



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”



**VALORACIÓN CONTABLE DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE
PROPORCIONA EL SUELO EN LA RTP 105**

TESIS

Que para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ADRIANA SOLIS BRAVO

Directora de tesis:
Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide



Marzo 2025



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra"

**VALORACIÓN CONTABLE DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE
PROPORCIONA EL SUELO EN LA RTP 105**

TESIS

Que para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ADRIANA SOLIS BRAVO

Comité Tutorial:

Directora	Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide
Tutora	Dra. Gabriela Pérez Osorio
Integrante Comité Tutorial	Dr. Jorge Antonio Yañez Santos
Integrante Comité Tutorial	Dra. Wendy Argelia García Suastegui
Integrante Comité Tutorial	Dr. Salvador Peniche Camps
Integrante Comité Tutorial	Dr. Daniel Jiménez García

Marzo 2025

“¿Cómo se puede comprar o vender el cielo o el calor de la tierra?

Cada pedazo de esta tierra es sagrado (...), pues ella es la madre del hombre. Somos parte de la tierra y ella es parte de nosotros. (...) Todas las cosas están relacionadas entre sí.

El hombre blanco (...) trata a su madre, la tierra y a su hermano, el cielo, como cosas que se pueden comprar, saquear y vender (...). Su hambre insaciable devorará todo lo que hay en la tierra y detrás suyo dejarán tan sólo un desierto. (...) Caminan hacia su destrucción rodeados de gloria.

Es el final de la vida y el inicio de la supervivencia.”

Fragmento de la Carta del Gran Jefe Seattle, de la tribu de los Swamish, a Franklin Pierce Presidente de los Estados Unidos de América, 1854.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	4
II.	MARCO TEÓRICO	6
II.I	Suelo y servicios ecosistémicos	6
II.I.I	Servicios ecosistémicos	6
II.I.II	Servicios ecosistémicos que proporciona el suelo	8
II.II	Valoración de los servicios ecosistémicos	14
II.II.I	Valoración de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo	22
III.	ANTECEDENTES	25
III.I	Estado del arte de la valoración de los servicios de los ecosistemas en México	25
III.II	Suelos y regiones terrestres prioritarias	27
IV.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	30
V.	HIPÓTESIS	30
VI.	JUSTIFICACIÓN	31
VII.	OBJETIVOS	34
VII.I	Objetivo general	34
VII.II	Objetivos específicos	34
VIII.	METODOLOGÍA	35
VIII. I	Enfoque de la investigación	35
VIII.II	Técnicas de investigación	36
IX.	DELIMITACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	41
IX.I	Vegetación y uso de suelo	43
IX.II	Clima	46
IX.III	Fisiografía	48
IX.IV	Orografía	49
IX.V	Hidrografía	50
IX.VI	Suelos	51
IX. VII	Características demográficas	53
IX. VIII	Biodiversidad	55
IX.IX	Bioculturalidad	56

X.	RESULTADOS	58
XI.	DISCUSIÓN	83
XII.	CONCLUSIONES	85
XIII.	BIBLIOGRAFÍA	87
	ANEXO 1	101
	ANEXO 2	104
	ANEXO 3	105
	ANEXO 4	106

I. INTRODUCCIÓN

El inquietante ritmo de pérdida y degradación de los ecosistemas a todas las posibles escalas ha hecho que como especie nos encontremos ante un escenario de problemas de índole ambiental que amenazan con la vida en el planeta, por ende es imperativo comprender de una mejor manera la conexión entre el bienestar humano y su medio natural (IPBES, 2019; Peniche, 2017).

De este modo, uno de los conceptos que permite clarificar la dependencia de la humanidad con su medio natural es el de servicios ecosistémicos, el cual es definido como los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas; con el paso del tiempo este concepto se ha desarrollado y hoy en día constituye un campo de investigación por sí solo (Costanza, D'Arge, *et al.*, 1997; de Groot, 1987; FAO, 2020b).

Las ideas que sustentan este concepto tienen una larga historia en el pensamiento ambiental, incluidas las nociones fundamentales de la economía ecológica, y es por ello que se vinculan estrechamente con la valoración de los bienes y servicios ecosistémicos (Costanza & Daly, 1992; Ehrlich *et al.*, 1981).

La valoración de los bienes y servicios ecosistémicos adquiere relevancia cuando la perspectiva integral social-económico-ecológica, proveniente del concepto de desarrollo sostenible de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992, destaca la importancia de conservar y manejar de forma sostenible los recursos naturales sin descartar los vínculos entre la economía y la naturaleza (Domínguez *et al.*, 2019).

La valoración integral de los servicios ecosistémicos refiere un proceso de evaluación y cuantificación de los valores (tanto monetarios como de subjetividad social), necesaria para monitorear los aportes que los ecosistemas proporcionan al bienestar humano de una región (La Notte *et al.*, 2019; Sannigrahi *et al.*, 2020).

En la actualidad se enfatiza la relevancia de las valoraciones integrales en el campo de los servicios ecosistémicos, pues estos además de conectar a la naturaleza con el

bienestar humano, han asumido un papel destacado en la toma de decisiones en materia ambiental alrededor del mundo (Stålhammar, 2020).

Como componente fundamental en los ecosistemas terrestres, los suelos brindan diversos servicios ecosistémicos, todos ellos indispensables para garantizar el desarrollo de la vida en el planeta (Nanzyo & Kanno, 2018).

La generación de información y las evaluaciones de las funciones y servicios ecosistémicos de los suelos son de suma importancia para poder escalar hacia prácticas sostenibles y efectivas, entendiendo que las situaciones sociales (desplazamiento, pobreza, desigualdad, conflictos, injusticia, etc.) que derivan de un recurso edáfico en malas condiciones van en contra de los principios del desarrollo sostenible y del derecho humano al pleno desarrollo en un medio adecuado (Maosew *et al.*, 2019).

Por tratarse de un sistema complejo, el suelo demanda un enfoque interdisciplinario para su estudio con el objetivo de comprender y valorar los servicios que aporta a los sistemas sociales. En este contexto, resultan especialmente relevantes las contribuciones de estudios regionalizados sobre este recurso natural (Pavan & Ometto, 2018). Por ello, el presente trabajo tiene como propósito determinar el valor contable integral de los servicios ecosistémicos proporcionados por el suelo en una Región Terrestre Prioritaria para la conservación de la biodiversidad en México (RTP), particularmente la región 105 denominada Cuetzalan.

II. MARCO TEÓRICO

II.I Suelo y servicios ecosistémicos

II.I.I Servicios ecosistémicos

La conexión intrínseca entre los sistemas antropogénicos y naturales se evidencia a través del concepto de servicios ecosistémicos (Balvanera *et al.*, 2020). Esta idea surgió en la década de 1980 como parte de los enfoques para aumentar el interés público hacia el medio ambiente y en la conservación de la biodiversidad, y fue más ampliamente aceptado dentro del movimiento de la economía ecológica (Costanza, D'Arge, *et al.*, 1997; Costanza & Daly, 1992; de Groot, 1987; Ehrlich *et al.*, 1981).

La divulgación del concepto de servicios ecosistémicos alcanzó un hito significativo en el año 2000 con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés). Este proyecto representó un esfuerzo científico global destinado a analizar los servicios proporcionados por los ecosistemas y su relación directa con el bienestar humano. La iniciativa contó con la participación de expertos de diversas disciplinas y de más de 100 países, quienes recabaron información sobre el estado, las tendencias y las funciones de los ecosistemas a nivel mundial. Como resultado de este estudio, el concepto de servicios ecosistémicos ganó mayor relevancia, difusión y aceptación en los ámbitos académico y político (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

La MEA, coordinada por la Organización de las Naciones Unidas, permitió que las agencias pertenecientes a esta organización adoptaran y adaptaran el marco de clasificación de los servicios ecosistémicos, cuya definición más ampliamente difundida describe dichos servicios como la multitud de beneficios que la naturaleza proporciona a la sociedad (FAO, 2020b).

Frente a este escenario diversas organizaciones y autores alrededor del mundo han propuesto definiciones del concepto de servicios ecosistémicos, desarrollando además distintos enfoques para su clasificación. En todos ellos subyace la idea de que los

ecosistemas naturales del planeta permiten satisfacer las necesidades de las sociedades y hacen visibles las complejas relaciones de la humanidad con la naturaleza (Potschin *et al.*, 2016). Sin embargo, el debate persiste en torno a la mejor manera de clasificar estos servicios de forma que sean cuantificables, consistentes y comparables.

Entre los enfoques más utilizados se encuentran: las clasificaciones del MEA; el proyecto TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), concebido como una actividad de seguimiento del MEA; la clasificación establecida por la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES); y la Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES), promovida por la ONU y la Agencia Europea de Medio Ambiente para fomentar el consenso internacional y facilitar comparaciones globales (Haines-Young & Potschin, 2018; IPBES, 2019; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; TEEB, 2010).

Los enfoques anteriormente descritos plantean marcos dónde los elementos bióticos, abióticos y antropogénicos se consideran parte de los ecosistemas y no como agentes externos. Los servicios aparecen únicamente en función de la utilidad que tienen para la humanidad, pues consideran las funciones de los procesos biológicos (servicios intangibles) y de los recursos que de forma directa o indirecta (bienes tangibles) incrementan el bienestar humano y lo expresan usualmente dentro de cuatro categorías (Haines-Young & Potschin, 2018; IPBES, 2019; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; TEEB, 2010): aprovisionamiento, regulación, apoyo o soporte y culturales (figura 1), aunque en algunas ocasiones se incluyen los servicios de apoyo o soporte dentro de los servicios de regulación o mantenimiento.

Los servicios ecosistémicos son el resultado de las estructuras y procesos biofísicos que operan en los ecosistemas. Este concepto, independientemente de la definición empleada es intrínsecamente complejo y dinámico, al evidenciar la absoluta e innegable dependencia de las personas con los ecosistemas. Asimismo, representa un instrumento clave para la toma de decisiones políticas y la planificación en el contexto social contemporáneo (Evans, 2019).



Figura 1. Servicios ecosistémicos, adaptado de Millennium Ecosystem Asssesment, 2005.

II.1.II Servicios ecosistémicos que proporciona el suelo

El suelo es definido como un cuerpo natural compuesto por horizontes formados por materiales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Su formación es el resultado de la interacción de factores como el tiempo, el clima, la topografía, los organismos y los materiales parentales (rocas y minerales originales) (figura 2). Estos procesos hacen que el suelo presente diferencias significativas respecto al material originario en cuanto a textura, estructura, consistencia y otras propiedades físicas, químicas y biológicas (FAO, 2020a). Además, se considera un recurso natural finito, con una extensión limitada, susceptible a la degradación tanto por causas naturales como humanas, no renovable en escalas de tiempo humanas y en constante evolución (IUSS Working Group WRB, 2015; Lal, 2015).

El suelo se forma en la intersección de la litósfera, la biósfera, la atmósfera y la hidrósfera, constituye la base para las funciones esenciales de los ecosistemas terrestres y regula la mayoría de los procesos que ocurren dentro de estos (incluidos los ciclos

biogeoquímicos), siendo el hogar de una gran proporción de la biodiversidad. Este cuerpo natural es crucial para el mantenimiento de la vida en el planeta y establece la base física para la mayoría de las actividades humanas (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2014; Pereira *et al.*, 2018).

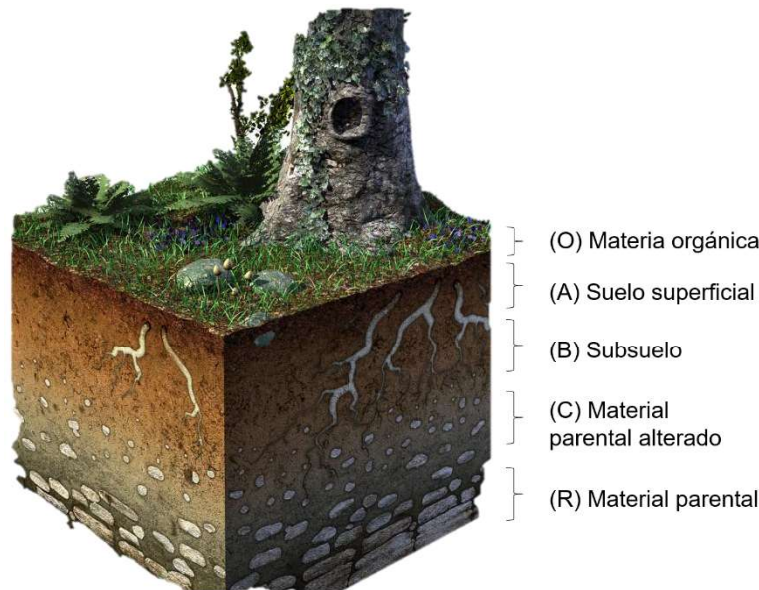


Figura 2. Horizontes del suelo, adaptado de Benton, A., 2014.

El suelo como componente esencial de los ecosistemas, desempeña un papel clave al proporcionar servicios ecosistémicos. Las investigaciones sobre estos servicios se iniciaron en la década de 1960, aunque fue a partir de 2005 con la publicación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, cuando el interés en este tema creció significativamente. Desde entonces existe un enfoque creciente en las contribuciones del suelo al bienestar humano y en la estrecha interconexión entre los sistemas naturales y antropogénicos (Brevik *et al.*, 2018; Dazzi *et al.*, 2019).

La capacidad de los suelos de proveer servicios está relacionada con las funciones que cumplen dentro de los ecosistemas y con las propiedades físicas, químicas y biológicas que presentan. Existe un marco que vincula los servicios ecosistémicos, las propiedades (inherentes y dinámicas) que sustentan el capital natural edáfico y los procesos de formación, degradación y mejoramiento de los suelos (figura 3). Para los autores el capital natural hace referencia a la existencia de activos naturales, como el suelo, de los

cuales deriva un flujo de bienes o servicios valiosos para el bienestar humano, dentro de la pedosfera el capital natural está determinado por las propiedades que presenta (Dominati *et al.*, 2010; Lilburne *et al.*, 2020; Zúñiga *et al.*, 2018).

Constantemente los servicios ecosistémicos de los suelos pasan desapercibidos y son infravalorados, sin embargo, los suelos son por sí mismos ecosistemas complejos y dinámicos los cuales proporcionan una amplia variedad de servicios, por ejemplo, ser la base física para la biodiversidad terrestre y el hábitat de numerosas especies (un cuarto de la biodiversidad total estimada en el planeta se encuentra en este cuerpo natural). Además, el material genético encontrado en la pedosfera es fuente de tratamientos médicos y farmacéuticos actuales y potenciales futuros (FAO, 2020a; Greiner *et al.*, 2017).

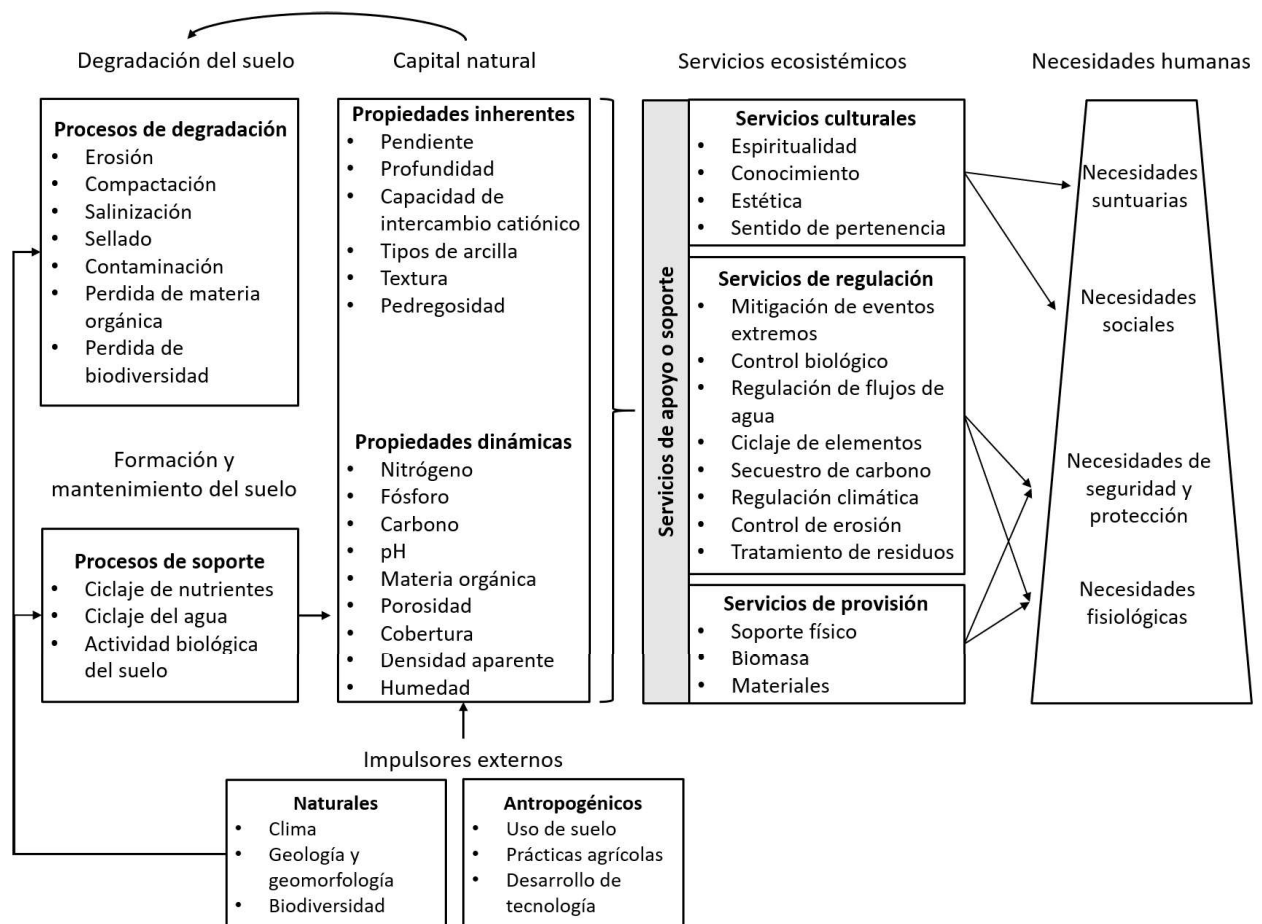


Figura 3. Flujo de servicios ecosistémicos del suelo, adaptado de Dominati *et al.*, 2010.

Los suelos juegan un papel importante en el ciclo hidrológico al absorber, filtrar y almacenar agua, atenuando su flujo. Los suelos brindan nutrientes, agua y un entorno físico propicio para la producción de biomasa terrestre la cual es base de múltiples actividades económicas. Los seres humanos consumen animales del suelo directamente e incluso el propio suelo. La importancia de los suelos para los sistemas de producción de alimentos es evidente pues el 99% de todas las calorías ingeridas por los humanos provienen de ecosistemas terrestres (Adhikari & Hartemink, 2016; Dominati *et al.*, 2010; FAO & ITPS, 2015; Schwilch *et al.*, 2016).

Los suelos son hábitat de microorganismos que degradan y descomponen materia orgánica, y tienen la capacidad de degradar o reducir el efecto de compuestos tóxicos para las personas. Tienen un papel importante en la regulación del clima, particularmente con el secuestro de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) y su almacenamiento como sumidero. Mediante la implementación de prácticas agrícolas insostenibles los suelos liberan CO₂, favoreciendo el cambio climático acelerado y la modificación de la composición química de la atmosfera (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016; UNEP, 2019)

Por otro lado, para los artistas a lo largo de la historia los colores del suelo y sus múltiples formaciones han sido fuente de inspiración. Este cuerpo natural ha desempeñado un papel importante en la cosmovisión, las creencias y los aspectos espirituales de diferentes sociedades, y es parte de su patrimonio cultural. Además, es un archivo geológico y arqueológico, que contiene las principales fuentes de información sobre la historia del planeta y de la humanidad, previa invención de la escritura (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016; Motiejūnaitė *et al.*, 2019).

Los diferentes servicios ecosistémicos que proveen los suelos (tabla 1) sirven como un marco conceptual que tiene la capacidad de ser utilizado para prevenir la degradación, proteger, preservar y restaurar el material edáfico (Baveye *et al.*, 2016).

Tabla 1. Comparación de clasificaciones de servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos, adaptada de Haines-Young & Potschin, 2018.

CICES				IPBES	MEA	TEEB
Sección	División	Grupo	Clase			
Aprovisionamiento	Biomasa	Organismos terrestres cultivados o criados para nutrición, materiales o energía	Organismos terrestres cultivados o criados con fines nutricionales	Alimento y pienso	Alimento	Alimento
			Materiales de organismos cultivados o criados para uso directo o procesamiento	Materiales y asistencia, Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Fibra, madera, ornamentales, bioquímicos	Materias primas, Recursos medicinales
			Organismos terrestres cultivados o criados como fuente de energía	Energía	Fibra, madera, ornamentales, bioquímicos	Materias primas Recursos medicinales
		Organismos acuáticos cultivados o criados para nutrición, materiales o energía	Organismos cultivados o criados por acuicultura con fines nutricionales	Alimento y pienso	Alimento	Alimento
			Materiales de la acuicultura para uso directo o procesamiento	Materiales y asistencia, Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Fibra, madera, ornamentales, bioquímicos	Materias primas Recursos medicinales
			Organismos cultivados o criados por acuicultura como fuente de energía	Energía	Fibra, madera, ornamentales, bioquímicos	Materias primas Recursos medicinales
		Organismos silvestres (terrestres y acuáticos) para nutrición, materiales o energía	Organismos silvestres utilizados con fines nutricionales	Alimento y pienso	Alimento	Alimento
			Materiales de organismos silvestres para uso directo o procesamiento	Materiales y asistencia, Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Fibra, madera, ornamentales, bioquímicos	Materias primas Recursos medicinales
			Organismos silvestres utilizados como fuente de energía	Energía	Fibra, madera, ornamentales, bioquímicos	Materias primas Recursos medicinales
	Material genético de toda la biota	Material genético de organismos	Materiales vegetales o animales recolectados para mantener o establecer una población	Hábitats, Materiales y asistencia, Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Material genético	Diversidad genética
			Organismos utilizados para generar nuevas cepas o variedades	Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Material genético	Diversidad genética
			Genes para el diseño y construcción de nuevas entidades biológicas	Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Material genético	Diversidad genética
Regulación y mantenimiento	Transformación de insumos bioquímicos o físicos en los ecosistemas	Mediación de desechos o sustancias tóxicas de origen antropogénico	Biorremediación con microorganismos, algas, plantas y animales	Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos, Regulación de organismos perjudiciales para el ser humano	Tratamiento del agua, Regulación de la calidad del aire	Tratamiento de residuos, Regulación de la calidad del aire, Secuestro de carbono
			Filtración / secuestro / almacenamiento / acumulación mediante organismos	Regulación de la calidad del aire	Tratamiento del agua, Regulación de la calidad del aire	Tratamiento de residuos, Regulación de la calidad del aire
			Reducción de olores	Regulación de la calidad del aire	Tratamiento del agua, Regulación de la calidad del aire	Tratamiento de residuos, Regulación de la calidad del aire
			Atenuación de ruido	Regulación de peligros y eventos extremos	Tratamiento del agua, Regulación de la calidad del aire	Tratamiento del agua, Regulación de la calidad del aire
			Mimetismo visual	Regulación de peligros y eventos extremos	Tratamiento del agua, Regulación de la calidad del aire	Tratamiento de agua, Regulación de la calidad del aire
	Regulación de condiciones físicas, químicas, biológicas	Regulación de flujos base y eventos extremos	Control de tasas de erosión	Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos	Regulación de la erosión	Prevención de la erosión
			Amortiguación y atenuación del movimiento de masas	Regulación de peligros y eventos extremos	Regulación de la erosión	Prevención de la erosión
			Regulación del ciclo hidrológico y del flujo de agua	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce	Regulación del agua	Regulación de flujos de agua, Regulación de eventos extremos

Cultural			Protección contra el viento	Regulación de peligros y eventos extremos	Regulación de peligros naturales	Regulación de flujos de agua, Regulación de eventos extremos
			Protección contra incendios	Materiales y asistencia	Regulación de peligros naturales	Regulación de flujos de agua, Regulación de eventos extremos
		Mantenimiento o del ciclo de vida, protección del hábitat y del acervo genético	Polinización (o dispersión de 'gametos' en un contexto marino)	Polinización y dispersión de propágulos	Polinización	Polinización
			Dispersión de semillas	Polinización y dispersión de propágulos	Sin equivalente	Control biológico
			Mantener las poblaciones y los hábitats (incluido el acervo genético)	Creación y mantenimiento de hábitats	Sin equivalente	Control biológico, Hábitats, Diversidad genética
		Control de plagas y enfermedades	Control de plagas (incluidas especies invasoras)	Regulación de organismos perjudiciales para los seres humanos	Regulación de plagas	Control biológico
			Control de enfermedades	Regulación de organismos perjudiciales para los seres humanos	Regulación de enfermedades	Control biológico
		Regulación de la calidad del suelo	Procesos de meteorización y su efecto en la calidad del suelo	Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos	Formación de suelo (servicio de apoyo)	Mantenimiento de la fertilidad del suelo
			Procesos de descomposición y fijación y su efecto en la calidad del suelo	Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos	Formación de suelo (servicio de apoyo)	Mantenimiento de la fertilidad del suelo, Secuestro de carbono
		Condiciones del agua	Regulación de la condición química del agua dulce por procesos vivos	Regulación de la calidad del agua dulce y costera	Regulación del agua	Agua
			Regulación de la condición química del agua salada por procesos vivos	Regulación de la calidad del agua dulce y costera	Regulación del agua	Agua
		Composición y condiciones atmosféricas	Regulación de la composición química de la atmósfera y los océanos	Regulación de la calidad del aire	Regulación atmosférica	Regulación climática
			Regulación de la temperatura y la humedad	Regulación del clima	Regulación atmosférica	Regulación climática
	Interacciones directas, in situ, al aire libre con sistemas vivos	Interacciones físicas y experiencias con el entorno natural	Sistemas vivos que permiten actividades de salud, recuperación o disfrute a través de interacciones inmersivas u observacionales	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce, Experiencias físicas y psicológicas	Recreación y ecoturismo	Recreación y salud física y mental, Turismo
		Interacciones intelectuales y representativas con el medio natural	Sistemas vivos que permiten investigación científica, creación de conocimiento tradicional, educación y formación	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce, Aprendizaje e inspiración	Sistemas de conocimiento y valores educativos, diversidad cultural, valores estéticos	Estética e inspiración para cultura, arte y diseño
			Sistemas vivos que son importantes en términos de cultura o herencia	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce, Apoyo de identidad	Sistemas de conocimiento y valores educativos, diversidad cultural, valores estéticos	Estética e inspiración para cultura, arte y diseño, Espiritualidad y sentido de pertenencia
			Sistemas vivos que posibilitan experiencias estéticas	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce, Aprendizaje e inspiración	Sistemas de conocimiento y valores educativos, diversidad cultural, valores estéticos	Estética e inspiración para cultura, arte y diseño
		Interacciones indirectas, remotas o en interiores con sistemas vivos	Elementos de sistemas vivos que tienen un significado simbólico, sagrado, religioso o representativo	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce, Apoyo de identidad	Valores espirituales y religiosos	Estética e inspiración para cultura, arte y diseño, Espiritualidad y sentido de pertenencia
			Otras características bióticas que tienen valor de no uso	Regulación de cantidad, ubicación y duración del agua dulce, Mantenimiento de opciones	Sin equivalente	Sin equivalente
			Características o rasgos de los sistemas vivos que tienen un valor de opción o legado	Mantenimiento de opciones	Sin equivalente	Sin equivalente

II.II Valoración de los servicios ecosistémicos

La valoración económica de los servicios ecosistémicos surgió como una herramienta para sensibilizar a las sociedades sobre los costos asociados a la ausencia de medidas para conservar la naturaleza (Costanza, D'Arge, *et al.*, 1997). Una de las principales fortalezas de este enfoque radica en su capacidad para analizar el funcionamiento integral de un socio-ecosistema. En la actualidad esta valoración se ha integrado a los instrumentos de política ambiental a nivel internacional, con el objetivo de incluir estos valores en la economía y prevenir su deterioro (Lebreton *et al.*, 2019).

La valoración de los servicios ecosistémicos desempeña un papel crucial en la gestión ambiental, ya que ofrece información esencial sobre las condiciones del mercado y la viabilidad económica de la explotación de recursos naturales. No obstante, su aplicación en las políticas públicas debe abordarse con cautela (Sutton & Peniche, 2019).

La creación de políticas públicas a causa de las consecuencias negativas de sobreexplotar o destruir los sistemas naturales han sido promovidas desde hace décadas. Sin embargo, la sensibilización de este fenómeno ha sido hasta la fecha insuficiente para inducir un cambio real en el comportamiento de las sociedades contemporáneas y los ecosistemas continúan siendo sobreexplotados y degradados (ELD Initiative, 2019).

En este sentido, los científicos buscan cuantificar los cambios que afectan a los ecosistemas, pero no cuantifican cuánto es que estos cambios tienen la capacidad de afectar aquello que la gente considera valioso en su vida diaria, por ello la información económica debe servir como una orientación importante sobre uno de los aspectos de la toma de decisiones ambientales: la economía (Sutton & Peniche, 2019)

No obstante, las políticas dirigidas a la conservación de los ecosistemas y los servicios que estos proporcionan enfrentan desafíos significativos, debido a que la naturaleza se caracteriza por irreversibilidades (principio de entropía), incertidumbres (falta de certeza por la impredecibilidad, vacíos de conocimiento y diferencias de interpretaciones en los sistemas complejos) e indeterminaciones (el universo y la realidad carecen de una forma

definida y no pueden explicarse de manera determinista sin incurrir en un enfoque reduccionista). Además, su existencia y funcionamiento no pueden depender únicamente de las normas explícitas o implícitas que rigen una economía de mercado (Cabrera-Murieta, 2012; Costanza, Cumberland, *et al.*, 1997).

Los diferentes enfoques económicos que pretenden abordar dichos temas medioambientales se mencionan a continuación:

Economía ambiental:

Se le considera una subdisciplina del conocimiento en materia económica, consiste en la interpretación de la escuela de la economía neoclásica sobre el medio ambiente como objeto de estudio. Está fundamentada en los conceptos y presupuestos básicos referentes al análisis de escasez, donde los bienes son valorados según su abundancia o rareza. Cuando hay bienes abundantes no necesariamente son considerados bienes económicos, sin embargo, cuando un bien es escaso pasa a ser un bien económico. En la actualidad los cuerpos naturales están adquiriendo estatus de bien económico puesto que múltiples recursos naturales comienzan a escasear y presentan horizontes de agotamiento previsible (Floresmilo-Flores, 2015; Yu Chang, 2005).

La economía ambiental consiste en la aplicación de los principios económicos al estudio de la gestión de los recursos ambientales. Al ser parte de la teoría económica tradicional, expresa que la sociedad dispone de diversos factores de producción: el trabajo, el capital (natural, humano y físico) y los recursos naturales. Y se basa en los estudios de macroeconomía (funcionamiento de la economía en su conjunto) y microeconomía (comportamiento de los individuos y pequeños grupos humanos), para analizar y cuantificar los problemas de la contaminación y degradación ambiental (externalidades) (Casanova-Montero, 2019).

Economía ecológica:

Presentada como paradigma sustituto, metaparadigma, corriente del pensamiento o modelo analítico, la economía ecológica integra la economía, la ecología, la química, la física, la ética y otras ciencias naturales y sociales para proveer una perspectiva integrada de las interacciones que se dan entre el sistema biosfera y el subsistema económico (Costanza, 2019).

Tiene como objeto de estudio el flujo de materiales y energía entre el sistema y subsistema (metabolismo social). Pues el subsistema económico está sujeto a las leyes y límites que la naturaleza impone, en donde el intercambio de energía, materia e información tiene jerarquía (Infante-Amate *et al.*, 2017).

Desde esta perspectiva el subsistema económico se rige por las leyes fundamentales de la materia y la energía (primera y segunda Ley de la Termodinámica). Por ello es necesario reconocer que las actividades económicas no pueden desvincularse de la dimensión biofísica finita que las sustenta (Cuadra-Martínez *et al.*, 2017).

En contraste con la economía ambiental neoclásica, la economía ecológica está avanzando hacia una visión interdisciplinaria que aborda la complejidad emergente. Este enfoque busca integrar la economía dentro del marco de la ecología, adoptando una postura crítica frente a la degradación ambiental y energética derivada de los procesos de producción y consumo, en donde las actividades económicas se alineen y fluyan conforme a las dinámicas naturales (Leff, 2011).

Economía de los recursos naturales:

Se desarrolló a partir del enfoque neoclásico que predominó en la ciencia económica durante el siglo XX. Su propósito principal es optimizar el uso del medio ambiente y los recursos naturales, además de realizar análisis aplicados a la gestión de diversos tipos de recursos. A lo largo de su trayectoria, la economía de los recursos naturales ha examinado aspectos como la oferta, la demanda y la asignación de los recursos del planeta con un énfasis particular en el estudio de los derechos de propiedad (Caballero & Garza, 2010).

Economía circular:

Este concepto como se desarrolla como una filosofía de organización de sistemas, el cual es de interés tanto para la academia como para el sector industrial, pues es visto como posible operacionalización en las empresas para que implementen el concepto de desarrollo sostenible. A la fecha se encuentran más de 115 posibles definiciones de lo que es la economía circular, la cual se describe con mayor frecuencia como una combinación de acciones enfocadas en reducir, reutilizar y reciclar más que un verdadero cambio sistémico de producción (Kirchherr *et al.*, 2017).

La economía circular podría definirse como un modelo de desarrollo continuo y en positivo que tiene como objetivo principal preservar y mejorar el capital natural, optimizar el uso de los recursos y reducir al mínimo los riesgos asociados al sistema, mediante la gestión adecuada de existencias limitadas y flujos renovables (Cerdá & Khalilova, 2016). Este enfoque opera eficazmente a diferentes escalas diferenciando entre ciclos biológicos y ciclos técnicos, y se basa en tres principios fundamentales (González-Ordaz & Vargas-Hernández, 2017):

- 1) Preservación y mejoramiento del capital natural: mediante la gestión de recursos finitos y el equilibrio en el flujo de los recursos renovables.
- 2) Optimización en el uso de los recursos: asegurando que productos, componentes y materiales mantengan su utilidad en el nivel más alto posible dentro de los ciclos técnico y biológico.
- 3) Fomento de la eficacia del sistema: lograda a través del desarrollo de innovaciones como la obtención de patentes y la reducción de externalidades negativas.

Es prudente reconocer la economía humana está integrada en un sistema más amplio, en el que se reciben insumos (entradas) y se generan desechos (salidas). Por esta razón, no existe un modelo completamente cerrado de economía circular, y este enfoque enfrenta ciertas limitaciones prácticas (Martínez-Alier, 2013).

Bioeconomía:

La bioeconomía se define como la producción, utilización y preservación de recursos biológicos renovables (biomasa), incluyendo el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación asociados, con el propósito de generar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, promoviendo una economía sostenible (FAO, 2021).

Este enfoque abarca aquellas áreas de la economía que emplean recursos biológicos renovables provenientes de la tierra y los océanos como cultivos, bosques, peces, animales y microorganismos para la producción de alimentos, materiales, productos farmacéuticos y energía. En los últimos años, el paradigma de la bioeconomía ha ganado importancia debido a dos factores principales: i) la creciente demanda de un uso más sostenible de los recursos naturales y ii) las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías para impulsar una bioeconomía competitiva (de Azevedo, 2018).

La bioeconomía engloba sectores como la agricultura, la silvicultura, la pesca, la alimentación y la biotecnología, además de una amplia gama de industrias, incluyendo la producción de energía, productos químicos y materiales para la construcción y el transporte (Mercado-Ramos, 2016).

Economía verde:

El concepto de economía verde fue introducido en 1984 y definido como “un sistema de actividades económicas vinculadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios que promueven mejoras en el bienestar humano a largo plazo, sin comprometer a las generaciones futuras a enfrentar riesgos ambientales ni graves escaseces ecológicas”. Sin embargo, adquirió relevancia oficial tras la crisis financiera de 2008, cuando el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publicó un informe señalando la necesidad de “restaurar la estabilidad de un sistema financiero deteriorado” mediante la inversión en la conservación de los “servicios ambientales” y el fomento de negocios verdes (Vargas-Pineda *et al.*, 2017).

Posteriormente en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible celebrada en Río de Janeiro en 2012, la economía verde redefinió la política ambiental y climática, estableciéndose como un modelo caracterizado por bajas emisiones de carbono, eficiencia tecnológica y energética y una adecuada gestión del capital natural. Este enfoque permitió integrar las problemáticas ambientales al ámbito económico como “fallas de mercado”, convirtiéndolas en oportunidades de negocio, donde la naturaleza, particularmente el clima, se convirtió en una variable fundamental para el crecimiento económico.

Según el PNUMA (2019), la transición hacia la economía verde tiene el potencial de reactivar la economía global con tasas de crecimiento superiores a las que se obtendrían bajo el modelo actual. Este cambio permitiría generar empleos de mayor calidad, reducir la pobreza, mejorar la equidad y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, todo ello de manera sostenible. Esto implica reconocer el valor de la naturaleza, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y aliviar la presión sobre el entorno natural, favoreciendo su recuperación. Al mismo tiempo, este modelo crearía nuevas y lucrativas áreas de inversión que permitirían al capital global superar la crisis actual y mejorar sus tasas de ganancia (Lander, 2011).

Economía biofísica:

Dado que el crecimiento económico depende de la adquisición de energía y su posterior utilización, la definición generalizada de economía biofísica es que es un enfoque científico de como la materia y la energía se transforman para mantener la supervivencia y promover el desarrollo humano, estudia desde un punto de vista económico la energía por medio de las leyes de la termodinámica. La economía biofísica ilustra las leyes entre la energía y el desarrollo económico, donde la energía es la fuerza impulsora económica. La cantidad de energía y la calidad de la energía afectan la velocidad y calidad del desarrollo económico (Yan *et al.*, 2019).

Desde la perspectiva de la economía biofísica, el uso acelerado de recursos fósiles finitos representa un sistema lineal en términos de entropía. Energéticamente se extrae materia

en estados de baja entropía como el carbón, el petróleo o el gas natural y se transforma en materia de alta entropía, como dióxido de carbono y calor, utilizando parte de la energía liberada en el proceso para realizar trabajo dentro de la sociedad. Sin embargo, una vez que estos combustibles fósiles se han convertido en formas de alta entropía no es posible reutilizarlos. Por lo tanto, el sistema evoluciona hacia un estado de equilibrio caracterizado por altos niveles de entropía (externalidades), lo que resulta poco favorable para el desarrollo humano (CEEPYS, 2017).

Martínez-Alier (1987) sostiene que la política ambiental debe enfocarse en analizar los recursos desde el sistema económico hacia las bases biofísicas que sustentan la interdependencia entre los sistemas ecológicos y económicos. Sin embargo, muchos bienes y servicios no son comercializables en mercados tradicionales, lo que les impide tener un valor de mercado claramente definido. Esto plantea una interrogante fundamental: ¿cuánto vale la naturaleza? Aunque aún no existe una respuesta concluyente, la pregunta es crucial y su solución no es ni sencilla ni definitiva (Rincón Ruiz *et al.*, 2021).

El enfoque de la presente investigación se alinea con los principios de la economía ecológica, la cual expresa que la pérdida de un activo ambiental representa un costo real para la sociedad, aunque no se reconozca como tal debido a la dificultad del ser humano para percibirlo claramente. La consecuencia inevitable es que los intangibles ambientales, al ser propiedad de todos, pero de nadie en particular, están vulnerables a una explotación irreversible. Este concepto de propiedad individual no siempre se aplica de manera lineal a las comunidades tradicionales, donde la propiedad tiene una connotación comunitaria (Lattera *et al.*, 2011).

Como la economía ecológica aboga a favor del “pluralismo metodológico”, se ha consensado que, para internalizar el valor de los servicios ecosistémicos de manera holística, es válido el uso de diversas metodologías. Por lo que es importante que las técnicas de valoración de los servicios ecosistémicos, aunque se encuentren fundamentadas en términos de economía ambiental, se puedan integrar en el enfoque de economía ecológica para tener una evaluación más completa (Cabrera-Murieta, 2012; Costanza & Daly, 1992).

El valor de los servicios ecosistémicos se manifiesta en bienes tangibles (recursos materiales) y las funciones de valía que realizan para las personas. A lo largo de la historia, la humanidad ha dependido de estos servicios, pero habitualmente se dan por sentado (Van Dyke & Lamb, 2020).

En un esfuerzo por aclarar los términos referentes a servicios ecosistémicos para el análisis contable, se describen los siguientes conceptos (Fisher *et al.*, 2015):

- Ecosistemas: son combinaciones de organismos que interactúan con su entorno. Sus relaciones son diversas y complejas, y no todas se consideran servicios ecosistémicos.
- Servicios ecosistémicos: son el subconjunto de los procesos naturales que se desarrollan en los ecosistemas que generan beneficios para las personas.
- Beneficio: es todo aquello que aumenta el bienestar humano.
- Valor: es la importancia de un beneficio determinado para una persona o grupo, medido en cualquier métrica de interés. Esto a menudo se basa en la cultura, el mercado, las normas u otros factores.

De acuerdo con la valoración para los ecosistemas basada en los enfoques de preferencias (comunes en economía), dicha valoración se basa en valores antropocéntricos, que incluyen el valor monetario y también aspectos culturales y espirituales (TEEB, 2010).

Dichos valores se dividen en dos categorías: valores de uso y no uso (figura 4). Los valores de uso se dividen a su vez en tres categorías: valores de uso directo; valores de uso indirecto; y valores de opciones. Los valores de uso directo pueden ser consumibles o no consumibles. Los ejemplos de valores de uso consumible incluyen el valor de los productos agrícolas como parte de los servicios de aprovisionamiento, y los valores no consumibles incluyen el valor vinculado a la experiencia recreativa que es un servicio cultural. Los valores de uso indirecto incluyen valores vinculados a servicios de regulación como mitigación de inundaciones o control biológico de plagas y enfermedades.

Los valores de no uso, también conocidos como valores de uso pasivo, son valores que se desvinculan del uso del recurso, pero pueden incluir la opción de reservar la capacidad de consumir sus servicios en el futuro (valor de la opción) u opción de reservar la capacidad de las generaciones futuras para usar el servicio en el futuro (valor de legado). Más allá de estos ejemplos de uso futuro, también está el valor de existencia, que denota el valor de uso pasivo que las personas le dan a un recurso por el simple hecho de saber que existe, incluso si nunca lo verán o usarán directamente (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016).

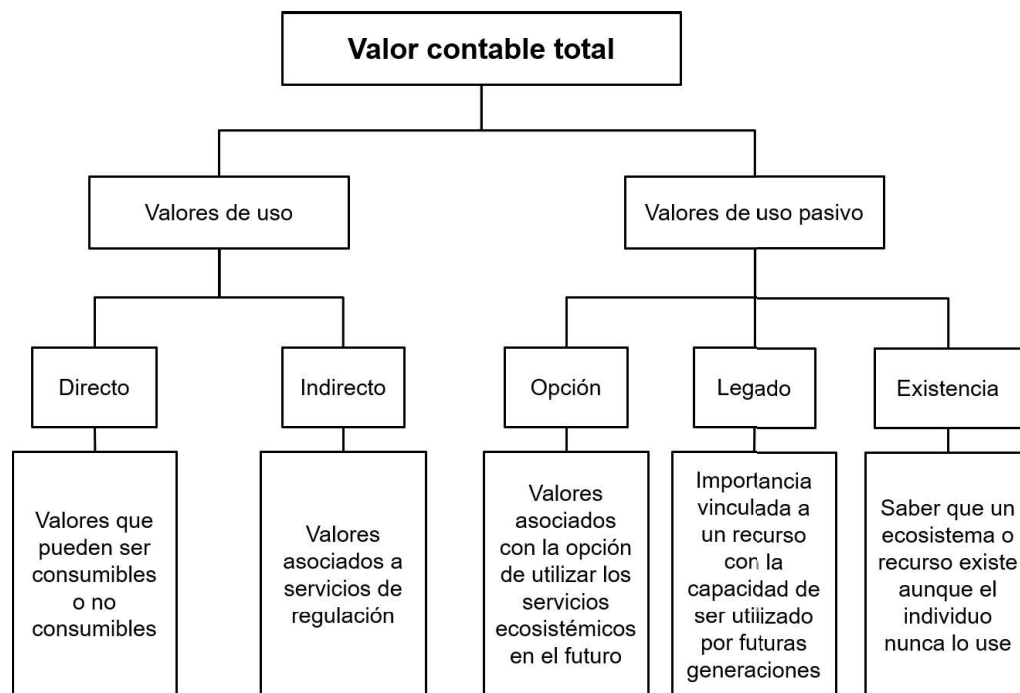


Figura 4. Valor contable de los servicios ecosistémicos, adaptado de Jónsson & Davíðsdóttir, 2016.

II.II.I Valoración de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo

Desde el trabajo que postuló Adam Smith *“La riqueza de las naciones”* en 1776, se argumentó que el suelo, el capital y el trabajo constituyen los insumos básicos de los que se deriva todo el valor económico de las mercancías intercambiables. Si bien con el

tiempo la literatura ha ampliado el alcance y el papel de estos factores, el suelo sigue siendo una parte fundamental de la economía y el medio ambiente en general. Así que se reconoce al uso y la cobertura del suelo como determinantes clave del suministro de servicios ecosistémicos (Wentland *et al.*, 2020).

Actualmente se le da una valoración instrumental al suelo, donde el paradigma dominante lo ve meramente como un proveedor de biomasa (cultivos), por lo que se necesita incluir la pluralidad de servicios ecosistémicos y sus valores asignados para que se alcance un manejo sostenible de este cuerpo natural (Friedrichsen *et al.*, 2021).

El suelo juega un papel fundamental en la contabilidad económica y ambiental. Como activo, ocupa una posición única en la intersección del Sistema de Cuentas Nacionales y la Contabilidad Experimental de Ecosistemas del Sistema de Contabilidad Económica Ambiental (SEEA-EEA), haciendo del suelo un punto de partida natural para la valoración de los servicios ecosistémicos de manera general y particular (La Notte *et al.*, 2019)

La valoración contable de los servicios ecosistémicos es una estrategia que puede ser utilizada para evitar que los ecosistemas y los cuerpos naturales como el suelo se sigan degradando, lo cual influye en la continuidad de la provisión de servicios ecosistémicos. Esto es bastante complejo porque debe además existir una gobernanza sólida para garantizar el uso sostenible de los recursos (Scheiter *et al.*, 2019), por lo que los servicios ecosistémicos (y su valoración) y que los países adopten los objetivos del desarrollo sostenible están intrínsecamente relacionados (Pereira *et al.*, 2018).

En el suelo esto es especialmente importante pues la degradación del cuerpo edáfico implica la disminución o alteración de los servicios de los ecosistemas terrestres, incluida la producción primaria neta. Y es el resultado de diferentes procesos: erosión del suelo, salinización, compactación y contaminación, disminución de materia orgánica, incendios forestales y sobrepastoreo. Si el suelo es utilizado de forma insostenible también se da una reducción de la actividad microbiológica y la capacidad de retención de agua, una menor conductividad hidráulica y una disminución de la resiliencia del suelo, entre otros. (FAO & ITPS, 2015).

Se estima que las pérdidas anuales de los servicios de los ecosistemas resultantes de la degradación del suelo oscilan entre 6,3 billones y 10,6 billones de dólares. Si bien la degradación podría ser un fenómeno biofísico, las causas e implicaciones también son económicas y sociales. Una estimación reciente que utiliza imágenes de satélite estima que el 29% de la superficie terrestre mundial está degradada, mientras que se han producido mejoras en el 2,7% de la superficie terrestre mundial en las últimas tres décadas. Reducir la degradación del suelo y aumentar su restauración son fundamentales para proporcionar los servicios ecosistémicos necesarios que contribuyan a la vida en la Tierra y al bienestar humano (IPBES, 2019).

III. ANTECEDENTES

III.I Estado del arte de la valoración de los servicios de los ecosistemas en México

En la actualidad, los estudios relacionados con la valoración de servicios ecosistémicos han cobrado una importancia significativa, ya que no solo permiten vislumbrar la estrecha y absoluta dependencia de las personas hacia su entorno natural, sino que también se han convertido en elementos clave para la toma de decisiones en los ámbitos político, ambiental y de planificación a nivel global (Evans, 2019; Stålhammar, 2020) y México no es ajeno a esta tendencia.

En el caso de México, diversos instrumentos gubernamentales utilizan parámetros derivados de la valoración de los servicios ecosistémicos. Entre estos destacan el Programa de Pago por Servicios Ambientales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), los ingresos destinados a las áreas naturales protegidas a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la implementación de tarifas para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Estas herramientas buscan proporcionar compensaciones económicas que incentiven usos alternativos del suelo, diferentes a los tradicionales como la agricultura, la silvicultura o la minería (INECC, 2020).

A pesar de estos esfuerzos, las proyecciones más recientes realizadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) indican que cerca del 50% de los ecosistemas naturales del país han desaparecido (CONABIO, 2021).

De acuerdo con el análisis documental desarrollado para este apartado se encuentran 37 documentos correspondientes a investigaciones en el territorio mexicano referentes explícitamente a la valoración de servicios ecosistémicos (ANEXO 1), estos estudios incluyen artículos científicos, tesis académicas, capítulos de libros y reportes gubernamentales.

La investigación en materia de valoración de servicios ecosistémicos experimenta un crecimiento notable desde 2010, especialmente a partir de 2014, periodo en el que se concentran el 65% de las publicaciones encontradas.

La distribución geográfica de las investigaciones es desigual, con una mayor concentración en estados como Oaxaca (Cárcamo Rico, 2013; Casis *et al.*, 2023; Espinoza, 2019; Rodríguez Sánchez *et al.*, 2019), Baja California (Cital Morales, 2023; Díaz de León Guerrero, 2015; Uscanga Tejeda, 2021) y Chiapas (Aguilar Ibarra *et al.*, 2018; Camacho-Valdez *et al.*, 2020; Medina-fernández *et al.*, 2018), que albergan áreas naturales protegidas (ANP) con alta biodiversidad, como la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán y el Parque Nacional Huatulco. Por otro lado, regiones con una rica biodiversidad y presencia de ANP importantes como Veracruz, Sonora y Campeche, están subrepresentadas en la literatura.

Los ecosistemas más estudiados son los hidrológicos (acuíferos y vegetación riparia), los humedales costeros y los manglares, así como los ecosistemas marinos. Existen vacíos significativos en la valoración de ciertos ecosistemas. Los suelos, por ejemplo, son fundamentales para la regulación de nutrientes y la producción agrícola, pero han sido escasamente estudiados (FAO & ITPS, 2015). De manera similar, los desiertos, matorrales y ecosistemas de alta montaña han recibido poca atención, a pesar de su importancia para la conservación de la biodiversidad y la regulación hídrica.

En términos metodológicos, la valoración contingente es la técnica más utilizada, representando el 24% de los estudios analizados. Este método se basa en encuestas que exploran las preferencias de los individuos y su disposición a pagar por la conservación o restauración de ciertos servicios ecosistémicos (Riera, 1994). Este enfoque es especialmente relevante en contextos donde la biodiversidad es alta y los ecosistemas son frágiles, como en Oaxaca y Sinaloa.

Otras metodologías incluyen el análisis de precios de mercado (16%), el costo de reemplazo (11%) y la transferencia de beneficios (13%). Estas técnicas permiten estimar el valor económico de servicios específicos, como la madera en los bosques, el agua en los acuíferos o las plantas utilizadas en sistemas agrícolas tradicionales (ONU, 2021). Además, el 16% de los estudios emplean valoraciones sociales y culturales, que reflejan

la importancia de los ecosistemas desde la perspectiva de las comunidades locales, considerando sus conocimientos tradicionales y cosmovisiones. Este enfoque es particularmente relevante en México, donde las comunidades indígenas han desarrollado relaciones sostenibles con su entorno natural durante siglos (Santiago, 2019).

A pesar de existir diversos estudios referentes a recursos naturales, incluidos los suelos, la perspectiva de valoración contable de los servicios ecosistémicos es reciente y los estudios en esta materia en México aún son escasos.

Aunado a este análisis, Perez-Verdin y colaboradores (2016) llevaron a cabo en año 2016 una investigación sobre el estado y las tendencias en materia de valoración de servicios ecosistémicos en México, donde expresan que el enfoque principal que se tiene en la valoración de servicios se da en torno a ecosistemas hídricos y de recursos agrícolas, utilizando mayoritariamente métodos de valoración contingente (VC) y, en menor medida, combinaciones con costos de viaje (CV).

Dichos autores también expresan que de acuerdo con análisis los estudios de valoración económica de servicios ecosistémicos han tenido una limitada incidencia en las políticas públicas, pues aunque programas como el Pago por Servicios Ambientales (PSA) de la CONAFOR han intentado incorporar en teoría la valoración económica en sus esquemas, no hay evidencia clara de que estas decisiones se basen en estudios formales, por lo que es necesario promover la adopción de metodologías y prácticas que consideren tanto valores económicos como sociales.

III.II Suelos y regiones terrestres prioritarias

La investigación relacionada con los suelos y su interacción con las regiones terrestres prioritarias (RTP) en México ha sido limitada, a pesar de la importancia de estas unidades como herramientas clave para la conservación de la biodiversidad. Las RTP son unidades espaciales delimitadas con base en la correspondencia entre cuencas hidrológicas, regiones ecológicas, rasgos topográficos y distribución de biodiversidad. Desde el año 2000, estas regiones forman parte de las estrategias nacionales de

conservación implementadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Arriaga *et al.*, 2000).

En el ámbito del estudio de suelos, para la región de interés se han llevado a cabo diversas investigaciones que destacan tanto por su enfoque local como por sus aportaciones a la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales. Entre los trabajos más relevantes se encuentran:

- Valera (1986): Inventario de suelos en la región de Teziutlán, que constituye una base importante para el manejo territorial.
- Tenorio (2003): Evaluación de los recursos naturales de suelo y agua en el municipio de Xochitlán de Vicente Suárez, destacando la relación entre estos elementos para la sostenibilidad.
- Alcántara (2005): Tesis doctoral titulada *“Deforestación-erosión-inestabilidad de laderas: Un enfoque de modelación geomorfológico”*, que aborda las dinámicas geomorfológicas derivadas del manejo inadecuado del suelo.
- Alvarado *et al.* (2006): Estudio sobre los usos y destinos del suelo en la región de Cuetzalan, Puebla, con un enfoque en la interacción entre actividades humanas y conservación.
- Tenorio (2008): Tesis doctoral *“Relación de las propiedades físicoquímicas y calidad de los suelos de Tetelilla, Teziutlán, Puebla”*, que ofrece un análisis detallado de las características del suelo en esta región.
- Castillo (2012): Tesis sobre la *“Medición de la variabilidad espacial y temporal del secuestro de carbono en suelos forestales de la Sierra Norte de Puebla”*, destacando el papel de los suelos en la mitigación del cambio climático.
- Cruz (2014): Tesis titulada *“Identificación de indicadores de la calidad del suelo para el municipio de Xochitlán de Vicente Suárez, Puebla”*, centrada en el desarrollo de indicadores prácticos para evaluar la calidad del suelo.
- Torres (2015): Tesis doctoral titulada *“Utilización de información satelital para el estudio de calidad de suelo y su relación con secuestro de carbono en la RTP 105”*

de conservación, Puebla, México”, que integra tecnología satelital para el monitoreo y análisis de los suelos en una RTP específica.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el valor contable de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en la RTP 105?

V. HIPÓTESIS

El valor contable que deriva de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en la RTP 105 es altamente significativo, tanto en términos monetarios como en términos sociales y culturales.

VI. JUSTIFICACIÓN

El suelo, a pesar de ser el sustento de la vida y la base de las economías agrícolas a nivel global, enfrenta una creciente presión de deterioro derivada de patrones insostenibles de producción y consumo. Esta situación se agrava por la percepción errónea de que el suelo es un recurso inagotable y por su falta de visibilidad como bien directamente consumible, lo que limita que su conservación y estudio sean incluidos en las políticas públicas (SEMARNAT, 2019).

Incrementar la concienciación sobre el suelo y el papel fundamental que desempeña en el bienestar humano, mediante datos fiables referentes a este recurso es imperativo. La generación de información sobre suelos y el escalamiento a prácticas sostenibles para su manejo, permite construir una conciencia colectiva sobre su rol en la existencia de la vida en el planeta (Gardi *et al.*, 2014).

Para ejemplificar dicha situación, en el contexto de la pandemia de COVID-19 el informe “*Prevenir próximas pandemias*” del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, identifica al cambio del uso del suelo acelerado como uno de los principales impulsores para las enfermedades, lo que atenta contra la salud humana y la de los ecosistemas (PNUMA, 2020).

La integración de los valores contables en la naturaleza (monetarios y sociales), incluidos los suelos, es presentado como una herramienta útil para visibilizar los beneficios “invisibles” que provee el entorno natural. Sin esta integración, las decisiones políticas podrían asumir que dichos beneficios tienen un valor nulo o ignorar su importancia real (Lara-Pulido *et al.*, 2018). La valoración de los servicios ecosistémicos es fundamental para cuantificar y monitorear las contribuciones de los ecosistemas al bienestar humano, incluyendo los servicios proporcionados por los suelos (La Notte *et al.*, 2019). Sin embargo, la información disponible sobre los suelos es limitada y requiere actualización.

En este mismo contexto y dados los requerimientos institucionales para desarrollar investigaciones que cumplan con compromisos internacionales, el trabajo busca aportar

elementos relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015), particularmente en:

- ODS 2 (Hambre cero): Promover sistemas de producción de alimentos sostenibles y prácticas agrícolas resilientes para mantener los ecosistemas y mejorar la calidad del suelo (Meta 2.4).
- ODS 3 (Salud y bienestar): Reducir enfermedades causadas por contaminantes en el suelo, aire y agua (Meta 3.9).
- ODS 6 (Agua limpia y saneamiento): Proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua (Meta 6.6).
- ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico): Desvincular el crecimiento económico de la degradación ambiental mediante una producción y consumo más eficientes (Meta 8.4).
- ODS 13 (Acción por el clima): Mejorar la educación y sensibilización respecto al cambio climático y sus efectos (Meta 13.3).
- ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres): Rehabilitar suelos degradados, detener la pérdida de biodiversidad y adoptar medidas que integren los valores ecosistémicos en la planificación y estrategias de desarrollo (Metas 15.3, 15.5 y 15.9).

La región seleccionada para esta investigación cuenta con estudios previos sobre las propiedades y el manejo de los suelos. Sin embargo, es necesario actualizar esta información conforme a los nuevos estándares nacionales e internacionales, que destacan la importancia de los suelos en las cuentas ambientales y en la valoración de los servicios ecosistémicos. Por ello, esta investigación busca generar datos claros y alineados con la perspectiva de la economía ecológica.

Si bien una valoración integral de los servicios ecosistémicos sería ideal, este tipo de análisis interdisciplinario requiere un alto grado de cooperación institucional y social, además de un tiempo considerable para integrar datos de diversos compartimientos ambientales. En este contexto, el enfoque de este proyecto, centrado en el componente natural suelo, puede contribuir como base informativa para futuros estudios integrados de valoración de servicios ecosistémicos en la zona de estudio, contribuyendo de este modo al fortalecimiento de las herramientas disponibles que permitan comprender de una forma holística la importancia de su conservación y manejo sostenible.

VII. OBJETIVOS

VII.I Objetivo general

Establecer el valor contable de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en la RTP 105 de forma integral, para que la información generada sirva como herramienta de conservación y manejo de este recurso.

VII.II Objetivos específicos

1. Identificar el estado actual del cuerpo natural suelo en la RTP 105 para calcular el valor contable de los servicios ecosistémicos que proporciona.
2. Valorar los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos en la RTP 105 en términos monetarios mediante las metodologías disponibles.
3. Analizar la percepción y valoración de los servicios ecosistémicos del suelo a través de métodos participativos con los habitantes de la RTP 105.
4. Proponer acciones generales preliminares para la valoración contable de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo, aplicables a estrategias futuras de conservación, manejo sustentable y políticas públicas en la región, priorizando el bienestar colectivo.

VIII. METODOLOGÍA

VIII. I Enfoque de la investigación

Debido a la complejidad multidimensional que implica la valoración de los servicios ecosistémicos, esta investigación adopta un enfoque mixto desde la perspectiva de la economía ecológica. De acuerdo con Hernández-Sampieri *et al.* (2014), el enfoque mixto combina procesos sistemáticos, empíricos y críticos que integran la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos. Esta integración permite discutir y analizar los resultados de manera conjunta, lo que facilita la generación de inferencias más completas y un entendimiento más profundo del fenómeno estudiado.

Para este trabajo se emplea como herramienta metodológica general aquella encontrada dentro de los informes de Contabilidad Experimental de Ecosistemas del Sistema de Contabilidad Económica Ambiental (SEEA-EEA), el cual consta de un marco que integra datos económicos y ambientales para proporcionar una visión más integral y multipropósito de las interrelaciones entre la economía y el medio ambiente, así como las existencias y los cambios en los activos ambientales que aportan beneficios para la humanidad. (ONU, 2014). El marco de referencia encontrado en este informe se basa en estimar servicios ecosistémicos a partir de la estructura biofísica hasta llegar al valor que la sociedad les da (Potschin *et al.*, 2016).

Los servicios ecosistémicos se derivan de las funciones de los ecosistemas, las cuales están determinadas por las estructuras y procesos biofísicos que los componen (figura 5). Estas funciones actúan como intermediarias entre los procesos biofísicos y los servicios que brindan los ecosistemas y se entienden como “la capacidad de los ecosistemas para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, tanto de manera directa como indirecta” (De Groot, 1992). Los bienes y servicios que surgen de estos procesos y funciones generan beneficios al ser utilizados, como mejoras en la salud, placer, nutrición, entre otros, los cuales pueden ser evaluados desde una perspectiva económica o social.

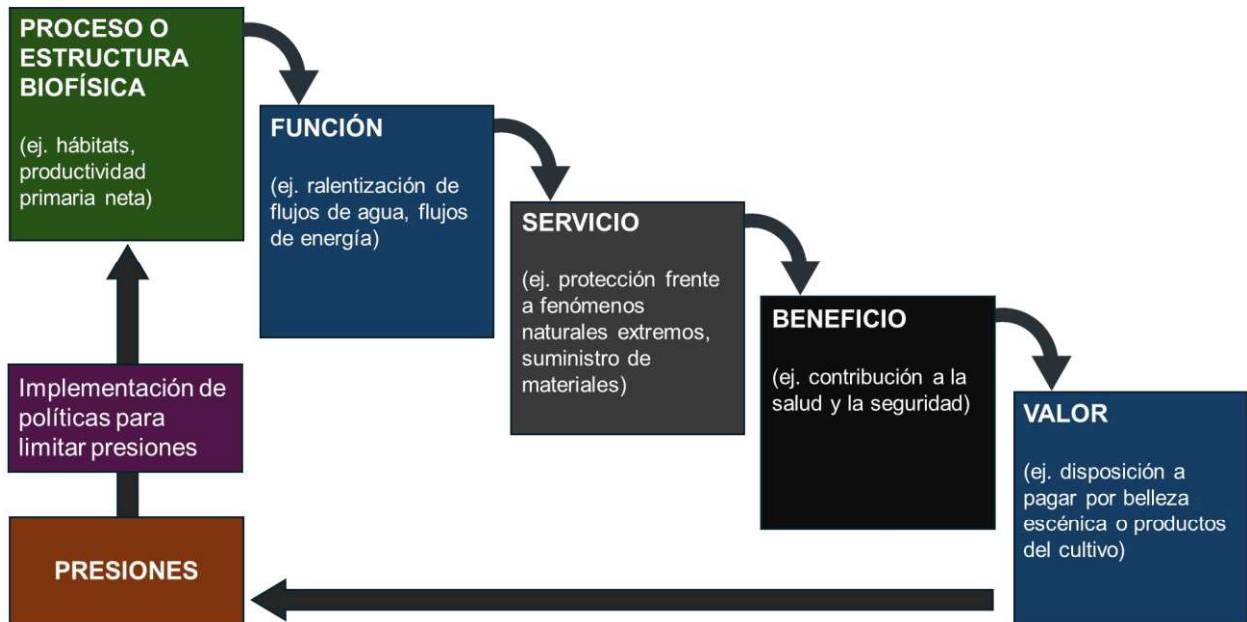


Figura 5. Cascada de servicios ecosistémicos para su valoración. Adaptado de Haines-Young & Potschin, 2016.

VIII.II Técnicas de investigación

En el apartado de técnicas cuantitativas aplicado a este estudio la Contabilidad Experimental de Ecosistemas del Sistema de Contabilidad Económica Ambiental (SEEA EEA), se expresan los pasos generales para llevar a cabo una valoración de servicios ecosistémicos, que para el caso de la presente investigación se adapta al cuerpo natural suelo (figura 6), la cual es flexible ante las condiciones específicas de la zona de estudio dado el contexto y recursos disponibles.



Figura 6. Pasos generales para llevar a cabo una valoración contable temática, modificada de ONU, 2014.

Los métodos más comunes para llevar a cabo una valoración contable de los valores de uso son: precios de mercado, método de factor neto y métodos basados en costos. Los valores de no uso se evalúan normalmente utilizando técnicas basadas en encuestas (Tomaselli *et al.*, 2019). Sin embargo, estos métodos deben adecuarse a la región de estudio para una valoración óptima.

Jónsson & Davíðsdóttir (2016), mediante un metanálisis referente a la valoración de servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos, estandarizaron en una unidad común denominada dólares internacionales los valores monetarios aplicables a los servicios ecosistémicos de este cuerpo natural (tabla 2). El dólar internacional (id \$) es una unidad hipotética de moneda utilizada para estandarizar el valor monetario en todos los países en determinado momento.

Este valor está determinado mediante el indicador de cobertura vegetal natural de la zona estudiada, por lo que es necesario un análisis comparativo del uso del suelo mediante mapas digitales derivados de imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 8 (ambas tomadas en temporada de lluvias), para comparar los cambios a lo largo del tiempo. Se

aplica una técnica de clasificación de máxima verosimilitud utilizando el software ArcGIS 10.5 para identificar categorías de uso del suelo y determinar los valores correspondientes.

Tabla 2. Estandarización de los valores para los servicios ecosistémicos del suelo, adaptado de Jónsson & Davídsdóttir, 2016.

Servicio ecosistémico	Definición	Método de valoración	Valor	Unidades
Ciclaje de nutrientes	Proceso en el que los elementos químicos se desplazan a través de la parte biótica y abiótica del suelo.	Costo de reemplazo, precios de mercado, precios hedónicos	24-180	id\$/ha/año
Formación del suelo	Procesos químicos, físicos y biológicos que conducen a la formación del suelo a lo largo del tiempo a través de la meteorización de rocas y minerales.	Precios de mercado	18-28	id\$/ha/año
Ciclaje de agua	Proceso físico de desplazamiento del agua a través del suelo.	Precios de mercado	62-126	id\$/ha/año
Control biológico de plagas y enfermedades	Los suelos sanos mantienen a raya las plagas y los vectores de enfermedades dañinas a través de la competencia, la depredación y el parasitismo de los microorganismos.	Costo evitado, costo de provisión	59-268	id\$/ha/año
Regulación del clima	Producción y secuestro de gases de efecto invernadero y regulación de la composición química de la atmósfera.	Experimentos de elección, precios de mercado, costo de sustitución	2-268	id\$/ha/año
Control hidrológico	Regulación de la escorrentía mediante el almacenamiento y retención de agua. Esto reduce el impacto de las inundaciones, la sequía y la erosión.	Costo de daño, precio hedónico, costo de reemplazo, transferencia de beneficios, costo de provisión, valoración contingente, modelado de elección	30-1175	id\$/ha/año
Reciclaje y desintoxicación de residuos	Control de la calidad del agua mediante la absorción y retención de contaminantes, evitando así su liberación a aguas subterráneas, lagos y ríos.	Costo de suministro	77-330	id\$/ha/año
Filtrado de nutrientes y contaminantes	Los suelos sanos degradan y descomponen la materia orgánica y retienen contaminantes, patógenos y metales pesados.	Costo de provisión, gastos defensivos	544-6402	id\$/ha/año
Producción de biomasa	El suelo proporciona nutrientes, agua y un entorno físico para la producción de biomasa terrestre.	Precios de mercado, precios al productor	231-22219	id\$/ha/año
Entorno físico	El suelo proporciona un entorno físico para el desarrollo de la vida vegetal y animal, así como para la infraestructura humana.	Costo defensivo, costo de reemplazo, costo de aprovisionamiento	32-110	id\$/ha/año

En las técnicas de investigación cualitativas, se incorporan las perspectivas de las comunidades locales para identificar los valores socioculturales asociados a los servicios ecosistémicos. Este enfoque participativo, especialmente significativo en áreas con una representación de pueblos originarios, emplea una matriz de valoración adaptada de Moreno-Sánchez y Maldonado (2011). A los miembros de las comunidades se les solicita asignar valores basados en la percepción de importancia en lugar de utilizar criterios monetarios, lo que facilita una comprensión culturalmente relevante de estos servicios.

El marco de valoración participativa consta de tres etapas principales:

a) Identificación de servicios ecosistémicos: Se evalúan servicios como el ciclo del agua, el control de plagas y la regulación del clima en consonancia con lo propuesto por Jónsson y Davíðsdóttir (2016), además de servicios culturales.

b) Implementación del cuestionario de valoración: Siguiendo la fórmula sugerida por Aguilar-Barojas (2005) para calcular el tamaño de muestra, se considera como población de referencia a los habitantes mayores de edad de la RTP 105, que suman 491,112 personas según el censo del INEGI (2021). La fórmula utilizada fue:

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 * pq}{Nd^2 + Z_{\alpha/2}^2 * pq}$$

$$n = \frac{(491112 * 1.96)^2(0.8 * 0.2)}{(491112 * 0.1)^2 + (1.96)^2(0.8 * 0.2)}$$

$$n = 61$$

Donde:

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (0.8)

q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno de estudio (1- p). (0.2)

$Z_{\alpha/2}$ = valor crítico de la distribución normal estándar (1.96)

N = Tamaño de la población (491,112)

d = nivel de precisión

A través de un muestreo en bola de nieve, se contacta a los habitantes de la región, aplicando un cuestionario a 61 personas adultas (ANEXO 3) con ayuda de una guía de entrevista semiestructurada (ANEXO 2). Es relevante señalar que, aunque se emplea un método de muestreo no probabilístico, se utiliza la fórmula de Aguilar y Barojas para estimar el número de personas que podrían ser consideradas en este estudio.

c) Registro y análisis de datos: Los servicios ecosistémicos son valorados según su importancia percibida, en lugar de criterios económicos. Este enfoque respeta los sistemas de valores locales, donde el intercambio no monetario, como el trueque, es común, y las percepciones de valor tienen un fuerte componente cultural. Los datos se sistematizan para categorizar los servicios ecosistémicos en función de su importancia relativa.

IX. DELIMITACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En México, la acelerada degradación y transformación de los ecosistemas naturales en las últimas décadas llevó a la creación del programa de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) para la conservación de la biodiversidad en 1996, implementado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Este programa produjo un mapa que identifica 152 regiones prioritarias, abarcando una superficie total de 515,558 km² (Arriaga *et al.*, 2000).

La RTP 105, denominada Cuetzalan, se encuentra entre los estados de Puebla y Veracruz, con las siguientes coordenadas: latitud norte 19° 46' 23" a 20° 11' 55" y longitud oeste 97° 09' 17" a 97° 38' 36" (figura 7). Incluye los municipios de Acateno, Altotonga, Atempan, Atlequizayan, Atzalan, Ayotoxco de Guerrero, Caxhuacán, Chignautla, Cuetzalan del Progreso, Hueyapan, Hueytamalco, Huitzilan de Serdán, Jalacingo, Jonotla, Nauzontla, Tenampulco, Tetela de Ocampo, Teteles de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlapacoyan, Tlatlauquitepec, Tuzamapan de Galeana, Xiutetelco, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Yaonáhuac, Zacapoaxtla y Zoquiapan, con una extensión de 1,284 km². Esta región fue designada prioritaria para la conservación debido a la presencia de relictos de bosques mesófilos de montaña y selva alta perennifolia en sus áreas bajas.

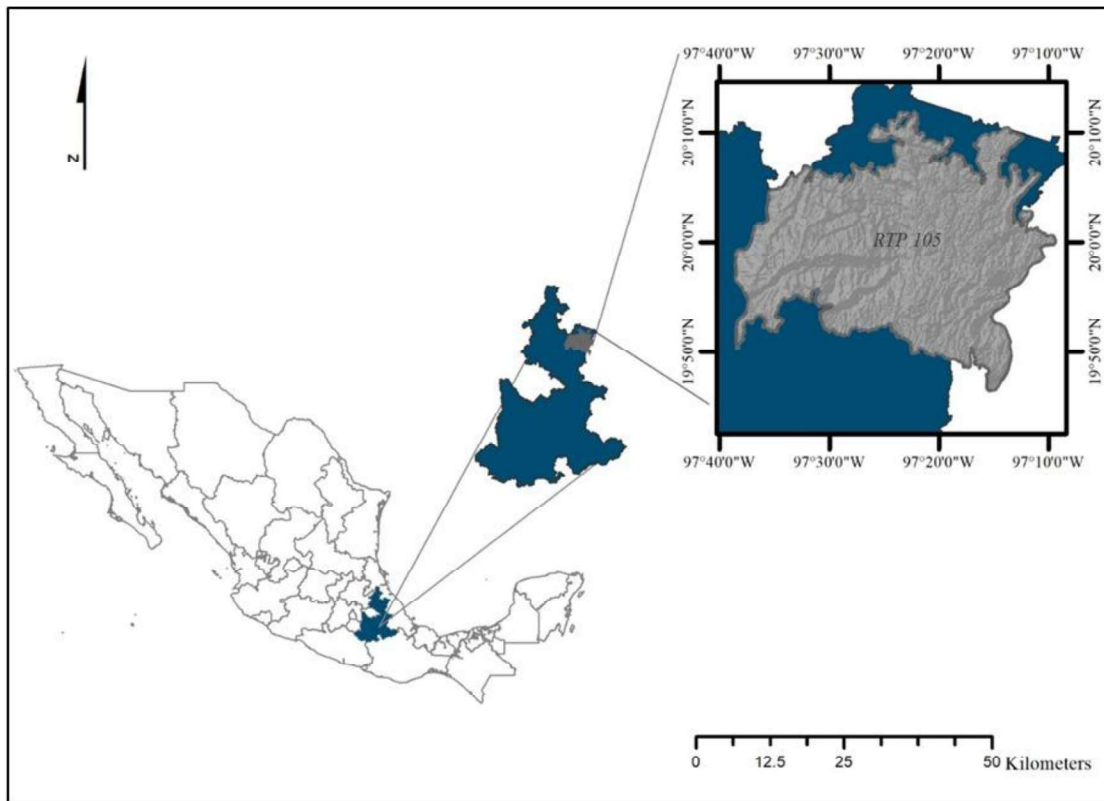


Figura 7. Región Terrestre Prioritaria 105. A partir de datos de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2004.

En esta zona se encuentran dos Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA), la denominada *Cuetzalan* en su totalidad y la denominada *Bosques montanos de Zacapoaxtla y Zautla* de manera parcial (figura 8). Estas áreas albergan una notable diversidad de aves, incluyendo especies endémicas y otras clasificadas en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010, la norma oficial que identifica a las especies de flora y fauna silvestres en peligro (Berlanga *et al.*, 2008).

En total, se han registrado 276 especies de aves en esta región, de las cuales 61 están catalogadas como en riesgo conforme a la NOM-059-ECOL-1994, lo que resalta la extraordinaria riqueza avifaunística de la zona (CONABIO, 2015).

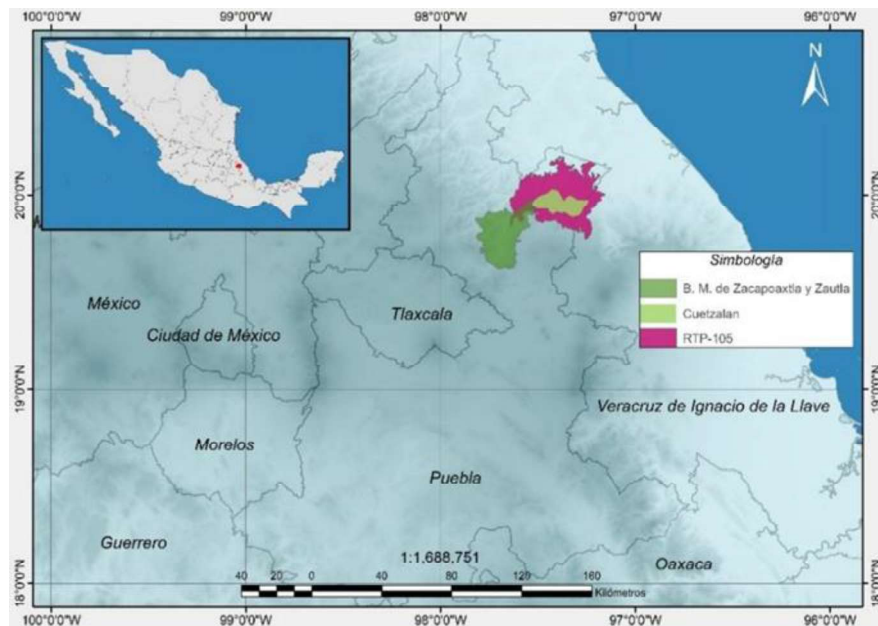


Figura 8. Localización de AICAs dentro de la RTP 105. Adaptado de INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, escala: 1:250000. Edición 2018 y CONABIO. Regiones Terrestres Prioritarias, escala 1:1000000. 2004.

IX.I Vegetación y uso de suelo

Arriaga *et al.* (2000) señalan que la zona presenta un alto grado de fragmentación, así como extensas áreas de vegetación original que han sido alteradas. Las principales causas de esta afectación son la ganadería extensiva, la deforestación, las plantaciones a gran escala de árboles frutales y el turismo masivo.

Según el Continuo Nacional de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación, en su versión VI, escala 1:250,000, en el sureste de la RTP se conserva una importante área de bosque mesófilo de montaña, mientras que en la zona norte predomina vegetación secundaria asociada a la selva alta perennifolia. Estos ecosistemas fueron elementos clave para determinar la prioridad de la región en la conservación de la biodiversidad (Figura 9).

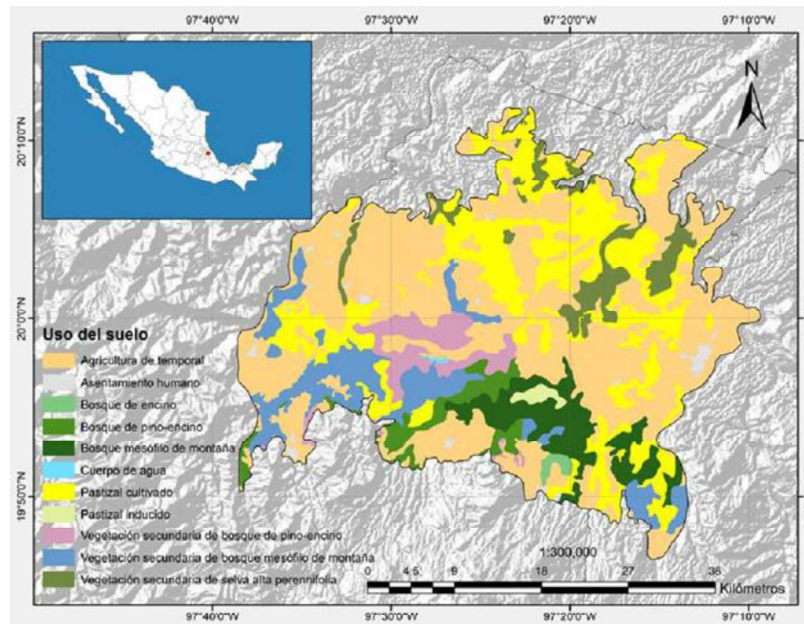


Figura 9. Uso del suelo en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, serie VI.

Una característica destacada de la región es la presencia remanente de bosques de encino y pino-encino, así como vegetación secundaria del bosque mesófilo de montaña. Sin embargo, la mayor parte del territorio está destinada a actividades agrícolas de temporal y al establecimiento de pastizales cultivados.

Cuando cualquier tipo de bosque es sustituido por actividades agrícolas o pastoreo intensivo, se generan cambios significativos en la hidrología de la zona. La exposición del suelo a los elementos provoca un rápido deterioro de sus propiedades, mientras que la compactación causada por el pisoteo del ganado reduce drásticamente su capacidad de infiltración. Estos factores contribuyen inevitablemente al aumento de la escorrentía superficial (Tenorio, 2008), lo cual en la zona de estudio significa constantes deslaves y desprendimiento de laderas.

La designación de la Región Terrestre Prioritaria (RTP) 105 resalta, entre otros aspectos, por la existencia de bosque mesófilo de montaña (BMM) (Arriaga *et al.*, 2000). Este ecosistema, caracterizado por su composición mixta de especies de afinidad templada y tropical, ha sido descrito como una "selva dentro de un bosque". Aunque ocupa áreas

reducidas, generalmente confinadas a cañadas húmedas y laderas protegidas, enfrenta impactos por factores como el cambio climático, la precipitación de nitrógeno, la dispersión de contaminantes y de plásticos (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

El BMM requiere una exposición prolongada y cíclica a bancos de nubes para su desarrollo. Sin embargo, el calentamiento global está alterando este ciclo, elevando la altura de formación de las nubes y reduciendo la entrada de humedad al ecosistema. Este fenómeno provoca menor precipitación, menos días con neblina y periodos de sequía más intensos y prolongados (Williams-Linera, 2007).

En México, las áreas cubiertas por BMM suelen ser densamente habitadas y explotadas, lo que ha llevado a la eliminación de grandes extensiones de vegetación original y, en algunos casos, a su desaparición total, lo que lo cataloga actualmente con condición crítica de riesgo de supervivencia (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014). La RTP 105 no es una excepción, pues los fragmentos restantes (figura 10) están sometidos a intensa presión antropogénica y carecen de programas efectivos para su conservación.

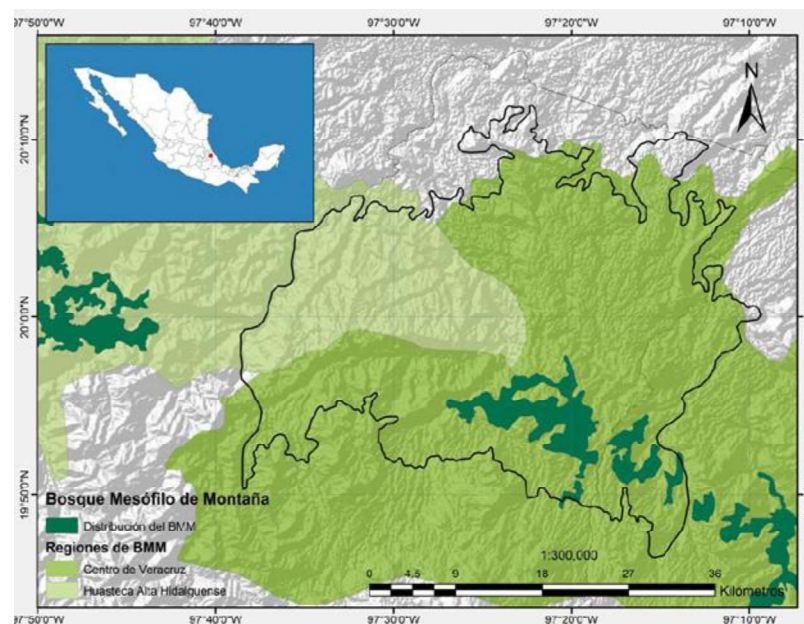


Figura 10. Distribución del bosque mesófilo de montaña en la RTP 105. Adaptado de CONABIO. Catálogo de metadatos geográficos. Regionalización del bosque mesófilo de montaña, 2008.

Dentro de la RTP 105, el bosque mesófilo de montaña se destina principalmente a actividades agrícolas de autoconsumo, incluyendo el cultivo de aguacate, cacao, caña de azúcar, frijol, manzana, cítricos y maíz. Sin embargo, el cultivo de café, debido a su carácter intensivo, es menos frecuente, aunque en localidades como Cuetzalan se practica bajo sistemas agroforestales. Por otro lado, el aprovechamiento forestal a nivel local y la extracción excesiva de recursos no maderables, como tierra, piedra, musgo, plantas y animales, afectan de manera considerable la estructura y dinámica natural de estos ecosistemas (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

En la región de estudio, las áreas que rodean al bosque mesófilo de montaña presentan una alta densidad poblacional y están sometidas a una explotación constante. Este contexto ha favorecido la adopción de prácticas agrícolas seminómadas, las cuales han generado un mosaico de comunidades vegetales secundarias con distintos niveles de degradación. Estas actividades han resultado en alteraciones significativas del entorno natural, contribuyendo a su deterioro progresivo (Tenorio, 2008).

IX.II Clima

En la región se identifican cinco climas predominantes, organizados en franjas latitudinales que reflejan la transición entre los climas templados de la Sierra Norte de Puebla y los climas cálidos propios de las zonas bajas del Golfo de México (figura 11). Esta distribución climática es resultado tanto de su ubicación geográfica como de su compleja orografía. En cuanto a la temperatura, la altitud desempeña un papel clave en las variaciones observadas: en las áreas más elevadas del sur y centro de la región prevalecen climas templados, mientras que en las zonas más bajas hacia el Golfo de México predominan climas cálidos y semicálidos. templados, mientras que en las partes más bajas del declive del Golfo de México dominan los climas cálidos y semicálidos.

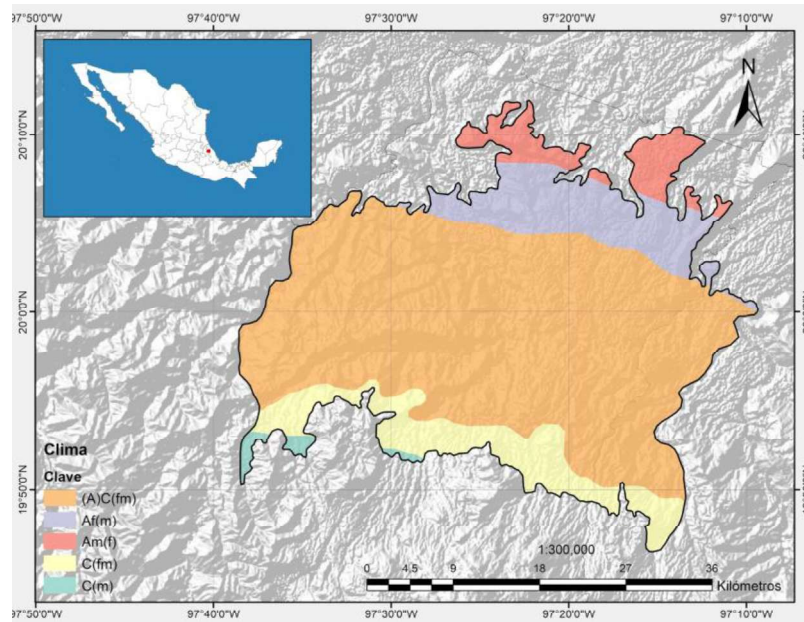


Figura 11. Distribución del clima en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas, escala 1:1 000 000, serie I.

Según la clasificación climática de Köppen, adaptada por Enriqueta García y aplicada en México por el INEGI (INEGI, 2005), los climas presentes en la RTP 105 son los siguientes:

- (A)C(fm): Semicálido húmedo, perteneciente al grupo C (templado). Presenta una temperatura media anual superior a 18°C, con el mes más frío por debajo de los 18°C y el mes más cálido superando los 22°C. La precipitación mensual mínima es mayor a 40 mm, con lluvias distribuidas entre verano e invierno y una proporción de lluvia invernal inferior al 18% del total anual.
- Af(m): Cálido húmedo, con una temperatura media anual mayor de 22°C y lluvias durante todo el año. El mes más seco supera los 60 mm de precipitación, y las lluvias invernales representan menos del 18% del total anual.
- Am(f): Cálido húmedo, con una temperatura media anual superior a 22°C y un mes más frío con temperaturas mayores a 18°C. El mes más seco presenta menos de 60 mm de precipitación, con lluvias concentradas en verano y una proporción de lluvia invernal superior al 10.2% del total anual.

- C(fm): Templado húmedo, con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C. Las lluvias son constantes durante todo el año, con el mes más seco registrando más de 40 mm de precipitación y una lluvia invernal que supera el 18% del total anual.
- C(m): Templado húmedo, con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C. Las temperaturas del mes más frío oscilan entre -3°C y 18°C, y la del mes más cálido no supera los 22°C. La precipitación del mes más seco es inferior a 40 mm, con lluvias principalmente en verano y una proporción de lluvia invernal entre el 5% y el 10.2% del total anual.

IX.III Fisiografía

La Región Terrestre Prioritaria 105 se encuentra comprendida entre las provincias fisiográficas denominadas Eje Neovolcánico, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte (figura 12).

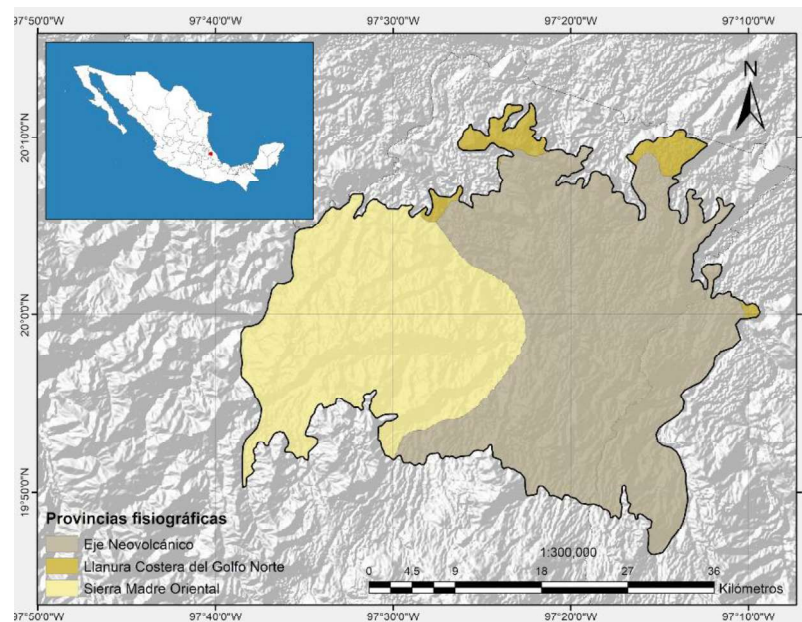


Figura 12. Provincias fisiográficas en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, escala 1:1 000 000, serie I.

IX.IV Orografía

La región se ubica entre el descenso austral de la Sierra de Puebla, la Sierra Norte y el Declive del Golfo. La Sierra Norte, también conocida como Sierra de Puebla, está compuesta por sierras individuales que se disponen de forma paralela y comprimida entre sí, creando altiplanicies intermontañas de diferentes tamaños. Estas altiplanicies, a menudo escalonadas hacia la costa, configuran un paisaje variado. Por su parte, el Declive del Golfo corresponde a la parte septentrional de la Sierra Norte que desciende hacia la llanura costera del Golfo de México, destacándose por la presencia de chimeneas volcánicas y lomas aisladas. En tanto, el declive austral representa un descenso irregular de la Sierra Norte hacia el sur (INAFED, 2010).

El relieve de la región es notablemente accidentado, con múltiples cadenas montañosas, cerros y lomeríos (figura 13). Los descensos pueden alcanzar hasta 500 metros en menos de un kilómetro, y las elevaciones varían desde los 100 metros sobre el nivel del mar hasta más de 2,000 metros.

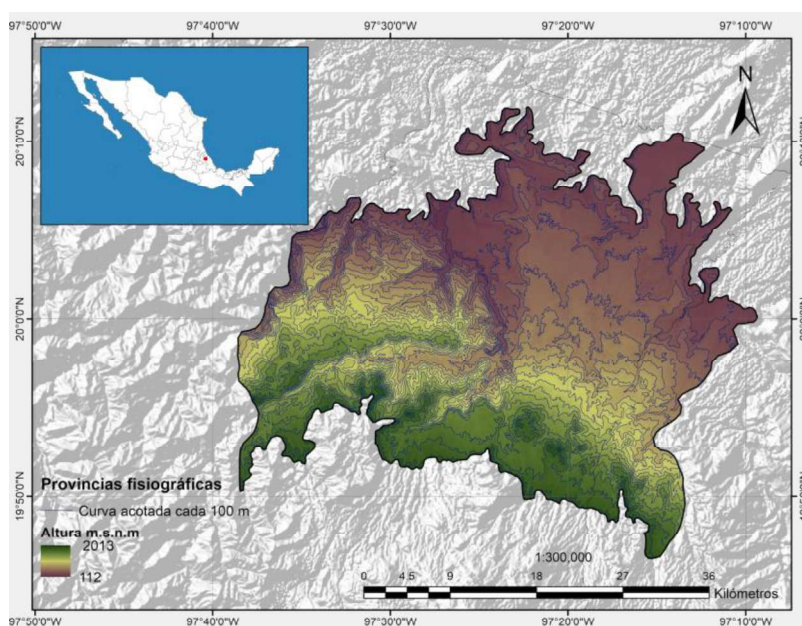


Figura 13. Orografía de la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, escala 1:1 000 000, serie I.

IX.V Hidrografía

La Región Terrestre Prioritaria (RTP) 105 se encuentra dentro de la región hidrológica 27, conocida como Norte de Veracruz o Tuxpan-Nautla. Estas regiones hidrológicas representan los límites naturales de las principales cuencas de México, definidas con base en características morfológicas, orográficas e hidrológicas (Comisión Nacional del Agua, 2016).

En esta área convergen la cuenca del río Tecolutla y la cuenca del río Nautla y otras menores (figura 14), cuyas corrientes desembocan en el Golfo de México. Los arroyos que alimentan estas corrientes tienen su origen en la Sierra de Puebla (INEGI, 2017).

Esta zona destaca como la más lluviosa del estado, con precipitaciones anuales que oscilan entre 1,500 y 3,000 mm. En áreas específicas como Cuetzalan, los promedios anuales superan los 4,000 mm, llegando en algunos casos a registrarse hasta 6,000 mm de precipitación (Tenorio, 2008).

El coeficiente de escurrimiento es generalmente alto debido a las pendientes pronunciadas y a la creciente deforestación, variando entre el 10% y más del 30% en gran parte de la región. Esto genera un escurrimiento anual aproximado de 6,697 millones de metros cúbicos, equivalente a casi el 60% del escurrimiento virgen del estado de Puebla, de los cuales 4,333 millones de metros cúbicos fluyen hacia el estado de Veracruz. La región cuenta con ríos jóvenes y caudalosos, con numerosas cascadas, y es una importante aportadora de recursos hídricos. La cuenca del río Tecolutla abarca una superficie hidrológica de 2,275.81 km², destacando el aporte del río Apulco. Por otro lado, la cuenca del río Nautla comprende una superficie hidrológica de 373.27 km² (Valera-Pérez, 1993).

Según la Red Hidrográfica Digital de México del INEGI (escala 1:250,000, 2006), los principales ríos que atraviesan esta región incluyen el Apulco, Zempoala, Alseseca, María de la Torre, Jalacingo, Atexcaco y Cedro Viejo. Además, la región alberga dos centrales hidroeléctricas: una ubicada en la presa conocida como La Soledad o

Mazatepec, en el municipio de Tlatlauquitepec, y otra en El Encanto, situada en el municipio de Tlapacoyan.

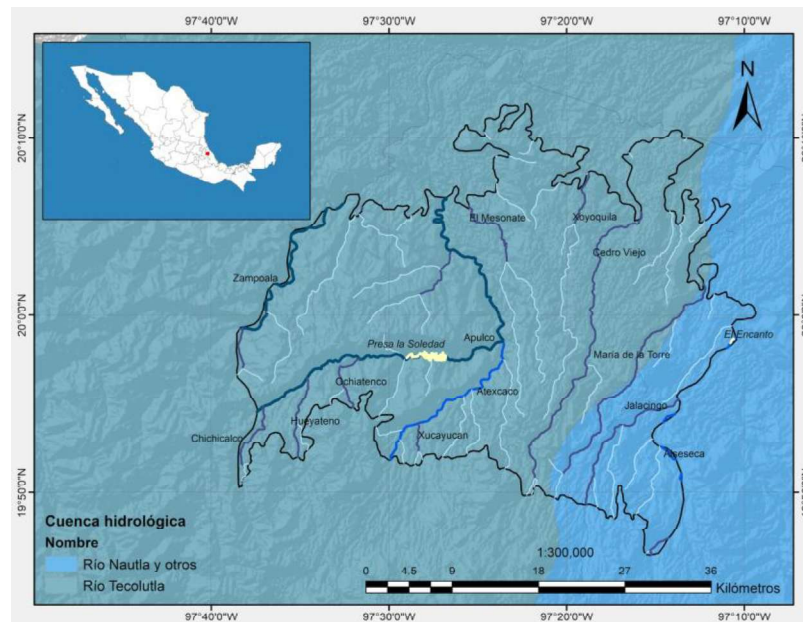


Figura 14. Cuerpos de agua en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, escala 1:250 000, serie I.

IX.VI Suelos

Según el Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos a escala 1:250,000, serie II del INEGI, los tipos de suelo predominantes en la región de estudio son los siguientes (figura 15):

- Acrisol: Localizado en el extremo este de la región, principalmente en los municipios de Hueytamalco y Tlapacoyan.
- Andosol: También denominado suelo de origen volcánico se encuentra en el centro y sur de la región, abarcando los municipios de Altotonga, Atzalan, Cuetzalan, Chignautla, Hueyapan, Hueytamalco, Jalacingo, Jonotla, Nauzontla,

Teteles de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlapacoyan, Tlatlauquitepec, Xiutetelco, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Yaonáhuac, Zacapoaxtla y Zoquiapan.

- Cambisol: Presente en una pequeña franja al norte del municipio de Ayotoxco de Guerrero.
- Feozem: Ubicado en la parte noreste de la región, principalmente en los municipios de Acateno, Hueytamalco y Tlapacoyan.
- Litosol o Leptosol: Se encuentra en la zona occidental de la región, cubriendo municipios como Atlequizayan, Caxhuacán, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Zoquiapan, Huehuetla, Jonotla, Tuzamapan de Galeana, Zacapoaxtla y Zozocolco de Hidalgo.
- Luvisol: Este tipo de suelo se localiza en la parte central y suroeste, distribuyéndose en los municipios de Cuetzalan del Progreso, Yaonáhuac, Tlatlauquitepec, Hueyapan, Zacapoaxtla, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez y Nauzontla.
- Nitosol: Situado en la parte norte, con presencia en los municipios de Ayotoxco de Guerrero y Hueytamalco.
- Regosol: Predomina en el norte de la región, abarcando municipios como Cuetzalan del Progreso, Zoquiapan, Ayotoxco de Guerrero, Tenampulco, Hueytamalco, Acateno y Tlapacoyan.
- Vertisol: Este suelo se encuentra en la parte noreste de la región, principalmente en los municipios de Acateno y Hueytamalco.

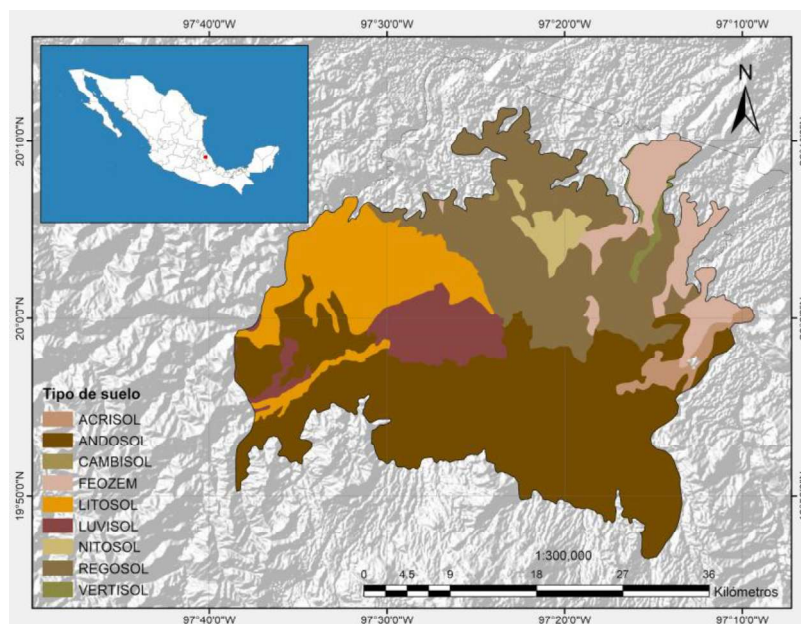


Figura 15. Tipos de suelo en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1:250 000, serie II.

IX. VII Características demográficas

La denominada RTP 105- Cuetzalan está integrada por 28 municipios, por lo que de acuerdo con los datos del último censo poblacional realizado en 2020 se contempla una población de 757 989 habitantes en la zona (tabla 3), de estos 394 216 son mujeres y 363 773 hombres. Dentro de los municipios que conforman la región de estudio se encuentran 226 308 habitantes de pueblos originarios lo que representa el 29.85% de la población total (INEGI, 2021).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2021) y los criterios utilizados para medir el grado de marginación que incluyen el porcentaje de población analfabeta de 15 años o más, viviendas particulares habitadas sin drenaje, energía eléctrica, agua corriente y con piso de tierra, así como población con ingresos de hasta 2 salarios mínimos; el índice de marginación es alto en promedio dentro de la región.

Tabla 3. Características demográficas de los municipios de la Región Terrestre Prioritaria 105, adaptado de (CONAPO, 2021; INEGI, 2021).

Municipio	Habitantes	Población femenina	Población masculina	Viviendas	Índice de marginación	Habitantes de pueblos originarios
Acateno	9,170	4,584	4,586	3,161	Alto	532
Altotonga	64,234	33,707	30,527	21,708	Medio	1,934
Atempan	29,742	15,463	14,279	8,512	Medio	18,544
Atlequizayan	2,633	1,405	1,228	962	Alto	2,607
Atzalan	49,180	24,801	24,379	17,622	Alto	366
Ayotoxco de Guerrero	8,208	4,240	3,968	2,990	Alto	3,742
Caxhuacan	3,811	1,995	1,816	1,230	Alto	3,622
Chignautla	35,223	18,291	16,932	9,075	Medio	10,791
Cuetzalan del Progreso	49,864	25,715	24,149	16,348	Alto	40,036
Hueyapan	13,080	6,821	6,259	4,159	Medio	12,492
Hueytamalco	27,600	14,003	13,597	9,626	Medio	3,933
Huitzilan	15,928	7,836	8,092	4,933	Alto	13,545
Jalacingo	46,794	24,150	22,644	14,007	Medio	319
Jonotla	4,457	2,285	2,172	1,707	Alto	3,406
Nauzontla	3,317	1,774	1,543	1,390	Medio	1,191
Tenampulco	6,743	3,439	3,304	2,782	Alto	2,109
Tetela de Ocampo	27,216	14,116	13,100	11,553	Medio	8,183
Teteles de Ávila Castillo	6,653	3,766	2,887	2,329	Muy bajo	2,134
Teziutlán	103,583	54,934	48,649	34,363	Muy bajo	14,267
Tlapacoyan	61,377	31,779	29,598	21,688	Bajo	1,523
Tlatlauquitepec	55,576	28,959	26,617	19,115	Bajo	17,823
Tuzamapan de Galeana	5,924	3,015	2,909	2,151	Medio	4,247
Xiutetelco	42,943	22,264	20,679	11,906	Medio	1,029

Xochiapulco	3,443	1,818	1,625	1,757	Alto	1,820
Xochitlán de Vicente Suárez	13,025	6,763	6,262	4,640	Alto	12,424
Yaonáhuac	7,926	4,243	3,683	2,504	Bajo	6,451
Zacapoaxtla	57,887	30,736	27,151	19,580	Medio	35,046
Zoquiapan	2,452	1,314	1,138	1,091	Alto	2,192

IX. VIII Biodiversidad

Una de las características más relevantes de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), es que son unidades estables desde el punto de vista ambiental en las que destaca la presencia de riqueza ecosistémica y específica en dónde existe una oportunidad de conservación, en el caso de la región de estudio esto significa principalmente la presencia de bosques mesófilos de montaña y selva alta perennifolia (Arriaga *et al.*, 2000).

Dentro de las AICAS Cuetzalan y Bosques montanos de Zacapoaxtla y Zautla se encuentran las siguientes especies de aves endémicas: Chipe Rojo (*Cardellina rubra*), Codorniz Coluda Veracruzana (*Dendrortyx barbatus*), Zumbador Mexicano (*Atthis heloisa*), Momoto Corona Azul (*Momotus coeruliceps*), Mulato Azul (*Melanotis caerulescens*), Zorzal Mexicano (*Catharus occidentalis*), Rascador de Collar (*Pipilo ocai*), Rascador Gorra Canela (*Atlapetes pileatus*), Picogordo Cuello Rojo (*Periporphyrus celaeno*) y Semillero Rabadilla Canela (*Sporophila torqueola*) (Berlanga *et al.*, 2008).

En cuanto a reptiles y anfibios se tiene presencia de: Salamandra de Cuetzalan (*Pseudoeurycea quetzalanensis*), Salamandra de Xicotepec (*Chiropterotriton melipona*), Tlaconete Regordete (*Aquiloerycea cephalica*), Culebra Cordelilla Chata (*Imantodes cenchoa*), Tortuga Casquito Pecho Quebrado (*Kinosternon integrum*), Calate Jarocho

(*Charadrahyla taeniopus*), Salamandra Enana de la Sierra Madre Oriental (*Parvimolge townsendi*), Tlaconete Verde (*Pseudoeurycea lynchi*), Sapo Cresta Grande (*Incilius cristatus*), Lagartija Nocturna de Montaña (*Lepidophyma sylvaticum*), Eslizón de la Sierra Madre Oriental (*Scincella gemmingeri*), Turipache de Montaña (*Corytophanes hernandesii*), Abaniquillo de Hidalgo (*Anolis naufragus*), Culebra Imita Coral Común (*Pliocercus elapoides*), Culebra Cabeza Negra (*Tantilla melanocephala*) y Mano de Metate de la Sierra Madre Oriental (*Metlapilcoatlus nummifer*), todas ellas especies bajo protección de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994.

La especies de mamíferos las cuales se encuentran en la literatura que corresponden al área de estudio y que se encuentran bajo algún tipo de protección en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 son: Ocelote (*Leopardus pardalis*), Martucha (*Potos flavus*), Grisón (*Galictis vittata*), Tlacuache Cuatro Ojos Gris (*Philander oposum*) y Murciélago Magueyero Mayor (*Leptonycteris nivalis*) (CONABIO, 2021).



Figura 16. Especies en peligro de extinción registradas en la RTP 105, de izquierda a derecha Codorniz Coluda Veracruzana, Salamandra de Cuetzalan y Ocelote. Adaptado de CONABIO, 2021.

IX.IX Bioculturalidad

El municipio de Cuetzalan destaca por su biodiversidad, además no solo es importante por la abundancia de plantas y animales que alberga, o por la riqueza de recursos naturales, sino también por su historia como hogar ancestral de diversas culturas. Inicialmente habitado por el pueblo totonaco desde el siglo IV, fue ocupado

posteriormente por los nahuas en el siglo XV. Tras la Conquista, llegaron los mestizos y españoles, en la actualidad la población nahua es predominante y los “*masehuales*”, como se autodenominan, han mantenido un modelo de producción agrícola y un aprovechamiento de los recursos naturales que refleja una relación respetuosa con la naturaleza. Esto se fundamenta en una cosmovisión que sostiene que “*la naturaleza no pertenece al ser humano, sino que el ser humano forma parte de ella y debe integrarse a su entorno*” (Trigo-Massieu, 2017).

En la región de estudio los pueblos originarios han impulsado un sólido movimiento social que, aunque inserta su producción en los mercados capitalistas, no sigue la lógica depredadora de maximización de ganancias. Los locatarios han llevado adelante un proceso de planeación y ordenamiento territorial autónomo y autogestionado, resultado de su resistencia contra proyectos social y ambientalmente destructivos promovidos por los gobiernos estatal y federal, tales como el turismo masivo y excluyente, la instalación de Wal-Mart y la implementación de proyectos mineros e hidroeléctricos. Este ordenamiento ha sido una herramienta clave para proteger el territorio, la biodiversidad y las formas de vida tradicionales de la comunidad (Albores, 2014; Trigo-Massieu, 2017).

No obstante, los conflictos por los territorios indígenas y campesinos persisten en diversas escalas ecológicas y geográficas, incluida la RTP-105. Estas disputas están motivadas por intereses económicos vinculados a megaproyectos como la minería, hidroeléctricas, extracción de hidrocarburos, agricultura comercial con transgénicos, privatización de semillas y agua, construcción de carreteras, así como por la expansión territorial de actividades del crimen organizado, un problema emergente en la región estudiada (Toledo-Manzur *et al.*, 2019).

X. RESULTADOS

Se presentan los resultados de acuerdo con los objetivos planteados:

1. *Identificar el estado actual del cuerpo natural suelo en la RTP 105 para calcular el valor contable de los servicios ecosistémicos que proporciona.*

El primer objetivo es parcialmente abordado dentro del apartado IX del documento con la descripción extensa del lugar de estudio. En la RTP 105, basados en los trabajos previos se distinguen dos tipos de calidad (inherente y dinámica) dentro de los perfiles edafológicos recuperados, en estos se entiende como calidad inherente del suelo (innata) aquella basada en el material original y suele ser estacionaria, por otro lado la calidad dinámica del suelo (modificada) cambia dado el uso y manejo humano (Yao *et al.*, 2013). Es de destacar que dentro de estos documentos 55 perfiles (ANEXO 2) poseen calidad dinámica y solo 12 calidad inherente, lo cual responde a la alta perturbación de la vegetación natural y por ende los suelos de la región (figura 17).

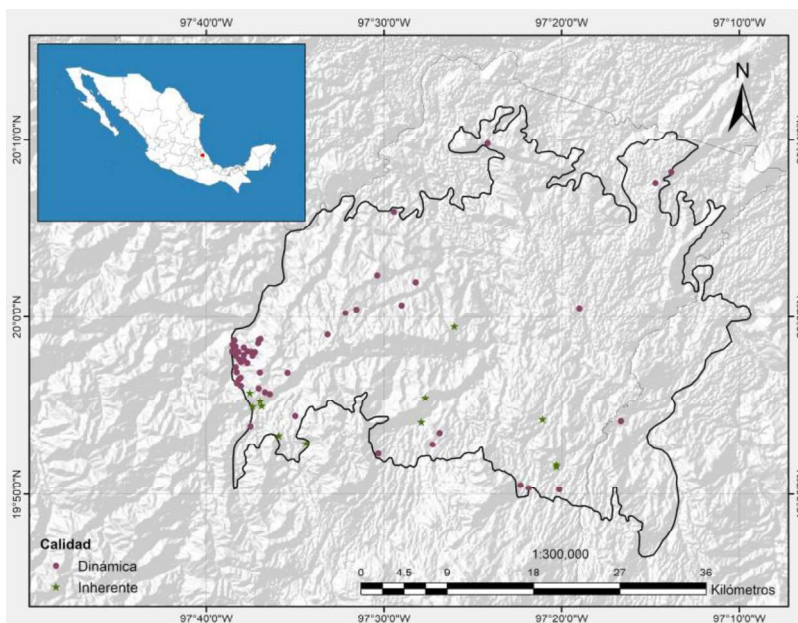


Figura 17. Perfiles con calidad dinámica e inherente en la RTP 105.

Se analiza con base en la metodología propuesta el uso de suelo de la RTP 105, la línea base de los mapas digitales para la zona de estudio es el año 2000 (figura 18), pues es el año de publicación de la base de datos de las regiones terrestres prioritarias para la conservación de biodiversidad (Arriaga *et al.*, 2000) con el año a contrastar que es 2021 (figura 19). Mediante el software ArcGis 10.5 y con imágenes satelitales obtenidas de LANDSAT 5 (año 2000) y LANDSAT 8 (año 2021) respectivamente, se hace una clasificación por máxima verosimilitud (tabla 4).

Tabla 4. Uso de suelo en la RTP-105 para el año 2000 y 2021 respectivamente, elaboración propia mediante información obtenida de imágenes satelitales de LANDSAT 5 y 8.

Categoría de uso de suelo	Año 2000 Superficie (ha)	Año 2021 Superficie (ha)
Agricultura	24,302.42	23,627.70
Asentamientos humanos	5,162.69	11,032.50
Bosque mesófilo de montaña	28,094.40	23,298.64
Bosque mixto	20,983.50	18,990.70
Cuerpos de agua	953.78	779.47
Nubes	205.93	-
Suelo desnudo	-	166.91
Pastizal inducido	15,332.25	17,884.94
Selva alta perennifolia	34,314.36	33,568.47
Total	129,349.32	129,349.32

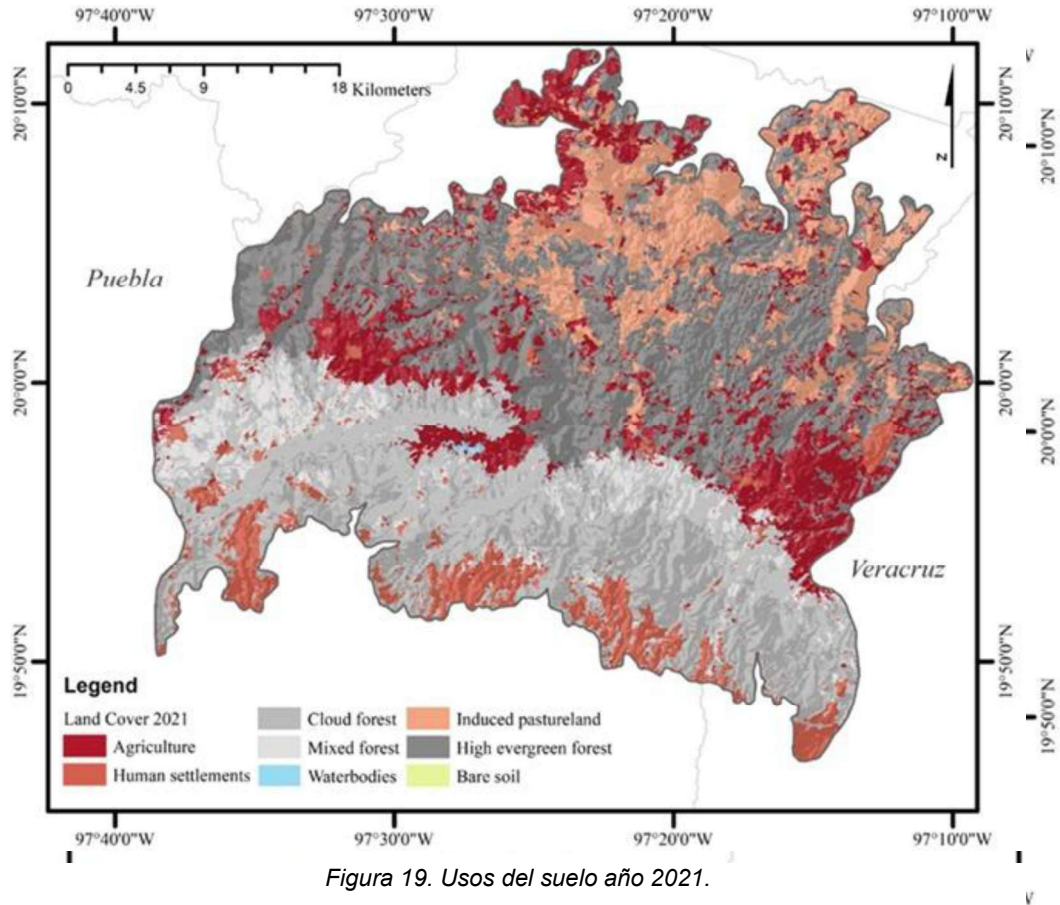


Figura 19. Usos del suelo año 2021.

Figura 18. Figura 18. Uso del suelo año 2000.

Con las imágenes satelitales procesadas se observan siete tipos de usos principales y una subcategoría de nubosidad dada la naturaleza del instrumento (tabla 5). Para la primera categoría que es agricultura se tiene una disminución de la extensión de la cobertura en un 2.78% para el año 2021 con respecto a la línea base del año 2000. Dicha disminución responde a un fenómeno social que se vislumbra dentro de la región, en donde se da un cambio de actividades económicas, principalmente desagrarización, con lo que la concentración de la población se encuentra en donde generaciones más jóvenes principalmente perciben una prospección de mayor desarrollo económico

(Hernández, 2021), en diferentes lugares del territorio se evidencian viviendas deshabitadas y abandonadas (figura 20).



Figura 20. Construcciones y viviendas en abandono dentro de la RTP-105 (fotografías propias, 2023).

Los asentamientos humanos son la categoría que presenta el mayor incremento de las categorías de uso de suelo pues se observa un crecimiento del 113.69% entre la línea base del año 2000 y el año 2021. Dicho incremento responde a la deforestación e instalación de infraestructura urbana asociada al crecimiento poblacional de la región y también en varias zonas de la RTP se relaciona con el aumento de infraestructura destinada a servicios turísticos.

El bosque mesófilo de montaña, una de las asociaciones vegetales clave en la denominación de la RTP 105 como prioritaria para la conservación, presenta una reducción del 17.1% en su extensión en el lapso de la comparativa de las imágenes satelitales, esto es sumamente relevante y alarmante pues al ser una de las comunidades vegetales más vulnerables (en México y en el mundo) y encontrarse amenazadas por el cambio climático global, la deforestación (conversión a potreros con alto impacto sobre la formación de nubes) y el uso del suelo para cultivos extensivos

enfrenta una situación crítica que pone en peligro supervivencia a largo plazo (representa solo el 1% del territorio mexicano) (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

El bosque de pino-encino o bosque mixto caracterizado por la abundancia de ciertas especies de pino (*Pinus*) y encino (*Quercus*), presenta una disminución del 9.5% entre el año 2000 y 2021, cediendo principalmente su extensión ante los asentamientos humanos y los pastizales inducidos. Esta agrupación de especies vegetales es una de las más representativas en México y actualmente representa el 16% del territorio (CONABIO, 2021).

La categoría de nubes y agua respectivamente presentan variaciones que responden a las características de temporalidad de la fecha en la que fue tomada la imagen satelital por lo que un mayor análisis no es representativo.

La categoría de suelo desnudo aparece por primera vez en la imagen recuperada en el año 2021, es muy importante porque el suelo desnudo suele ser consecuencia de deforestación, malas prácticas agrícolas como el uso excesivo de agroquímicos, sobrepastoreo, tierras de cultivo abandonadas o de zonas de extracción de materiales. Todo esto conlleva que el suelo sea degradado y exista erosión en la zona con pérdidas significativas de este cuerpo natural (FAO & ITPS, 2015).

De acuerdo con el INEGI, en México el pastizal inducido se desarrolla en áreas donde se ha eliminado la vegetación original. Surge como resultado de la remoción de cualquier tipo de cobertura vegetal, pudiendo establecerse en terrenos agrícolas abandonados o en zonas que son frecuentemente afectadas por incendios, para la zona de estudio en la comparativa entre el año 2000 y 2021 se dio un aumento del 16.6%.

Por último, se considera también un ecosistema tropical clave en la denominación de la RTP 105 como relevante para la conservación a la selva alta perennifolia, este bioma considerado “exuberante” representa escasamente el 0.72% del territorio en el país (CONABIO, 2021) y dentro de la zona de estudio presento una disminución de 2.2% entre las comparativas del año 2000 y 2021.

2. Valorar los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos en la RTP 105 en términos monetarios mediante las metodologías disponibles.

Tabla 5. Valores para los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en zonas con vegetación natural, adaptado de Jónsson & Davídsdóttir, 2016.

Servicio	Valores	Bosque mesófilo de montaña		Bosque mixto		Selva alta perennifolia	
	id\$/ha/año	Año		Año		Año	
		2000	2021	2000	2021	2000	2021
Ciclaje de nutrientes	Mínimo	674265.6	559167.36	503604	455776.8	823544.64	805643.28
	Máximo	5056992	4193755.2	3777030	3418326	6176584.8	6042324.6
Formación del suelo	Mínimo	505699.2	419375.52	377703	341832.6	617658.48	604232.46
	Máximo	786643.2	652361.92	587538	531739.6	960802.08	939917.16
Ciclaje del agua	Mínimo	1741852.8	1444515.68	1300977	1177423.4	2127490.32	2081245.14
	Máximo	3539894.4	2935628.64	2643921	2392828.2	4323609.36	4229627.22
Control biológico de plagas y enfermedades	Mínimo	1657569.6	1374619.76	1238026.5	1120451.3	2024547.24	1980539.73
	Máximo	7529299.2	6244035.52	5623578	5089507.6	9196248.48	8996349.96
Regulación climática	Mínimo	56188.8	46597.28	41967	37981.4	68628.72	67136.94
	Máximo	7529299.2	6244035.52	5623578	5089507.6	9196248.48	8996349.96
Control hidrológico	Mínimo	842832	698959.2	629505	569721	1029430.8	1007054.1
	Máximo	33010920	27375902	24655612.5	22314072.5	40319373	39442952.25
Reciclaje de residuos y desintoxicación	Mínimo	2163268.8	1793995.28	1615729.5	1462283.9	2642205.72	2584772.19
	Máximo	9271152	7688551.2	6924555	6266931	11323738.8	11077595.1
Filtrado de nutrientes y contaminantes	Mínimo	15283353.6	12674460.16	11415024	10330940.8	18667011.84	18261247.68
	Máximo	179860348.8	149157893.3	134336367	121578461.4	219680532.7	214905344.9
Producción de biomasa*	Mínimo	6489806.4	5381985.84	4847188.5	4386851.7	7926617.16	7754316.57
	Máximo	624229473.6	517672482.2	466232386.5	421954363.3	762430764.8	745857834.9
Entorno físico	Mínimo	899020.8	745556.48	671472	607702.4	1098059.52	1074191.04
	Máximo	3090384	2562850.4	2308185	2088977	3774579.6	3692531.7
TOTAL	Mínimo	30313857.6	25139232.56	22641196.5	20490965.3	37025194.44	36220379.13
	Máximo	873904406.4	724727495.8	652712751	590724714.2	1067382482	1044180828
		-17.07%		-9.49%		-2.17%	

Entendiendo que el principal indicador de la provisión de servicios ecosistémicos variados, más allá de la provisión de alimento, es la cobertura vegetal natural (vegetación natural primaria y secundaria) (ONU, 2014), de acuerdo con el uso de suelo descrito en los resultados del primer objetivo, se presentan los valores de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en las zonas con cobertura vegetal natural, para el año 2000 y 2021 (tabla 5).

Todos los valores están referidos en dólares internacionales (id \$) de acuerdo con la metodología expuesta en la tabla 3 (Jónsson & Davíðsdóttir, 2016). Para cada servicio ecosistémico valorado se aprecia un valor mínimo y máximo de acuerdo con los datos expuestos por los autores y en concordancia con la extensión de la cobertura vegetal natural para cada temporalidad representada. Los valores en el año 2021 se reducen en un 17.07% para el BMM, 9.49% en el bosque mixto y 2.17 en la selva alta perennifolia en contraste con los valores presentados en el año 2000.

La tabla 5 muestra una comparación de los servicios ecosistémicos proporcionados por tres tipos de vegetación: bosque mesófilo de montaña, bosque mixto y selva alta perennifolia en los años 2000 y 2021. A continuación, se describen los hallazgos para cada servicio ecosistémico analizado:

1. Ciclaje de nutrientes:

- En el bosque mesófilo de montaña existe una variación entre el año 2000 y 2021 para los valores mínimos de 115 098.24 id\$ a la baja, y para los valores máximos de 863 236.8 id\$.
- Para el bosque mixto la reducción en los valores mínimos es de 47 827.2 id\$, mientras que en los valores máximos es de 358 704 id\$.
- En la selva alta perennifolia la disminución en los valores mínimos es de 17 901.36 y la de los valores máximos de 134 260.2 id\$.

Este servicio ecosistémico en la zona de estudio refiere pérdidas relevantes, destacando que el principal tipo de suelo encontrado en la región es andosol, lo cual significa que inherentemente existen deficiencias de micronutrientes como cobre (Cu), zinc (Zn) y

cobalto (Co), además de que la biodisponibilidad de fósforo es limitada (Torres-Cuesta *et al.*, 2023). Las pérdidas monetarias en la provisión de este servicio exacerban los potenciales costos para el mantenimiento de las zonas con vegetación natural y para la producción forestal y agrícola en la zona.

2. Formación del suelo:

- Para el bosque mesófilo de montaña el decrecimiento entre los años 2000 y 2021 para los valores mínimos es de 86 323.68 id\$, mientras que para los valores máximos es de 134 281.28 id\$.
- Las pérdidas en el bosque mixto para los valores mínimos son de 35 870.4 id\$ y para los valores máximos de 55 798.4 id\$.
- La disminución de la selva alta perennifolia representa pérdidas en los valores mínimos de 13 426.02 id\$ y los valores máximos de 20 884.92 id\$.

La formación del suelo es un proceso complejo en el que el material parental interactúa con factores bióticos y abióticos de la región a lo largo de cientos o incluso miles de años, hasta alcanzar el espesor mínimo necesario para que pueda sustentar vegetación (FAO, 2020). La pérdida de este servicio ecosistémico en términos monetarios representa un doble desafío pues además de considerarse el costo económico asociado a su recuperación se debe tener en cuenta la tecnología disponible y el factor tiempo.

3. Ciclaje del agua:

- Dentro del bosque mesófilo de montaña la reducción en los valores mínimos es de 297 337.12 id\$ y para los valores máximos de 604 265.76 id\$.
- En el bosque mixto la mengua en los valores mínimos se da en 123 553.6 id\$ y para los valores máximos en 251 092.8 id\$.
- La pérdida en la selva alta perennifolia es de 46 245.18 id\$ en los valores mínimos y de 93 982.14 id\$ en los valores máximos.

Para el servicio ecosistémico de ciclaje de agua la lluvia puede infiltrarse en el suelo, escurrir sobre la superficie o acumularse temporalmente en hojas y charcos antes de evaporarse. El agua infiltrada recarga el suelo, permitiendo su absorción por las plantas para la transpiración, evaporándose desde la superficie o filtrándose a niveles más profundos como agua subterránea (FAO, 2020). La pérdida de este servicio por un manejo inadecuado del suelo incrementa la escorrentía, reduciendo la recarga subterránea de agua y aumentando el riesgo de inundaciones en la zona.

4. Control biológico de plagas y enfermedades:

- El bosque mesófilo de montaña mostró una reducción de 282 949.84 id\$ en los valores mínimos y 1 285 263.68 id\$ en los valores máximos.
- En el bosque mixto disminuyó en 117 575.2 id\$ en los valores mínimos y 534 070.4 id\$ en los valores máximos.
- Sobre la selva alta perennifolia se tiene una diferencia de 44 007.51 id\$ a la baja en los valores mínimos y de 199 898.52 id\$ también a la baja en los valores máximos.

Las potenciales plagas y enfermedades presentes en el suelo pueden ser reguladas de manera natural por organismos como insectos, parásitos, parasitoides, virus y otros microorganismos, los cuales estarán presentes siempre que existan las condiciones adecuadas para su desarrollo. Este equilibrio ecológico disminuye la dependencia de pesticidas sintéticos, lo que a su vez supone un ahorro monetarios y de recursos a los locatarios (Martínez-Rodríguez et al., 2017; TEEB, 2020). En la zona de estudio las pérdidas económicas en este servicio pueden significar un coste relevante para los pequeños y grandes productores agrícolas, además de la población en general.

5. Regulación climática:

- Este servicio mostró un declive en el bosque mesófilo de montaña de 9 591.52 id\$ para los valores mínimos y 1 285 263.68 id\$ en los valores máximos.

- Dentro del bosque mixto la reducción en los valores mínimos es de 3 985.6 id\$ y para los valores máximos de 534 070.4 id\$.
- En la selva alta perennifolia se tiene una merma en los valores mínimos de 1 491.78 id\$ y en los valores máximos de 199 898.52 id\$.

Los suelos con cobertura vegetal natural o bajo manejo agrícola sostenible son esenciales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resiliencia ante el cambio climático acelerado por factores antropogénicos (INECC, 2021; ITPS, 2015). En México algunos estudios estiman que la reducción de este servicio ecosistémico puede generar pérdidas de hasta mil millones de dólares anuales, afectando principalmente a los pequeños agricultores de subsistencia, quienes representan la mayoría de los productores en la región de estudio (Estrada *et al.*, 2024).

6. Control hidrológico:

- Para el bosque mesófilo de montaña la variación en los valores mínimos es de 143 872.8 id\$ y de los valores máximos de 5 635 018 id\$, ambos valores en decremento.
- En el bosque mixto la disminución en los valores mínimos es de 59 784 id\$ y en los valores máximos de 2 341 540 id\$.
- Las pérdidas en la selva alta perennifolia para los valores mínimos son de 22 376.7 id\$ y para los valores máximos de 876 420.75 id\$

La regulación del movimiento, almacenamiento y disponibilidad del agua en el suelo permite que el este compartimiento ambiental funja como un filtro natural al absorber, almacenar y liberar agua de manera gradual. Este servicio ecosistémico permite prevenir inundaciones y desastres naturales, reducir la erosión y mantener la recarga de acuíferos (FAO, 2020). En esta región, la degradación del suelo y la consecuente pérdida de su capacidad para regular los flujos de agua han aumentado la vulnerabilidad de la población. Un ejemplo claro de ello son las inundaciones ocurridas en octubre de 1999, cuya magnitud fue exacerbada por la reducción del control hidrológico del suelo. Según estimaciones del Centro Nacional de Prevención de Desastres los daños económicos

derivados de este evento alcanzaron aproximadamente 2,800 millones de pesos, evidenciando la importancia de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en la mitigación de desastres naturales (Bitrán, 2000).

7. Reciclaje de residuos y desintoxicación:

- En el bosque mesófilo de montaña los valores mínimos disminuyen en 369 273.52 id\$ y los valores máximos en 1 582 600.8 id\$.
- Para el bosque mixto se tiene una reducción en los valores mínimos de 153 445.6 id\$ y en los valores máximos de 657 624 id\$.
- La selva alta perennifolia presenta un decremento en los valores mínimos de 57 433.53 id\$ y en los valores máximos de 246 143.7 id\$.

El suelo actúa como un filtro natural para purificar aguas residuales mediante procesos físicos, químicos y biológicos protegiendo así las aguas subterráneas y superficiales. Para ser eficaz debe estar insaturado, tener profundidad suficiente y ser permeable al agua y aire. El filtrado físico ocurre cuando el agua atraviesa los poros del suelo, eliminando partículas y reduciendo la turbidez. La degradación biológica se da cuando los microorganismos descomponen la materia orgánica y transforman el amoníaco en nitrato, eliminando olores y toxicidad. En la adsorción química los elementos como fósforo, bacterias y virus se adhieren a las partículas del suelo. Este servicio ecosistémico no solo mejora la calidad del agua, sino que también reduce riesgos ambientales y los costos en salud pública e infraestructura para los locatarios (FAO, 2020; Mancl & Slater, 2016).

8. Filtrado de nutrientes y contaminantes:

- En el bosque mesófilo de montaña la variación en los valores mínimos entre el año 2000 y 2021 es de 608 893.44 id\$ a la baja y para los valores máximos de 30 702 455.52 id\$.
- Las pérdidas en el bosque mixto para los valores mínimos son de 1 084 083.2 id\$ y para los valores máximos de 12 757 905.6 id\$.

- La disminución en la selva alta perennifolia en los valores mínimos es de 405 764.16 id\$ y en los valores máximos de 4 775 187.78 id\$.

El suelo desempeña un papel clave en la filtración, regulación y transformación de contaminantes, contribuyendo a la calidad del agua subterránea y la seguridad alimentaria. Cuando los contaminantes ingresan al suelo, son sometidos a procesos físicos, químicos y biológicos que pueden atraparlos, descomponerlos o minimizar sus efectos. Factores como la mineralogía, textura, contenido de materia orgánica, pH, humedad y temperatura determinan el comportamiento de estas sustancias en el suelo. Entre los principales contaminantes que el suelo ayuda a neutralizar se encuentran fertilizantes, plaguicidas, antibióticos y descargas de efluentes contaminados. La degradación de este servicio ecosistémico compromete la producción agrícola y la salud de las personas y los animales debido a la contaminación de los alimentos, lo que conlleva graves pérdidas económicas (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019).

9. Producción de biomasa:

- Bosque mesófilo de montaña valores mínimos 1 107 820.56 id\$ y valores máximos de 106 556 991.4 id\$
- Bosque mixto valores mínimos 460 336.8 id\$ y valores máximos de 44 278 023.2 id\$
- Selva alta perennifolia valores mínimos 172 300.59 id\$ y valores máximos de 16 572 929.91 id\$

Los suelos suministran los nutrientes, el agua y las condiciones físicas necesarias para la generación de biomasa terrestre. Los seres humanos aprovechan esta biomasa en forma de alimentos, madera, combustibles y fibras. Su valor suele determinarse con base en los precios de mercado o los costos de producción de la biomasa o las materias primas asociadas (Jónsson & Davídsdóttir, 2016). En la zona de estudio las pérdidas monetarias más elevadas se dan en este servicio ecosistémico.

10. Entorno físico:

- Bosque mesófilo de montaña valores mínimos 153 464.32 id\$ y valores máximos de 527 533.6 id\$
- Bosque mixto valores mínimos 63 769.6 id\$ y valores máximos de 219 208 id\$
- Selva alta perennifolia valores mínimos 23 868.48 id\$ y valores máximos de 82 047.9 id\$

Los suelos constituyen la base física para la infraestructura humana, así como para el desarrollo de plantas y especies animales. Además, representan un espacio esencial para la habitación y reproducción de diversas formas de flora y fauna (FAO, 2020). La degradación de este entorno fundamental para la vida terrestre ha generado pérdidas significativas en la región de estudio, afectando principalmente al bosque mesófilo de montaña, un ecosistema de alta relevancia ecológica. Dado que en la zona y en el país solo persisten relictos de este tipo de bosque, su deterioro representa una preocupación crítica para la conservación de la biodiversidad.

De acuerdo con el análisis de los resultados de la tabla 5, los valores de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en las zonas con vegetación natural (bosque mesófilo de montaña, bosque mixto y selva alta perennifolia) para el año 2000 y 2021 respectivamente (tabla 5) referidas en dólares internacionales (id \$), el total de los valores mínimos para el año 2000 es de 89 980 248.54 id\$ mientras que para el año 2021 es de 81 850 576.99 id\$ por lo que existe una pérdida de 8 129 671.55 id\$, mientras que para los valores máximos en el año 2000 se reporta un valor de 2 593 999,639.56 id\$ y para el año 2021 2 359 633 037.86 id\$ con una pérdida 234 366 601.70 id\$ por el cambio de uso de suelo presentado en la región.

Como comparativa el PIB en México en el año 2021 fue de 1 273 000 000 000 USD (Banco Mundial, 2021) por lo que las estimaciones de los valores máximos de los servicios ecosistémicos en la región son cercanas al 0.18 % del PIB del país para ese año.

3. *Analizar la percepción y valoración de los servicios ecosistémicos del suelo a través de métodos participativos con los habitantes de la RTP 105.*

La valoración social de los servicios ecosistémicos puede ser entendida como la importancia o valor subjetivo que un individuo o grupo en un contexto social determinado asigna a determinado servicio (Scholte *et al.*, 2015).

Ante esto los cuadros valorativos donde los habitantes de la zona de interés estiman el valor de los servicios ecosistémicos mediante números que reflejan la importancia que los propios pobladores les pueden otorgar. Usar el concepto de importancia, en lugar de valor monetario permite a los pobladores locales valorar ciertos ecosistemas o recursos por razones culturales, morales, de cohesión social u otras, más allá de su valor puramente económico. En este método, la importancia se expresa no en términos de precios y cantidades, sino como una categorización global de preferencias relativas (Moreno-Sánchez & Maldonado, 2011).

Para poder plasmar un indicador social en este apartado que pueda responder a como los pobladores valoran los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en su entorno se realizó observación directa en diversos municipios dentro de la región de estudio con el objeto de conocer el contexto socioambiental, así como las interacciones y vínculos entre los pobladores y su entorno (figura 21).



Figura 21. Construcciones y viviendas en abandono dentro de la RTP-105 (fotografías propias, 2023).

Para la valoración participativa de acuerdo con la metodología de Moreno-Sánchez & Maldonado (2011) se consideran los mismos servicios ecosistémicos valorados en el ejercicio de metaanálisis (tabla 6) más tres servicios ecosistémicos culturales: recreación y turismo, belleza estética y paisaje y espiritualidad.

Por medio de un muestreo de bola de nieve se contacta a los habitantes de la zona donde se aplica el cuestionario de valoración a 61 personas (ANEXO 4) dentro de la región en los siguientes municipios: Teziutlán, Cuetzalan, Tlatlauquitepec, Chignautla, Xiutetelco, Atempan, Tenampulco, Teteles de Ávila Castillo, Hueytamalco, Yaonahuac, Acateno, Altotonga, Tlapacoyan y Zacapoaxtla.

En la encuesta realizada se les solicita a los participantes que de una lista de servicios ecosistémicos se indique el grado de valor que considera que proporciona el suelo en su comunidad, en dónde 5 es el máximo valor y 1 el mínimo valor.

Se utiliza un cuestionario para que los participantes valoraran 12 servicios ecosistémicos, lo que permite combinar el enfoque participativo con un análisis cuantitativo, facilitando la integración de percepciones comunitarias y la identificación de prioridades sociales relacionadas con los servicios proporcionados por los suelos en sus comunidades (figura 22).

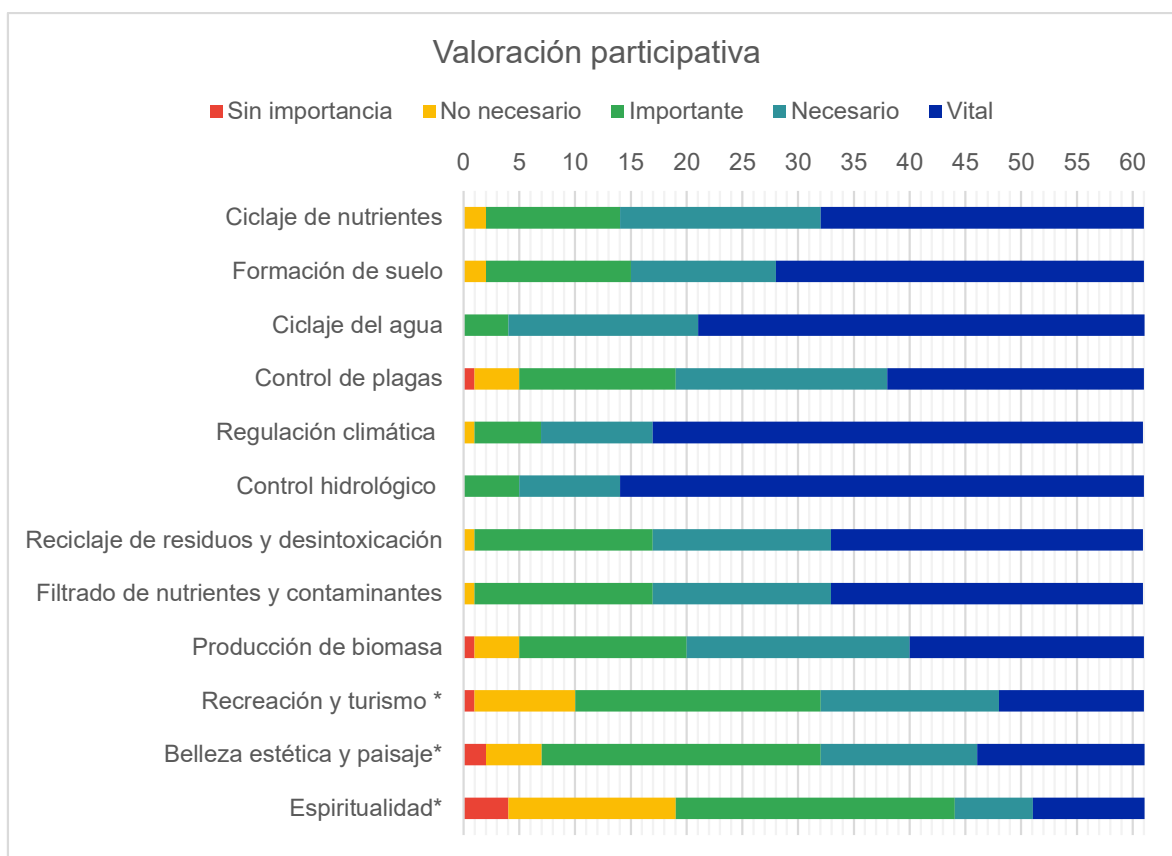


Figura 22. Respuestas de la valoración participativa de los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos en la RTP 105.

1. Servicios valorados como "Sin importancia" (Categoría 1)

- *Espiritualidad* (6.6%). Este servicio tuvo la mayor proporción en la categoría "Sin importancia", lo que refleja una desconexión entre algunos participantes y el valor espiritual de los suelos.
- *Belleza estética y paisaje* (3.3%). Aunque el paisaje es reconocido como atractivo, este servicio fue considerado irrelevante por una minoría significativa.
- *Recreación y turismo* (1.6%). Este servicio tuvo un bajo porcentaje de valoración como "Sin importancia", indicando que existe algún nivel de reconocimiento de su potencial.

2. Servicios valorados como "No necesario" (Categoría 2)

- *Espiritualidad* (24.6%). Este servicio también tuvo la mayor proporción en esta categoría, lo que refuerza su baja prioridad general.
- *Recreación y turismo* (14.8%). Este porcentaje refleja que, aunque tiene cierto reconocimiento, muchos participantes no lo consideran esencial.
- *Belleza estética y paisaje* (8.2%). Este servicio cultural también tuvo una valoración baja, reforzando su menor relevancia en comparación con otros servicios.

3. Servicios valorados como "Importante" (Categoría 3)

- *Belleza estética y paisaje* (41.0%). Este servicio lidera en esta categoría, lo que muestra una percepción cultural de mediana importancia.
- *Espiritualidad* (41.0%). Aunque con menor prioridad en categorías superiores, este servicio cultural es reconocido como "Importante" por una fracción significativa de los encuestados.
- *Recreación y turismo* (36.1%). Este resultado indica que un tercio de los participantes considera este servicio como valioso.

4. Servicios valorados como "Necesario" (Categoría 4)

- *Producción de biomasa* (32.8%). Este servicio es altamente reconocido por su relevancia en la subsistencia local.
- *Reciclaje de residuos y desintoxicación y Filtrado de nutrientes* (26.2% cada uno). Estos servicios destacan por su rol en el mantenimiento de la calidad ambiental.
- *Recreación y turismo* (26.2%). Este servicio cultural aparece en esta categoría, mostrando una mayor consideración en comparación con otras categorías.

5. Servicios valorados como "Vitales" (Categoría 5)

- *Control hidrológico* (77.0%). Este servicio fue percibido como el más esencial, lo que refleja la importancia de los recursos hídricos en una región

caracterizada por altas precipitaciones y vulnerabilidad a inundaciones y erosiones.

- *Regulación climática* (72.1%). La comunidad reconoce el papel de los suelos en la mitigación del cambio climático y en la estabilización de las condiciones ambientales locales.
- *Ciclaje del agua* (65.6%). Este resultado subraya la percepción de los suelos como elementos clave en la recarga y conservación del agua, un recurso esencial para el consumo humano y la agricultura.
- *Formación de suelo* (54.1%). La comunidad destaca la importancia de este proceso para la productividad agrícola y la sostenibilidad del paisaje.

Los servicios de regulación, como el control hidrológico y la regulación climática, obtuvieron valoraciones significativamente altas en la categoría "Vital". Esto indica que las comunidades priorizan aquellos servicios que sustentan funciones ecológicas esenciales y la estabilidad ambiental. En contraste, los servicios culturales presentaron mayores niveles de dispersión en las categorías "Importante" y "No necesario", lo que podría reflejar percepciones subjetivas influenciadas por factores culturales y socioeconómicos.

Como parte introductoria del cuestionario los pobladores acceden a realizar una entrevista semiestructurada (ANEXO 3) con preguntas abiertas que entran dentro de una metodología cualitativa para la explicación social en esta investigación en la perspectiva fenomenológica de la valoración de los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos en la RTP 105, estas son historias de vida que pretenden captar la visión subjetiva del cuerpo natural objeto de este estudio, así como diversos fenómenos relacionados en el área de investigación.

Además de las preguntas relacionadas con nombre, edad, ocupación y pertenencia a algún pueblo originario, se consideran cuatro preguntas clave para entender cómo es que los pobladores valoran sus suelos.

1. ¿Qué es para usted el suelo?

La percepción del suelo varía significativamente entre los encuestados, influenciada principalmente por su ocupación y entorno geográfico. Aquellos con una visión más técnica o ecológica del suelo son más propensos a valorar su conservación, mientras que los que tienen una percepción más simplista o pragmática pueden necesitar más alfabetización en los conceptos que permiten entender la importancia del suelo para la sostenibilidad ambiental.

La variedad de respuestas presenta los siguientes ejemplos:

“Lo mejor que tenemos y algo muy importante, ya que nos provee de alimentos que nos dan vida”

- Mujer perteneciente a grupo originario, 42 años, Atempan.

“El suelo es una cubierta de unos 50 centímetros para la producción de leguminosas, hortalizas, frutales, etc. Y que igual sirve para la siembra de alfalfas y pasto para el ganado”

- Hombre perteneciente a grupo originario, 48 años, Teziutlán.

“Lo que ocupamos para sembrar”

- Hombre perteneciente a grupo originario, 19 años, Cuetzalan.

“El suelo es lo más importante para nosotros porque lo sembramos y con eso sustentamos nuestros gastos y además comemos”

- Mujer, 21 años, Hueytamalco.

“El suelo es la esencia de la vida y nuestra medicina, ya que suelo sano es igual a plantas sanas y por ende personas sanas”

- Hombre, 31 años, Tetela de Ocampo.

1. ¿En qué se han convertido los terrenos que antes eran vegetación natural?

En esta región como en el resto del mundo las zonas con vegetación natural han experimentado diversas transformaciones debido a actividades humanas y cambios en el uso del suelo, los locatarios son conscientes de los cambios que ha sufrido su entorno y presentan respuestas como las siguientes:

“Tierra de pastoreo bovino principalmente y establecimientos turísticos”

- Hombre, 35 años, Cuetzalan.

“Han cambiado de uso de suelo por construcciones o urbanización, plazas, gasolineras o cultivos”

- Hombre, 24 años, Chignautla.

“En unidades habitaciones, en industria maquiladora, se ha urbanizado mucho”

-Hombre, 59 años, Teziutlán.

“De todo, en centros recreativos, fraccionamientos, cultivos, bancos de piedras, tiraderos”

-Mujer, 34 años, Xiutetelco.

“Muchas casas, edificios, tiendas”

- Mujer perteneciente a grupo originario, 59 años, Cuetzalan.

Los terrenos que antes eran vegetación natural han experimentado transformaciones significativas debido a la urbanización, la construcción y el cambio en los usos del suelo. Estas respuestas indican un patrón común de transformación hacia usos industriales, comerciales y habitacionales, lo que refleja una tendencia global de expansión urbana y cambio en el uso del suelo.

3. ¿Cuál considera que es la principal problemática en su comunidad?

Las problemáticas en la comunidad son diversas y abarcan desde cuestiones ambientales hasta desafíos económicos y sociales, reflejando las diferentes realidades que enfrentan los residentes y algunos ejemplos de respuestas son los siguientes:

“La falta de agua y la basura”

- Mujer, 25 años, Tlapacoyan”

“El desempleo y la migración, no hay fuentes de empleo en el lugar”

- Mujer, 47 años, Tenampulco.

“La mala educación de la gente en cuanto a tirar basura y contaminar”

- Mujer perteneciente a grupo originario, 28 años, Acateno.

“No hay oportunidad para tener más ingresos y se están llevando el agua”

- Hombre perteneciente a grupo originario, 19 años, Cuetzalan.

“Ya no quiere sembrar nadie y vamos a perder nuestros conocimientos”

- Hombre, 29 años, Cuetzalan.

Las principales problemáticas en las comunidades incluyen la falta de agua, la contaminación, el desempleo y la migración. Estas problemáticas están interrelacionadas con los cambios en el uso del suelo y reflejan desafíos socioeconómicos y ambientales que afectan la calidad de vida en la región. La conciencia de estas problemáticas sugiere que las soluciones deben ser integrales, abordando tanto la gestión de recursos naturales como el desarrollo económico y social.

4. Si existiera la opción, ¿pagaría por lo que los suelos hacen por usted? ¿Cuánto?

Esta pregunta explora la disposición de los encuestados a pagar por los servicios ecosistémicos que proporcionan los suelos, específicamente mediante horas hombre (dedicar tiempo a su conservación) semanales.

“No, porque seguro sería para el beneficio de políticos, pondría máximo 1 hora”

- Hombre, 29 años, Teziutlán.

“No sé, pero si decido máximo unas 3 horas”

- Mujer, 31 años, Ayotoxco de Guerrero.

“Si lo haría, unas 2 horas por semana”

- Mujer, 50 años, Teziutlán.

“Si puedo si, pondría mi mejor esfuerzo y 4 horas”

- Hombre, 37 años, Tételes de Ávila Camacho.

“No puedo por el momento porque tengo que trabajar, pero si pudiera serian 2 horas”

- Hombre 25 años, Yaonáhuac.

En general la disposición a pagar por los servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos varía entre los encuestados. Algunos están dispuestos a dedicar tiempo a la conservación del suelo, aunque el tiempo que están dispuestos a invertir es generalmente limitado. Esta variabilidad en la disposición a pagar refleja tanto una falta de comprensión completa de los servicios ecosistémicos como la necesidad de sensibilización sobre su valor y beneficios. Las respuestas también sugieren una desconfianza hacia cómo se manejarían los recursos, lo que podría indicar una falta de confianza en las instituciones encargadas de la gestión de estos servicios.

5. *Proponer acciones generales preliminares para la valoración contable de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo, aplicables a estrategias futuras*

de conservación, manejo sustentable y políticas públicas en la región, priorizando el bienestar colectivo.

Desde la economía ecológica, la valoración contable de los servicios ecosistémicos del suelo debe considerar un enfoque holístico que integre los límites biofísicos y las interacciones socioeconómicas en la gestión de los recursos. Con base en los hallazgos del estudio, y la participación de los encuestados se proponen las siguientes acciones:

1. Diseño de Políticas Basadas en la Interdependencia de Sistemas Naturales y Humanos:
 - Incorporar los servicios de regulación, como el control hidrológico y la regulación climática, en los planes de desarrollo regional, asegurando que las decisiones económicas reflejen la dependencia de los ecosistemas.
2. Creación de Incentivos para la Conservación:
 - Implementar esquemas de pago por servicios ecosistémicos (PSA) que prioricen la restauración y conservación del suelo, reconociendo su papel en el bienestar humano y ecológico.
3. Promoción de la Gobernanza Participativa:
 - Involucrar a las comunidades locales en el diseño y ejecución de estrategias de manejo sustentable, fortaleciendo su sentido de pertenencia y compromiso con los recursos naturales.
4. Educación Ambiental y Valorización Cultural:
 - Desarrollar programas educativos que destaquen los valores culturales, espirituales y ecológicos asociados al suelo, fomentando una mayor sensibilización y acción colectiva.
5. Integración de Indicadores Biofísicos y Económicos:

- Diseñar sistemas de contabilidad que incluyan indicadores cuantitativos y cualitativos para evaluar el impacto de las actividades humanas en los servicios del suelo, orientando así las decisiones hacia la sostenibilidad.

6. Alfabetización Ambiental:

- Fomentar alianzas entre instituciones académicas, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para implementar campañas de alfabetización ambiental enfocadas en la importancia de los suelos y sus servicios ecosistémicos. Esto incluye talleres comunitarios, materiales educativos adaptados a los contextos locales y actividades interactivas que promuevan el aprendizaje colectivo y la acción ambiental responsable.

Los resultados destacan la relevancia de los servicios reguladores y de soporte en la percepción comunitaria, lo que subraya su papel crítico para el bienestar local. Además, la identificación de servicios ecosistémicos vitales, como el control hidrológico y la regulación climática, proporciona una base sólida para justificar políticas y programas enfocados en la sostenibilidad del suelo. Por otro lado, el menor reconocimiento de los servicios culturales, como la espiritualidad y la belleza estética, evidencia la necesidad de estrategias educativas y de sensibilización que promuevan su valoración.

La valoración participativa realizada proporciona información clave sobre las prioridades sociales en cuanto a los servicios ecosistémicos. Los servicios reguladores y de soporte son percibidos como esenciales, mientras que los servicios culturales, aunque menos priorizados, representan una oportunidad para fortalecer la conexión entre la comunidad y su entorno natural. Estos hallazgos ofrecen una base para el diseño de políticas y estrategias de manejo sostenible en la región.

XI. DISCUSIÓN

La presente investigación aporta una perspectiva con una conjunción de metodologías sobre la valoración contable de los servicios ecosistémicos proporcionados por el suelo en la Región Terrestre Prioritaria 105 (RTP 105). Este enfoque, al centrarse en un recurso natural frecuentemente subvalorado, permite una comprensión integral de su papel en el bienestar humano y en la sostenibilidad ambiental.

Los hallazgos de este estudio destacan la importancia del suelo como proveedor de servicios ecosistémicos clave, tales como el ciclaje de nutrientes, la regulación climática y el control hidrológico. En términos monetarios, la estimación de valores estandarizados para servicios como el filtrado de nutrientes y contaminantes (544-6,402 id\$/ha/año) y la producción de biomasa (231-22,219 id\$/ha/año) refleja la contribución significativa de los suelos a la economía regional y nacional. Comparado con estudios previos (Jónsson & Davídsdóttir, 2016) estos valores no solo corroboran la importancia de estos servicios, sino que también subrayan la necesidad de estrategias de manejo que aseguren su sostenibilidad a largo plazo.

Desde la perspectiva cualitativa, la percepción de los habitantes locales sobre la importancia del suelo en actividades como la agricultura tradicional y la regulación de plagas reafirma la conexión intrínseca entre las comunidades y su entorno. Estas percepciones enriquecen la valoración monetaria, mostrando que el valor cultural y social asociado a los suelos también es fundamental.

La información generada tiene el potencial de influir en el diseño e implementación de políticas públicas para la conservación del suelo. Asimismo, la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como la acción climática (ODS 13) y la vida en los ecosistemas terrestres (ODS 15), podría facilitar la integración de estas estimaciones en planes de manejo regional.

El enfoque mixto adoptado, que combina la contabilidad experimental de ecosistemas y técnicas participativas, permite una valoración holística del suelo. Este método es particularmente útil en regiones con una rica diversidad biocultural, como la RTP 105.

Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones de este enfoque. La aplicación de técnicas de teledetección mediante mapas LANDSAT y software ArcGIS 10.5, aunque robusta, depende de la resolución de las imágenes y de la calidad de los datos disponibles. Además, el muestreo en bola de nieve para la recopilación de datos cualitativos podría introducir sesgos debido a la representatividad limitada.

Por otro lado, la dependencia de técnicas de valoración basadas en precios de mercado y costos de reemplazo plantea el desafío de capturar adecuadamente los valores de no uso, que tienen un fuerte componente subjetivo y cultural. Estas limitaciones destacan la necesidad de futuros estudios que integren métodos adicionales, como la transferencia de beneficios y los modelos de elección.

La RTP 105, caracterizada por su biodiversidad y su alta presión antropogénica, representa un caso de estudio singular. Los resultados cualitativos muestran que las comunidades locales valoran altamente los servicios culturales del suelo, como su papel en rituales espirituales y en la memoria colectiva. Estos aspectos, que no suelen ser capturados por métodos de valoración económica, destacan la necesidad de enfoques interdisciplinarios que integren el conocimiento local.

La degradación del suelo en la RTP 105, atribuida a actividades como la ganadería extensiva y la deforestación, amenaza la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. Este estudio enfatiza la urgencia de implementar prácticas sostenibles, como la reforestación con especies nativas y la promoción de técnicas de agricultura regenerativa. Además, la incorporación de los valores contables en planes de ordenamiento territorial podría mejorar la toma de decisiones y fomentar un desarrollo económico más equilibrado.

Este trabajo establece una base para futuras investigaciones sobre la valoración de los servicios ecosistémicos del suelo. Sería pertinente explorar el uso de técnicas más avanzadas, como el análisis de sensores remotos y modelos predictivos. Además, la inclusión de un enfoque longitudinal podría proporcionar una visión más completa de los cambios en los servicios ecosistémicos a lo largo del tiempo.

Finalmente, ampliar la participación comunitaria en el proceso de valoración podría enriquecer los resultados y promover una mayor aceptación de las medidas de conservación propuestas. Esto sería especialmente valioso en contextos como el de la RTP 105, donde el conocimiento tradicional desempeña un papel crucial en la gestión sostenible de los recursos naturales.

XII. CONCLUSIONES

La disminución del valor de los servicios ecosistémicos del suelo debida al cambio de uso del suelo y a la pérdida de biodiversidad en la región estudiada debería ser una llamada de atención sobre la urgente necesidad de mitigar las prácticas insostenibles de uso del suelo. La protección y restauración de los ecosistemas naturales no sólo es vital para la conservación de la biodiversidad, sino también para el bienestar económico y social de las sociedades locales. En 2021 en México el valor de los servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos en el 0.0655% de su territorio representan el 0.18% de su PIB lo que enfatiza la importancia de la región para proveer servicios ecosistémicos a la población local y concordante, si no se hace nada para prevenir mayores pérdidas en estos servicios la carga económica podría tener consecuencias desastrosas para las comunidades y las áreas naturales remanentes.

El presente estudio reafirma que el suelo, como componente esencial de los ecosistemas terrestres, es un proveedor fundamental de servicios ecosistémicos que benefician directamente al bienestar humano y al equilibrio ambiental. Los resultados obtenidos destacan que servicios como el ciclaje de nutrientes, la regulación climática y el control hidrológico poseen un alto valor tanto en términos monetarios como sociales y culturales, subrayando la necesidad de otorgarles mayor visibilidad en las estrategias de conservación y manejo sostenible.

El enfoque mixto adoptado, que integra técnicas cuantitativas como la contabilidad experimental de ecosistemas y metodologías cualitativas participativas, permitió una valoración integral de los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en la Región Terrestre Prioritaria 105 (RTP 105). Este enfoque prueba ser efectivo para capturar tanto los valores tangibles como los intangibles asociados a este recurso natural, proporcionando así una base para futuras investigaciones en otras regiones.

Los hallazgos de esta investigación tienen implicaciones significativas para el diseño de políticas públicas. La información generada puede ser utilizada para promover la integración de valores contables de los servicios ecosistémicos en planes de ordenamiento territorial.

Aunque este estudio proporciona un análisis integral, enfrenta limitaciones relacionadas con la representatividad de la muestra y la dependencia de datos secundarios para el análisis espacial. Estas restricciones destacan la importancia de implementar investigaciones futuras que incluyan enfoques longitudinales y el uso de tecnologías avanzadas, como sensores remotos de alta resolución, para un monitoreo más detallado.

Además, sería pertinente ampliar el enfoque participativo mediante la inclusión de un mayor número de comunidades locales, lo que permitiría capturar una mayor diversidad de percepciones y enriquecería el entendimiento cultural de los servicios ecosistémicos del suelo. Se recomienda también explorar métodos interdisciplinarios que combinen ciencias naturales y sociales para abordar las complejidades de la valoración de los servicios ecosistémicos de manera integral.

La investigación subraya la urgencia de implementar prácticas sostenibles en el manejo del suelo para prevenir su degradación y garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos que provee. Acciones como reforestación con especies nativas, la promoción de la agricultura regenerativa y dar visibilidad a la lucha de los pueblos originarios contra las grandes corporaciones y megaproyectos extractivistas son esenciales para proteger este recurso y sus beneficios.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma*, 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud En Tabasco*, 11, 333–338.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Aguilar Ibarra, A., Galeana-Pizaña, J. M., Guevara-Sanginés, A., Jiménez Ortega, A. D., Lara-Pulido, J. A., & Núñez Hernández, J. M. (2018). *Valoración económica de servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas*. Centro GEO.
- Albores, M. L. (2014). *Las luchas por la defensa del territorio en la Sierra Nororiental de Puebla*. Regeneración. <https://regeneracion.mx/las-luchas-por-la-defensa-del-territorio-en-la-sierra-nororiental-de-puebla/>
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2014). *Día Mundial del Suelo y Año Internacional de los Suelos* (pp. 1–3). Resolución aprobada por la Asamblea General el 20 de diciembre de 2013. A/RES/68/232.
<https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/RES/68/232>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (p. 40). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1.
https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf
- Balvanera, P., Pérez-Harguindeguy, N., Perevochtchikova, M., Litter, P., Cáceres, D. M., & Langle-Flores, A. (2020). Ecosystem services research in Latin America 2.0: Expanding collaboration across countries, disciplines, and sectors. *Ecosystem Services*, 42, 101086. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101086>

- Banco Mundial. (2021). *Datos México*. <https://datos.bancomundial.org/pais/mexico>
- Baveye, P. C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 1–49. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>
- Berlanga, H., Rodríguez-Contreras, V., Oliveras de Ita, A., Escobar, M., Rodríguez, L., Vieyra, J., & Vargas, V. (2008). *Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves*. Red de Conocimientos Sobre Las Aves de México (AVESMX). CONABIO. <http://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html>
- Bitrán, D. (2000). Evaluación del impacto socioeconómico de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana durante 1999. In *Cuadernos de Investigación* (Vol. 50). Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Brevik, E. C., Pereg, L., Steffan, J. J., & Burgess, L. C. (2018). Soil ecosystem services and human health. *Environmental Science and Health*, 5, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.003>
- Caballero, G., & Garza, M. D. (2010). Los fundamentos de la nueva economía institucional hacia la economía de los recursos naturales: comunes, instituciones, gobernanza y cambio institucional. In *Actas XII Reunión de Economía Mundial. Santiago de Compostela*.
- Cabrera-Murieta, A. (2012). *Valoración de los servicios ecosistémicos desde la perspectiva de la economía ecológica: el caso de la Reserva de la Biósfera Isla San Pedro Mártir*. El Colegio de la Frontera Norte.
- Camacho-Valdez, V., Saenz-Arroyo, A., Ghermandi, A., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Rodiles-Hernández, R. (2020). Spatial analysis, local people’s perception and economic valuation of wetland ecosystem services in the Usumacinta floodplain, Southern Mexico. *PeerJ*, 8, e8395. <https://doi.org/10.7717/peerj.8395>
- Cárcamo Rico, B. (2013). *Valoración económica para la conservación del bosque de niebla mediante el pago por servicios ecosistémicos hídricos en la región Loxicha, Oaxaca* [Universidad Autónoma Chapingo].

<https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/2186>

Casanova-Montero, A. (2019). *Economía Ambiental y Ecológica* (pp. 1–86).

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS.

Casis, J., Wolf, S. A., & Forester, J. (2023). Integrating joint fact finding and ecosystem services valuation in watershed management planning: the case of Oaxaca, Mexico. *Socio-Ecological Practice Research*, 5(3), 309–323.

<https://doi.org/10.1007/s42532-023-00156-8>

CEEPYS. (2017). *Economía Biofísica*. Centro de Estudios de Energía, Política y Sociedad. <https://ceepys.org.ar/content-economia-biofisica/>

Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía Industrial*, 401(3), 11–20.

<https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERDÁ y KHALILOVA.pdf>

Cital Morales, F. S. (2023). *Modelización y valuación de los servicios ecosistémicos hidrológicos del acuífero Valle de Mexicali como instrumento de gobernanza*.

[Universidad Autónoma de Baja California]. <https://doi.org/10.57840/uabc-810>

CONABIO. (2015). *CONABIO-AvesMX*. AICA.

<https://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html>

CONABIO. (2021). *Naturalista*. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad. <http://www.naturalista.mx>

CONAPO. (2021). *Índices de marginación 2020*. Consejo Nacional de Población.

<https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*.

Comisión Nacional del Agua.

Costanza, R. (2019). Ecological Economics 1☆. In B. B. T.-E. of E. (Second E. Fath (Ed.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 258–264). Elsevier.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11124-8>

- Costanza, R., Cumberland, J., Daly, H., Goodland, R., & Norgaard, R. (1997). *An Introduction to Ecological Economics*. CRC Press LLC.
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Costanza, R., & Daly, H. E. (1992). Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology*, 6(1), 37–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>
- Cuadra-Martínez, D., Véliz-Vergara, D., Sandoval-Díaz, J., & Pablo, C. (2017). Aportes a la economía ecológica: Una revisión de estudios latinoamericanos sobre subjetividades medio ambientales. *Psicoperspectivas*, 16(2), 156–169. <https://doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol16-issue2-fulltext-970>
- Dazzi, C., Galati, A., Crescimanno, M., & Lo Papa, G. (2019). Pedotechnique applications in large-scale farming: Economic value, soil ecosystems services and soil security. *Catena*, 181, 104072. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104072>
- de Azevedo, B. (2018). *Bioeconomía basada en conocimiento en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://conexionintal.iadb.org/2018/07/27/ideas2-2/>
- de Groot, R. S. (1987). Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*, 7(2), 105–109. <https://doi.org/10.1007/BF02240292>
- Díaz de León Guerrero, S. D. (2015). *Valoración de los servicios ecosistémicos de dunas costeras del centro de población de Ensenada, B. C., México*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858–1868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>

- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. In *Cepal*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
[www.cepal.org/apps%0Ahttps://www.cepal.org/es/publicaciones/44785-recursos-naturales-medio-ambiente-sostenibilidad-70-anos-pensamiento-la-cepal](https://www.cepal.org/es/publicaciones/44785-recursos-naturales-medio-ambiente-sostenibilidad-70-anos-pensamiento-la-cepal)
- Ehrlich, P. R., Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1981). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House.
- ELD Initiative. (2019). *Environmental economics and ecosystem valuation – the rationale behind*. The Economics of Land Degradation. <https://www.eld-initiative.org>
- Espinoza, N. (2019). *Valoración económica de los servicios ecosistémicos hidrológicos asociados a la vegetación riparia en el río Copalitilla, Oaxaca* [Instituto Politécnico Nacional].
[http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/436/1/Espinoza García%2C N.%2C 2019.pdf](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/436/1/Espinoza%20García%20N.%202019.pdf)
- Estrada, F., Carmen, M., Calderón Bustamante, O., Botzen, W., Martínez-Jaramillo, S., & Battiston, S. (2024). *Assessing the physical risks of climate change for the financial sector: a case study from Mexico's Central Bank*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.18834>
- Evans, N. M. (2019). Ecosystem Services: On Idealization and Understanding Complexity. *Ecological Economics*, 156, 427–430.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.014>
- FAO. (2020a). *Portal de Suelos de la FAO*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- FAO. (2020b). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- FAO. (2021). *Bioeconomía*. Cambio Climático. <https://www.fao.org/climate-change/our->

work/issues/bioeconomy/es/

- FAO & ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources - Main Report. In *Intergovernmental Technical Panel on Soils*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>
- Fisher, B., Naidoo, R., & Ricketts, T. H. (2015). *A field guide to economics for conservationists*. Roberts and Company.
- Floresmilo-Flores, P. (2015). *Fundamentos de Economía Ambiental* (Facultad de Ciencias Económicas en la Universidad Nacional Federico Villarreal (ed.)).
- Friedrichsen, C., Hagen-Zakarison, S., Wulfhorst, J. D., & Friesen, M. (2021). Soil Health and Well-Being: Redefining soil health based upon a plurality of values. *Soil Security*, 2, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100004>
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Brefin, M. S., M.L., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Rodríguez, V., M.I., & Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://doi.org/10.2788/37334>
- González-Ordaz, G. I., & Vargas-Hernández, J. G. (2017). La economía circular como factor de la responsabilidad social. *Economía Coyuntural*, 2, 105–130.
- Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A., & Papritz, A. (2017). Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy*, 69, 224–237. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.025>
- Gual-Díaz, M., & Rendón-Correa, A. (2014). Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, ecología y manejo. In *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9830-7>
- Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem service and human well-being. In *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*

(pp. 110–139). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511750458.007>

- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. www.cices.eu
- Hernández, J. A. (2021). Resiliencia de un territorio masewal en Cuetzalan del Progreso, México, ante la presión de urbanización. *Ciencia Transdisciplinar Para El Desarrollo y La Supervivencia de La Humanidad*, 330.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Ed. McGraw Hill Interamericana, México.
- INAFED. (2010). *Enciclopedia de los Municipios de México, Puebla*. Secretaría de Gobernación. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/index.html>
- INECC. (2021). *Estimación de costos y beneficios asociados a la implementación de acciones de mitigación para el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones comprometidos en el Acuerdo de París*. (p. 231). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <http://www.gob.mx/inecc>
- INEGI. (2005). *Guía para la interpretación de cartografía: climatológica*.
- INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2017. In *Instituto Nacional de Estadística y Geografía* (p. 940).
- INEGI. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://censo2020.mx/home.html>
- Infante-Amate, J., González de Molina, M., & Toledo, V. M. (2017). El Metabolismo Social. Historia, métodos y principales aportaciones. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 27, 130–152.
- IPBES. (2019). Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas. In *Summary for policy makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental*.

- IUSS Working Group WRB. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. In *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*.
<http://www.fao.org>
- Jónsson, J. Ö. G., & Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, 145, 24–38.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(April), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Lander, E. (2011). La economía verde. *El Lobo Se Viste Con Piel de Cordero*.
- La Notte, A., Vallecillo, S., Marques, A., & Maes, J. (2019). Beyond the economic boundaries to account for ecosystem services. *Ecosystem Services*, 35, 116–129.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.007>
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Lara-Pulido, J. A., Guevara-Sanginés, A., & Arias Martelo, C. (2018). A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. *Ecosystem Services*, 31, 126–141. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.018>
- Latterra, P., Paruelo, J. M., & Jobbágy, E. G. (2011). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. (Ediciones).
- Lebreton, B., Rivaud, A., Picot, L., Prévost, B., Barillé, L., Sauzeau, T., Beseres Pollack, J., & Lavaud, J. (2019). From ecological relevance of the ecosystem services concept to its socio-political use. The case study of intertidal bare mudflats in the Marennes-Oléron Bay, France. *Ocean and Coastal Management*, 172, 41–54.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.024>
- Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia “otro” programa de

- sociología ambiental. In *Revista mexicana de sociología* (Vol. 73, pp. 5–46).
- Lilburne, L., Eger, A., Mudge, P., Ausseil, A. G., Stevenson, B., Herzig, A., & Beare, M. (2020). The Land Resource Circle: Supporting land-use decision making with an ecosystem-service-based framework of soil functions. *Geoderma*, 363, 114134. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114134>
- Mancl, K., & Slater, B. (2016). Using Soil to Remove Pollutants From Wastewater. *Agriculture and Natural Resources*. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/aex-745#:~:text=La filtración es un proceso,las aguas residuales son transparentes.>
- Maosew, K., Wongmun, A., & Boonyanuphap, J. (2019). Change in economic value of forest ecosystem services caused by landslides in the upstream region of the lower northern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 41(2), 421–434. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2019.53>
- Martínez-Alier, J. (2013). Conflictos ecológicos por extracción de recursos y por producción de residuos. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales*, 3, 8–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.17141/letrasverdes.3.2009.824>
- Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Donatti, C. I., Harvey, C. A., & Alpízar, F. (2017). *La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura* (p. 40). Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). www.conservation.org/cascade-espanol
- Medina-Fernández, S. L., Ordoñez-Ramos, C., & Núñez, J. M. (2018). Modelado de Hábitat, Corredores y Escenarios para la Valoración de Servicios Ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 4(2), 25–47. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2018.04.04.01.0002>
- Mercado-Ramos, G. (2016). La bioeconomía - concepto y aplicación al desarrollo rural. In *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* (Vol. 3, pp. 188–193). scielobo.

- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being synthesis*. (pp. 1–43). Island Press.
- Motiejūnaitė, J., Børja, I., Ostonen, I., Bakker, M. R., Bjarnadóttir, B., Brunner, I., Iršėnaitė, R., Mrak, T., Oddsdóttir, E. S., & Lehto, T. (2019). Cultural ecosystem services provided by the biodiversity of forest soils: A European review. *Geoderma*, 343, 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.025>
- Nanzyo, M., & Kanno, H. (2018). *Secondary Minerals BT - Inorganic Constituents in Soil: Basics and Visuals*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1214-4_3
- ONU. (2014). *System of Environmental-Economic Accounting – Experimental Ecosystem Accounting*. Comisión de Estadísticas de las Naciones Unidas.
- ONU. (2021). *Manual Práctico de Precios de Transferencia para Países en Desarrollo 2021*.
- Pavan, A. L. R., & Ometto, A. R. (2018). Ecosystem Services in Life Cycle Assessment: A novel conceptual framework for soil. *Science of the Total Environment*, 643, 1337–1347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.191>
- Peniche, S. (2017). *Desarrollo sustentable radical*. Universidad de Guadalajara.
- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Environmental Science and Health*, 5, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>
- PNUMA. (2020). *Prevenir la próxima pandemia: Zoonosis y cómo romper la cadena de transmisión - World | ReliefWeb* (p. 82). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Instituto Internacional de Investigación en Ganadería. <https://reliefweb.int/report/world/prevenir-la-pr-xima-pandemia-zoonosis-y-c-mo-romper-la-cadena-de-transmisi-n>
- Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., & Turner, R. K. (2016). *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. Taylor & Francis Group.
- Riera, P. (1994). Manual de valoración contingente. *Instituto de Estudios Fiscales*, 1–

112. <http://www.economia.unam.mx/profesores/blopez/valoracion-manual.pdf>
- Rincón Ruiz, A., Arias Arévalo, P., & Clavijo Romero, M. (2021). *Hacia una valoración Incluyente y plural de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos. Visiones, avances y retos en América Latina*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. www.editorial.unal.edu.co
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pernnock, D. (2019). La Contaminación Del Suelo: Una Realidad Oculta. In *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura* FAO. FAO. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Rodríguez Sánchez, E. P., Mora Santiago, E., Quiroz Guevara, A. L., Cruz Cabrera, S. V., Peña-Becerril, J. C., & Olvera-Sule, D. A. (2019). Aproximación a la valoración de los servicios ecosistémicos del bosque de Capulálpam de Méndez, Oaxaca, como herramienta para su conservación. *Acta Universitaria*, 29, 1–17. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2002>
- Sannigrahi, S., Zhang, Q., Joshi, P. K., Sutton, P. C., Keesstra, S., Roy, P. S., Pilla, F., Basu, B., Wang, Y., Jha, S., Paul, S. K., & Sen, S. (2020). Examining effects of climate change and land use dynamic on biophysical and economic values of ecosystem services of a natural reserve region. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120424. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120424>
- Santiago, M. A. L. (2019). The valuation of ecosystem services from the totonac indigenous worldview. *Madera y Bosques*, 25(3), 1–15. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531752>
- Santos-Martín, Fernando, Plieninger, T., Torralba, M., Fagerholm, N., Vejre, H., Luque, S., Rabe, S., Balzan, M., Czúcz, B., Amadescu, C. M., Liekens, I., Mulder, S., Geneletti, D., Maes, J., Burkhard, B., Kopperoinen, L., Potschin-young, M., & Montes, C. (2018). *Report on Social Mapping and Assessment Methods for Ecosystem Services*. March, 1–53.
- Scheiter, S., Schulte, J., Pfeiffer, M., Martens, C., Erasmus, B. F. N., & Twine, W. C. (2019). How Does Climate Change Influence the Economic Value of Ecosystem

- Services in Savanna Rangelands? *Ecological Economics*, 157, 342–356.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.015>
- Scholte, S. S. K., van Teeffelen, A. J. A., & Verburg, P. H. (2015). Integrating socio-cultural perspectives into ecosystem service valuation: A review of concepts and methods. *Ecological Economics*, 114, 67–78.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.007>
- Schwilch, G., Bernet, L., Fleskens, L., Giannakis, E., Leventon, J., Marañón, T., Mills, J., Short, C., Stolte, J., Van Delden, H., & Verzandvoort, S. (2016). Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: A proposed framework. *Ecological Indicators*, 67, 586–597. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016>
- SEMARNAT. (2019). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2018. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2018. In SEMARNAT.
- Stålhammar, S. (2020). *Reconnecting with nature through concepts: On the construction of values in the ecosystem services paradigm*. Lund University.
- Sutton, P. C., & Peniche, S. (2019). *Ecosystem services valuation of Mesoamerica and the Caribbean*. University of Denver, Universidad de Guadalajara.
- TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations* (Kumar, P.). Earthscan: London and Washington.
- Tenorio, M. G. (2008). *Relación de las propiedades fisicoquímicas y calidad de los suelos de Tetelilla, Teziutlán, Puebla*. Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla.
- Toledo-Manzur, V., Barrera-Bassols, N., & Boege, E. (2019). *¿Qué es la Diversidad Biocultural?*
- Tomaselli, M. F., Sheppard, S. R. J., Kozak, R., & Gifford, R. (2019). What do Canadians think about economic growth, prosperity and the environment? *Ecological Economics*, 161, 41–49.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.007>

- Trigo-Massieu, Y. (2017). Movimiento indígena, ordenamiento territorial y biodiversidad en Cuetzalan, Puebla. *Argumentos*, 30(83), 119–148.
- UNEP. (2019). Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. In *UN Environment: Vol. GEO-6*. United Nations Environmental Programme. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27657/GEO6_CH8.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Uscanga Tejeda, C. (2021). *Mapeo y valoración económica de los servicios ecosistémicos en la subcuenca Guadalupe, Baja California, México* [Universidad Autónoma de Baja California]. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/entities/publication/18b36031-c296-4ea9-9842-556f59b4e8b2>
- Valera-Pérez, M. A. (1993). *Fisicoquímica y Mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Van Dyke, F., & Lamb, R. L. (2020). Conservation Biology Foundations, Concepts, Applications. In *Conservation Biology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39534-6>
- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2017). La economía verde; un cambio social y necesario en el mundo actual. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 175–186. <https://es.scribd.com/document/446497301/ECONOMIA-VERDE>
- Wentland, S. A., Ancona, Z. H., Bagstad, K. J., Boyd, J., Hass, J. L., Gindelsky, M., & Moulton, J. G. (2020). Accounting for land in the United States: Integrating physical land cover, land use, and monetary valuation. *Ecosystem Services*, 46, 101178. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101178>
- Williams-Linera, G. (2007). El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. In *CONABIO-INECOL*. Instituto de Ecología-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Yan, J., Feng, L., Steblyanskaya, A., Kleiner, G., & Rybachuk, M. (2019). Biophysical Economics as a New Economic Paradigm. *International Journal of Public Administration*, 42(15–16), 1395–1407.
<https://doi.org/10.1080/01900692.2019.1645691>
- Yao, R., Yang, J., Gao, P., Zhang, J., & Jin, W. (2013). Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*, 128, 137–148.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2012.11.007>
- Yu Chang, M. (2005). La economía ambiental. In G. Foladori & N. Pierri (Eds.), *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (pp. 175–188). Universidad Autónoma de Zacatecas.
http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/ce/scpd/LIX/sust_desac.pdf
- Zúñiga, F., Huertas, J., Guerrero, G., Sarasty, J., Dörner, J., & Burbano-Orjuela, H. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 36, 183–196.
<https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.363>

ANEXO 1

Documentos referentes a la valoración de servicios ecosistémicos en México.

Título	Tipo de documento	Año	Ubicación geográfica	Método de valoración	Ecosistema
Valoración económica para la conservación del bosque nuboso a través del pago por servicios ecosistémicos de agua en la región Loxicha, Oaxaca	Tesis doctoral	2013	Oaxaca	Valoración contingente	Bosque mesófilo de montaña
Valoración de los servicios ecosistémicos: diferentes lenguajes para la conservación en un área prioritaria	Artículo de revista científica	2018	Hidalgo	Valoración biológica, valor instrumental, valor relacional y valoración intrínseca.	Bosque mesófilo de montaña
Aproximación a la evaluación de los servicios ecosistémicos del bosque de Calpulalpan de Méndez, Oaxaca, como herramienta para su conservación	Artículo de revista científica	2019	Oaxaca	Valor económico total, pago por servicios ambientales.	Bosques templados
Modelación y valoración de los servicios ecosistémicos hidrológicos del acuífero del Valle de Mexicali como instrumento de gobernanza	Tesis doctoral	2023	Baja California	Precios sombra y valores de mercado	Agua subterránea
Generación de indicadores para la evaluación de servicios ecosistémicos de corto plazo en la restauración de pedregal en la UNAM: un proyecto pedagógico	Proyecto Didáctico	2015	CDMX	Indicadores de conservación.	Pedregales (servicios ecosistémicos urbanos)
Mapeo y valoración económica de servicios ecosistémicos en la subcuenca de Guadalupe, Baja California, México	Tesis de Maestría	2021	Baja California	Precios de mercado	Aguas subterráneas y matorrales
Valoración económica de los servicios ecosistémicos que brindan los manglares de la costa sur de Quintana Roo.	Tesis de Licenciatura	2017	Quintana Roo	Valor económico total, transferencia de valores.	Humedales
Valoración económica y análisis espacial de los servicios ecosistémicos obtenidos en los humedales costeros del sur de Sinaloa, México.	Tesis de Maestría	2014	Sinaloa	Valor económico total	Humedales
Valoración económica de los servicios ecosistémicos hidrológicos asociados a la vegetación ribereña en el río Copalitilla, Oaxaca	Tesis de Maestría	2019	Oaxaca	Valoración contingente	Servicios ecosistémicos hidrológicos
Servicios Ecosistémicos y Valoración Económica de Tres Parques Urbanos en San Pedro Garza García, Nuevo León	Tesis de Maestría	2020	Nuevo León	Software de árbol (paradigma económico no especificado)	Parques (servicios ecosistémicos urbanos)
Evaluación participativa de servicios ecosistémicos en Laguna de Nuxco, Guerrero	Artículo de revista científica	2021	Guerrero	Valoración social	Humedales
Valoración económica de los servicios ecosistémicos de Xochimilco.	Tesis de Maestría	2022	CDMX	Valoración contingente	Humedales

Valoración local de los servicios ecosistémicos culturales y sus transformaciones debido a la migración: estudio de caso La Joya, Huimilpan.	Tesis de Licenciatura	2015	Querétaro	Valoración social	Bosque de pino-encino, servicios ecosistémicos hidrológicos, maizales
Valoración de los servicios ecosistémicos desde la perspectiva de la economía ecológica: el caso de la Reserva de Biosfera Isla San Pedro Mártir.	Tesis de Maestría	2010	Sonora	Valor económico total y ecoenergía	Servicios de los ecosistemas marinos
Evaluación sociocultural de los servicios ecosistémicos de la zona costera del Caribe Mexicano.	Artículo de revista científica	2023	Quintana Roo	Valoración social	Manglares y ecosistemas marinos
La valoración de los servicios ecosistémicos desde la cosmovisión indígena totonaca.	Artículo de revista científica	2019	Veracruz	Valoración social	Bosque subtropical perennifolio
Evaluación de servicios ecosistémicos en áreas verdes. El caso del Parque Metropolitano de Guadalajara, México	Artículo de revista científica	2020	Jalisco	Valoración contingente	Parques
Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos de los Bosques de Sargazo en el Golfo de California, México.	Capítulo de libro	2014	Baja California Sur y Sonora	Precios de mercado	Ecosistemas marinos
Valoración económica de los servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas	Proyecto de gobierno	2018	Chiapas	Capital natural, transferencia de beneficios, costo de reposición y función de producción.	ANP (selva, bosque, agricultura y humedales)
Evaluación de los servicios ecosistémicos de las dunas costeras del centro poblado de Ensenada, BC, México	Tesis de Maestría	2015	Baja California	Precios de mercado, costo de reemplazo.	Dunas costeras
Evaluación integral de la fitodiversidad y sus servicios ecosistémicos en una cuenca periurbana de la Ciudad de México	Capítulo de libro	2021	CDMX	Valor cultural, ecológico y económico (precios de mercado)	Bosque de Oyamel, bosques de pino-encino, agricultura, servicios ecosistémicos urbanos.
Modelación de hábitat, corredores y escenarios para la valoración de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas de la Sierra Madre de Chiapas.	Artículo de revista científica	2018	Chiapas	Costo de reemplazo	ANP (selva y bosque para fauna -tapir-)
Integración de la valoración múltiple de los servicios ecosistémicos en las herramientas y decisiones de planeación de tres ciudades mexicanas: el caso de León.	Informe de trabajo	2020	Guanajuato	Precios de mercado, análisis costo-beneficio, valoración contingente.	ANP (matorral espinoso, bosque de encino y agricultura)
Integración de la valoración múltiple de los servicios ecosistémicos en las herramientas y decisiones de planeación de tres ciudades mexicanas: el caso de Morelia.	Informe de trabajo	2020	Michoacán	Precios de mercado, valoración contingente	ANP (variedad de ecosistemas)
Integración de la valoración múltiple de los servicios ecosistémicos en las herramientas y decisiones de planeación de tres ciudades mexicanas: el caso de Mérida.	Informe de trabajo	2020	Yucatán	Costo de reemplazo, preferencias declaradas	Selvas altas, medias y bajas.

Escenarios futuros de crecimiento urbano y valoración de servicios ecosistémicos en la zona metropolitana de Tepic-Xalisco, México	Artículo de revista científica	2022	Nayarit	Evaluación por metanálisis	Bosques templados, agricultura, servicios ecosistémicos urbanos.
Análisis espacial, percepción y valoración económica de los servicios ecosistémicos de los humedales en la llanura aluvial del Usumacinta, sur de México.	Artículo de revista científica	2020	Campeche, Tabasco y Chiapas	Valor económico total, transferencia de valores.	Humedales
Base de Datos de Valoración de Servicios Ecosistémicos del Golfo de México (GecoServ): Recopilación de estudios de valoración de servicios ecosistémicos para promover la inclusión en el proceso de toma de decisiones	Artículo de revista científica	2012	Golfo de México	Transferencia de valores	Ecosistemas marinos
Valoración de los Servicios Ecosistémicos Acuáticos Ocultos: El Costo de Reposición del Sistema Acuífero en el Centro de México	Artículo de revista científica	2017	CDMX, Estado de México y Morelos.	Costo de reemplazo	Agua subterránea
Pérdida de servicios ecosistémicos costeros en México: Una aproximación a la valoración económica ante el aumento del nivel del mar	Artículo de revista científica	2022	Zona costera mexicana	Transferencia de valores	Ecosistemas costeros
Valoración de los servicios ecosistémicos que brindan los humedales costeros en el noroeste de México	Artículo de revista científica	2013	Sinaloa	Transferencia de valores	Humedales
Modernización agrícola y valoración sociocultural de los servicios ecosistémicos en paisajes mayas del sureste de México.	Artículo de revista científica	2019	Campeche	Valoración social	Milpa
Valuación de servicios ecosistémicos para construir un esquema de fondos de contrapartida para financiar la adaptación al cambio climático en Puerto Vallarta, México	Artículo de revista científica	2021	Jalisco	Valoración contingente, gastos de viaje, precios hedónicos, costes de oportunidad, transferencia de valor	Selva baja caducifolia, ecosistemas costeros y servicios ecosistémicos urbanos.
Integración de la investigación conjunta y la valoración de servicios ecosistémicos en la planificación del manejo de cuencas hidrográficas: el caso de Oaxaca, México	Artículo de revista científica	2023	Oaxaca	Valoración social	Bosque Pino-encino, selva baja caducifolia
Servicios ecosistémicos en alta mar en el Golfo de México: Valoración relativa por parte de las partes interesadas	Artículo de revista científica	2016	Golfo de México	Valoración social	Ecosistemas marinos
Enfoques para la valoración de los servicios ecosistémicos en el Golfo de México después del derrame de petróleo de Deepwater Horizon	Informe	2012	Golfo de México	Preferencias reveladas, valoración contingente y valores de mercado.	Ecosistemas marinos
Valoración de servicios ecosistémicos e inversión social en un bosque nuboso tropical en Veracruz, México	PRONATURA, propuesta para la creación de hábitat crítico de conservación	2014	Veracruz	Precios de mercado	Bosque mesófilo de montaña

ANEXO 2

Registro de los perfiles edafológicos en la RTP 105.

Perfil	X	Y	Calidad	Tipo de suelo	Textura	% Materia Orgánica	%N	pH
3A	644849	2203296	I	Leptosol	Franco	3.8	0.19	5.4
4	676096	2213289	D	Cambisol				
5	680300	2201600	D	Andosol	Franco Arenoso	13.57	0.6	5.39
9A	644690	2204656	D	Andosol	Franco Arcilloso	14	0.68	5.7
10	654212	2212959	D	Feozem				
11	651400	2210300	D	Andosol	Arena Francosa	13.3		4.13
12	644800	2206300	D	Andosol				
13	646700	2199600	I	Andosol				
14	661068	2203827	I	Feozem				
14A	644050	2208021	D	Luvisol	Franco Arenosa	8.6	0.36	4.9
15	663847	2211233	I	Luvisol				
15A	645305	2204270	D	Andosol	Franco	9.7	0.42	5.3
16	684956	2227527	D	Regosol				
16A	645789	2204084	D	Leptosol	Franco Arcilloso	10.5	0.46	4.4
17	683429	2226373	D	Luvisol				
17A	644108	2202713	I	Andosol	Franco Arcilloso	3.2	0.12	7.6
19	666922	2230327	D	Vertisol				
20A	643551	2207260	D	Andosol	Franco	5.1	0.24	5.1
30A	642520	2206320	D	Luvisol	Franco	5.9	0.23	5.3
32A	642550	2205180	D	Andosol	Franco	7	0.3	6.1
33	666215	2216483	D	Luvisol				
34	657782	2223169	D	Vertisol				
34A	643205	2207577	D	Andosol	Franco	7	0.32	6.5
35A	644588	2209352	D	Andosol	Franco Arcilloso	2.7	0.12	7
40A	642080	2209159	D	Cambisol	Franco Arcilloso	9.1	0.41	4.8
41A	643549	2208504	D	Luvisol	Arcilloso	6.4	0.3	7.2
42A	642146	2208470	D	Luvisol	Arcilloso	6	0.28	6
43A	643190	2208872	D	Luvisol	Arcilloso	6.2	0.33	7.4
44	674000	2196800	I	Andosol	Arenosa	16.26	0.45	5.35
45	674300	2194400	D	Andosol				
45A	643906	2208449	D	Luvisol	Arcilloso	5.2	0.24	5.8
46	670500	2194800	D	Andosol	Arenosa	16.35		4.93
47	672600	2201700	I	Andosol				
49A	643203	2208863	D	Cambisol	Arcilloso	3.9	0.16	5.8
50A	644265	2208419	D	Luvisol	Arcilloso	4.1	0.21	5.7
51A	642733	2207651	D	Andosol	Arcilloso	4.7	0.19	5.6
52	671300	2194500	D	Andosol				
54A	642676	2208434	D	Luvisol	Arcilloso	4.7	0.21	5.6
59A	642412	2206826	D	Luvisol	Franco Arcilloso	4.5	0.2	4.8
61A	642279	2209593	D	Luvisol	Arcilloso	3.5	0.16	5.9
62A	642734	2205590	D	Luvisol	Arcilloso	2.7	0.11	7.4
63A	643191	2208115	D	Luvisol	Arcilloso	2.9	0.11	7.4
65A	642412	2208008	D	Andosol	Arcilloso	3.7	0.14	5.6
66A	642923	2207364	D	Andosol	Arcilloso	3.8	0.17	5.3
69A	643828	2204198	I	Leptosol	Arcilloso	2.9	0.13	6.6
72A	643912	2200719	D	Leptosol	Arcilloso	3	0.11	7.5
74A	642385	2208975	D	Cambisol	Arcilloso	2.8	0.13	6.3
75A	644288	2208423	D	Luvisol	Franco Arcilloso	9.8	0.44	3.7
76A	644686	2209674	D	Luvisol	Franco Arcilloso	15.3	0.69	3.5
79A	642927	2204916	D	Andosol	Franco	5.2	0.24	5.6
ID17	674000	2197000	I	Andosol				
ID21	644248	2208426	D	Acrisol	Franco	9.8	0.43	3.7
ID22	644814	2209768	D	Andosol	Franco Arenosa	30.27	0.88	3.5
ID23	642031	2208464	D	Luvisol	Arcilloso	15.3	0.94	6.8
ID25	642927	2204916	D	Andosol	Franco	5.2	0.5	5.6
ID26	642904	2205758	D	Luvisol	Arcilloso	9.34	0.37	4.6
101	648300	2201800	D	Andosol				
106	656500	2198000	D	Andosol				
107	661818	2198991	D	Andosol	Franco Arenosa	18		4.55
108	662500	2200200	D	Feozem				
110	660700	2201300	I	Andosol	Franco Arenosa	12.01	0.54	4.76
117	647500	2206300	D	Andosol				
118	649400	2199000	I	Andosol	Franca	10.12	0.45	6.02
119	653140	2212550	D	Acrisol				
120	659999	2215810	D	Cambisol				
121	658654	2213430	D	Cambisol				
122	645000	2202800	I	Luvisol				

ANEXO 3

Encuesta referida a valoración de servicios ecosistémicos en la RTP 105

Encuesta sobre valoración de servicios ecosistémicos que proporciona el suelo

Número de encuesta:

Nombre:

Edad:

Ocupación:

Municipio:

¿Habla alguna lengua indígena? (si es así, ¿cuál?):

¿Qué es para usted el suelo?
¿Cree que el suelo lo protege de inundaciones?
¿Cree que el suelo lo protege de deslizamientos?
¿Cree que el suelo lo protege de sequías?
¿En qué se han convertido los terrenos que antes eran vegetación natural?
¿Ha notado cambios en la temperatura del lugar? ¿De qué tiempo a la fecha? (5, 10, 15, 20 años)
¿Ha notado cambios en las lluvias? ¿De qué tiempo a la fecha? (5, 10, 15, 20 años)
¿Hace uso del suelo o de los recursos que soporta? (uso agrícola, uso forestal, extracción de piedra, turismo, etc.)
¿A qué se dedican en su familia? ¿Qué otras fuentes de ingresos tienen?
¿Cuál considera que es la principal problemática en su comunidad?
¿Existe algún ritual o celebración especial en torno al suelo?
¿Utilizan el suelo o elementos encontrados en él para remedios medicinales?
¿Ha participado en acciones para conservar o restaurar el suelo? (Reforestar, terrazas, curvas de nivel, presas con piedra para evitar deslizamientos, etc.)
¿Existe el ecoturismo en su comunidad?
¿Se realizan campañas educativas sobre cómo conservar el suelo en su comunidad? (Campañas de cuidado del medio ambiente)
Si existiera la opción, ¿pagaría por lo que los suelos hacen por usted? ¿Cuánto? (horas*)

ANEXO 4

Cuestionario referido a valoración de servicios ecosistémicos en la RTP 105

De acuerdo con la siguiente lista de servicios ecosistémicos indique el grado de valor que considera que proporciona el suelo en su comunidad dónde 5 es el máximo valor y 1 el mínimo valor

5.Vital / 4. Necesario/ 3. Importante / 2. No necesario / 1. Sin importancia

Servicios	Valor
Ciclaje de nutrientes	
Formación del suelo	
Ciclaje del agua	
Control biológico de plagas y enfermedades	
Regulación climática	
Control hidrológico	
Reciclaje de residuos y desintoxicación	
Filtrado de nutrientes y contaminantes	
Producción de biomasa*	
Entorno físico	
Recreación y turismo	
Belleza estética y paisaje	
Espiritualidad	