalmente un año) (SNIARN, 2018).

- **Superficie autorizada para hacer cambio de uso de suelo diferente al forestal:** Se refiere a la extensión del territorio autorizado para la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales (SNIARN, 2018).
- **Superficie de incendios forestales:** Fuego que se extiende de manera descontrolada y afecta los bosques, selvas o la vegetación de zonas áridas y semiáridas (SNIARN, 2018).
- **Superficie forestal con plagas y enfermedades:** Extensión del bosque con alteraciones fisiológicas producidas por agentes bióticos, que generalmente derivan en modificaciones morfológicas visibles o la muerte (SNIARN, 2018).

Tabla 2 Indicadores propuestos para la variable fuerzas motrices directas.

NOMBRE DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
FUERZAS MOTRICES DIRECTAS	Cambio Climático	Precipitación	mm	SNIARN 2018
		Temperatura	°C	CONAGUA 2018
		Depresiones tropicales	Número	
	Cambio de uso de suelo	Superficie agrícola	ha	SNIARN, 2018
		Producción de carne bovina	Número de cabezas	SAGARPA, 2018
		Producción de carne ovino		
		Producción de carne caprino		
		Superficie de infraestructura urbana	ha	SNIARN, 2018
		Producto Interno Bruto que genera la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	Pesos	
		Superficie autorizada para hacer cambio de uso de suelo diferente al forestal	ha	
		Superficie de incendios forestales		
	Contaminación y especies invasoras	Superficie forestal con plagas y enfermedades		

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales.

Estado: definido como la condición en que se encuentran las características físicas, biológicas y químicas del ecosistema (Ehara et al., 2018, Díaz et al., 2018, Semeoshenkova et al., 2016, Hou et al., 2014, Vidal- Abarca et al., 2014, Santos-Martín et al., 2013, Roura-Pascal et al., 2009, Tsai et al., 2009, Vacik et al., 2007).

Los indicadores seleccionados para la variable estado se definen a continuación (Tabla 3):

- **Cobertura media del dosel de los árboles:** medida que se basa en la silueta de un árbol dibujada de punta a punta de cada rama la cual contiene todo el follaje (SNIARN, 2018).
- **Superficie de bosque mesófilo de montaña:** Cubierta de árboles donde coexisten géneros como Liquidambar, Magnolia, Juglans, Ostrya, Clethra, Podocarpus, Turpinia, Oreopanax y otros más. En ocasiones también se identifica la presencia de Pinus y Quercus. En esta formación coinciden especies de afinidad templada como tropical. Se desarrolla en altitudes donde es frecuente la presencia de bancos de niebla. Posee una gran cantidad de helechos y lianas, y plantas que crecen sobre los árboles (SEMARNAT, 2013).
- **Superficie de selvas:** Presenta vegetación dominada por árboles de muchas especies, en climas lluviosos y cálidos. La copa puede rebasar los 40 metros de altura y conserva una parte importante de su follaje durante todo el año. Según la altura del dosel, se dividen en selvas altas (vegetación arbórea de más de 30 metros) y medianas (entre 20 y 30 metros). Bajo los árboles más altos hay varios estratos de vegetación de diferentes estaturas (SEMARNAT, 2013).
- **Superficie de matorral xerófilo:** Comunidades de porte arbustivo que se desarrolla en climas muy secos, algunos cálidos y templados. El rango de distribución altitudinal va de los 0 a los 3 000 m. La precipitación es menor a los 700 mm de promedio anual. La altura del matorral va desde 15 cm hasta cuatro metros, algunas especies como las yucas o cactus, tienen un mayor porte (SEMARNAT, 2013).
- **Ecosistema de bosque afectado por el cambio de uso de suelo:** Aquellas zonas forestales sometidas a cambios de uso del suelo, que presentan del 10 al 40% de bosques o selvas destruidos en forma irregular, combinados con un mosaico de cultivos agrícolas o pastizales (SNIARN, 2018).

- **Ecosistema de selva afectado por el cambio de uso de suelo:** Aquellas zonas forestales sometidas a cambios de uso del suelo, que presentan del 10 al 40% de bosques o selvas destruidos en forma irregular, combinados con un mosaico de cultivos agrícolas o pastizales (SNIARN, 2018).
- **Disponibilidad base media de agua:** Volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región. El agua renovable se calcula como el escurrimiento superficial virgen anual, más la recarga media anual de los acuíferos, más las importaciones de agua de otras regiones o países, menos las exportaciones de agua a otras regiones o países (CONAGUA, 2015).

Tabla 3 Indicadores propuestos para la variable estado

NOMBRE DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
ESTADO	Cobertura media del dosel de los árboles	ha	SNIARN 2018
	Superficie de bosque mesófilo de montaña		
	Superficie de selvas		
	Superficie de matorral xerófilo		
	Ecosistema de Bosque afectado por el cambio de uso de suelo		
Ecosistema de Selva afectado por el cambio de uso de suelo	hm ³	CONAGUA 2015	
Disponibilidad base media de agua			

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales.

Impacto: se define como la alteración en las características del sistema y que afectan a los servicios ecosistémicos y la sociedad, ya que esta última requiere de bienes y servicios para subsistir (Ehara et al., 2018, Díaz et al., 2018, Semeoshenkova et al., 2016, Hou et al., 2014, Vidal- Abarca et al., 2014, Santos-Martín et al., 2013, Roura-Pascal et al., 2009, Vacik et al., 2007). Por lo tanto, los impactos se entienden como cambios en la disponibilidad de los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. A partir de esto, la variable impacto se dividió servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales (Bastian et al., 2012; Daily et al., 2009, Costanza et al., 2006; MEA, 2005) y bienestar humano.

Para los servicios ecosistémicos se seleccionaron 16 indicadores de los cuales 9 pertenecen a la variable de servicios ecosistémicos de provisión, 2 a los de regulación y 5 a los

culturales. La variable bienestar humano está representada por 15 indicadores, los cuales 3 se clasificaron en la dimensión de bienestar humano material y 12 en la dimensión inmaterial para diferenciar el acceso a bienes y la calidad de vida (Díaz et al., 2018).

Definición de los indicadores de las variables Impacto-servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales (Tabla 4):

- **Producción forestal maderable total de especie:** Son los constituidos por vegetación leñosa susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal maderable de coníferas-pino:** Son los constituidos por vegetación leñosa de coníferas-pino, susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal maderable de coníferas-oyamel:** Son los constituidos por vegetación leñosa de coníferas-oyamel susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal maderable de latifoliadas-encino:** Son los constituidos por vegetación leñosa de latifoliadas-encino, susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal maderable latifoliadas-otras:** Son los constituidos por vegetación leñosa de latifoliadas-otras, susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal maderable de especies tropicales-maderas preciosas:** Son los constituidos por vegetación leñosa de especies tropicales-maderas preciosas, susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal maderable de especies tropicales-maderas comunes:** Son los constituidos por vegetación leñosa de especies tropicales-maderas comunes, susceptibles de aprovechamiento o uso (SNIARN, 2018).
- **Producción forestal no maderable:** Son las partes no leñosas de la vegetación de un ecosistema forestal, y son susceptibles de aprovechamiento o uso. Incluyen líquenes, musgos, hongos, resina, así como los suelos de terrenos forestales y preferentemente forestales (SNIARN, 2018).

- **Agua para consumo humano:** Agua cuyas características no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida (SNIARN, 2018).
- **Volumen de agua almacenada por las principales presas:** Nivel más alto que alcanza el agua de una presa bajo cualquier condición (CONAGUA, 2015).
- **Recarga media total de acuíferos:** El agua renovable que se almacena en el acuífero durante un período de tiempo (CONAGUA, 2015).
- **Áreas destinadas voluntariamente a la conservación:** Espacios que bajo voluntad propia se ceden para conservar las características ambientales propias del área (SNIARN, 2018).
- **Superficie destinada voluntariamente a la conservación:** Superficie que bajo voluntad propia se cede para conservar las características ambientales propias del área (SNIARN, 2018).
- **Proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural:** Proyectos que preserven, conserven y aprovechen sustentablemente su patrimonio natural y cultural para ayudar a la mejora de sus ingresos, respetando la organización comunitaria de los pueblos indígenas (López, 2016)
- **Monto de inversión para proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural:** Inversión en proyectos que preserven, conserven y aprovechen sustentablemente su patrimonio natural y cultural, para ayudar a la mejora de sus ingresos, respetando la organización comunitaria de los pueblos indígenas (López, 2016)
- **Ingreso generado por las actividades eco turísticas:** Recurso monetario que genera el ecoturismo (SNIARN, 2018).

Tabla 4 Indicadores propuestos para la variable Impacto-servicios ecosistémicos

NOMBRE DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
IMPACTO	Producción forestal maderable total de especie	m ³ r	SNIARN 2018
	Producción forestal maderable de coníferas-pino		
	Producción forestal maderable de coníferas-oyamel		
	Producción forestal maderable de latifoliadas-encino		
	Producción forestal maderable latifoliadas-otras		
	Producción forestal maderable de especies tropicales-maderas preciosas		
	Producción forestal maderable de especies tropicales-maderas comunes		
	Producción forestal no maderable	Toneladas	
	Agua para consumo humano	hm ³ /Año	
	Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión	Volumen de agua almacenada por las principales presas	hm ³
Recarga media total de acuíferos		hm ³ /año	
Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación	Áreas destinadas voluntariamente a la conservación	Número	SNIARN 2018
	Superficie destinada voluntariamente a la conservación	ha	
Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	Proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural	Número	López 2016
	Monto de inversión para proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural	Pesos	
Ingreso generado por las actividades ecoturísticas			SNIARN 2018

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales.

Definición de los indicadores de la variable Impacto-bienestar humano (Tabla 5):

- **Población económicamente activa:** Población que realiza un trabajo para obtener a cambio un ingreso, en calidad de asalariado, de empleador o actuando por cuenta propia (INEGI, 2018).
- **Ingreso anual promedio que genera la población ocupada:** Recursos que obtienen los individuos producto de su trabajo o cualquier otro motivo que

incremente su patrimonio. Se utiliza para conocer su nivel de productividad o para estimar la media por persona en una estadística social (INEGI, 2018).

- **Población con electricidad:** Habitantes que poseen el servicio de energía eléctrica en su domicilio (SNIARN, 2018).
- **Disponibilidad natural base media per cápita:** volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región (CONAGUA, 2004).
- **Cobertura de agua potable:** es la disponibilidad de agua que tiene la población en sus hogares para cubrir las necesidades mínimas básicas de alimento y aseo (CONAGUA, 2004).
- **Saldo neto migratorio:** Representa el componente migratorio del crecimiento total de una población. La magnitud de este saldo, correspondiente a un periodo determinado, se mide por la diferencia media anual entre los inmigrantes y los emigrantes de una población (INEGI, 2018).
- **Natalidad:** Número de nacimientos en un periodo de tiempo (año) (INEGI, 2018).
- **Mortalidad:** Número de defunciones en un periodo de tiempo (año) (INEGI, 2018).
- **Esperanza de vida promedio:** Años que en promedio se espera viva una persona después de nacer (INEGI, 2018).
- **Población que cuenta con algún tipo de servicio de salud pública:** individuos que cuentan con servicio de salud de alguna institución pública (SSA, 2018).
- **Escuelas:** Plantel en cuyas instalaciones se imparte educación y se establece una comunidad de aprendizaje entre alumnos y docentes, que cuenta con una estructura ocupacional autorizada por la autoridad educativa u organismo descentralizado (SEP, 2018).
- **Habitantes con nivel de educación primaria:** Se refiere a la educación que reciben los habitantes del país cuya edad oscila entre los 6 y 11 años y se cursan los grados 1-6 (SEP, 2018).
- **Habitantes con nivel de educación secundaria:** Se refiere a la educación que reciben los habitantes del país cuya edad oscila entre los 12 y 14 años y se cursan los grados 7-9 (SEP, 2018).

- **Habitantes con nivel de educación media superior:** Se refiere a la educación que reciben los habitantes del país cuya edad oscila entre los 15 y 17 años y se cursan los grados 10-12 (SEP, 2018).
- **Habitantes con nivel de educación licenciatura:** Se refiere a la educación que reciben los habitantes del país para recibir un grado académico de licenciatura (SEP, 2018).
- **Habitantes con nivel de educación posgrado:** Se refiere a la educación que reciben los habitantes del país para recibir un grado académico de maestría o doctorado (SEP, 2018).
- **Instalaciones culturales:** Infraestructuras o espacios para la práctica de actividades que promuevan la creatividad en tiempo de ocio (SC, 2018).

Tabla 5 Indicadores propuestos para la variable Impacto-bienestar humano

NOMBRE DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
IMPACTO-BIENESTAR HUMANO	Material	Población económicamente activa	Número	INEGI 2018
		Ingreso anual promedio que genera la población ocupada	Pesos	
		Población con electricidad	%	SNIARN 2018
		Disponibilidad natural base media per cápita	m ³ /habitante	CONAGUA 2004
	Cobertura de agua potable	%		
	Inmaterial	Saldo neto migratorio	Número de personas	INEGI 2018
		Natalidad		
		Mortalidad		
		Esperanza de vida promedio	Número de años	SSA 2018
		Población que cuenta con algún tipo de servicio de salud pública		
		Escuelas	Número	SEP 2018
		Habitantes con nivel de educación primaria		
		Habitantes con nivel de educación secundaria		
		Habitantes con nivel de educación media superior		
		Habitantes con nivel de educación licenciatura		
Habitantes con nivel de educación posgrado		SC 2018		
Instalaciones culturales				

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales.

Respuesta: la variable respuesta se define como las acciones políticas, regulaciones o gestiones que adoptan las sociedades para minimizar los impactos que tiene las actividades antropogénicas en el ambiente (Díaz et al., 2018; Semeoshenkova et al., 2017; Sarmin et al., 2016; Hou et al., 2014; Vidal-Abarca et al., 2014; Santos-Martín et al., 2013; Tsai et al., 2009).

Definición de los indicadores de la variable respuesta (Tabla 6):

- **Superficie de bosque destinada a la conservación mediante el PSAH:** Área destinada a la conservación mediante los apoyos del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos (CONAFOR, 2018).
- **Monto asignado para la conservación de bosques mediante el PSAH:** Los recursos económicos vía subsidio que el Gobierno Federal otorgará por conducto de la CONAFOR, en los términos de los artículos 63 y 64 del Presupuesto de Egresos de la Federación a quienes resulten beneficiarios (CONAFOR, 2018).
- **Beneficiarios:** Ejidos, comunidades y pequeños propietarios o poseedores de recursos forestales que reciban los apoyos del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos, con base en las Reglas de Operación (CONAFOR, 2018).

Tabla 6 Indicadores propuestos para la variable respuesta

NOMBRE DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
RESPUESTA	Superficie de bosque destinada a la conservación mediante el PSAH	ha	CONAFOR 2018
	Monto asignado para la conservación de bosques mediante el PSAH	Pesos	
	Beneficiarios	Número	

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales.

5.5. Recolección de datos

Los datos de los indicadores seleccionados se obtuvieron de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), la

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaría de Educación Pública (SEP), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Estadísticas del Agua en México, Secretaría de Salud (SSA), Secretaría de Cultura, el Diagnóstico de la Cadena de Valor Ecoturismo en las Regiones de Oaxaca, y el Boletín de Información Estadística, Recursos y Servicios. Los datos que se obtuvieron abarcaron el periodo de tiempo de 1980 a 2017 y cumplen con la rigidez metodológica para recolección de datos establecida por las instituciones.

5.6. Análisis estadístico

5.6.1. Prueba piloto y análisis factorial

Se determinaron 63 indicadores para las 8 variables (Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6) del modelo de investigación, para cada indicador el análisis de datos comprendió un periodo de tiempo de 37 años (De 1980 a 2017).

Para probar la veracidad del instrumento de medición, en este caso los valores de los indicadores encontrados; primero se estandarizaron los datos de cada indicador para poder comparar datos con diferentes unidades de medida. La estandarización se realizó restando a cada valor la media y dividiéndola por la desviación estándar.

Posteriormente se realizó un análisis factorial y de componentes principales para simplificar o combinar indicadores que estuvieran correlacionados, para este análisis se empleó el programa de Stata 14.0.

Para la variable fuerzas motrices se encontró que existían diversas correlaciones significativas entre los 8 indicadores propuestos, por lo cual solo se emplearon 3 de los 8 indicadores. Para la variable fuerzas motrices directas de los 12 indicadores se redujo a 5. En el caso de la variable estado se utilizaron solo 4 indicadores. Para servicios ecosistémicos de provisión se redujo de 9 a 3, en los servicios ecosistémicos de regulación se usaron los 2 propuestos y para los servicios ecosistémicos culturales se emplearon los 3 de los 5 propuestos. De los 17 indicadores de bienestar se usaron 3 para bienestar material y 1 de bienestar inmaterial, es decir 4 de los 17 propuestos. Para la variable respuesta se usaron 2 de 3 indicadores propuestos (Tabla 6).

Tabla 7. Lista de indicadores seleccionados por análisis factorial y de componentes principales

VARIABLE LATENTE	ID	INDICADOR (Variable de medición)	
Fuerzas Motrices Indirectas	FMi1	Habitantes (Número)	
	FMi3	Exportación de dátiles, piñas y aguacate (USD)	
	FMi4	Exportación de café (USD)	
	FMd4	Superficie agrícola (ha)	
Fuerzas Motrices Directas	FMd5	Producción de carne bovina (Número de cabezas)	
	FMd6	Producción de carne ovino (Número de cabezas)	
	FMd7	Producción de carne caprino (Número de cabezas)	
	FMd8	Superficie de infraestructura urbana (ha)	
Estado	E1	Cobertura medida del dosel de los árboles (ha)	
	E5	Disponibilidad natural base media de agua (hm ³)	
	E6	Superficie de bosque afectado por el cambio de uso de suelo (ha)	
	E7	Superficie de selva afectada por el cambio de uso de suelo (ha)	
	Servicios ecosistémicos de provisión	ISEpro1	Producción forestal total maderable por especie (m ³ r)
		ISEpro8	Producción forestal no maderable (ton)
		ISEpro9	Agua para consumo humano (hm ³)
Impacto	Servicios ecosistémicos de regulación	ISEreg10	Volumen de agua almacenada por las principales presas (hm ³)
		ISEreg11	Recarga media total de acuíferos (hm ³)
	Servicios ecosistémicos culturales	ISEcul13	Superficie destinada voluntariamente a la conservación (ha)
		ISEcul14	Proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural (Número)
		ISEcul16	Ingreso generado por las actividades ecoturísticas (\$)
		IBh17	Población económicamente activa (Número)
Bienestar Humano	IBh18	Ingreso anual promedio que genera la población ocupada (\$)	
	IBh21	Cobertura agua potable (%)	
	IBh25	Esperanza de vida promedio (Número de años)	
Respuesta	R1	Superficie de bosque destinada a la conservación con el programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (ha)	
	R3	Monto asignado para la conservación de bosques con el programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (\$)	

Fuente: Elaboración propia a partir fuentes de información oficiales y Stata 14.0

Para el planteamiento del modelo de investigación (Figura 3) solo se consideraron 26 indicadores seleccionados por análisis factorial y de componentes principales; ya que estos indicadores fueron las variables manifiestas que permitieron medir las variables latentes y probar las hipótesis planteadas.

5.6.2. Análisis individual de tendencias e índices agregados

Con los indicadores seleccionados se realizó un análisis individual de tendencias y se obtuvo el valor de la pendiente de la regresión lineal de la serie de tiempo de cada indicador. A su vez, con los indicadores seleccionados se crearon índices agregados para

conocer las tendencias de las variables. El índice agregado se obtuvo con la media aritmética, ya que mediante esta función se puede compensar valores bajos y altos muy dispares (Díaz et al., 2018).

Los valores de evolución de las tendencias de los indicadores y de los índices agregados fueron interpretados de acuerdo a lo propuesto por Santos-Martín et al. (2013) (Tabla 8).

Tabla 8. Clasificación de las tendencias de acuerdo al valor de la pendiente de regresión lineal.

Clasificación	Símbolo	Valor de la pendiente de la regresión lineal (y)
Aumenta considerablemente	(↑↑)	Superior a 0.08
Aumenta	(↑)	Entre 0.08 y 0.04
Estable	(↔)	Entre 0.04 y -0.04
Disminuye	(↓)	Entre -0.04 y -0.08
Disminuye considerablemente	(↓↓)	Inferior a -0.08

Fuente: Elaboración propia con base en Santos-Martín et al. (2013).

5.6.3. Análisis con el modelo de ecuaciones estructurales (SEM)

Por último, los datos se normalizaron de 0 a 1 dividiendo cada valor con el valor máximo, este proceso se realizó para efectuar el análisis de ecuaciones estructurales y estimar los enlaces entre las variables y probar las hipótesis planteadas.

Con el análisis de ecuaciones estructurales se midieron dos tipos de relaciones: (1) las relaciones entre las variables latentes (es decir, el modelo estructural o 5 variables del FPEIR) y (2) los enlaces entre cada variable latente y su propio bloque de variables manifiestas (es decir, modelo de medición o indicadores) (Sun et al., 2018).

Se empleó el modelo de ecuaciones estructurales medido con la técnica de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS, por sus siglas en inglés) porque la predicción la realiza por medio de análisis de varianzas, combina características del análisis de componentes principales y de regresión múltiple, además permite el uso de muestras pequeñas desde 30 a 100 casos, tiene flexibilidad teórica y trata a los datos perdidos con algoritmos (Tenenhaus et al., 2005). Para este análisis se empleó el software Smart PLS 3.0.

La interpretación y la validación de un modelo de ecuaciones estructurales PLS o modelo de trayectoria se realiza en tres niveles: 1) el modelo de medición, 2) el ajuste del modelo en general y 3) el modelo estructural (Wei et al., 2019, Sun et al., 2018). Si los valores de validación son aceptables, entonces podemos decir que existe una buena fiabilidad del modelo. Así mismo, estaremos en la condición de suponer que las pruebas de hipótesis establecidas y corroboradas con el modelo de ruta son confiables y se procederá a aceptarlas o rechazarlas de acuerdo al planteamiento realizado.

1) El modelo de medición

Se evalúa en dos aspectos:

Primero: la consistencia interna o convergente, los estadísticos a analizar son la confiabilidad compuesta (CR) (los valores deben estar por encima de 0.7); Alpha de Cronbach (los valores deben estar por encima de 0.6); la Varianza promedio extraída (AVE) (el valor debe ser mayor o igual a 0.50); y el índice de Rho de Dillon-Goldstein (Sun et al., 2018; Santos-Martin et al., 2013 y Tenenhaus et al., 2005)

Segundo: La validez discriminante para probar la diferencia entre constructos, es decir que un constructo es único y captura fenómenos no representados por otros constructos del modelo. La validez discriminante se obtiene con la raíz cuadrada del AVE de cada variable y los valores de la diagonal deben ser mayores a los valores de las filas (Sun et al., 2018).

2) El ajuste del modelo en general

La selección de la prueba adecuada para esta parte de la evaluación depende de las características de los datos y del modelo planteado. Existen indicadores como X^2 (chi cuadrada), RMSEA (error cuadrático medio de aproximación), NNFI (índice de ajuste no normalizado), CFI (índice de ajuste comparativo), SRMR (raíz cuadrada residual estandarizada), GFI (índice de bondad de ajuste), AGFI (Índice de bondad de ajuste ajustado), sin embargo la mayoría son indicadores de ajuste muy rigurosos. Para este caso de estudio se seleccionó el NNFI y el GFI (Bagozzi y Yi, 2012, Tenenhaus et al., 2005, Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H., y Müller, H., 2003).

Se eligió el **NNFI** porque es el índice menos afectado por el tamaño de la muestra ya que acepta tamaños de muestra pequeños y datos no normalizados. Los valores aceptables para un buen ajuste del modelo están entre 0 y 1 (Escobedo-Portillo et al., 2016, Bagozzi y Yi, 2012). También se eligió el **GFI** porque no es tan riguroso en el tamaño de muestra y la normalidad de los datos; los valores aceptables de este índice deben estar entre 0 y 1, (Tenenhaus et al., 2005). El GFI se calcula con la raíz cuadrada de la multiplicación de las medias aritméticas del AVE y R^2 (Santos-Martin et al., 2013 y Tenenhaus et al., 2005).

3) El modelo estructural

Después se examinan las estimaciones del modelo estructural, es decir se analizan los resultados del PLS-SEM a través de dos aspectos: 1) Los coeficientes de determinación (valores R^2) y 2) Los niveles de significancia de los coeficientes de ruta del modelo estructural (valor t) (Sun et al., 2018).

Los valores de R^2 muestran el grado en que la varianza en las variables latentes puede ser explicada por sus construcciones estructurales; el rango de este valor va de 0 a 1 y entre más cercano este de la unidad indica una mayor precisión predictiva (Sun et al., 2018).

Los niveles de significancia de los coeficientes de ruta (valor t) representan las relaciones hipotetizadas entre los constructos, poseen valores que van desde -1 (fuertemente negativo) a +1 (fuertemente positivo) y cuando los valores están cercanos a cero indican relaciones más débiles (Sun et al., 2018).

Los valores obtenidos de los coeficientes de ruta del modelo estructural que representan las relaciones hipotetizadas se interpretaron de acuerdo a la siguiente escala (García-Hernández, 2017).

Tabla 9. Criterios para la interpretación de los coeficientes de ruta

Signo-valor		Interpretación
Signo	(+)	existe una relación entre las variables
	(-)	no existe relación entre las variables
Valor	0.8-1	la relación planteada entre las variables es muy fuerte
	0.6-0.8	la relación planteada entre las variables es fuerte
	0.4-0.6	la relación planteada entre las variables es moderada
	0.2-0.4	la relación planteada entre las variables es débil
	0.0-0.2	la relación planteada entre las variables es muy débil

Fuente: Elaboración propia con base en García-Hernández, (2017).

Capítulo 6

Resultados

6.1. Tendencia de los indicadores individuales

Fuerzas motrices indirectas

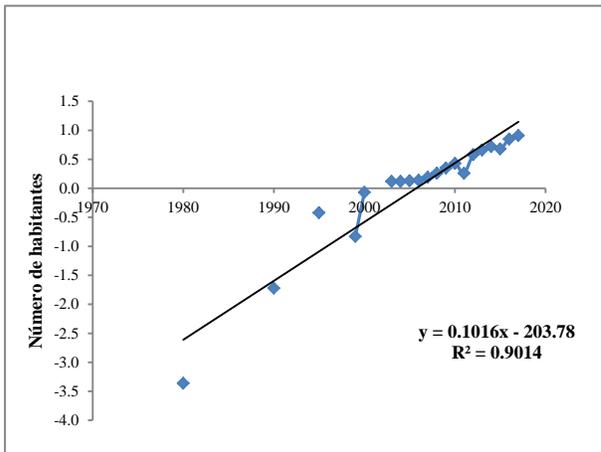
Los tres indicadores de la variable fuerzas motrices indirectas presentaron valores superiores a 0.08 en la pendiente de regresión (Tabla 10), lo que significa que el número de habitantes ($y= 0.101$) y el monto de las exportaciones de dátiles, piñas y aguacate ($y=0.291$), y café ($y=0.224$) han incrementado durante el periodo de análisis (Gráfica 1, 2 y 3).

Tabla 10. Tendencia de los indicadores de la variable fuerzas motrices indirectas

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Fuerzas Motrices Indirectas	FMi1	Habitantes (número)	0.101	Aumenta considerablemente ↑↑
	FMi3	Exportación de dátiles, piñas y aguacate (USD)	0.291	Aumenta considerablemente ↑↑
	FMi4	Exportación de café (USD)	0.224	Aumenta considerablemente ↑↑

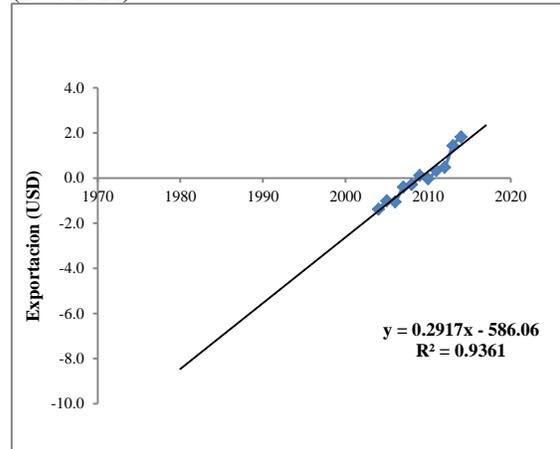
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1 Habitantes (1980-2017)



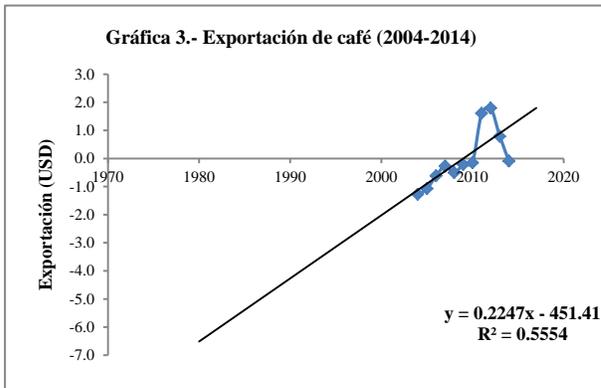
Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2009

Gráfica 2 Exportación de dátiles, piñas y aguacate (2004-2014)



Fuente: Elaboración propia con base en ACEM, 2018

Gráfica 3 Exportación de café (2004-2014)



Fuente: Elaboración propia con base en ACEM, 2018

Fuerzas motrices directas

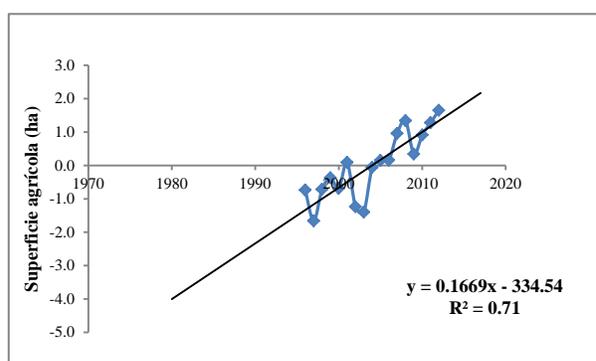
Se encontró que el valor de la pendiente de regresión lineal del indicador superficie agrícola ($y = 0.166$) aumenta considerablemente y el de superficie urbana ($y = 0.040$) se mantiene estable y que ambos indicadores están relacionados directamente al cambio de uso de suelo diferente al forestal (Tabla 11, gráfica 4 y 8). De los tres indicadores relacionados con la producción ganadera, el indicador de producción de carne ovina ($y = 0.045$) y caprina ($y = 0.059$) presentaron una tendencia de aumento y el de producción de carne bovina se mantuvo estable ($y = -0.003$) (Tabla 11, gráfica 5, 6 y 7).

Tabla 11. Tendencia de los indicadores de la variable fuerzas motrices directas

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Fuerzas Motrices Directas	FMd4	Superficie agrícola (ha)	0.166	Aumenta considerablemente ↑↑
	FMd5	Producción de carne bovina (Número de cabezas)	-0.003	Estable ↔
	FMd6	Producción de carne ovino (Número de cabezas)	0.045	Aumenta ↑
	FMd7	Producción de carne caprino (Número de cabezas)	0.059	Aumenta ↑
	FMd8	Superficie de infraestructura urbana (ha)	0.040	Estable ↔

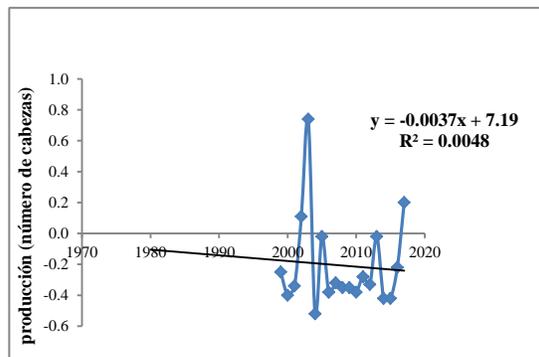
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4 Superficie agrícola (1996-2011)



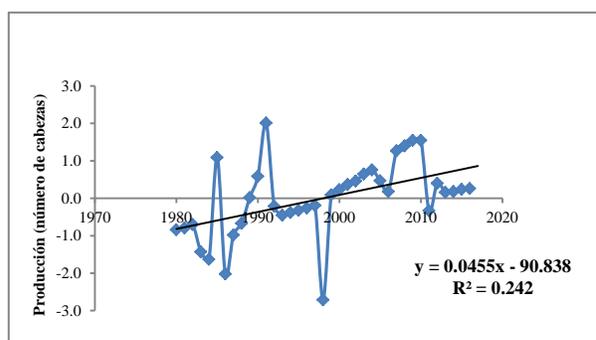
Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Gráfica 5 Producción de carne bovina (1998-2017)



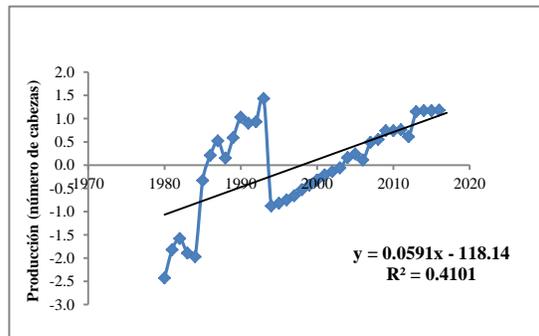
Fuente: Elaboración propia con base en SAGARPA, 2018

Gráfica 6 Producción de carne ovina (1980-2016)



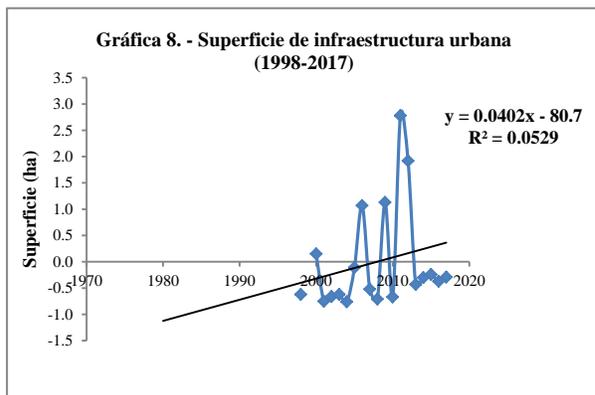
Fuente: Elaboración propia con base en SAGARPA, 2018

Gráfica 7 Producción de carne caprina (1980-2016)



Fuente: Elaboración propia con base en SAGARPA, 2018

Gráfica 8 Superficie de infraestructura urbana (1998-2017)



Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Estado

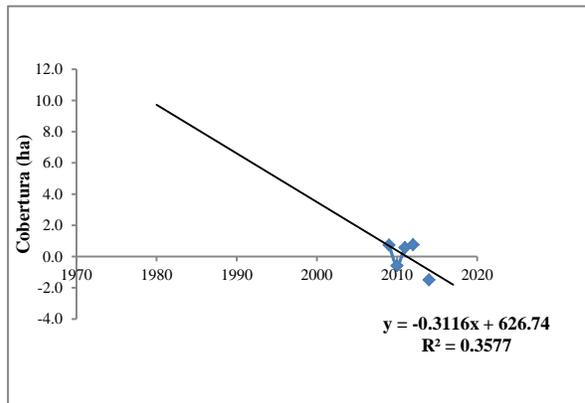
El indicador del comportamiento de la cobertura media del dosel de los árboles ($y=-0.311$) muestra que existe una disminución considerable de la superficie en hectáreas de los árboles medidos con el dosel (Tabla 12 y gráfica 9). Así mismo el valor de la pendiente del indicador de la disponibilidad natural media de agua ($y=-0.148$) indica que existe una disminución considerable en los hectómetros por metro cuadrado de agua disponible para consumo humano (Tabla 12 y gráfica 10). El indicador de superficie de bosque afectado por el cambio de uso de suelo ($y= -0.002$) sugiere que el cambio en este tipo de ecosistema se ha mantenido estable, sin embargo, la afectación en la superficie de selva ($y= 0.056$) ha aumentado (Tabla 12 y gráfica 12).

Tabla 12. Tendencia de los indicadores de la variable estado

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Estado	E1	Cobertura medida del dosel de los árboles (ha)	-0.311	Disminuye considerablemente ↓↓
	E5	Disponibilidad natural base media de agua (hm^3)	-0.148	Disminuye considerablemente ↓↓
	E6	Superficie de bosque afectado por el cambio de uso de suelo (ha)	-0.002	Estable ↔
	E7	Superficie de selva afectada por el cambio de uso de suelo (ha)	0.056	Aumenta ↑

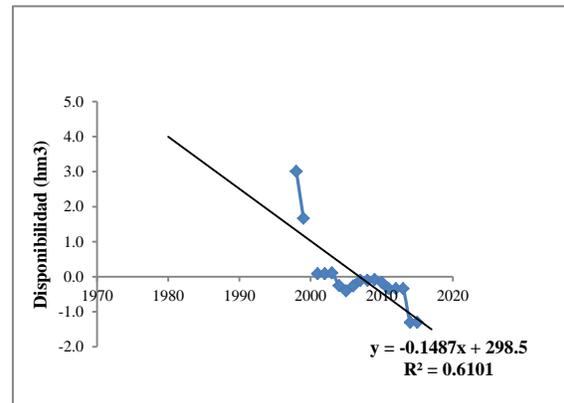
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 9 Cobertura medida del dosel de los árboles (2009-2015)



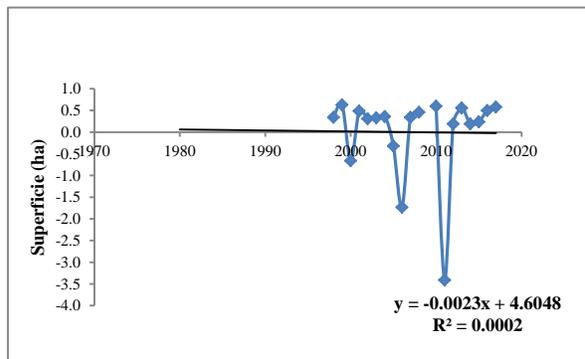
Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Gráfica 10 Disponibilidad base media de agua (1998-2015)



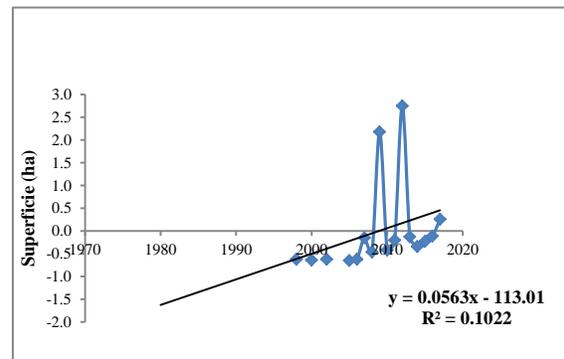
Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2015

Gráfica 11 Bosque afectado por el cambio de uso de suelo (1998-2017)



Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Gráfica 12 Selva afectada por el cambio de uso de suelo (1998-2017)



Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Impacto

Impacto-Servicio ecosistémicos de provisión

Para medir el comportamiento de los servicios de provisión que prestan los bosques de Oaxaca se seleccionaron indicadores relacionados con la producción forestal maderable y no maderable, además de la cantidad de agua que se extrae para el consumo humano.

De acuerdo al valor de la pendiente de regresión lineal el indicador de la producción forestal total maderable por especie ($y = -0.067$) muestra que la producción de madera proveniente de coníferas, latifoliadas y especies tropicales ha disminuido. Las toneladas de

producción forestal no maderable ($y= 0.000$) que incluye resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas y tierra de monte se mantiene estable (Tabla 13 y gráfica 14).

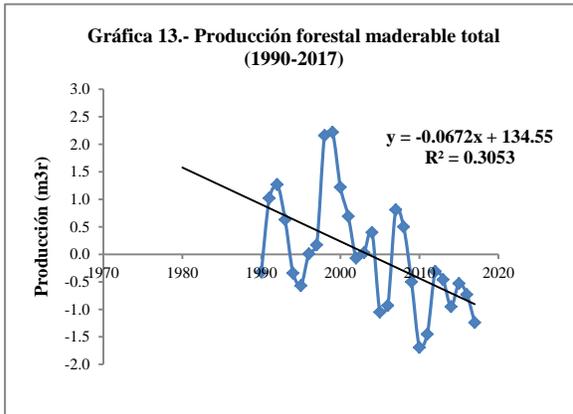
El indicador que mide los hectómetros por metro cubico de agua que se extraen para el consumo humano ($y= -0.087$) demuestra que la cantidad de agua que se extrae está disminuyendo considerablemente (Tabla 13 y gráfica 15).

Tabla 13. Tendencia de los indicadores de la variable Impacto-servicios ecosistémicos de provisión.

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA	
Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión	ISEpro1	Producción forestal total maderable por especie (m ³ r)	-0.067	Disminuye	↓
	ISEpro8	Producción forestal no maderable (ton)	0.000	Estable	↔
	ISEpro9	Agua para consumo humano (hm ³)	-0.087	Disminuye considerablemente	↓↓

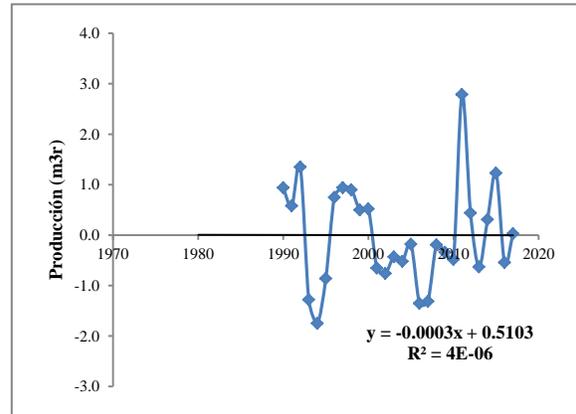
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 13.- Producción forestal maderable total (1990-2017)



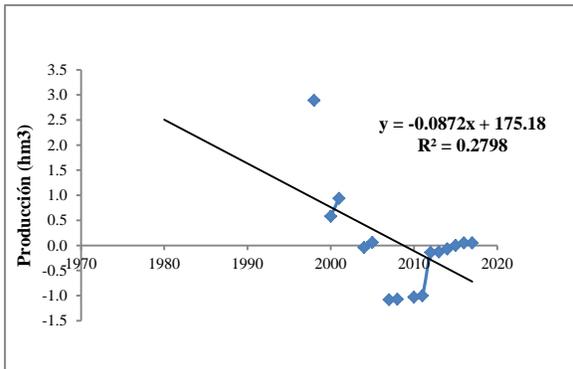
Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, (2018).

Gráfica 14 Producción forestal no maderable (1990-2017)



Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Gráfica 15 Agua para consumo humano



Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación

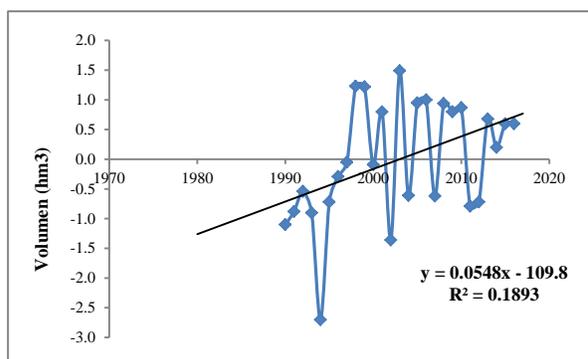
Los dos indicadores que dan información del comportamiento de los servicios ecosistémicos de regulación como el volumen de agua almacenada en las principales presas ($y= 0.054$) y la recarga media total de los acuíferos ($y= 0.056$) muestran que ambos indicadores han aumentado (Tabla 14 y gráfica 16 y 17).

Tabla 14. Tendencias de los indicadores de la variable Impacto-servicios ecosistémicos de regulación.

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación	ISEreg10	Volumen de agua almacenada por las principales presas (hm ³)	0.054	Aumenta ↑
	ISEreg11	Recarga media total de acuíferos (hm ³)	0.056	Aumenta ↑

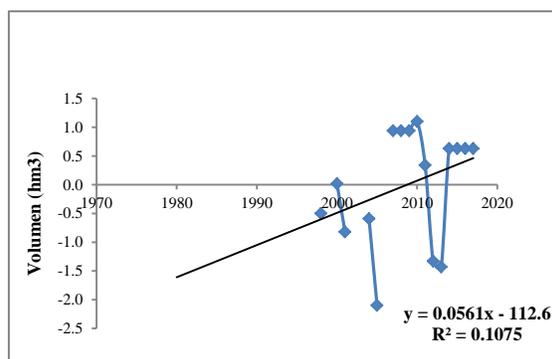
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 16 Agua almacenada por las principales presas (1990-2016)



Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2015

Gráfica 17 Recarga media total de acuíferos (1998-2017)



Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2015

Impacto-Servicios ecosistémicos culturales

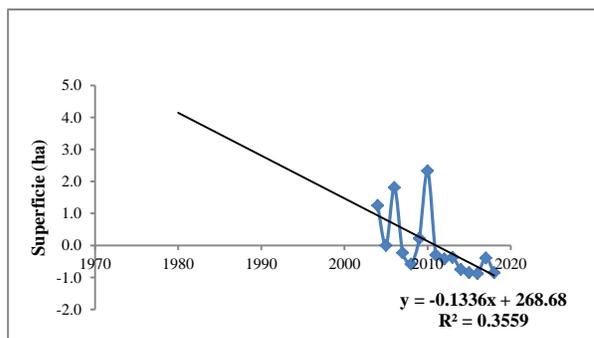
El indicador que expresa la superficie de áreas desinadas voluntariamente a la conservación ($y = -0.133$) muestra una disminución (Tabla 15 y gráfica 18); sin embargo, el número de los proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural ($y = 0.454$) han aumentado considerablemente (Tabla 15 y gráfica 19). El indicador de ingreso generado por las actividades ecoturísticas ($y = 0.360$) muestra una tendencia de aumento considerable (Tabla 15 y gráfica 20).

Tabla 15. Tendencia de los indicadores de la variable Impacto-servicios ecosistémicos culturales.

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	ISEcul13	Superficie destinada voluntariamente a la conservación (ha)	-0.133	Disminuye considerablemente ↓↓
	ISEcul14	Proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural y cultural (número)	0.454	Aumenta considerablemente ↑↑
	ISEcul16	Ingreso generado por las actividades ecoturísticas	0.360	Aumenta considerablemente ↑↑

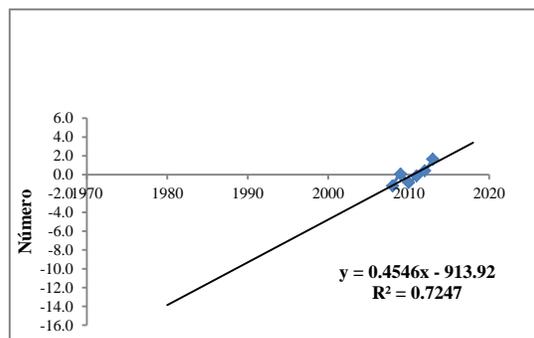
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18 Superficie destinada voluntariamente a la conservación (2004-2017)



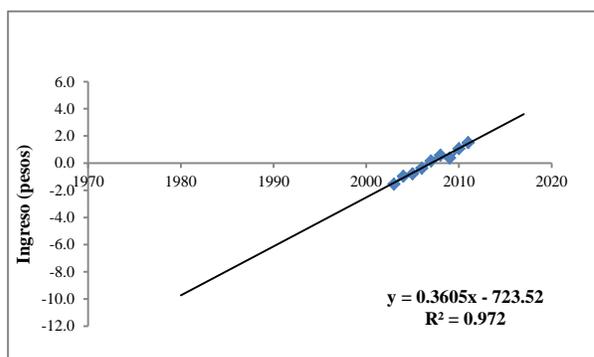
Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2015

Gráfica 19 Proyectos de conservación y aprovechamiento del patrimonio natural y cultural (2008-2013)



Fuente: Elaboración propia con base en López, 2016

Gráfica 20 Ingreso generado por actividades ecoturísticas (2002-2011)



Fuente: Elaboración propia con base en SNIARN, 2018

Impacto-Bienestar humano

De los 4 indicadores de bienestar humano 3 están relacionados con el bienestar material y uno con el bienestar humano inmaterial. Los indicadores de número de personas económicamente activa ($y= 0.254$), ingreso anual promedio que genera la población ocupada ($y= 0.350$) y porcentaje de cobertura de agua potable ($y=0.119$) tienen una tendencia de incremento considerable (Tabla 16 y gráficas 21, 22 y 23).

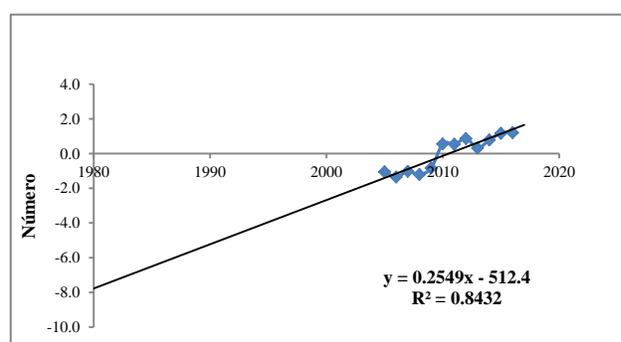
El indicador relacionado al bienestar humano inmaterial muestra una tendencia de incremento considerable, es decir que la esperanza de vida ($y= 0.081$) de la población de Oaxaca es cada vez mayor (Tabla 16 y gráfica 24).

Tabla 16. Tendencia de los indicadores de la variable Impacto-Bienestar humano

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Bienestar humano	IBh17	Población económicamente activa (número)	0.254	Aumenta considerablemente ↑↑
	IBh18	Ingreso anual promedio que genera la población ocupada (\$)	0.350	Aumenta considerablemente ↑↑
	IBh21	Cobertura de agua potable (%)	0.119	Aumenta considerablemente ↑↑
	IBh25	Esperanza de vida promedio (número de años)	0.081	Aumenta considerablemente ↑↑

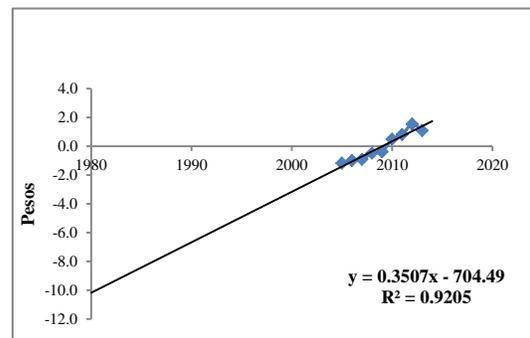
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 21 Población económicamente activa (2005-2016)



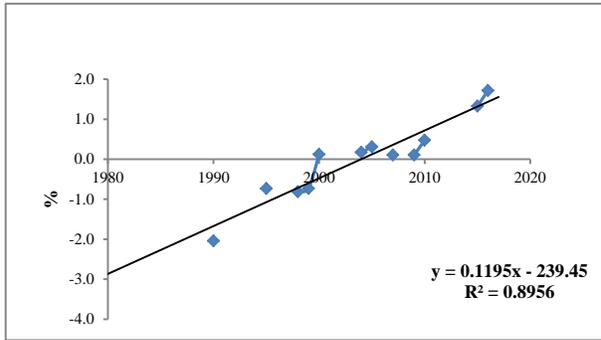
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2018

Gráfica 22 Ingreso de la población ocupada (2005-2013)



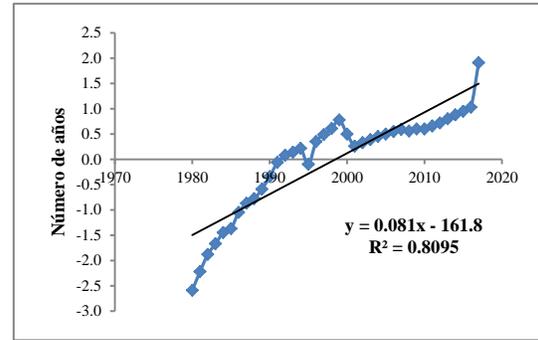
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2018

Gráfica 23 Cobertura de agua potable (1990-2016)



Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2004

Gráfica 24 Esperanza de vida (1980-2017)



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2018

Respuesta

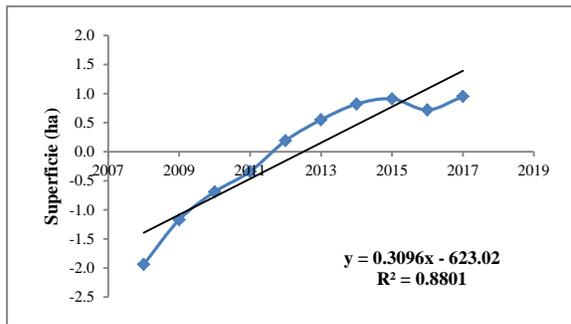
Los indicadores elegidos para medir la variable respuesta, que tiene que ver con la superficie de bosque destinada a la conservación mediante el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos ($y=0.309$) y el monto asignado ($y=0.319$) para realizar dicha actividad, ambos indicadores tienen una tendencia a incrementar considerablemente (Tabla 17 y gráficas 25 y 26).

Tabla 17. Tendencia de los indicadores de la variable respuesta

VARIABLE	ID	INDICADOR	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Respuesta	R1	Superficie de bosque destinada a la conservación con el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos (ha)	0.309	Aumenta considerablemente ↑↑
	R2	Monto asignado para la conservación de bosques con el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos (\$)	0.319	Aumenta considerablemente ↑↑

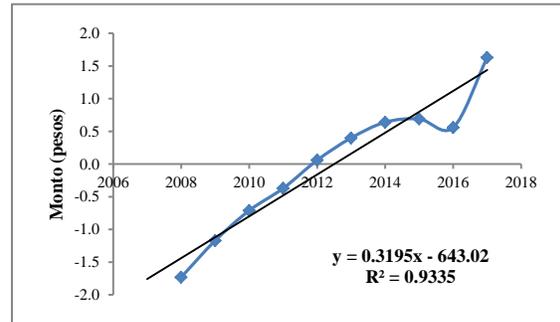
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 25 Superficie de bosque con PSAH



Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA CONAFOR, 2018

Gráfica 26 Monto asignado para la conservación de bosques mediante el PSAH



Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA CONAFOR, 2018

6.2. Tendencias de los índices agregados

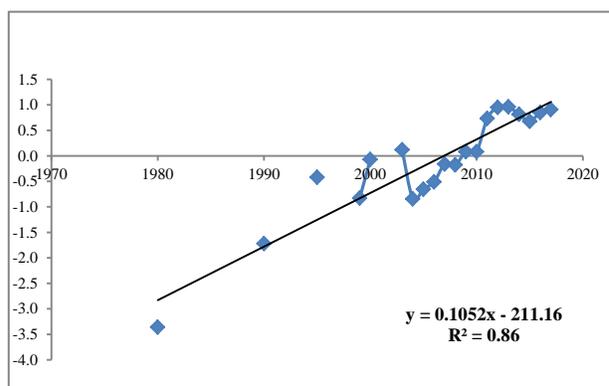
El índice agregado de los indicadores de la variable fuerzas motrices indirectas ($y= 0.105$) muestra una tendencia de aumento considerable (Tabla 18 y gráfica 27), el valor del índice agregado de las fuerzas motrices directas ($y= 0.037$) aumentó (Tabla 18 y gráfica 28), el índice agregado de la variable estado ($y= -0.021$) se mantiene estable (Tabla 18 y gráfica 29), el índice agregado de los servicios ecosistémicos de provisión ($y= -0.035$) también se mantiene estable (Tabla 18 y gráfica 30), el índice agregado de los servicios ecosistémicos de regulación ($y= 0.055$) presenta una tendencia de aumento (Gráfica 31), el índice agregado de servicios ecosistémicos culturales ($y= -0.011$) se mantiene estable (Tabla 18 y gráfica 32), el bienestar humano ($y= 0.076$) tiende a aumentar (Tabla 18 y gráfica 33) y el índice agregado de la variable respuesta ($y= 0.314$) aumentó considerablemente (Tabla 18 y gráfica 34).

Tabla 18. Tendencia de los índices agregados

VARIABLE	VALOR DE LA REGRESIÓN LINEAL (y)	TENDENCIA
Fuerzas Motrices Indirectas	0.105	Aumenta considerablemente ↑↑
Fuerzas Motrices Directas	0.037	Aumenta ↑
Estado	-0.021	Estable ↔
Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión	-0.035	Estable ↔
Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación	0.055	Aumenta ↑
Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	-0.011	Estable ↔
Impacto-Bienestar humano	0.076	Aumenta ↑
Respuesta	0.314	Aumenta considerablemente ↑↑

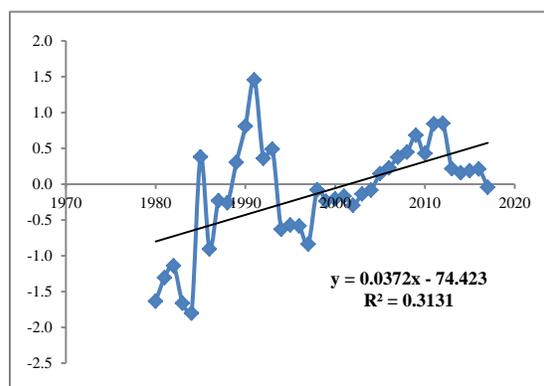
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 27 Fuerzas motrices indirectas



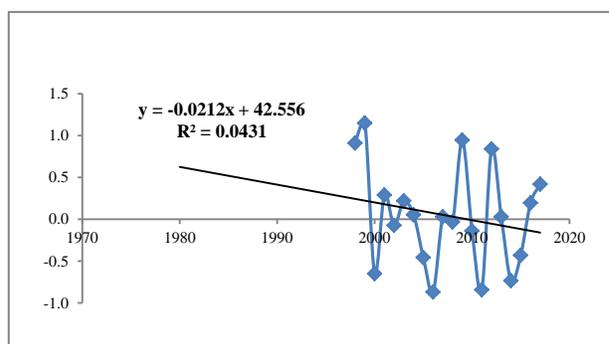
Fuente: Elaboración propia, con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 28 Fuerzas motrices directas



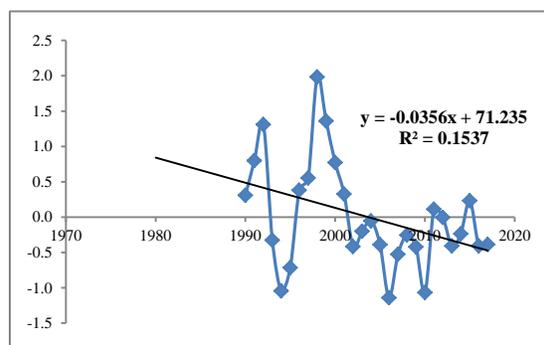
Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 29 Estado



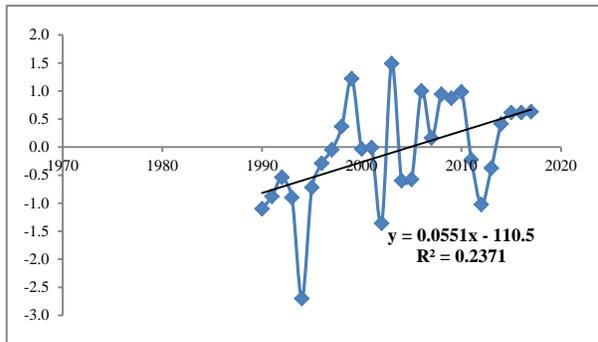
Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 30 Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión



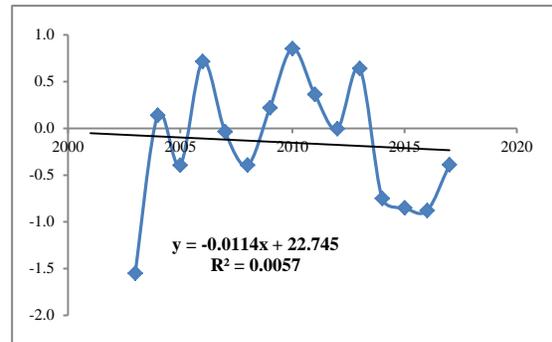
Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 31 Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación



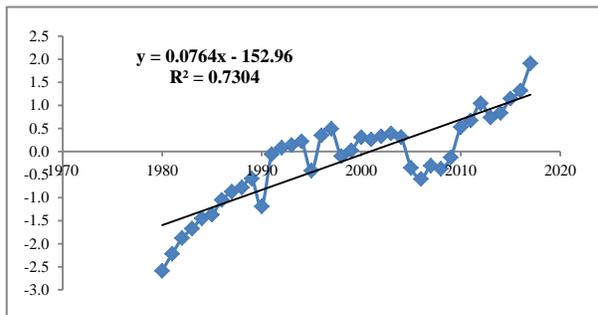
Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 32 Impacto-Servicios ecosistémicos culturales



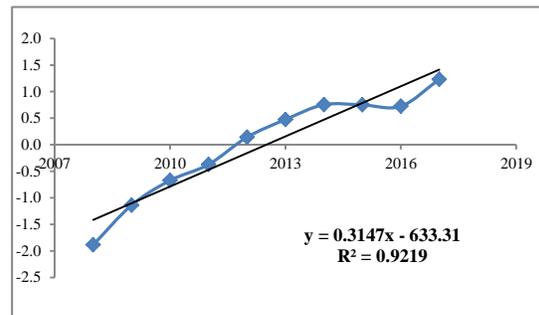
Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 33 Impacto-Bienestar humano



Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

Gráfica 34 Respuesta



Fuente: Elaboración propia con base en diferentes fuentes de información oficial

De manera general se observó que los tres indicadores de las fuerzas motrices indirectas aumentan considerablemente es decir, incrementó la población y las exportaciones de productos agrícolas como el café, los dátiles, el aguacate y la piña. El valor de la pendiente del índice agregado confirmó este resultado.

En los indicadores de las fuerzas motrices directas se encontró que la superficie que se destina a la producción agrícola incrementó considerablemente, la superficie urbana se mantuvo estable y los 3 indicadores proxy de actividad ganadera que miden la presión indirecta sobre el recurso forestal han aumentado pero no ha sido tan drástico como el indicador relacionado al cambio de uso de suelo por la agricultura. El valor de la pendiente del índice agregado corrobora que en general las fuerzas motrices directas tienden a aumentar.

En los indicadores de la variable estado se detectó una disminución considerable de los indicadores de la cobertura media del dosel de los árboles y la disponibilidad natural base media de agua lo que demuestra una la pérdida de la cubierta forestal. El indicador de superficie de selva afectada por el cambio de uso de suelo mostró una tendencia de aumento que corrobora la pérdida de la cubierta forestal, siendo este ecosistema el más afectado. No obstante el indicador de superficie de bosque afectada por el cambio de uso de suelo se mantiene estable. El índice agregado de los indicadores propone que esta variable se mantiene estable, sin embargo por las características de los indicadores y sus tendencias observamos que el estado de la cubierta forestal está disminuyendo y el ecosistema que sufre más impacto es la selva.

En general los indicadores de servicios ecosistémicos de provisión muestran que los recursos forestales maderables y el agua para consumo humano que se extrae del subsuelo están disminuyendo lo cual puede estar relacionado con la pérdida de la vegetación. Además, es posible que la producción forestal no maderable se mantenga estable porque los productos forestales no maderables no son una fuente primaria para la obtención de recursos económicos. El valor de la pendiente del índice agregado indica que esta variable se permanece estable, pero por la importancia y la tendencia de los indicadores de producción forestal maderable y el agua para consumo humano podríamos decir que esta variable está disminuyendo.

Los dos indicadores seleccionados para la variable de servicios ecosistémicos de regulación e índice agregado de esta variable coinciden en que ha aumentado. De los 3 indicadores de la variable de servicios ecosistémicos culturales el indicador de superficie destinada voluntariamente a la conservación disminuyó lo que sugiere poco interés de los propietarios de espacios naturales con potencial de conservación para someter sus propiedades a un régimen de conservación o que las superficies forestales naturales son cada vez menos. Esto puede estar relacionado con el incremento del indicador número de proyectos de conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio cultural y natural, y el aumento del ingreso generado por las actividades ecoturísticas. El aumento del primer indicador puede ser una estrategia para reducir la pérdida cubierta forestal y generar más espacios naturales de recreación disponibles para la población, incrementando las posibilidades de

generar recursos económicos entre los poseedores de estos espacios. El valor de la pendiente del índice agregado de esta variable muestra una tendencia de estabilidad.

Los cuatro indicadores de bienestar humano tienden a aumentar considerablemente, el número de pobladores económicamente activos, el ingreso de la población de este sector y la adquisición de servicios básicos como el agua potable, lo que puede provocar que la población incremente su esperanza de vida de 62 a 75 años promedio. Estas tendencias individuales coinciden con el valor de la pendiente de índice agregado que sugiere que la variable de bienestar humano tiende a aumentar.

El incremento en la tendencia de los dos indicadores de la variable respuesta indica que el esfuerzo del gobierno por conservar los recursos forestales y garantizar la disponibilidad de agua a través del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos ha aumentado y se corroboró con el valor de la pendiente del índice agregado de esta variable.

6.3. Modelo de estimación

1).- El modelo de medición

Los resultados obtenidos para la evaluación del modelo de medición fueron los siguientes: los valores de la confiabilidad compuesta (CR) de los 8 indicadores fueron mayores a 0.816 (Tabla 19), los valores del Alpha de Cronbach están por arriba de 0.650 (Tabla 19) lo que demuestra que existe una buena consistencia interna de los datos del modelo de medición. En todas las variables la varianza promedio extraída (AVE) tuvo valores superiores a 0.524, corroborando una buena validez convergente, lo que significa que la construcción explica más de la mitad de la varianza de sus indicadores.

Tabla 19. Valores para probar la consistencia interna y validez convergente

Variable	Alpha de Cronbach	Rho A	CR	AVE
Impacto-Bienestar humano	0.734	0.798	0.834	0.569
Estado	0.711	0.732	0.823	0.543
Fuerzas motrices directas	0.800	0.803	0.845	0.524
Fuerzas motrices indirectas	0.873	0.883	0.923	0.802
Respuesta	0.996	0.999	0.998	0.996
Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	0.664	0.716	0.816	0.602
Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión	0.786	0.800	0.873	0.697
Impacto-Servicios ecosistémicos regulación	0.650	0.687	0.848	0.737

Fuente: Elaboración a partir de Smart PLS 3.0

La validez discriminante que prueba la diferencia entre los constructos fue aceptable en 4 (Fuerzas motrices directas, respuesta y servicios ecosistémicos culturales y servicios ecosistémicos de regulación) de las 8 variables, lo que demuestra que un buen número de los constructos o variables son diferentes (Tabla 20).

Tabla 20. Validez discriminante

	Impacto-Bienestar humano	Estado	Fuerzas motrices directas	Fuerzas motrices indirectas	Respuesta	Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	Impacto-Servicios ecosistémicos provisión	Impacto-Servicios ecosistémicos regulación
Impacto-Bienestar humano	0.754							
Estado	0.763	0.736						
Fuerzas motrices directas	0.657	0.778	0.724					
Fuerzas motrices indirectas	0.857	0.792	0.605	0.895				
Respuesta	0.607	0.468	0.064	0.619	0.998			
Impacto-Servicios ecosistémicos culturales	0.881	0.799	0.535	0.914	0.727	0.776		
Impacto-Servicios ecosistémicos provisión	0.638	0.491	0.445	0.473	0.452	0.447	0.834	
Impacto-Servicios ecosistémicos regulación	0.848	0.640	0.593	0.691	0.545	0.688	0.879	0.858

Fuente: Elaboración a partir de Smart PLS 3.0

2).- El ajuste del modelo en general

El resultado de **NNFI** (Índice de ajuste no normalizado) fue de **0.29**, valor que se encuentra dentro del rango requerido para considerar que el modelo tiene un ajuste general aceptable.

El **GFI** (índice de bondad de ajuste) para este estudio fue de **0.6383**, lo que indica que la bondad de ajuste del modelo es buena, ya que el valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido para este índice.

Cuando el modelo de ruta cumple con la validación a nivel modelo de medición, modelo estructural y ajuste general, entonces se interpretan las hipótesis planteadas con los valores de ruta obtenidos.

3).- El modelo estructural

De acuerdo con los valores de R^2 obtenidos para las 7 variables, la variable mejor representada es la de impacto-bienestar humano ($R^2= 0.894$), seguido por las variables de impacto-servicios ecosistémicos culturales ($R^2= 0.798$) y estado ($R^2=0.781$), las medianamente representadas fueron las de fuerzas motrices directas ($R^2= 0.524$) e impacto-servicios ecosistémicos de regulación ($R^2= 0.487$) y por último las variables con los valores R^2 más bajos fueron las de fuerzas motrices indirectas ($R^2= 0.384$) y la de impacto-servicios ecosistémicos de provisión ($R^2= 0.304$). No obstante todas las variables tienen valores dentro del rango de 0 a 1 (Tabla 21), lo que significa están bien representadas por sus construcciones estructurales.

Tabla 22. Valores de los coeficientes de ruta del sistema de ecuaciones estructurales.

Variable del FPEIR	Hipótesis	Relación	Coefficiente de ruta	Valores P
Fuerzas motrices indirectas	H1	Fuerzas motrices indirectas-Fuerzas motrices directas	0.919	0.000
Fuerzas motrices directas	H2	Fuerzas motrices directas-Estado	0.751	0.000
Estado	H3	Estado- IServicios ecosistémicos de provisión	0.358	0.002
	H4	Estado- IServicios ecosistémicos de regulación	0.493	0.000
	H5	Estado- IServicios ecosistémicos culturales	0.587	0.000
Impacto	H6	IServicios ecosistémicos de provisión-IBienestar humano	-0.055	0.710*
	H7	IServicios ecosistémicos de regulación-IBienestar humano	0.527	0.017
	H8	IServicios ecosistémicos culturales-IBienestar humano	0.621	0.001
Respuesta	H9	Respuesta-Fuerzas motrices indirectas	0.619	0.000
	H10	Respuesta-Fuerzas motrices directas	-0.506	0.117*
	H11	Respuesta-Estado	0.420	0.038
	H12	Respuesta- IServicios ecosistémicos de provisión	0.284	0.048
	H13	Respuesta- IServicios ecosistémicos de regulación	0.314	0.026
	H14	Respuesta- IServicios ecosistémicos culturales	0.452	0.001
	H15	Respuesta-IBienestar humano	-0.107	0.406*

Fuente: Elaboración a partir de Smart PLS 3.0. (*)Valor no significativo $p > a 0.05$, para un nivel de significancia del 95%.

6.4. Interpretación de los coeficientes de ruta y prueba de hipótesis

Las pruebas de hipótesis se corroboraron con los valores que se obtuvieron de los coeficientes de ruta (valores β) de las 15 relaciones planteadas.

- **Fuerzas motrices indirectas \rightarrow fuerzas motrices directas ($\beta = 0.926$)**

Entre las variables fuerzas motrices indirectas y fuerzas motrices directas se encontró que existe una relación muy fuerte y positiva (Tabla 22 y figura 5) lo cual prueba el planteamiento de la hipótesis **H1** y se acepta; es decir que el incremento de los habitantes y de las exportaciones de algunos productos agrícolas como el café, piñas, dátiles y aguacate están fuertemente relacionados con el incremento de la superficie agrícola y urbana y la producción ganadera.

- **Fuerzas motrices directas→estado ($\beta= 0.751$)**

La relación fuerte y positiva entre estas variables (Tabla 22 y figura 5) sugiere que el incremento de la superficie agrícola y urbana y, el aumento de la actividad ganadera indican fuertemente en la disminución de la cobertura media del dosel de los árboles, la disminución de la disponibilidad media de agua y el aumento de la pérdida de la superficie de los ecosistemas de selva y bosque. Estos resultados permiten aceptar el planteamiento de la hipótesis **H2**.

- **Estado→Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión ($\beta= 0.358$)**

El valor del coeficiente de ruta muestra una relación positiva y débil entre ambas variables, lo que significa que el aumento de la pérdida de la cobertura del dosel de los árboles y la disponibilidad media de agua, así como el aumento de la pérdida de los ecosistemas de bosque y selvas por el cambio de uso de suelo influyen en la disminución de la producción forestal maderable y la extracción de agua para consumo humano, así mismo en la producción forestal no maderable que se mantiene estable. Estos resultados aceptan parcialmente el planteamiento de la hipótesis **H3**. Esta relación débil puede deberse a que no todos los indicadores de los servicios ecosistémicos de provisión disminuyen.

- **Estado→ Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación ($\beta= 0.494$)**

El resultado demuestra que existe una relación positiva y moderada entre la variable estado y servicios ecosistémicos de regulación, es decir que el aumento de la pérdida de la cobertura del dosel de los árboles y la disponibilidad media de agua, así como la pérdida de los ecosistemas de bosque y selvas aumentan el volumen de agua almacenada por las principales presas de la entidad y la recarga de los acuíferos (Tabla 22 y figura 5). Sin embargo este resultado es contrario al planteamiento de la **H4**, ya que se esperaba que los indicadores de servicios ecosistémicos de regulación disminuyeran y no que aumentaran.

- **Estado→Impacto-Servicios ecosistémicos culturales ($\beta= 0.587$)**

El resultado obtenido muestra que el aumento de la pérdida de la cobertura del dosel de los árboles y la disponibilidad media de agua, así como la pérdida de los ecosistemas de bosque y selvas por el cambio de uso de suelo inciden moderada y positivamente en la disminución en la superficie destinada voluntariamente a la conservación, incremento en el número de proyectos de conservación del patrimonio natural y aumento en el ingreso generado por las actividades ecoturísticas. Sin embargo, el planteamiento de la hipótesis **H5** es que la pérdida de la variable estado reduce los servicios ecosistémicos culturales y el resultado demostró lo contrario. Solo el indicador de superficie destinada voluntariamente a la conservación de la variable de servicios ecosistémicos culturales está disminuyendo.

- **Impacto-Servicios ecosistémicos de provisión→Impacto-bienestar humano ($\beta=-0.055^*$)**

El valor obtenido se interpreta como una relación negativa, débil y no significativa (Tabla 21), es decir, la disminución de la producción forestal maderable y la extracción del agua para consumo humano no están relacionadas con en el incremento de la población económicamente activa, el ingreso anual promedio, el porcentaje de la cobertura de agua potable y la esperanza de vida de los pobladores. Por lo tanto, el planteamiento de la hipótesis **H6** se rechaza.

- **Impacto-Servicios ecosistémicos de regulación→Impacto-bienestar humano ($\beta= 0.527$)**

Aunque el planteamiento hipotético de esta relación fue que el incremento de la pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación disminuiría el bienestar de la población. El resultado demuestra que el aumento del volumen de agua almacenada en las principales presas y la recarga media de agua de los acuíferos influyen positiva y moderadamente en el incremento de los cuatro indicadores de bienestar humano (población económicamente activa, el ingreso anual promedio, el porcentaje de la cobertura de agua potable y la esperanza de vida de los pobladores). Es decir el incremento de la variable de servicios

ecosistémicos de regulación provoca un aumento en el bienestar de la población de Oaxaca (Tabla 22 y figura 5). Por lo tanto la se rechaza la **H7**.

- **Impacto-Servicios ecosistémicos culturales → Impacto-bienestar humano ($\beta=0.621$)**

El valor obtenido muestra una relación fuerte y positiva entre los indicadores de disminución de las superficies destinadas voluntariamente a la conservación, incremento del número de proyectos destinados a la conservación, aumento del ingreso generado por las actividades ecoturísticas y el incremento de los cuatro indicadores de bienestar humano. Por lo anterior, la hipótesis **H8** se rechaza, ya que el planteamiento fue que la pérdida de los servicios ecosistémicos culturales provocaría una disminución en el bienestar humano.

- **Respuesta → fuerzas motrices indirectas ($\beta= 0.620$)**

El resultado obtenido (Tabla 22 y figura 5) indica una relación fuerte y positiva entre el incremento de la variable respuesta (superficie de bosque destinado a la conservación con el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos y monto destinado para llevar a cabo esta acción) y el incremento de la variable fuerzas motrices indirectas (exportación de algunos productos agrícolas y el número de habitantes). Por lo cual se rechaza el planteamiento de la hipótesis **H9**, ya que se planteó que el incremento de la respuesta disminuiría las fuerzas motrices indirectas.

- **Respuesta → fuerzas motrices directas ($\beta= -0.506^*$)**

El valor obtenido muestra una relación negativa, débil y no significativa (Tabla 22 y figura 5), lo cual significa que no existe relación entre la variable respuesta y fuerzas motrices directas, por lo tanto el planteamiento de la hipótesis **H10** se rechaza.

- **Respuesta→estado ($\beta= 0.425$)**

El resultado sugiere que el aumento de la superficie de bosque destinada a la conservación con el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos y el monto destinado al programa influyen positivamente (Tabla 22 y figura 5) en la disminución de la cobertura del dosel de los árboles, la reducción de la disponibilidad media de agua, así como el aumento de la pérdida de los ecosistemas de bosque y selvas por el cambio de uso de suelo. Por lo cual se rechaza la hipótesis **H11** en la que se planteó que el aumento de la respuesta disminuiría la pérdida de la variable estado.

- **Respuesta→Servicios ecosistémicos de provisión ($\beta= 0.284$)**

El valor (Tabla 21 y figura 5) demuestra que el incremento de los indicadores de la variable respuesta incide débil y positivamente en el aumento de la reducción de la producción forestal maderable, la disminución de la extracción del agua para consumo humano y la no pérdida de la producción forestal no maderable. Lo anterior permite rechazar la hipótesis **H12** ya que se planteó que el aumento de la respuesta ayudaría a reducir la pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación.

- **Respuesta→Servicios ecosistémicos de regulación ($\beta= 0.315$)**

El resultado muestra que el incremento de los indicadores de la variable respuesta incide débil y positivamente en el incremento de la pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación. Por lo tanto la hipótesis **H13** se rechazó, ya que se planteó que el incremento de la variable respuesta reduciría la pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación.

- **Respuesta→Servicios ecosistémicos culturales ($\beta= 0.452$)**

El valor obtenido (Tabla 21 y figura 8) demuestra que el incremento de los indicadores de la variable respuesta influye positivamente y fuertemente en el incremento de los servicios

ecosistémicos culturales. La hipótesis **H14** se rechazó, ya que se proyectó que el aumento de la variable respuesta disminuiría la pérdida de los servicios ecosistémicos culturales.

- **Respuesta → Bienestar humano ($\beta = -0.108$)**

El valor obtenido nos indica que existe una relación negativa, débil y no significativa es decir que los indicadores de la variable respuesta no se relacionan con bienestar humano. Por lo cual se rechaza el planteamiento de la hipótesis **H15**.

En resumen el incremento de las fuerzas motrices indirectas (desarrollo social, económico y demográfico) provocan un aumento de las fuerzas motrices directas (superficie agrícola, urbana y ganadera). A su vez el incremento de estas influye en el aumento de la pérdida de la cubierta forestal, principalmente en las superficies de selva. Sin embargo los resultados muestran que la disminución en las superficies boscosas solo afectan negativamente a los servicios de provisión (disminuye la producción de madera y el porcentaje de agua que se extrae para el consumo humano) y a un solo indicador de los servicios culturales (disminuye la superficie de bosque destinada voluntariamente a la conservación), no hubo efecto negativo en los servicios ecosistémicos de regulación y en 2 de 3 indicadores de los servicios ecosistémicos culturales (número de proyectos de conservación del patrimonio natural y el ingreso generado por las actividades ecoturísticas) ya que estas tuvieron una tendencia de incremento. Por lo tanto la no alteración de los servicios ecosistémicos de regulación y culturales no provoco una disminución del bienestar humano. Además no se encontró una relación entre la variable de servicios ecosistémicos de provisión y el bienestar humano.

Se observó que el incremento de la variable respuesta no logra reducir las fuerzas motrices indirectas, no hay una relación con las fuerzas motrices directas (cambio de uso de suelo provocado por el incremento de la superficie agrícola, urbana y ganadera), no ha logrado reducir la pérdida de la cubierta forestal (principalmente la superficie de selva) y de los servicios ecosistémicos de provisión (producción forestal maderable y cantidad de agua extraída para el consumo humano) y ha beneficiado en el incremento de los servicios

ecosistémicos de regulación y culturales. Por último no se encontró una relación entre la variable respuesta y el bienestar humano.

Capítulo 7

7.1. Discusión

El modelo FPEIR es un marco conceptual útil con el cual es posible explorar y explicar complejas relaciones de un sistema socio ecológico como el bosque, en donde las acciones humanas alteran el estado del ecosistema y a su vez la capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos indispensables para una sociedad. Bajo esta premisa, es posible analizar las interacciones entre los elementos que integran el sistema ambiental y las actividades socioeconómicas empleando indicadores reales que puedan ser medibles y generen resultados fáciles de comunicar. El modelo conceptual FPEIR es un marco que permite realizar análisis de problemáticas ambientales de manera integral. Sin embargo, su uso para análisis cuantitativos aun es escaso, en la mayoría de los casos se emplea este marco conceptual para análisis de tipo cualitativo. Además, este marco ha sido poco empleado en el análisis de ecosistemas terrestres y particularmente en sistemas forestales. Aunado a lo anterior pocos estudios han combinado el uso del marco teórico FPEIR y el sistema de ecuaciones estructurales en el análisis de problemáticas ambientales. Apenas estudios como el de Wei et al. (2019), Sun et al. (2018), Santos-Martin et al. 2013 y Tsai et al. (2009) realizaron estudios combinando ambas herramientas de análisis; sin embargo, estos estudios son en temas no relacionados al bosque, lo cual no permite efectuar una comparación profunda de los resultados obtenidos.

Los resultados del análisis de las interacciones del sistema forestal de Oaxaca muestran que los factores de cambio **indirectos y directos** están fuertemente relacionados y este hallazgo coincide con los de Díaz et al. (2018) y Santos-Martin et al. (2013). En ambos estudios se detectó que el incremento demográfico y económico trae como consecuencia la expansión de la mancha urbana y la superficie agrícola, ya que los humanos requieren satisfacer sus necesidades de casa y alimento. Así mismo, los resultados coinciden con el hallazgo de Goll et al. (2014) de que las fuerzas motrices indirectas están relacionadas con el

crecimiento demográfico, la expansión agrícola y la planificación insostenible del uso de la tierra.

La relación fuerte y positiva encontrada entre las **fuerzas motrices directas y el estado** corrobora lo observado por Sarmin et al. (2016) quienes detectaron que el cambio de uso de es la principal presión que promueve la deforestación. En el contexto oaxaqueño, Durán et al. (2007) encontraron que la pérdida de la cubierta forestal en la entidad está relacionada principalmente con la expansión de las áreas de cultivo y los pastizales, lo cual es resultado de la promoción que el gobierno hace a la siembra de agave mezcalero y la ganadería. A su vez, autores como Chazdon (2008), Roura-Pascual et al. (2009), CONAFOR (2014), Briones-Salas y González (2016) reportan que actividades como la ganadería, la tala clandestina y la urbanización provocan disturbios en los ecosistemas. Por lo tanto, se corrobora el planteamiento de Ehara et al. (2018) de que al obtener un bien o servicio de un ecosistema se alteran sus características físicas, químicas y biológicas o el sistema en general.

En la relación entre **el estado de las cubiertas forestales y los servicios ecosistémicos** que brindan los bosques, encontramos que la reducción de la superficie de cubierta forestal, principalmente de las selvas reduce los servicios ecosistémicos de provisión (producción de madera proveniente de coníferas, latifoliadas y maderas tropicales) y esto coincide con lo encontrado por Sarmin et al. (2016) de que el aumento de la deforestación y la degradación reducen los servicios ecosistémicos productivos. Sin embargo, la reducción de la cubierta forestal no incide en la reducción de los servicios ecosistémicos de regulación y culturales. El planteamiento en general de la relación entre las variable estado y su impacto en los servicios ecosistémicos no coincide con el planteamiento de Santos-Martin et al. (2013) de que la variable estado incide en el cambio de los servicios ecosistémicos.

No obstante, esta relación coincide con lo propuesto por Kandziora et al. (2013) de que el estado de un ecosistema puede ser descrito por sus estructuras, procesos biofísicos y funciones, los cuales son la base para la provisión de los servicios ecosistémicos y que en combinación con otros insumos pueden producir bienestar humano. Por lo anterior, los servicios ecosistémicos están fuertemente relacionados con los humanos.

Hou et al. (2014) plantean que la mejora tecnológica en la agricultura aumenta la productividad agrícola e incrementa el ingreso de los residentes rurales, lo que desata una mejora en su vida y bienestar humano. Este planteamiento puede estar relacionado con el resultado de la no afectación de los servicios ecosistémicos a pesar de la disminución de la superficie de cubierta forestal provocada por actividades como el incremento de la infraestructura agrícola, lo cual no produce un efecto negativo en el bienestar humano de la población.

Así mismo, con base en los resultados de las relaciones entre la variable **respuesta y las variables fuerzas motrices indirecta, directa, estado e impacto** formulamos los siguientes supuestos: la política de conservación por medio del PSAH no incide en las fuerzas motrices indirectas y ha reducido muy poco las directas. Estos resultados coinciden con los resultados de Díaz et al. (2018) y Santos-Martin et al. (2013), ya que ellos hallaron que los esfuerzos políticos se centran más en frenar las fuerzas motrices directas que promueven un cambio que en las fuerzas motrices indirectas. Según los objetivos del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos se esperaría que se esté conservando más superficie de bosque y, por ende, se reduzca el área de producción agrícola y ganadera, pero los resultados demuestran lo contrario. Esto puede deberse a que los costos de oportunidad de la tierra son mayores en tierras de producción que en las tierras destinadas a la conservación mediante el PSA (Perevochtchikova y Ochoa, 2012), por lo cual el programa no ha logrado incidir significativamente en las fuerzas motrices directas. Además, esto se debe a que el programa no logra los objetivos de conservación, ya que no se promueve una verdadera participación social, una reinversión para el bosque y no se alcanzan los costos de oportunidad que brindan otros tipos de uso del suelo (Perevochtchikova y Ochoa, 2012 y Perevochtchikova y Vázquez, 2012). Según Perevochtchikova y Vázquez (2012), algunas áreas que se seleccionan para participar en este programa se encuentran dentro de áreas naturales protegidas, son zonas con alto índice de marginalidad y coincide en que son zonas del territorio muy altas, cuya densidad poblacional es muy baja. Lo anterior significa que son espacios en donde no ha habido alto grado de intervención humana y no es necesario incidir en la reducción de las fuerzas motrices porque el impacto humano es mínimo. También puede ser que los esfuerzos gubernamentales por reducir las fuerzas motrices directas son muy recientes e insuficientes

y es necesario dar continuidad y reforzar los programas (Koleff et al., 2012). Cabe resaltar que en este estudio se detectó que el ecosistema de selva es el más afectado por el cambio de uso de suelo y que el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos es una estrategia de conservación que se aplica principalmente en bosques húmedos y templados y poco en las áreas de selva. Por lo tanto, este ecosistema es el más vulnerable ante las presiones antropogénicas. Por lo cual, es importante poner principal énfasis en el manejo de estos ecosistemas.

A pesar de que este es un primer estudio a escala estatal para analizar las relaciones complejas entre la parte social y ambiental de un sistema, cuya problemática central es la pérdida de la cubierta forestal, los resultados nos dan una idea de cómo se comportan las variables socio ambientales y reconocer cuales son las debilidades del manejo de los recursos forestales. Con este análisis se observa que el gobierno debe poner especial énfasis en las fuerzas motrices indirectas y directas, ya que son las principales fuerzas que ejercen un cambio en las cubiertas forestales.

7.2. Conclusiones

Este estudio es un primer acercamiento de análisis integral de las relaciones complejas que se presentan entre la naturaleza y el sistema social mediante un planteamiento teórico como el FPEIR y su evaluación con SEM. Por lo cual, nos da un panorama general de cómo se está comportando el sistema socioecológico forestal de Oaxaca.

Los resultados corroboran que el incremento de la población demanda recursos naturales para satisfacer las necesidades de alimento y protección y promueve el cambio de uso de suelo. Esto genera una reducción en la superficie de las áreas forestales, principalmente las selvas y, a su vez, solo se afectan negativamente los servicios ecosistémicos de provisión. En el caso de los servicios de provisión, se reduce la producción forestal maderable y el agua para consumo humano. Sin embargo, no se afectan significativamente los servicios ecosistémicos de regulación y culturales; en el caso de este último servicio, solo se reducen las superficies destinadas voluntariamente a la conservación. Por lo tanto, el bienestar humano de la población de Oaxaca no sufre alteraciones negativas.

La respuesta del gobierno para reducir la pérdida de la cubierta forestal y garantizar la filtración del agua, a través del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos no ha sido tan eficiente como se esperaba, ya que la alta demanda de las áreas forestales para la producción agrícola y ganadera siempre es mayor que las respuestas para minimizar los impactos de estos requerimientos. También se observó que la baja incidencia del programa en los ecosistemas de selvas vuelve a estos espacios vulnerables a sufrir cambios negativos en su estado. Pese a lo anterior, no significa que el PSAH no esté ayudando a reducir el cambio negativo en las cubiertas forestales. Por lo cual, es importante hacer una planificación del uso de la tierra para guiar las fuerzas motrices directas de cambio y minimizar el impacto en el estado de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que requiere la humanidad.

Asimismo, este estudio corroboró que las fuerzas motrices indirectas y directas que impactan las funciones ecológicas de los bosques y consecuentemente los servicios ecosistémicos son dos aspectos importantes que se deben considerar a la hora de desarrollar estrategias y objetivos del manejo sustentable de los ecosistemas.

Además, los resultados de las tendencias de los indicadores relacionados al agua, muestran que a pesar de que se está reduciendo el agua disponible para consumo humano la cobertura del servicio de distribución está aumentando, pero esto no quiere decir que la población esté recibiendo agua suficiente para sus actividades domésticas. Esto permite hacer una propuesta al gobierno de que debe poner más énfasis en el tema de la pérdida de la filtración del agua por la reducción de la cubierta forestal que estar invirtiendo en infraestructura hidráulica que no servirá sin un recurso que distribuir.

7.3. Alcances de la investigación

- Este estudio sirve para incentivar al gobierno a generar estrategias de conservación que se centren en reducir las fuerzas motrices directas e indirectas que generan impactos negativos en los ecosistemas.

- Con este estudio, se demuestra al gobierno que el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos debe considerar todos los ecosistemas, ya que los que no se protegen bajo esta estrategia sufren altas presiones antropogénicas.
- Este estudio, sugiere al gobierno que el monto para la protección sea muy similar al de la producción para que los costos de oportunidad sean los mismos y los poseedores de la tierra no prefieran el cambio de uso de suelo para la producción.

7.4. Recomendaciones

- Para analizar de manera general las relaciones socio ambientales cuantitativamente empleando el marco conceptual FPEIR se deben usar datos de serie de tiempo largas, para tener tamaño de muestra lo más grande posible. Por lo anterior, es necesario tener registros anuales correctos para lograr análisis integrales completos y que generen propuestas adecuadas para el manejo de los recursos naturales.
- Realizar un análisis más exhaustivo de la efectividad del PSAH para conocer si se ha incrementado la cantidad de agua filtrada al subsuelo y si han incrementado los caudales de los ríos cercanos a las áreas bajo protección.
- Tratar de proteger una cuenca completa para valorar su efectividad de producción de agua antes y después bajo el concepto integral de cuenca.

7.5. Limitaciones

- Encontrar indicadores similares a los que propone la literatura con series de tiempo completas.
- Escasas referencias bibliográficas que empleen el modelo conceptual FPEIR para analizar problemáticas ambientales de ecosistemas de bosques.
- Escasos artículos que usen el modelo conceptual FPEIR y el sistema de ecuaciones estructurales.

7.6. Referencias bibliográficas y anexos

- Anderies, J., Janssen, M., & Ostrom, E. (2004). A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and society*, 9(1).
- Arriaga, R. A., Echeverria, C. M., and Moya, D. E. (2016). Creating protected areas on public lands: is there room for additional conservation?. *PloS one*, 11(2), e0148094.
- Arriagada, R. A., Sills, E. O., Ferraro, P. J., and Pattanayak, S. K. (2015). Do payments pay off? Evidence from participation in Costa Rica's PES program. *PLoS One*, 10(7), e0131544.
- Atlas de la complejidad económica de México (ACEM), 2018 consultado el 12 de septiembre del 2018 en: <https://datos.gob.mx/complejidad/>
- Bagozzi, R. P., and Yi, Y. (2012). Specification, evaluation, and interpretation of structural equation models. *Journal of the academy of marketing science*, 40(1), 8-34.
- Balvanera, P., and Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, (84-85).
- Bastian, O., Haase, D., and Grunewald, K. (2012). Ecosystem properties, potentials and services—The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological indicators*, 21, 7-16.
- Basurto, X., Gelcich, S., and Ostrom, E. (2013). The social–ecological system framework as a knowledge classificatory system for benthic small-scale fisheries. *Global Environmental Change*, 23(6), 1366-1380.
- Berkes, F. and Folke, C. (1998). *Linking social and ecological systems. Management practices and social mechanisms for building resilience*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Binder, C., Hinkel, J., Bots, P., and Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(4).
- Börner, J., Kis-Katos, K., Hargrave, J., and König, K. (2015). Post-crackdown effectiveness of field-based forest law enforcement in the Brazilian Amazon. *PLoS One*, 10(4), e0121544.

- Bowers M.A., and Matter, S.F. (1997). Landscape ecology of mammals: relationships between density and patch size, *Journal of Mammalogy*, 78(4), pp. 999-1013.
- Bray, D. B., y Merino-Pérez, L. (2004). La experiencia de las comunidades forestales en México: veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias. Instituto Nacional de Ecología.
- Bray, D. B., y Merino-Pérez, L. (2007). Los bosques comunitarios de México: manejo sustentable de paisajes forestales. Instituto Nacional de Ecología.
- Bray, D. B., Merino, L., y Barry, D. (2004). Los bosques comunitarios de México. Logros y desafíos. Ford Foundation, Mexico City.
- Briones-Salas M., y González G. (2016). Ecología poblacional de *Heteromys pictus* (Rodentia: Heteromyidae), en un bosque tropical caducifolio con perturbación humana, en la costa de Oaxaca, México, *Revista de Biología Tropical*, 64 (4), pp.1415-1429.
- Burkhard, B., Petrosillo, I., and Costanza, R. (2010). Ecosystem services—bridging ecology, economy and social sciences.
- Chazdon R.L. (2008). Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands, *Science*, 320, pp.1458-1460.
- Cinner, J. E., McClanahan, T. R., MacNeil, M. A., Graham, N. A., Daw, T. M., Mukminin, A., ... and Campbell, S. J. (2012). Comanagement of coral reef social-ecological systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(14), 5219-5222.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), 2004, Estadísticas del Agua en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), 2015, Estadísticas del Agua en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), 2018 consultado en <https://www.gob.mx/conagua>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2014, Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) 2014-2018, Diario Oficial de la Federación, Publicado el 28 de Abril de 2014.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2018, consultado el 30 de septiembre del 2018 en: <https://www.gob.mx/conafor>
- Corona, R., Galicia, L., Palacio-Prieto, J. L., Bürgi, M., and Hersperger, A. (2016). Local deforestation patterns and driving forces in a tropical dry forest in two municipalities of southern Oaxaca, Mexico (1985-2006). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2016(91), 86-104.
- Costanza, R., Wilson, M. A., Troy, A., Voinov, A., Liu, S., and D'Agostino, J. (2006). The value of New Jersey's ecosystem services and natural capital.
- Costedoat, S., Corbera, E., Ezzine-de-Blas, D., Honey-Rosés, J., Baylis, K., and Castillo-Santiago, M. A. (2015). How effective are biodiversity conservation payments in Mexico?. *PloS one*, 10(3), e0119881.
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J and Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21-28.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., and Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- de la Federación, D. O. (1998). Secretaria de Medio Ambiente. Acuerdo que establece los lineamientos para el otorgamiento de subsidios, destinados a promover el Desarrollo Forestal. Lunes 24 de agosto.
- de la Federación, D. O. (2002). Secretaria de Medio Ambiente. Acuerdo que establece las Reglas de Operación para el otorgamiento de apoyos del Programa de Desarrollo Forestal. Jueves 14 de marzo.
- de la Federación, D. O. (2007). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo por el que se expiden las reglas de operación del Programa ProÁrbol de la Comisión Nacional Forestal. Martes 20 de febrero.
- de la Federación, D. O. (2013). Gobierno de la República. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018. Lunes 20 de mayo.

- Del Ángel Mobarak, G. A., y Mobarak, G. A. D. Á. (2012). La Comisión Nacional Forestal en la historia y el futuro de la política forestal en México (No. 333.7516 C64). Comisión Nacional Forestal (México).
- Díaz, M. E., Figueroa, R., Alonso, M. L. S., and Vidal-Abarca, M. R. (2018). Exploring the complex relations between water resources and social indicators: The Biobío Basin (Chile). *Ecosystem Services*, 31, 84-92.
- Díaz-Gallegos, J. R., Mas, J. F., and Velázquez, A. (2010). Trends of tropical deforestation in Southeast Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 31(2), 180-196.
- Duran E., Gopar F., Velázquez A., López F., Larrazabal A., y Medina C. (2007). Análisis de cambio en las coberturas de Vegetación y Usos del Suelo en Oaxaca. en II Simposio Biodiversidad de Oaxaca. Oaxaca, México (Vol. 25).
- Ehara, M., Hyakumura, K., Kurosawa, K., Araya, K., Sokh, H., and Kohsaka, R. (2018). Addressing Maladaptive Coping Strategies of Local Communities to Changes in Ecosystem Service Provisions Using the DPSIR Framework. *Ecological Economics*, 149, 226-238.
- Engel, S., Pagiola, S., & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological economics*, 65(4), 663-674.
- Escobedo Portillo, M. T., Hernández Gómez, J. A., Estebané Ortega, V., y Martínez Moreno, G. (2016). Modelos de ecuaciones estructurales: características, fases, construcción, aplicación y resultados. *Ciencia y trabajo*, 18(55), 16-22.
- García Hernández, J. (2017). La deforestación en el sistema socio-ecológico forestal de Oaxaca 1990-2015: evaluación de la respuesta gubernamental. Tesis de maestría en ciencias en desarrollo regional. Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- García-Mendoza, A. J., Díaz, M. D. J. O., y Briones-Salas, M. (Eds.). (2004). Biodiversidad de Oaxaca. UNAM.
- García-Romero, A., Montoya, Y., Ibarra, M. V., y Garza, G. G. (2010). Economía y política en la evolución contemporánea de los usos del suelo y la deforestación en México: el caso del Volcán Cofre de Perote. *Interciencia*, 35(5).

- Goll, I. I., Nick, B., Li, J., McKay, J., and John, S. (2014). Analysis on the causes of deforestation and forest degradation in Liberia: application of the DPSIR framework. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 2(3), 20-30.
- Gómez-Mendoza, L., Vega-Peña, E., Ramírez, M. I., Palacio-Prieto, J. L., and Galicia, L. (2006). Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Applied Geography*, 26(3-4), 276-290.
- Hou, Y., Zhou, S., Burkhard, B., and Müller, F. (2014). Socioeconomic influences on biodiversity, ecosystem services and human well-being: a quantitative application of the DPSIR model in Jiangsu, China. *Science of the Total Environment*, 490, 1012-1028.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1996, Cuaderno estadístico municipal y delegacional
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018 consultado el 17 de septiembre del 2018 en: <https://www.inegi.org.mx/>
- Kandziora, M., Burkhard, B., and Müller, F. (2013). Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological Indicators*, 28, 54-78.
- Kelble, C. R., Loomis, D. K., Lovelace, S., Nuttle, W. K., Ortner, P. B., Fletcher, P., ... and Boyer, J. N. (2013). The EBM-DPSER conceptual model: integrating ecosystem services into the DPSIR framework. *PloS one*, 8(8), e70766.
- Koleff, P., Urquiza-Haas, T., and Contreras, B. (2012). Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Laterra, P., Barral, P., Carmona, A., y L. Nahuelhual. (2015). ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. <http://eco-ser.com.ar/>
- Leslie, H. M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., ... and Nagavarapu, S. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201414640.

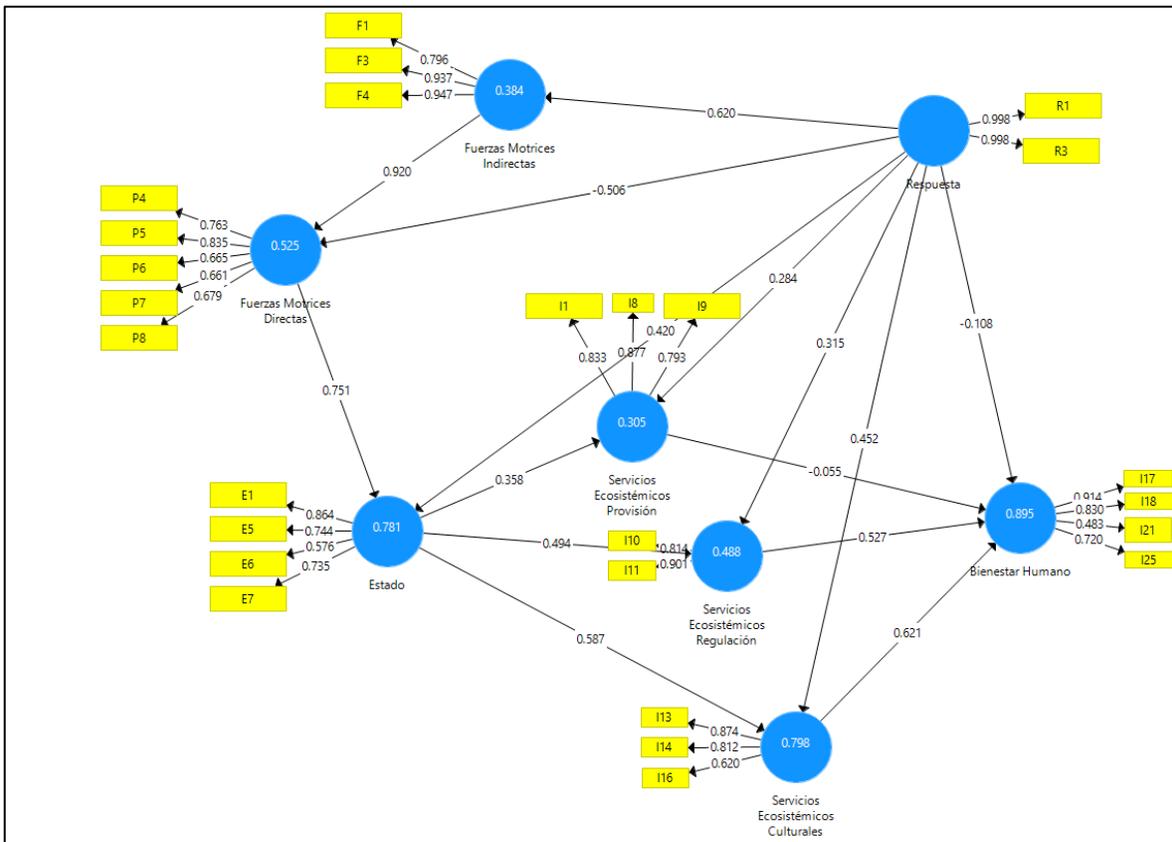
- López, M.R. D. (2016). Diagnóstico de la Cadena de Valor Ecoturismo en las Regiones de Oaxaca. Recuperado de <http://www.coplade.oaxaca.gob.mx>
- Madrid, L., Núñez, J. M., Quiroz, G., y Aldabe, Y. R. (2009). La propiedad social forestal en México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 1(2).
- Maxim L, Spangenberg J.H, and O'Connor M. (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework, *Ecological Economics*, 69, pp.12–23.
- McGinnis, M., and Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2).
- Meave, J. A., Romero-Romero, M. A., Salas-Morales, S. H., Pérez-García, E. A., y Gallardo-Cruz, J. A. (2012). Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Merino-Pérez, L. (2004). Conservación o Deterioro: El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en las prácticas de uso de los recursos forestales. Instituto Nacional de Ecología.
- Micheli, J. (2002). Política ambiental en México y su dimensión regional. *Región y sociedad*, 14(23), 129-170.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC.
- Montes, C., y Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Revista Ecosistemas*, 16(3).
- Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M., and Braña, J. (2008). Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological economics*, 65(4), 725-736.
- Ordoñez J.M y Rodríguez P. (2008). Oaxaca, el estado con mayor diversidad biológica y cultural de México, y sus productores rurales, *Ciencias*, 91, pp. 55-64.
- Perevochtchikova, M., y Ochoa, T. M. (2012). Avances y limitantes del programa de pago de servicios ambientales hidrológicos en México, 2003-2009. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(10), 89-112.

- Perevochtchikova, M., and Vázquez, A. (2012). The federal program of payment for hydrological environmental services as an alternative instrument for integrated water resources management in Mexico City. *The Open Geography Journal*, 5, 35-46.
- Porta, J., and Poch, R. M. (2011). DPSIR analysis of land and soil degradation in response to changes in land use. *Spanish Journal Soil Science*, 1, 100-115.
- Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M., Musálem-Castillejos, K., Savelli, E. N., y Gómez-Pineda, E. (2014). Estrategias para una construcción social de la restauración forestal en comunidades de la cuenca media y alta del río Grijalva. *Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva.*, Editorial Juan Pablos, Mexico City, 518-554.
- Rebaudo, F., y Dangles, O. (2014). Un modelo socio-ecológico para establecer escenarios de dinámica de bofedales frente a los cambios globales. *Ecología en Bolivia*, 49(3), 141-153.
- Robalino, J., Sandoval, C., Barton, D. N., Chacon, A., and Pfaff, A. (2015). Evaluating interactions of forest conservation policies on avoided deforestation. *PLoS One*, 10(4), e0124910.
- Roth Deubel, André-Noël. (2002). Políticas públicas. Formulación, implementación y evaluación. Bogotá: Aurora
- Roura-Pascual N., Richardson D.M., Krug R.M., Brown A., Chapman R.A., Forsyth G.G., Le Maitre D.C., Robertson M.P., Stafford L., Van Wilgen B.W., Wannenburg A., and Wessels N., (2009). Ecology and management of alien plant invasions in South African fynbos: accommodating key complexities in objective decision making, *Biological Conservation*, 142(8), pp.1595-1604.
- Santos-Martín F., Martín-López B., García-Llorente M., Aguado M., Benayas J., and Montes C. (2013). Unraveling the relationships between ecosystems and human wellbeing in Spain, *PLoS One*, 8(9), e73249.
- Sarmin, N. S., Hasmadi, I. M., Pakhriazad, H. Z., and Khairil, W. A. (2016). The DPSIR framework for causes analysis of mangrove deforestation in Johor, Malaysia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 6, 214-218.

- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H., and Müller, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of psychological research online*, 8(2), 23-74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2018. Consultado el 10 de octubre del 2018 en : <http://www.sagarpa.mx>
- Secretaría de Educación Pública (SEP). 2018, consultado el 17 de noviembre del 2018 en <https://www.gob.mx/sep>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006, *La Gestión Ambiental en México*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Programa Nacional Forestal 2013-2018
- Secretaría de Salud (SSA). 2018, consultado el 28 de octubre del 2018 en <https://www.gob.mx/salud>
- Semeoshenkova, V., Newton, A., Rojas, M., Piccolo, M. C., Bustos, M. L., Cisneros, M. A. H., and Berninsone, L. G. (2017). A combined DPSIR and SAF approach for the adaptive management of beach erosion in Monte Hermoso and Pehuen Co (Argentina). *Ocean and Coastal Management*, 143, 63-73.
- Serretaría de Cultura (SC). 2018, consultado el 23 de noviembre del 2018 en <https://www.gob.mx/cultura>.
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN). 2018, consultado el 21 de septiembre del 2018 en: http://ideinfoteca.semarnat.gob.mx/website/diccionario/diccionario_e.html
- Subirats Joan. *Análisis de Políticas Públicas y Eficacia de la Administración*, Ministerio para las administraciones públicas, 1992, Colección de estudios.
- Smith, C. J., Papadopoulou, K. N., Barnard, S., Mazik, K., Elliott, M., Patrício, J., ... & Borja, A. (2016). Managing the marine environment, conceptual models and assessment considerations for the European Marine Strategy Framework Directive. *Frontiers in Marine Science*, 3, 144.

- Sun, C., Wu, Y., Zou, W., Zhao, L., and Liu, W. (2018). A rural water poverty analysis in China using the DPSIR-PLS model. *Water resources management*, 32(6), 1933-1951.
- Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y. M., and Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational statistics & data analysis*, 48(1), 159-205.
- Tsai, H. T., Tzeng, S. Y., Fu, H. H., and Wu, J. C. T. (2009). Managing multinational sustainable development in the European Union based on the DPSIR framework. *African Journal of Business Management*, 3(11), 727-735.
- Vacik, H. A. R. A. L. D., Wolfslehner, B. E. R. N. H. A. R. D., Seidl, R. U. P. E. R. T., Lexer, M. J., Reynolds, K., Thomson, A., ... and Rennolls, K. (2007). Integrating the DPSIR approach and the analytic network process for the assessment of forest management strategies. *Sustainable Forestry: From Monitoring and Modelling to Knowledge Management and Policy Science*, 393-411.
- Velázquez A, Duran E, Ramírez I, Masa J.F, Bocco G, Ramírez G, and Palacio J.L. (2003). Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico, *Global Environmental Change*, 13, pp. 175–184.
- Vidal-Abarca, M. R., Suárez-Alonso, M. L., Santos-Martín, F., Martín-López, B., Benayas, J., and Montes, C. (2014). Understanding complex links between fluvial ecosystems and social indicators in Spain: An ecosystem services approach. *Ecological Complexity*, 20, 1-10.
- Villanueva, L. F. A. (Ed.). (1996). *El estudio de las políticas públicas*. Miguel Ángel Porrúa.
- Wei, Y., Zhu, X., Li, Y., Yao, T., and Tao, Y. (2019). Influential factors of national and regional CO2 emission in China based on combined model of DPSIR and PLS-SEM. *Journal of Cleaner Production*, 212, 698-712
- Whitmore, T. C., and J. A. Sayer. (1992). Deforestation and species extinction in tropical moist forests." *Tropical deforestation and species extinction*" (1992): 1-14.
- Zalapa S.S., Badii M.H., Cervantes F.A., y Guerrero S. (2005). Ecología poblacional de *Liomys pictus* en tres áreas de bosques tropical subcaducifolio con diferente tiempo de regeneración, en la costa Norte de Jalisco, México. *Acta zoológica mexicana*, 21(2), pp. 01-14.

Anexo 1. Diagrama de ruta. Smart PLS 3.0



Anexo 2. Confiabilidad y Validez. Smart PLS 3.0

Construct Reliability and Validity

Matrix	Cronbach's Alpha	rho_A	Composite Reliability	Average Variance Extracted (AVE)
	Cronbach's Al...	rho_A	Composite Reliability	Average Varian...
Bienestar Hum...	0.7346	0.7982	0.8344	0.5691
Estado	0.7117	0.7329	0.8234	0.5430
Fuerzas Motric...	0.8002	0.8034	0.8452	0.5242
Fuerzas Motric...	0.8736	0.8835	0.9237	0.8025
Respuesta	0.9962	0.9996	0.9981	0.9962
Servicios Ecosis...	0.6645	0.7169	0.8168	0.6025
Servicios Ecosis...	0.7868	0.8003	0.8733	0.6971
Servicios Ecosis...	0.6505	0.6872	0.8486	0.7375

Anexo 3. R². Smart PLS 3.0

R Square

Matrix	R Square	R Square Adjusted
	R Square	R Square Adjusted
Bienestar Humano	0.8945	0.8817
Estado	0.7815	0.7690
Fuerzas Motrices Directas	0.5248	0.4977
Fuerzas Motrices Indirectas	0.3843	0.3672
Servicios Ecosistémicos Culturales	0.7981	0.7866
Servicios Ecosistémicos Provisión	0.3047	0.2649
Servicios Ecosistémicos Regulación	0.4879	0.4587

Anexo 4. Validez discriminante. Smart PLS 3.0

Discriminant Validity

Fornell-Larcker Criterion	Cross Loadings	Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)	Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)	Copy to Clipboard: Excel Format				
	Bienestar Hum...	Estado	Fuerzas Motric...	Fuerzas Motric...	Respuesta	Servicios Ecosi...	Servicios Ecosi...	Servicios Ecosi...
Bienestar Humano	0.7544							
Estado	0.7630	0.7369						
Fuerzas Motrices Directas	0.6572	0.7783	0.7240					
Fuerzas Motrices Indirectas	0.8577	0.7928	0.6059	0.8958				
Respuesta	0.6070	0.4681	0.0640	0.6199	0.9981			
Servicios Ecosistémicos Culturales	0.8816	0.7990	0.5355	0.9149	0.7272	0.7762		
Servicios Ecosistémicos Provisión	0.6382	0.4915	0.4454	0.4739	0.4520	0.4472	0.8349	
Servicios Ecosistémicos Regulación	0.8481	0.6408	0.5936	0.6915	0.5457	0.6888	0.8799	0.8588

Anexo 5. Coeficientes de ruta. Smart PLS 3.0

Path Coefficients

Mean, STDEV, T-Values, P-Values	Confidence Intervals	Confidence Intervals Bias Corrected	Samples	Copy to Clipboard:	
	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviatio...	T Statistics (O/S...	P Values
Estado -> Servicios Ecosistémicos Culturales	0.5874	0.6191	0.1346	4.3623	0.0000
Estado -> Servicios Ecosistémicos Provisión	0.3584	0.3792	0.1151	3.1132	0.0020
Estado -> Servicios Ecosistémicos Regulación	0.4935	0.5287	0.1152	4.2856	0.0000
Fuerzas Motrices Directas -> Estado	0.7514	0.7672	0.0806	9.3198	0.0000
Fuerzas Motrices Indirectas -> Fuerzas Motrices Directas	0.9197	0.8972	0.1504	6.1129	0.0000
Respuesta -> Bienestar Humano	-0.1075	-0.1245	0.1293	0.8317	0.4060
Respuesta -> Estado	0.4201	0.3916	0.2024	2.0754	0.0385
Respuesta -> Fuerzas Motrices Directas	-0.5062	-0.4322	0.3227	1.5687	0.1174
Respuesta -> Fuerzas Motrices Indirectas	0.6199	0.6148	0.1174	5.2825	0.0000
Respuesta -> Servicios Ecosistémicos Culturales	0.4522	0.4150	0.1440	3.1412	0.0018
Respuesta -> Servicios Ecosistémicos Provisión	0.2843	0.2673	0.1439	1.9755	0.0488
Respuesta -> Servicios Ecosistémicos Regulación	0.3146	0.2819	0.1414	2.2246	0.0266
Servicios Ecosistémicos Culturales -> Bienestar Humano	0.6211	0.6412	0.1934	3.2124	0.0014
Servicios Ecosistémicos Provisión -> Bienestar Humano	-0.0551	-0.0557	0.1483	0.3713	0.7106
Servicios Ecosistémicos Regulación -> Bienestar Humano	0.5274	0.5214	0.2211	2.3858	0.0174