

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

TESIS

Degradación geoecológica de los paisajes en la
cuenca Río La Virgen, Ocosingo, Chiapas.

Para obtener el grado de
Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático

PRESENTA

Elí Obed Gutiérrez Solís

DIRECTOR

Dr. Luis Giovanni Ramírez Sánchez

CO-DIRECTOR

Dr. Horacio Morales Iglesias

ASESOR

Dr. José Manuel Camacho Sanabria



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Febrero 2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 11 de febrero de 2025
Oficio No. SA/DIP/0140/2025
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Elí Obed Gutiérrez Solís
CVU: 1230057

Candidato al Grado de Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático
Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático
UNICACH
Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Degradación geocológica de los paisajes en la cuenca Río La Virgen, Ocosingo, Chiapas** cuyo Director de tesis es la Dr. Luis Giovanni Ramírez Sánchez (CVU: 240359) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"

Dra. Dulce Karol Ramírez López
DIRECTORA



C.c.p. Dra. Sandra Urania Moreno Andrade, Directora del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento.
Mtra. Ana Lucía López Pimentel, Coordinadora del Posgrado, Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento
Archivo/minutario.

EPL/DKRL/hyb/igp/gtr



2025, Año de la mujer indígena
Año de Rosario Castellanos

Ilustración: Noé Zenteno



Ciudad Universitaria, libramiento norte
poniente 1150, col. Lajas Maciel C.P. 29035
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
investigacionyposgrado@unicach.mx

ÍNDICE

RESUMEN GENERAL	1
------------------------------	----------

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN	2
---------------------------	----------

1. OBJETIVOS.....	5
--------------------------	----------

1.1. Objetivo general:.....	5
-----------------------------	---

1.2. Objetivos específicos:.....	5
----------------------------------	---

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	6
---	----------

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
---	----------

4. JUSTIFICACIÓN	8
-------------------------------	----------

5. HIPÓTESIS	9
---------------------------	----------

CAPÍTULO 2

6. ANTECEDENTES	10
------------------------------	-----------

6.1. Aplicación de los mapas de paisajes físico-geográficos en la evaluación del espacio geográfico.....	10
---	----

6.2. Estudios relacionados con degradación del paisaje.....	13
---	----

CAPÍTULO 3

7. MARCO TEÓRICO.....	18
------------------------------	-----------

7.1. Paisajes físico-geográficos	18
--	----

7.2. Degradación Geoecológica	19
-------------------------------------	----

7.3. Evaluación de la degradación del paisaje por medio de indicadores ambientales	23
---	----

7.4. Conservación y restauración de paisajes degradados	25
---	----

CAPÍTULO 4

8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
-------------------------------------	-----------

8.2. Materiales.....	29
----------------------	----

8.3. Métodos	29
--------------------	----

CAPÍTULO 5

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
9.1. Descripción de la fase de diagnóstico	42
9.1.1. Identificación y selección de las variables	42
9.1.2. Cálculo de indicadores para establecer el diagnóstico de degradación geoecológica	43
9.1.3. Establecimiento del grado de influencia	74
9.1.4. Cálculo del Índice de Degradación Geoecológica.....	75

CAPÍTULO 6

10.CONCLUSIONES.....	92
11.RECOMENDACIONES	94
12. BIBLIOGRAFÍA	96

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y guía de diversas personas e instituciones, a quienes expreso mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático para brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para desarrollar esta investigación.

A mi director de tesis, Dr. Luis Giovanni Ramírez Sánchez le expreso mi más profundo reconocimiento por su orientación, paciencia y valiosas observaciones durante todo el proceso. Su experiencia y conocimiento han sido clave para la consolidación de este trabajo.

A mis asesores, Dr. Horacio Morales Iglesias y Dr. José Manuel Camacho Sanabria, les agradezco por su apoyo, sus aportes críticos y su disposición para compartir su tiempo y conocimientos. Sus sugerencias y observaciones han enriquecido significativamente el desarrollo de esta investigación.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), le agradezco por el respaldo financiero que hizo posible la realización de este estudio. Su apoyo fue crucial para poder dedicarme de lleno a esta investigación y alcanzar los objetivos planteados.

Extiendo mi gratitud a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a este trabajo, ya sea con datos, experiencias, conversaciones o palabras de aliento.

Finalmente, a mi familia y amigos, por su apoyo incondicional, su confianza en mí y por ser mi mayor fuente de inspiración. Su compañía y ánimo han sido esenciales para sobrellevar los desafíos de este proceso.

RESUMEN GENERAL

La degradación de los paisajes se considera como uno de los problemas más importantes de la era moderna. Este fenómeno afecta tanto a las propiedades y funciones de los paisajes, como a los seres humanos que dependen de los paisajes para obtener alimento, disponer de servicios ambientales entre otros elementos. Entre las principales causas de la degradación de los paisajes se encuentran las actividades agropecuarias, el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructura, el cambio de cobertura y usos de suelo, la minería y la urbanización descontrolada.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la degradación geoecológica de los paisajes físico-geográficos de la cuenca Río La Virgen, en el municipio de Ocosingo, Chiapas. Para alcanzar esta meta, se realizó una recopilación y posterior cálculo de indicadores que explican el estado de los paisajes y la influencia del ser humanos sobre ellos. Entre los indicadores utilizados se encuentran el índice de antropización de la cobertura vegetal, la erosión del suelo, el grado de urbanización, la tasa de actividad económica, la densidad poblacional, entre otros.

Los resultados obtenidos demuestran que la degradación geoecológica no es un proceso homogéneo, sino que varía según la influencia que tienen los elementos antrópicos presentes en los paisajes. En el 86% del territorio, donde predominan las actividades agropecuarias, los procesos de erosión y la urbanización, se observan signos avanzados de deterioro, reflejados en las categorías media, alta y muy alta de degradación. Por otra parte, en el 13% restante de superficie se ubican los paisajes de mayor conservación, caracterizados por un predominio de vegetación en estado primario y secundario.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La degradación de los paisajes es uno de los desafíos más importantes que enfrenta la humanidad a nivel mundial (Husnain et al., 2022; Ahirwar y Singh, 2024). Diversos organismos internacionales, como la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), la Organización para la Seguridad y la Cooperación en Europa (OSDE) y la Unión Africana (UA) han alertado sobre las graves consecuencias de la degradación de los sistemas naturales, que impulsan nuevos escenarios de riesgos, el colapso de las comunidades humanas y la reducción de la capacidad de recuperación del medio ambiente ante las modificaciones antrópicas (Laybourn y Hill, 2019; Brown, 2021).

El fenómeno de degradación es un proceso degenerativo causado por las actividades humanas (Singh et al., 2022), que reducen la capacidad de los paisajes para mantener sus funciones ambientales (Castillo, 2023). Las consecuencias incluyen efectos negativos en la producción alimentaria, en la dotación de servicios ambientales, así como la alteración de las funciones y propiedades de los paisajes, además de la intensificación del cambio climático (Choudhary et al., 2015; Singh et al., 2023).

La degradación de los paisajes es un problema global urgente que requiere una atención profunda e inmediata (Vačkář, 2012). Por tanto, es fundamental aplicar enfoques integradores que consideren dimensiones ambientales, sociales y económicas para abordar esta amenaza (Ferreira et al., 2024). Con el fin de desarrollar estrategias efectivas que mitiguen los efectos adversos de la degradación y con ello, promover vínculos sostenibles con los paisajes (Currit y Easterling, 2009; Verburgh et al., 2015)

A nivel nacional, se ha identificado una tendencia creciente de los problemas ambientales asociados con la degradación de los paisajes, los cuales se han observado en el deterioro de los sistemas naturales terrestres y marinos (Tetreault, 2020; Gálvez, 2021). Las causas principales incluyen la industrialización agrícola, la

sobreexplotación de recursos naturales, el crecimiento demográfico, los cambios en la cobertura y uso de suelo, incendios forestales y las actividades ganaderas (Macías y Sevilla, 2021).

En el estado de Chiapas, la expansión demográfica, el cambio en la cobertura y uso de suelo, la contaminación y la extracción de recursos naturales son los principales impulsores de la degradación de los paisajes (Reyes et al., 2010). Estos impactos se reflejan en la pérdida de hábitats, disminución de la biodiversidad y agotamiento de recursos naturales (Tovillas, 2008; Rocha-Díaz, 2013).

El aumento de las actividades antropogénicas ha generado un impacto significativo en los paisajes, especialmente en regiones donde la agricultura y la ganadería se han expandido intensivamente (Rocha-Díaz, 2013). La cuenca Río La Virgen, es un claro ejemplo de esta problemática, donde las actividades agropecuarias y la expansión demográfica han alterado los paisajes naturales (Ayuntamiento Municipal de Ocosingo, 2015). Sin embargo, aún existe un vacío de información sobre la dinámica y los factores que impulsan la degradación de los paisajes en esta cuenca.

El presente estudio tiene como propósito evaluar, desde una perspectiva geocológica, los diferentes niveles de degradación en la cuenca Río La Virgen, con el objetivo de ofrecer una visión holística, integradora y detallada del fenómeno de degradación. Asimismo, se busca identificar los principales impulsores de este proceso, así como de las implicaciones negativas sobre las funciones y propiedades de los paisajes. Al mismo tiempo, se pretende ofrecer herramientas prácticas que faciliten la formulación de acciones y estrategias orientadas a una gestión integral del territorio.

El trabajo integra un total de cuatro capítulos, en el primero se describen los objetivos planteados, preguntas de investigación, la justificación, el planteamiento del problema e hipótesis. Para el segundo capítulo mencionan los antecedentes del trabajo. En el tercer capítulo se desglosan los diversos términos y definiciones utilizados durante la investigación, con la finalidad de esclarecer sus aplicaciones en la tesis. En el cuarto se explican a detalle los materiales, las técnicas y métodos empleados en la investigación. En el quinto se detallan, analizan y describen los

resultados obtenidos. Finalmente, en un capítulo final, se relatan las conclusiones y reflexiones generales de la investigación.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general:

- Evaluar los niveles de degradación geocológica en los paisajes que integran la cuenca Río La Virgen, en el municipio de Ocosingo, Chiapas.

1.2. Objetivos específicos:

- Identificar las variables naturales y antropogénicas que contribuyen a la degradación de los paisajes de la cuenca Río La Virgen.
- Definir los grados de degradación geocológica de los paisajes de acuerdo con las variables naturales y antropogénicas.
- Conocer la ubicación de los diferentes grados de degradación geocológica que sufre la cuenca Río La Virgen.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son los factores naturales y antropogénicos causantes de degradación geocológica de los paisajes de la cuenca Río La Virgen?
- ¿Cuáles son los niveles de degradación geocológica de los paisajes de la cuenca Río La Virgen?
- ¿Dónde se ubican los diferentes niveles de degradación geocológica que sufre la cuenca Río La Virgen?

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La degradación de los paisajes es considerada por la Organización de las Naciones Unidas como uno de los problemas más importantes a nivel mundial (Husnain, 2022). Este fenómeno es provocado por actividades humanas como: crecimiento demográfico, extracción y sobreexplotación de recursos naturales, actividades agropecuarias, industrialización y contaminación (Mabahwi et al, 2014; Yeganeh, 2020; Singh et al., 2020). Mientras que las consecuencias inciden en la calidad de vida de las personas y resulta una amenaza para los sistemas naturales, así como un detrimento de los sistemas agrícolas (Stanturf, 2021; Ahirwar y Singh, 2024).

Para el caso de México, las causas principales de la degradación de los paisajes son: industrialización de la agricultura, sobreexplotación de recursos naturales, crecimiento demográfico, cambios de la cobertura y uso de suelo, incendios y actividades ganaderas (Macías y Sevilla, 2021). En tanto que, las consecuencias se presentan en el deterioro de los sistemas naturales terrestres y marinos (Gálvez, 2021).

En el estado de Chiapas, algunas causas involucradas en la degradación de los paisajes son: la expansión demográfica, el cambio en la cobertura y uso de suelo, contaminación y extracción de recursos naturales (Reyes et al., 2010). En tanto, los efectos se manifiestan en la pérdida del hábitat, disminución de la biodiversidad y agotamiento de recursos naturales (Tovillas, 2008; Rocha-Díaz, 2013).

Actualmente, la cuenca Río La Virgen presenta un proceso de deterioro de los paisajes, debido a la expansión demográfica y a los cambios en el uso de suelo (Ayuntamiento Municipal de Ocosingo, 2015). Del mismo modo, carece de estudios que nos permitan describir los procesos que implican la degradación de los paisajes de la zona de estudio. Ante esta problemática, el presente trabajo ofrecerá un diagnóstico de la degradación de los paisajes a partir de variables naturales, socio-demográficas y económicas para identificar los principales impulsores de la degradación y definir el estado natural o degradado del territorio.

4. JUSTIFICACIÓN

La degradación de los paisajes es un problema que enfrenta la humanidad, que requiere una atención profunda e inmediata (Vačkář, 2012). De tal forma que, es crucial comprender los factores que puedan contribuir a la degradación, así como el estado deteriorado de los sistemas naturales (Valdez et al., 2023), al analizar y documentar estos procesos, resultaría trascendente para la formulación de políticas ambientales más efectivas (Husnain, 2022).

De modo que es fundamental aplicar enfoques y estudios integradores que consideren dimensiones ambientales, sociales y económicas para atender la amenaza que representa la degradación de los paisajes (Ferreira et al., 2024), con la intención de desarrollar estrategias efectivas para mitigar los efectos adversos de la degradación y con ello, tener vínculos sostenibles con los sistemas naturales (Ahirwar y Singh, 2024).

Las aportaciones de estudios que analizan la degradación de los paisajes bajo enfoques integradores, facilitan la gestión de territorios degradados, revelan las causas y las posibles consecuencias que estos efectos puedan representar, así como las propuestas de establecer relaciones sostenibles entre los sistemas naturales y la sociedad (Currit y Easterling, 2009; Verburch et al., 2015; Medeiros et al., 2022).

Este trabajo justifica su relevancia por la necesidad de evaluar de manera sistémica y holística los procesos de degradación que enfrenta el territorio. Con la finalidad de evidenciar los factores que contribuyen a la modificación de los paisajes, así como identificar y mapear unidades de paisajes que requieran estrategias de conservación o mitigación. Asimismo, se pretende atender la ausencia de estudios con enfoque integrador a nivel local. Además de contribuir con herramientas prácticas para la formulación de políticas ambientales más eficientes que puedan abordar la degradación de los paisajes de manera eficaz.

5. HIPÓTESIS

Los paisajes físico-geográficos de la cuenca Río La Virgen presentan niveles considerables de degradación geoecológica, principalmente en paisajes de piedemonte, planicies y valles debido a los factores que incluyen la cercanía de centros de población y fácil acceso para desarrollar actividades económicas. Por otro lado, en paisajes montañoso presentan los mayores niveles de conservación, gracias a la poca accesibilidad e influencia de la población.

CAPÍTULO 2

6. ANTECEDENTES

El apartado de antecedentes se dividió en dos partes: I) estudios que aplicaron de forma práctica los mapas de Paisajes Físico-Geográficos (PFG) para la evaluación del espacio geográfico; II) trabajos que estudiaron y analizaron los procesos de degradación a nivel mundial, nacional y local.

6.1. Aplicación de los mapas de paisajes físico-geográficos en la evaluación del espacio geográfico

La aplicación de los mapas de paisajes se ha desarrollado a partir de la necesidad de definir unidades de análisis espacial que permita evaluar el espacio geográfico en función de sus propiedades sistémicas. Esto ha enriquecido el conocimiento en la evaluación y toma de decisiones para el manejo de recursos naturales, ordenamiento ecológico territorial y evaluación de riesgos alrededor del mundo (Bollo y Martínez, 2023).

En Rusia, autores como Kuznetsova et al., (2011), aplicaron las unidades de paisaje de la región del lago Baikal para conocer el nivel de potencial ecológico de los geosistemas y generar políticas de gestión de acuerdo a su condición. Por su parte, Lysanova et al., (2011) generaron un mapa de paisajes de la cuenca Alto Yenissei, que se utilizó como base para la planificación territorial y estudios de viabilidad ecogeográfica; en el caso de Fetisov (2010), evaluó la diversidad paisajística del Khingan Menor ruso en el contexto de la carga antropogénica; Ganzeia y Ivanov, (2012) realizaron un análisis comparativo de índices y enfoques con el objetivo de conocer la diversidad paisajista de las Islas Kuril, territorios rusos adyacentes con Japón.

Mateo et al., (2020) en Cuba desarrollaron el mapa de paisajes físico-geográficos del país, con el propósito de elaborar el Atlas Nacional de Cuba; en Brasil, Betim y Tavares (2019) realizaron un mapa de paisajes en la Reserva Forestal del

Morro Grande, Municipio de Cotia, Estado de São Paulo con el objetivo de desarrollar una zonificación del estado ambiental de dicho territorio.

En España, Jimenez y Moreno (2006), elaboraron el mapa de paisajes del Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada) con el objetivo de realizar un diagnóstico ambiental; finalmente, Bastian et al., (2006) aplicó el mapa de paisajes en regiones de Alemania y República Checa, que les permitió establecer un diagnóstico del paisaje, conocer sus capacidades de carga, sensibilidad, persistencia, los riesgos naturales, entre otros.

Para el caso de México, se enlistan los trabajos más relevantes que aplicaron los mapas de paisajes físico-geográficos para la evaluación del territorio (Tabla 1).

Tabla 1
Antecedentes de la aplicación práctica de los mapas de paisajes físico-geográficos.

Número	Autor(es)	Aplicación práctica de los mapas de paisajes físico-geográficos
1	Bollo et.al. (2010)	A través del mapa de paisajes físico-geográficos, determinaron la aptitud natural de cada unidad de paisaje en la región noroeste del estado de Chiapas.
2	Machuca (2011)	Generó la cartografía de las unidades de paisaje como base para delimitar las zonas funcionales hidrográficas con el fin de evaluar su potencial natural para prestar servicios ambientales hídricos en Cerro Grande, dentro de la reserva de la biósfera Sierra de Manantlán, en los estados de Jalisco y Colima.
3	Flores-Domínguez y Priego-Santander (2011)	En este trabajo, los autores, propusieron una zonificación de acuerdo con los atributos propios de las unidades de paisaje para la aptitud ecoturística de los paisajes de la región costera de Michoacán, al mismo tiempo, determinaron una serie de indicadores de heterogeneidad geoecológica del territorio.
4	Campos et al. (2012)	Aplicaron el enfoque y mapa Geoecológico de una comunidad agraria de Michoacán, en ella integraron tres fuentes de información: atributos del paisaje, análisis de los cambios de uso y cubierta del suelo y percepción social de este cambio.

5	Zaragoza et al. (2013)	Propusieron una serie de sitios prioritarios de geoconservación, de acuerdo con una regionalización físico-geográfica y la distribución de la riqueza y endemismo biológico en la península de Baja California
6	López y Aguilar (2018)	A través de un mapa de unidades de paisaje combinado con enfoque experto y local de la región noroeste de Michoacán establecieron las diferencias entre el estudio biofísico del paisaje y el conocimiento local de las comunidades para encontrar relaciones y vínculos entre prácticas comunitarias y la delimitación de unidades de paisajes.
7	Morales-Iglesias et.al. (2019)	Dichos autores determinaron la modificación antropogénica sobre la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, con el propósito de conocer aquellas unidades de paisajes que presenta mayor antropización y naturalidad
8	Morales-Iglesias et al. (2020)	Los autores evaluaron la distribución de la complejidad y diversidad de los paisajes físico-geográficos del estado de Chiapas, a través de dos índices de complejidad, uno de riqueza y dos de diversidad geoecológica.
9	Morales-Iglesias et.al. (2022)	Estudian y evalúan aquellos paisajes que resguardan mayor patrimonio natural en el estado de Chiapas. Con el enfoque de paisajes les permitió definir la relación espacial entre la biodiversidad de plantas vasculares con elementos biofísicos del paisaje
10	Ramírez-Sánchez et.al. (2022)	Conocieron el grado de alteración antropológica de la cobertura vegetal de los paisajes del estado de Michoacán, con dicho producto, proponen una base de datos espaciales que les permitió generar formas alternas para un mejor uso del territorio.
11	Gutiérrez-Solís (2024b)	Describen las estructuras los paisajes físico-geográficos de la cuenca Río La Virgen en el municipio de Ocosingo, en el estado de Chiapas, a escala 1:50 000. Con lo anterior, indicaron el grado de modificación a la cobertura vegetal que tienen estos paisajes
12	Cruz-Peralta y Ramírez-Sánchez (2023)	Realizaron un mapa de paisajes físico-geográficos de la Zona Metropolitana del Valle de México a escala 1:50 000, a partir de este mapa de paisajes, los autores determinaron el grado de modificación antropológico sobre la cobertura vegetal

Fuente: elaboración propia

La relevancia de estos trabajos para el presente estudio radica en que proporcionan bases conceptuales y metodológicas para aplicar las unidades de paisajes físico-geográficos en la evaluación del territorio mexicano. Asimismo, han sido de gran ayuda en la gestión de recursos naturales, a la identificación de problemáticas ambientales, así como esclarecer aquellos PFG que indiquen mayor naturalidad o conflicto ambiental. Al mismo tiempo, los aportes de conocimientos empíricos y metodológicos han permitido robustecer el enfoque de los PFG para continuar con su aplicación.

6.2. Estudios relacionados con degradación del paisaje

Los trabajos que estudian la degradación del paisaje causada por actividades antropogénicas han sido una de las áreas de investigación más críticas y dinámicas dentro del ámbito de la evaluación ambiental (Shrinkhal, 2019). Estas investigaciones han aumentado alrededor del mundo significativamente en los últimos 20 años, y se han convertido notablemente en una labor interdisciplinaria (Orimoloye y Ololade, 2021).

Algunos autores mencionaron los efectos de la degradación del paisaje provocado por cambios de cobertura vegetal y degradación del suelo en España (Symeonakis, 2007); degradación de recursos terrestres en China (Liu et al., 2003; Zhang et al., 2006), factores causantes de degradación y desertificación del suelo en India (Ajai et al., 2009; Mahala, 2019).

Hassan et al., (2015), analizaron la degradación crítica en Bangladesh; por su parte, Majeed et al. (2021), estudiaron la degradación a través de emisiones de gases de efecto invernadero de países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE); Mrabet (2017), definieron el papel del petróleo y el comercio como factores degradantes del ambiente en Qatar; To et al., (2019) establecieron la relación entre la degradación del paisaje por inversión extranjera en Asia Oriental.

Aguirre (2019), evaluó la degradación de los paisajes en los bosques Ribereños en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Mientras que en otros paisajes

latinoamericanos como Colombia (Armenteras y Gonzales, 2016), Costa Rica (Argotty, 2016), Nicaragua (Ruiz y González, 2016), Paraguay (Rejalada, 2016) y Bolivia (González, 2016) identificaron los procesos de degradación del paisaje relacionadas con la degradación de bosques, reducción de recursos naturales y degradación del suelo.

Para el caso particular de México, se ha abordado el estudio de degradación en diferentes regiones del país. A continuación, se exponen brevemente los más relevantes en el contexto nacional, estatal y local (Tabla 2).

Tabla 2
Antecedentes de estudio de DA en México.

Número	Autor (es)	Estudios de Degradación
1	Reyes-Escutia et al. (2010)	Realizaron una reflexión del contexto histórico de los procesos de degradación ambiental en Chiapas, y su relación con diversos procesos de deterioro social. Al mismo tiempo, ofrecieron un panorama amplio de la problemática ambiental actual de la entidad ocasionado por actividades antropogénicas
2	Orozco-Hernández et al. (2011)	Los autores estudiaron el papel de los incendios forestales como causa de la degradación ambiental en el Estado de México, así como los impactos locales y globales de las emisiones de gases de efecto invernadero.
3	Rocha-Díaz (2013)	La autoría realiza una prospección a futuro de las migraciones en el estado de Chiapas debido a los impactos de la degradación ambiental y del cambio climático.
4	y Sevilla (2021)	A través de una revisión bibliográfica y estadística, los autores mostraron cómo el uso desmedido de pesticidas y fertilizantes químicos, así como la sobre explotación de acuíferos, suelos y zonas forestales, han derivado en la degradación ambiental y a la salud de las personas en México
5	Amorim Homem de Abreu Loureiro et al. (2022)	El objetivo de este estudio fue conocer el contexto ambiental y geográfico del municipio de Calimaya en el Altiplano Mexicano, se realizó a través del análisis del cambio de cobertura vegetal,

		deforestación para usos agrícolas y degradación del suelo. Con lo anterior, lograron encontrar que la zona de estudio se encuentra en un proceso de degradación ambiental considerable gracias a las actividades antrópicas
6	Mateo y Ortiz (2001)	Determinaron los conceptos de degradación geocológica, asimismo, definen un sistema de clasificación del paisaje a partir de su nivel de degradación
7	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y El Colegio de Posgraduados (2002)	Propusieron para México una metodología en la que incorpora a lo diferentes tipos de degradación de los suelos una descripción del fenómeno y los factores causales para su posterior evaluación.
8	Balderas et al. (2015)	Definieron un marco metodológico para determinar el estado de degradación geocológica del paisaje, en la que consideraron componentes biofísicos como: geología, geomorfología, climática y actividades antrópicas
9	Mathews-Fernández (2008)	Realizó un Índice de Modificación Edafo-Biógena (IMEB), el cual muestra información sobre el estado de la cobertura vegetal y la degradación de los suelos en los paisajes físico-geográficos de una región de Michoacán.

Estudios de degradación geocológica

10	Espinoza (2013)	Propuso una clasificación de las unidades de paisajes en la región Pátzcuaro-Zirahuén, Michoacán de acuerdo con el grado de modificación antropogénica, integrando indicadores naturales y antrópicos.
11	Gress (2015)	Este trabajo buscó encontrar los efectos de la implementación de la política ambiental en la degradación de los paisajes del suelo de la ese entonces Distrito Federal, para cumplir con este objetivo, la autora definió los niveles de degradación a través de indicadores ambientales.
12	Vargas (2015)	El objetivo del estudio fue identificar los problemas ambientales de los paisajes físico-geográficos de la región Bajío Michoacán en los años 1990, 2000 y

		2010 para evaluar el Estado del Medio Ambiente.
13	Ortiz (2016)	Presentaron una regionalización físico-geográfico bajo el enfoque Geoecológico en el estado de Guerrero, a partir de este, evaluaron la degradación ambiental de los paisajes en función de la acción antropogénica sobre dichas unidades de paisaje
14	Bollo et al. (2017)	Elaboraron un Programa de Manejo Integral de la cuenca Santiago-Guadalajara a partir de unidades de paisaje con el propósito de conocer el estado del medio ambiente y situación ambiental en los último 20-30 años. Utilizaron indicadores naturales, antropogénicos, socio-económicos que les permitieron definir el estado natural o degradado de la zona de estudio
15	Bollo y Velasco (2018).	Los autores realizaron un análisis espacial desde el enfoque Geoecológico para conocer el estado del medio ambiente del estado de Michoacán. Integraron indicadores de degradación biofísica, modificación antropogénica, socioeconómica y demográfica
16	Bollo et al. (2022).	Utilizaron indicadores naturales, antropogénicos, económicos, sociales y demográficos en la intención de obtener unidades territoriales, con el fin de obtener una propuesta para la utilización del territorio con enfoque Geoecológico en el municipio de Morelia, Michoacán
17	Chávez-Canela (2023)	La autora evaluó la degradación ambiental que presentan las unidades de paisaje en la región Ocotlán-Valle de Zamora causado por diferentes procesos socioeconómicos y naturales. Este análisis lo obtuvieron a partir del estudio de indicadores e índices naturales, económicos y demográficos.

Fuente: elaboración propia

En conjunto, estos estudios permitieron tener un contexto nacional de los procesos de degradación de los paisajes, así como conocer las causas y efectos que tiene sobre los sistemas naturales y la sociedad mexicana. Al mismo tiempo, hacen hincapié en la necesidad de realizar estudios de degradación a nivel local.

La peculiaridad del enfoque geoecológico es su naturaleza holística e integradora del espacio geográfico, lo cual significa, identificar la estructura espacial y el funcionamiento de los paisajes físico-geográficos con sus niveles de degradación o naturalidad. Por otra parte, los estudios que se encargaron de analizar la degradación a partir del enfoque geoecológico, realizaron aportes metodológicos para el presente estudio específicamente en los siguientes elementos:

- Sobre variables naturales y antropogénicas sugeridas por expertos en ordenamiento territorial en México para identificar aquellos que expliquen los procesos de degradación de los paisajes.
- Propusieron índices para calcular la degradación a partir de las variables naturales y antropogénicas.

CAPÍTULO 3

7. MARCO TEÓRICO

En este apartado se hace mención de los diferentes términos y definiciones utilizados durante la investigación, con la finalidad de esclarecer sus aplicaciones en el trabajo.

7.1. Paisajes físico-geográficos

El concepto de Paisajes Físico-Geográficos (PFG) bajo el enfoque geoecológico fue desarrollado por las escuelas de Geografía rusa y alemana durante los siglos XIX y XX, que lo definen como una porción de la superficie terrestre de cualquier dimensión, donde los componentes naturales (clima, el agua, el suelo, el relieve y los organismos vivos) se encuentran en una interrelación sistémica y dialéctica unos con los otros y en constante evolución en el tiempo geológico, (Mateo, 2002, 2011; Bollo, 2018).

Por tanto, los PFG, no es el simple resultado de las interacciones de la naturaleza, se concibe como una categoría de integración que resulta de la interacción dinámica de todos sus componentes (Mateo, 2002). Los PFG funcionan como unidades integrales de la superficie terrestre, con homogeneidad en su estructura y composición, al mismo tiempo, representa un objeto de análisis espacial para la evaluación del territorio y en ordenamientos ecológicos territoriales (Bocco et al., 2010).

El presente trabajo aplica el concepto de los paisajes físico-geográficos bajo las consideraciones de la Geoecología del Paisaje (Mateo, 2002). Los cuales plasman unidades de análisis espacial, que, en su interior integran elementos y componentes de la naturaleza de manera jerárquica, sistémica y holística (Bollo y Martínez, 2023). Dentro de los límites de los paisajes físico-geográficos se llevan a cabo las interacciones antropogénicas, lo que indica una relación sistémica entre la naturaleza y la sociedad (Bollo, 2018).

7.2. Degradación Geoecológica

Para entender los procesos de degradación geoecológica de un territorio, es crucial comprender la interacción entre la naturaleza y la sociedad, donde, los seres humanos desempeñan una posición dual y contradictoria en relación con la naturaleza (Mateo, 2002). Por un lado, forman parte de ella como especie biológica; por otro, su capacidad de organizarse socialmente les permite modificar y transformar el entorno natural; este intercambio de materia, energía e información, llevada a cabo principalmente a través de actividades antropogénicas, es fundamental para la existencia del ser humano (Priego y Bocco, 2016).

Los paisajes naturales son transformados y modificados por la intervención humana a lo largo de la interacción entre la naturaleza y la sociedad (Mateo y Calvancanti, 2022); sin embargo, este proceso a menudo resulta en la degradación del paisaje, debido a que se desencadenan mecanismos degradantes, que conducen a la pérdida de las funciones, propiedades, autorregulación y potencial productivo de los paisajes (Mateo, 2002).

De tal manera, la degradación geoecológica se refiere a la pérdida de las capacidades, los atributos y las propiedades sistémicas, así como los mecanismos de autorregulación y regeneración de los paisajes para continuar con el cumplimiento de las funciones ecológicas y necesidades humanas, por medio de la aparición y/o intensificación de los procesos geoecológicos (Mateo y Ortiz, 2002).

El fenómeno de degradación geoecológica se fundamenta en tres elementos conceptuales: a) cómo se formó y ordenó la naturaleza; b) en qué medida las sociedades humanas transforman a la naturaleza; c) cómo la sociedad modifica y utiliza los paisajes a partir de sus patrones de ocupación (Mateo, 2002, 2011; Priego-Santander et al., 2008).

En cuanto a los fundamentos teóricos-metodológicos de la degradación geoecológica, estos permiten llevar a cabo un análisis integral de las condiciones ambientales que incluyen elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, hidrológicos y bióticos, junto con las condiciones sociales, económicas y

culturales de la humanidad (Mateo et al., 2022). Desde el enfoque holístico de la Geoecología, este análisis favorece una comprensión profunda del papel de la sociedad en las modificaciones de la estructura y funcionamiento del paisaje (Mateo y Ortiz, 2001).

De igual manera el enfoque geoecológico brinda herramientas cartográficas para identificar, clasificar y mapear las unidades de paisaje, que integren los elementos naturales y la influencia humana sobre estos, con la intención de establecer unidades de análisis espaciales con diferentes niveles de degradación geoecológica, así como su valor de conservación o preservación (Teixeira et al., 2021; Medeiros et al., 2022).

El origen de la degradación geoecológica es un fenómeno multifactorial, es causada por actividades antropogénicas en los procesos de ocupación territorial, adopción generalizada de la tecnología y aprovechamiento de recursos naturales (Dotterweich, 2013; Vásquez, 2021). En tanto que, las consecuencias tienen un impacto global, ya que no solo provocan el deterioro de los sistemas naturales, sino que también alteran el equilibrio de los procesos físicos y la dinámica de dichos sistemas, lo que compromete la existencia y supervivencia de diversas formas de vida (Howard, 2017; Ahmed et al., 2018; Bastin et al., 2019).

Entre otras consecuencias que trae consigo la degradación geoecológica sobre los sistemas naturales, se pueden observar en el agotamiento de recursos naturales (Tyagi et al., 2014), en la pérdida de biodiversidad, extinción de especies animales y vegetales, en la intensificación de los procesos de desertificación y de cambio climático (Dotterweich, 2013; Choudhary et al., 2015; Vásquez, 2021)

Este deterioro conlleva cambios estructurales y funcionales que afectan negativamente la capacidad de los paisajes para proporcionar bienes y servicios ambientales (Ghazoul y Chazdon, 2016). Esta situación tiene efectos directos en el bienestar humano (Mabahwi et al., 2014; Hermans y McLeman, 2021), ya que puede generar disputas por los recursos naturales, como el suelo fértil y el agua, lo que podría derivar en conflictos violentos y pérdidas económicas (Folke et al., 2021).

La degradación geoecológica, como fenómeno global, complejo y multifacético, en el que las actividades humanas son las principales causantes de la destrucción del medio ambiente (Mabahwi et al., 2014; Yeganeh, 2020), ha despertado un gran interés en los últimos 20 años dentro de la comunidad científica dedicada a la evaluación del estado ambiental (Shrinkhal, 2019; Orimoloye y Ololade, 2021).

Debido a la amplitud del tema, la degradación geoecológica abarca múltiples problemáticas ambientales como la degradación de la cobertura vegetal o forestal debido a los cambios de la cubierta y uso del suelo (Pérez-Vega et al., 2020). Esto incluye la reducción de la calidad de la cobertura vegetal, la pérdida de la estructura, la dinámica, las funciones ecosistémicas y el declive de la capacidad de suministrar servicios y bienes ambientales (Lund, 2009; Thompson et al., 2013).

De igual manera, se ha identificado que la degradación del paisaje representa una cadena de alteración, tanto en el componente forestal como en el edáfico (Osman, 2013). Esto genera una cadena de alteraciones en los sistemas del suelo y su cobertura, lo que provoca una reducción de la capacidad de los paisajes para sostener diversas formas de vida y proporcionar bienes y servicios ambientales a la humanidad (Mahala, 2019).

Este proceso de degradación de los paisajes no se limita únicamente a lo expuesto anteriormente, sino que también impacta significativamente a los recursos hídricos (McDonald et al., 2011). Lo que compromete tanto la calidad, como la cantidad de agua disponible para los paisajes y las comunidades humanas; esto puede ocasionar numerosos desequilibrios ambientales, socio-económicos y políticos a nivel mundial (Srinivasan et al., 2012; Pérez-Cutillas et al., 2018).

En el estudio y análisis de la degradación del paisaje, así como los procesos de degradación que actúan simultáneamente en los mismos, se pueden agrupar en una serie de problemas geoecológicos (Mateo, 2002). De tal forma que, los problemas geoecológicos derivan de los procesos de degradación de los paisajes, que traen como consecuencia deficiencias en la sostenibilidad de las actividades de los seres humanos y en la estructura y funcionalidad de los paisajes (Mateo, 1991, Priego-Santander et al., 2008).

Los problemas geoecológicos se clasifican en tres categorías (Mateo, 2002):

- a) Problemas con la gestión de los recursos: se originan debido a la pérdida de potenciales naturales, que incluyen pérdida de hábitats y biodiversidad que generan deterioro de recursos hídricos; también ocasionan procesos de degradación de recursos edáficos que comprenden erosión, salinización, degradación química y demás.
- b) Problemas con la calidad ambiental: se refiere al estado desfavorable de las propiedades y funciones de los paisajes, que afectan a los componentes existentes en los paisajes. Estos abarcan factores como contaminación del aire, pérdida de biodiversidad, entre otros.
- c) Problemas con la integridad de los paisajes: representa la desarticulación de la funcionalidad de los geosistemas, que imposibilitan cumplir con las funciones esenciales. Al mismo tiempo, representan perturbaciones a la estructura del paisaje que garantiza la secuencia de los estadios de desarrollo. Además, se presenta una alteración de la dinámica y funciones en territorios circundantes.

La degradación geoecológica ha creado nuevos escenarios de riesgo que aumentan las posibilidades de colapso de los sistemas naturales y sociales (Laybourn y Hill, 2019). De tal forma que, la responsabilidad del ser humano recae en reducir el impacto antropogénico derivado de sus actividades a los sistemas naturales hasta límites sostenibles, y simultáneamente conservar la capacidad de los paisajes de recuperación ante nuevas perturbaciones (Mabahwi et al., 2014).

Una de las propuestas para reducir los impactos derivados de la degradación geoecológica es desarrollar estrategias de protección de los sistemas naturales a través de prácticas agropecuarias sostenibles y la conservación de la biodiversidad ante las presiones demográficas (Ferreira et al., 2024). Al mismo tiempo, es imperativo analizar cómo los factores antropogénicos influyen en la degradación de los paisajes, con el objetivo de fortalecer las acciones de conservación (Gálvez, 2021; Nyirarwasa et al., 2024).

El presente estudio aborda la degradación geoecológica a partir de la comprensión sistémica e integrada de los componentes físico-naturales y antrópicos del territorio (Mateo et al., 2011). Esta perspectiva de análisis permite, además, identificar problemas ambientales a partir de unidades espaciales concretas, lo cual contribuye en la formulación de políticas ambientales para promover un uso sostenible de los paisajes (Medeiros et al., 2022).

7.3. Evaluación de la degradación del paisaje por medio de indicadores ambientales

Los indicadores ambientales son parámetros asociados a un fenómeno presente en el sistema terrestre, que ofrece información sobre sus características y propiedades (OCDE, 2003). Mediante el uso de indicadores se puede obtener información específica del estado o la variación en el estado de determinado fenómeno (Bottero, 2011). Entre los componentes que se pueden estudiar a través de indicadores son: la cobertura vegetal, la biodiversidad, la calidad del suelo, el agua y el aire, o los niveles de urbanización y fragmentación (Kubacka et al., 2016).

Aunque los paisajes se analizan de manera holística, desglosar su estudio mediante indicadores facilita la aplicación de diferentes métodos científicos, así, los indicadores proporcionan un marco operativo que actúa como herramienta donde convergen diversos enfoques, disciplinas y metodologías (López et al., 2020).

La aplicación de los indicadores ambientales funge como un instrumento que sirve para informar sobre el estado del medio ambiente, la influencia del ser humano en los sistemas naturales y los procesos degradantes que se originan en el transcurso de la interacción hombre-naturaleza (Jiménez-Moreno et al., 2019). Para que los indicadores ambientales ofrezcan información específica de los procesos que se llevan a cabo en el medio ambiente, como los mecanismos de degradación de los paisajes, es necesario considerar algunos requisitos conceptuales fundamentales (Cassatella & Voghera, 2011; Perevochtchikova, 2013):

- a) Representatividad: el indicador debe estar ampliamente correlacionado con el fenómeno que se desea medir o controlar.
- b) Accesibilidad: debe ser fácilmente medible y muestreable, así como contar con unas mediciones alcanzables con técnicas estándar.
- c) Fiabilidad: tenga un margen mínimo de error
- d) Eficacia: el indicador debe permitir realizar una cuantificación directa y sencilla del fenómeno estudiado
- e) Pertinencia: refleja la relevancia del indicador para explicar el fenómeno analizado
- f) Especificidad: representa la capacidad del indicador para señalar específicamente las características del fenómeno estudiado.
- g) Precisión: indica la capacidad de medir el estado y dinámica de las características con el nivel de detalle necesario.

Si bien, los indicadores de manera individual deben ser concisos y claros para la evaluación de la degradación de los paisajes, un solo indicador por sí solo no puede expresar la complejidad de este proceso (Bao & Zou, 2017); por ello, en el estudio de degradación, es necesario definir índices sintéticos o integrales, que se basan en la combinación de información de múltiples indicadores, que permiten tener una aproximación del fenómeno de estudio (Bottero, 2011).

Los indicadores sintéticos, se obtienen mediante los valores estandarizados de los indicadores individuales y sus ponderaciones. En general, para obtener los valores estandarizados pueden incluir diferentes métodos como normalización de puntajes Z, valor máximo absoluto, la normalización de proporciones y la normalización de equivalencia de unidades, entre otros (Pollesch y Dale, 2016). Los métodos para definir las ponderaciones incluyen: análisis de componentes principales/factorial, ponderación dinámica objetivo/subjetivo, método Delphi y el Proceso de Análisis Jerárquico, entre otros (Sutadian et al., 2017).

7.4. Conservación y restauración de paisajes degradados

Se estima que para el año 2050, solo el 10% de la superficie de la Tierra permanecerá sin la influencia humana directa; mientras que las zonas conservadas estarán en áreas difíciles para la habitabilidad humana como desiertos, zonas montañosas y regiones polares (Butchart et al., 2010; IPBES, 2018). En este contexto, una de las prioridades a nivel mundial es frenar la degradación de los paisajes mediante las acciones de conservación y restauración (Yin et al., 2024).

A pesar de la creciente superficie de zonas de conservación para la biodiversidad como áreas naturales protegidas y otras medidas de conservación, más del 30% de estos territorios carecen de protección adecuada y aproximadamente la mitad de ellos están protegidos parcialmente (Di Sacco et al., 2021). En tanto que, si los paisajes intactos restantes experimentan mayores e intensos procesos de degradación, se reducirán significativamente la resiliencia de los sistemas naturales, lo que incrementará la vulnerabilidad de los seres humanos frente a fenómenos naturales (Yin et al., 2024).

Para abordar estas problemáticas, se han creado conjuntamente esfuerzos globales que incluyen el Desafío de Bonn, el Convenio sobre la Diversidad Biológica y el Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas, con el objetivo de generar estrategias de conservar y restaurar 350.000.000 hectáreas de territorios degradados para 2030 (Tan et al., 2024).

México ha participado en la convención de Río (1992), Paris (2016), Aichi (2020), entre otros; que tienen como fin rehabilitar y restaurar los paisajes degradados y promover la recuperación de especies amenazadas (Aronson y Alexander, 2013). Estos acuerdos establecen políticas de conservación y restauración de paisajes, tanto para los países participantes, como para las comunidades (IUCN, 2012).

Las prácticas de conservación y restauración de paisajes requieren una comprensión detallada del estado y las tendencias de las relaciones entre la naturaleza y los seres humanos (Di Minin et al., 2021). Este conocimiento facilita y orienta las acciones de conservación para revertir el deterioro de los sistemas

naturales, los cuales incluyen la creación de áreas naturales protegidas y la restauración de hábitats (Watson et al., 2014; Díaz et al., 2019). Las acciones planificadas de manera adecuada y cuidadosa pueden generar resultados positivos, tanto para la naturaleza, como para los seres humanos (Kremen & Merenlender, 2018).

Dado que las interacciones entre los seres humanos y la naturaleza varían ampliamente en el espacio y el tiempo, es esencial considerar factores como: el dónde, cuándo y qué tipo de acciones de conservación son más eficaces para abordar las problemáticas ambientales (Brooks et al., 2006). La Geografía física proporciona los fundamentos para explorar estas acciones a diferentes escalas temporales y espaciales, desde el contexto global hasta el local (Harden et al., 2020).

La perspectiva geográfica permite identificar la distribución espacial, la exposición, la intensidad y la temporalidad de los procesos degradantes (Tulloch et al., 2015), además de localizar las áreas menos degradadas donde las acciones de conservación o restauración podrían ser más eficaces (Di Minin et al., 2021); en este sentido, se ha identificado territorios donde es crucial la implementación de prácticas de conservación frente a la degradación y cambio climático (Lee y Jetz, 2008; Li et al., 2013), así como acciones de restauración en territorios afectados por la agricultura (Green et al., 2004), los procesos de urbanización (McDonald et al., 2018), de industrias mineras (Durán et al., 2013) de especies invasoras (Early et al., 2016) y contaminación (Compa et al., 2019).

Los enfoques integradores que brinda la Geografía física también permite incorporar la distribución espacial de las limitaciones y oportunidades para la conservación y restauración (Di Minin et al., 2021). Esto facilita identificar qué acciones de conservación necesarias para lograr una relación sostenible entre la naturaleza y los seres humanos (Ferrier y Brendan, 2009).

La restauración implica devolver los paisajes a un estado funcional, mientras que las tareas de conservación buscan prevenir y evitar la pérdida de las propiedades y funciones (Sietz et al., 2017). Para ello, se han propuestos alternativas de manejo de los paisajes como el programa de Neutralidad en la Degradación de las Tierras de la UNCCD (2016), El Decenio de la Restauración de los Ecosistemas de la ONU (Foli

et al., 2021), la iniciativa 20x20 que espera conservar y restaurar 20 millones de hectáreas en América Latina y el Caribe y 100 millones de hectáreas en África para el 2030 (Humphreys et al., 2020).

Estos programas son un medio para recuperar y mantener las funciones ambientales y sociales vitales, que conduce a tener paisajes resilientes y sostenibles (Foli et al., 2021). Estos esfuerzos internacionales son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria, mitigar el cambio climático y mejorar la calidad de vida de los seres humanos (Yin et al., 2024).

La respuesta a la degradación de los paisajes a partir de la conservación y restauración debe enfocarse en prevenir nuevos procesos degradantes que generen cambios catastróficos e irreparables (Rocha et al., 2018). Por tanto, las acciones de conservación y restauración no solo deben guiarse por una comprensión profunda de la dinámica y estado de los paisajes, sino también considerar el desarrollo socioeconómico de la población establecida en los paisajes (Okpara et al., 2018).

Para lograr los objetivos de conservación y restauración con el desarrollo socioeconómicos, existen medidas que incluyen la integración de la comunidad local a las acciones de conservación, la educación ambiental, el turismo sostenible, la producción forestal y los pagos por servicios ambientales, entre otros (Yin et al., 2021). Estas acciones deben considerar el conocimiento, las preferencias y las percepciones de las comunidades locales (Strassburg et al., 2020).

Por lo tanto, la conservación y restauración de los paisajes no puede ser abordado sin sus contextos sociales adyacentes (Wainaina et al., 2023); donde, integrar información tanto de los procesos degradantes, como del estado de los paisajes es esencial para alcanzar territorios sostenibles (Fischer et al., 2020). Del mismo modo, las iniciativas de conservación deben extenderse más allá de las áreas protegidas tradicionales para reducir las presiones circundantes sobre los paisajes de mayor naturalidad (Menz et al., 2013).

El estudio de la degradación de los paisajes y la implementación de estrategias de conservación y restauración deben entenderse como esfuerzos paralelos y

complementarios (Stanturf, 2015). Estos incluyen tanto estudios físicos y biológicos que permiten conocer del estado y los procesos degradantes de los paisajes (Stanturf, 2020; Muñoz y Branzei 2021), como elementos sociales e institucionales que contemplan límites jurisdiccionales, público-privados, urbano-rurales (Perring et al., 2018). La participación y acción colectiva resulta clave para una conservación y restauración exitosa y justa (McFarlane et al., 2024).

CAPÍTULO 4

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.2. Materiales

La unidad de análisis que se empleó en este estudio fue el paisaje físico-geográfico a nivel de paraje complejo, el cual nos permite la comprensión de las interrelaciones sistémicas entre sociedad-naturaleza (Mateo, 2002; Priego-Santander et al., 2010). El insumo que nos proporcionó la unidad de análisis es el “Mapa de paisajes físico-geográficos de la cuenca Río La Virgen” a escala 1:50 000 elaborado por Gutiérrez-Solís et al. (2024a) y los demás materiales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.
Insumos cartográficos utilizados en el proceso metodológico.

Insumos	Fuente
Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal de la cuenca Río La Virgen	Gutiérrez-Solís et al. (2024b)
Conjunto de datos vectoriales de erosión del suelo de la república mexicana a escala 1:250 000	INEGI (2013)
Índice de Rezago Social por localidad	CONEVAL (2020)
Censo de población y vivienda	INEGI (2020a)

Fuente: elaboración propia

8.3. Métodos

La presente investigación se sustenta metodológicamente en los trabajos elaborados por Martínez-Serrano (2017) y Chávez-Canela (2023) que giran en torno a la evaluación de la degradación geocológica y que han sido adaptados al presente estudio. La metodología está conformada de dos fases; i.- Inventario; tiene como objetivo elaborar unidades de análisis espacial bajo el enfoque geocológico; y ii.- Diagnóstico: consiste en la evaluación y análisis geocológico de las unidades de paisajes a partir de indicadores; los cuales se describen a continuación:

- i) Fase de inventario: consistió en aplicar unidades de análisis espacial para la evaluación de la degradación geoecológica. Para cumplir con esta fase, se empleó el mapa de paisajes físico-geográficos de la cuenca Río La Virgen a escala 1:50 000 elaborado por Gutiérrez-Solís et al. (2024a).
- ii) Fase de diagnóstico: está enfocado en conocer la degradación geoecológica, el método desarrollado consiste en cinco subetapas: 1) identificación y selección de variables e indicadores; 2) Cálculo para establecer el diagnóstico de degradación geoecológica; 3) estandarización de indicadores y establecimiento del grado de influencia y 4) diagnóstico de la degradación geoecológica.

8.3.1. Descripción de la fase de diagnóstico

8.3.1.1. *Identificación y selección de variables e indicadores para la evaluación de la degradación geoecológica*

Este apartado tiene como objetivo la identificación y selección de las variables e indicadores que permitirán conocer la degradación geoecológica de la zona de estudio; para la selección de variables e indicadores estará en función de la evidencia teórica y su justificación conceptual.

8.3.1.1.1. *Identificación y selección de las variables*

La selección de variables en este trabajo consistió en realizar un inventario de variables disponibles en la zona de estudio; se consultó fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL); después, se consideraron variables que puedan ser determinantes en la degradación geoecológica, en tanto que su relevancia se probará de acuerdo con las siguientes explicaciones (Somuano et al., 2023):

- i) Deben contener información de los procesos sociodemográficos que la población ejerce sobre el medio ambiente.
- ii) Explicar el estado natural o antropizado de los sistemas naturales.

- iii) Definir la presión que tiene el ser humano a través de infraestructura sobre los recursos naturales.
- iv) Vincular los procesos económicos y su impacto en el medio ambiente.

Algunas de las variables que se consideraron para este estudio se enuncian en la tabla 4.

Tabla 4.
Variables factibles para la evaluación de la degradación en la zona de estudio

Variables	Fuente
Erosión del suelo	INEGI (2013)
Localidades Urbanas	INEGI (2020c)
Población total	INEGI (2020a)
Población económicamente activa	INEGI (2020a)
Población económicamente activa ocupada	INEGI (2020a)
Carreteras, veredas, caminos y brechas	INEGI (2020b)
Líneas de transmisión eléctricas	DENUE (2021)
Población situada en localidades urbanas	INEGI (2020a)
Población con rezago social	CONEVAL (2020)

Fuente: elaboración propia

8.3.1.1.2. Selección de indicadores

La selección de los indicadores se realizó en función de su precisión, utilidad y sencillez de cálculo. Los cuales se detallan a continuación:

- a) Degradación del suelo (DS): es una medida ampliamente aplicada para evaluar la pérdida del suelo, ocasionada por la acción de agentes como el agua, el viento y las actividades humanas, es uno de los procesos más comunes y destructivos del suelo (Polyakov et al. 2023; Solomon et al., 2024).
- b) Índice de antropización por elementos antrópicos al paisaje (IAEA): este indicador permite conocer el grado de impacto de la infraestructura humana sobre los paisajes naturales (Espinoza, 2013; Bogaert et al., 2014).
- c) Índice de antropización de la cobertura vegetal (IACV): permite conocer cómo las actividades humanas afectan a la vegetación natural de los paisajes, el cual

trae consigo una alteración en la estructura, la composición y las funciones ecosistémicas que la vegetación proporciona (Priego-Santander et al., 2004; Zhang et al., 2024).

- d) Densidad de población (DP): es un indicador fundamental para entender la presión que la población ejerce sobre los recursos naturales y el medio ambiente (Bera et al., 2023; Soni et al., 2024).
- e) Grado de urbanización: el indicador permite identificar y conocer los impactos ambientales asociados con la urbanización (Li y Ma, 2014; Chávez-Canela, 2023).
- f) Índice de rezago social (IRS): este índice permite relacionar el estado vulnerable de la población ante problemáticas ambientales, áreas con alto rezago social suelen ser más propensas a enfrentar problemas relacionadas con la contaminación y servicios adecuados (Gress, 2015; CONEVAL, 2020).
- g) Tasa de dependencia económica (TDE): puede indicar una mayor presión sobre los recursos naturales, debido que indica la población que no está generando ingresos, pero depende de los recursos del entorno, además, permite tener una aproximación de las dinámicas demográficas que impactan al medio ambiente (Ortiz, 2016; Vargas, 2016).
- h) Índice de suficiencia vial (ISV): es un indicador que proporciona información de la infraestructura vial y de qué manera afecta al entorno natural (Ortiz, 2016; Martínez-Serrano, 2017).
- i) Tasa de actividad económica (TAE): mide el grado de participaciones de la población en actividades económicas productivas, puede indicar la relación entre la actividad económica y el impacto ambiental en una región (Palacio-Prieto et al., 2004; Gress, 2025).

8.3.1.2. Cálculo de indicadores para establecer el diagnóstico de degradación geocológica.

En este apartado se establecen los cálculos de los indicadores seleccionados para conocer la degradación geocológica de la zona de estudio, con el fin de obtener una evaluación integral del estado del medio ambiente. Para esta investigación, se proponen cuatro grupos de indicadores, que a continuación se detallan:

A. Grupo de indicadores biofísicos

Los indicadores de carácter biofísico permiten conocer las características del sistema físico y natural de un territorio, las potencialidades y aptitudes de uso de suelo, definen el estado y calidad de los recursos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012). Para este grupo, se utilizará la degradación del suelo como indicador para definir el estado biofísico de los paisajes.

Degradación del Suelo (DS)

Se toma como indicador del suelo a la erosión por ser el efecto más visible de degradación (Gaitán et al., 2017). Para obtener este indicador, se empleará la información del mapa de erosión del suelo de la República Mexicana a escala 1:250 000 (INEGI, 2014).

B. Grupo de indicadores de modificación antropogénica

Este grupo permitió conocer las modificaciones que se han producido en los paisajes como resultado de la acción antrópica directa a partir de la incorporación al paisaje de elementos construidos como vías de comunicación, asentamientos humanos, entre otros (Ortiz, 2016). Para esta investigación, se integraron los índices de antropización por elementos antrópicos al paisaje y el índice de antropización de la cobertura vegetal.

Índice de Antropización por Elementos Antrópicos al Paisaje (IAEA)

Para obtener el IAEA fue necesario calcular los siguientes indicadores (Espinoza, 2013):

- Densidad de Carreteras: longitud de carreteras en km/ superficie de paraje complejo en km². A través de la ecuación 1, se determinará este indicador.

$$DC = LC/St \quad (1)$$

Donde:

DC: Densidad de Carreteras

LC: longitud de carreteras en km

St: superficie de paraje complejo en km²

- Densidad de población: mide el número de habitantes por km². Para su cálculo se emplea la ecuación 2.

$$DP = PobT/St \quad (2)$$

Donde:

DP: Densidad de población

PobT: población total por paraje complejo

St: superficie de paraje complejo en km²

- Densidad de zonas urbanas: expresa el grado de modificación por la presencia de mancha urbana. Y se calcula con la ecuación 3.

$$DZu = SupZ/St \quad (3)$$

Donde:

Dzu: Densidad de zonas urbanas

SupZ: Superficie de zonas urbanas en km²

St: superficie de paraje complejo en km²

- Densidad de líneas eléctricas: mide la densidad de líneas de transmisión eléctrica. Y se calcula con la ecuación 4.

$$DLE = LTE/St \quad (4)$$

Donde:

DEL: Densidad de líneas eléctricas

LTE: longitud de líneas de transmisión eléctrica en km

St: superficie de paraje complejo en km

Con la información de los indicadores agrupados en categorías, se definió el nivel de antropización que causan los distintos elementos antrópicos en el paisaje, de tal forma que, a cada rango obtenido se le asignará un peso que varía entre 1 y 5, donde los valores más bajos de densidad tendrán valores de 1 y 2, que expresan menor grado de antropización, a las densidades medias se le asigna el valor de 3, con grado medio de antropización y las densidades altas, valores entre 4 y 5, expresarán mayor grado de antropización. De este modo, para obtener el IAEA se aplica la siguiente 5.

Donde:

$$IAEA = \sum_{i=1}^n p_i \quad (5)$$

p = Peso asignado al indicador

i = Indicadores de modificación (Densidades)

n = Número de densidades calculadas

Los valores de cada indicador se agruparán en cinco categorías bajo el método de rompimiento natural, el cual disminuye la varianza dentro de las clases y maximiza la varianza entre ellas.

Índice de Antropización de la cobertura vegetal

La aplicación de este índice tuvo como objetivo conocer el grado de modificación antropogénica de la cobertura vegetal por PFG. Se determina a partir del índice de Shishenko (1988). La ponderación de la cobertura vegetal se retomará del trabajo realizado por Gutiérrez-Solis et al. (2024b).

C. Grupo de indicadores socio-demográficos

Estos indicadores determinaron las condiciones de la población para desarrollar actividades económicas y sociales, también ofrecerá información sobre las carencias sociales asociadas a la calidad de vida de las personas (Trejo, 2020). Para este estudio, se considerarán como indicadores a la densidad de población, grado de urbanización e índice de rezago social.

Densidad de Población (DP)

Esta medida permitió conocer el grado de ocupación y presión demográfica de la población en el espacio geográfico (Winograd, 1995; Velasco, 2016). Para conocer los valores de densidad de población se aplicará la fórmula 6 (INEGI, 2017):

$$DP = \frac{PobTot}{Sup} \quad (6)$$

Donde:

DP: Densidad de Población

PobTot: Población total por unidad de paisaje

Sup: Superficie en km² de cada unidad de paisaje

Grado de Urbanización (GU)

Este indicador proporcionó información sobre la relación de la población urbana con la población total, con la finalidad de conocer la población establecida en zonas urbanas, lo que se traduciría en personas con acceso a ciertos servicios públicos, así como mayor flujo económico (COVEG, 2011). Para obtener el grado de urbanización por unidad de paisaje, se aplicó la ecuación siete (Hoyos, 2015):

$$GU = \frac{PU}{PobTot} * k \quad (7)$$

Donde:

GU: Grado de Urbanización

Pu: Población urbana

PobTot: Población total por unidad de paisaje

k = constante = 100

Índice de Rezago Social (IRS)

Es una medida que considera variables como educación, acceso a servicios de salud, calidad y espacios de la vivienda de la población; además, permite conocer las carencias y desigualdades sociales (CONEVAL, 2020).

Para obtener el IRS por unidad de paisaje, se utilizará la información del Conjunto de Datos del Índice de Rezago Social (CONEVAL, 2020) por localidad; los valores de este índice están expresados en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto índice de rezago social.

D. Grupo de indicadores económicos

Este grupo de indicadores brinda información de elementos, características, procesos y funcionamientos del territorio desde el punto de vista económico, además permite conocer el desarrollo económico de la población por unidad de paisaje y detecta las potencialidades, limitantes y problemas económicos del territorio (Palacio-Prieto et al., 2004). En esta investigación se consideran a la tasa de dependencia económica, de actividad económica e índice de suficiencia vial como indicadores económicos.

Tasa de Dependencia Económica (TDE)

Mide la relación entre la población económicamente activa ocupada y aquellas que no cuentan con empleo (INEGI, 2020b). Se considera este índice relevante para la investigación, debido a que mide el grado de dependencia que tiene que sostener cada persona que dispone de un empleo.

Para obtener la TDE por unidad de paisaje se aplicará la fórmula ocho (Velasco, 2014).

$$RD = \frac{PobTot - PEAo}{PEAo} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

RD = Tasa de dependencia económica.

PobTot = Población total (por unidad de paisaje).

PEAo = Población económicamente activa ocupada (por unidad de paisaje).

Índice de Suficiencia Vial (ISV)

Este índice indica la capacidad que tienen las vías de comunicación de cada territorio para garantizar los servicios de transporte en función de su población y superficie (Tenesaca, 2021). Este índice considera el impacto social y económico que generan

las relaciones humanas a través del flujo de mercancías y pasajeros por unidad de paisaje (Velasco, 2014).

Para obtener el ISV se aplicará la fórmula nueve (Palacio-Prieto et al., 2004).

$$Ie = \frac{KmV}{\sqrt{S} * P} * 100 \quad (9)$$

Donde:

Ie= Índice de Engel

KmV= Longitud en km de carreteras y vías férreas de la unidad de paisaje

S= superficie de la unidad del paisaje en Km²

P= Población total en la unidad del paisaje

Tasa de Actividad Económica (TAE)

Este índice indica la importancia que tiene la población trabajadora en el desarrollo económico; mientras mayor es la tasa calculada, mayor es el nivel de desarrollo económico de cada unidad de análisis; se calcula la TAE con la fórmula 10 (INEGI, 2017).

$$TAE = \frac{PEA}{P12yMAS} * k \quad (10)$$

Donde:

TAE= Tasa de actividad económica

PEA= Población económicamente activa

P12y MAS= Población total de 12 años y mas

k= Constante = 100

8.3.1.3. Estandarización de indicadores

El proceso de estandarización asegurará que todos los indicadores se encuentren en una misma escala. Este procedimiento facilitará la comparación directa entre indicadores que originalmente podrían tener diferentes unidades (James et al., 2013).

Para el proceso de estandarización, se aplicará el método de escalado por máximo

absoluto (EMA). Este método de normalización ajusta los valores de los indicadores para que se encuentren en el rango de 0 a 1, y se aplicará la fórmula 11.

$$X' = \frac{X}{X_{max}} \quad (11)$$

Donde:

X = valor original

X_{max} = valor máximo absoluto del conjunto de datos

X' = valor normalizado

8.3.1.4. Establecimiento del grado de influencia

Bajo la hipótesis de que todos los indicadores que determinan la degradación geocológica presentan diferentes grados de influencia, se aplicará el método del proceso de análisis jerárquico (PAJ). El PAJ contrasta los indicadores evaluados para definir el peso que pueden tener sus interacciones, se utiliza una escala de 1 a 9, donde 1 indica igual importancia y 9 o 1/9, una importancia extrema de un indicador sobre otro (ver tabla 5) (Macedo et al., 2018).

Tabla 5.

Escala de comparaciones por pares entre indicadores.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
sumamente	muy fuerte mente	fuertemente	moderadamente	iguales	moderadamente	fuertemente	muy fuerte mente	sumamente
menos importante					más importante			

Fuente: tomado y modificado de Vilchis-Mata (2019)

El PAJ permitirá incorporar la importancia relativa de cada indicador en la evaluación de la degradación. Para obtener lo anterior, se aplicará la ecuación 12.

$$PP = \sum_{i=1}^n (Vi \times Pi) \quad (12)$$

Donde:

PP: Puntuación ponderada de cada indicador

V_i : valor estandarizado de cada indicador

Pi: valor ponderado de cada indicador

8.3.1.5. Cálculo del Índice de Degradación Geoecológica

Una vez que se obtiene la puntuación ponderada de cada indicador, se estableció un índice compuesto que combinó los múltiples indicadores individuales en un único índice. El Índice de Degradación Geoecológica (IDG), nos permitió evaluar de forma integral el fenómeno de degradación geoecológica. Para el cálculo del IDG se utilizará la siguiente 13.

$$IDG = \frac{\sum PP}{n} \quad (13)$$

Donde:

IDG: Índice de Degradación Geoecológica

PP: puntuación ponderada de cada indicador

n: número de indicadores aplicados

Finalmente, los valores obtenidos se reclasificarán en cinco categorías bajo el método de rompimiento natural (Martínez-Serrano, 2017) Esta agrupación nos permitirá definir las categorías de degradación geoecológica de la zona de estudio, donde los valores más bajos indicarán menores condiciones de degradación, mientras que valores máximos, establecerán los mayores niveles de degradación en la cuenca Río La Virgen (ver tabla 6).

Tabla 6.

Categorías de degradación geoecológica de la cuenca Río La Virgen.

Valores	Categoría de degradación	Descripción
1	Paisajes muy poco degradados	Paisajes que se distinguen por actividad antropogénica baja; por tanto, los componentes naturales presentan niveles bajos de degradación, alta presencia de cobertura vegetal, sin degradación del suelo aparente, los componentes socio-demográficos y económicos indican baja presión sobre el territorio.
2	Paisajes poco degradados	Paisajes que se caracterizan por actividad antropogénica baja a media, como resultado, presentan modificación media a baja a los componentes naturales como vegetación y suelo. Los componentes socio-demográficos establecen

		poca presión sobre los sistemas naturales, por su parte, los componentes económicos indican buenas condiciones.
3	Paisajes medianamente degradados	Paisajes que presentan condiciones moderadas de alteración antropogénicas, por ende, los componentes naturales como el suelo y vegetación presentan modificaciones considerables. Existen presiones socio-demográficas notables hacia los sistemas naturales. Presenta condiciones favorables para el desempeño de actividades económicas.
4	Paisajes muy degradados	Paisajes que se distinguen por elevados valores de modificación antropogénica, por tanto, presentan modificación intensa en sus componentes naturales como el suelo y vegetación. Existen niveles altos de presión socio-demográfica, territorios con población urbana en crecimiento. Presentan condiciones favorables para el desarrollo de actividades económicas.
5	Paisajes intensamente degradados	Paisajes que se caracterizan por una alta y muy alta antropización, con población predominantemente urbana. Presentan modificaciones muy intensas a los componentes naturales, ausencia total de cobertura vegetal, así como presión demográfica muy alta sobre el suelo. Existen condiciones económicas satisfactorias.

Fuente: tomado y modificado de Martínez-Serrano (2017) y Chávez-Canela (2023)

CAPÍTULO 5

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Descripción de la fase de diagnóstico

9.1.1. Identificación y selección de las variables

La identificación de las variables se inició a partir de una revisión de la literatura especializada en degradación, esto permitió conformar una lista preliminar de 29 variables potenciales de degradación geocológica, de estas, se seleccionaron 11 para este estudio. Las variables elegidas se basaron en su relevancia para el contexto específico de la cuenca Río La Virgen, donde se priorizaron aquellas que explicaran las dinámicas ambientales, sociales, económicas y demográficas de la zona de estudio (ver tabla 7).

Tabla 7

Variables seleccionadas para el estudio de la degradación geocológica.

Dimensiones	Variables
Socio-demográficas	Población total
	Número de habitantes en zonas urbanas y rurales
	Población con rezago social
Biofísica	Erosión del suelo
Modificación antropogénica	Cobertura vegetal y usos de suelo
	Longitud de carreteras
	Longitud de líneas eléctricas
	Superficie de zonas urbanas
Económicas	Población económicamente activa ocupada
	Población con participación económica
	Población con dependencia económica

Fuente: modificado de Velasco (2016)

La información contenida en la dimensión socio-demográfica permitió conocer cómo la población ejerce presión sobre el medio ambiente a través del tipo de asentamiento humano. Por su parte, las variables biofísicas y de modificación antropogénica determinaron las condiciones naturales, el estado antropizado y la presión que las actividades humanas ejercen sobre los paisajes. Finalmente, las variables económicas

establecen la relación entre la estructura económica y dinámica laboral de la población, y sus efectos en el medio ambiente.

Las 11 variables seleccionadas ofrecen información clave sobre los impactos de diferentes factores en los paisajes. Estas variables son fundamentales para la elaboración de indicadores que permiten evaluar el estado y los procesos de degradación geocológica (Bollo y Velasco, 2017). Los resultados derivados de los cálculos de los indicadores se describen en pasos posteriores.

9.1.2. Cálculo de indicadores para establecer el diagnóstico de degradación geocológica

Para el desarrollo de este apartado se calcularon ocho indicadores, los cuales se agruparon en cuatro categorías: 1.- biofísicos, 2.- modificación antropogénica, 3.- socio-demográficos y 4.- económicos. Con la información obtenida de estos indicadores, se construyó el Índice de Degradación Geocológica, el cual nos permitió evaluar la degradación de los PFG del territorio. A continuación, se presentan los resultados de los cálculos de cada indicador:

9.1.2.1. Indicador biofísico

Degradación del suelo

La degradación del suelo que se presenta en la cuenca Río La Virgen, es producto de la erosión hídrica laminar y en surcos, así como por la degradación química por declinación de la fertilidad y reducción de la materia orgánica (INEGI, 2013) (ver tabla 8).

Tabla 8.

Descripción de las categorías de degradación del suelo.

Categoría de degradación	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Muy Baja	5	15.23	I, IV, XVII, XI	En estos paisajes los procesos de erosión no son visibles u ocupan un área poco significativa (menos del 5%) en alguna de sus categorías.

Baja	22.2	68.08	IV, VII, XII, VI, XX	Los procesos de degradación se manifiestan de manera leve con al menos dos procesos de erosión del suelo, con una intensidad de media a moderada, que ocupan hasta el 25% del territorio.
Media	13.5	41.48	XIX, XVIII, XVI, I, XIX	Son paisajes que presentan procesos de erosión hídrica con intensidad media entre el 25 y 50% del territorio.
Alta	29.8	91.39	XXI, III, XIX, V, IV, VII	En estos paisajes se encuentran al menos dos procesos de erosión del suelo con intensidad moderada, que ocupan entre el 50% y 75% del área total de la unidad de paisaje.
Muy Alta	29.6	90.97	VII, VIII, XVI, VI, XXI	Existen tres o más procesos de erosión del suelo con moderada, que ocupan más del 75% del área total de la unidad de paisaje.

Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2013)

La categoría muy baja degradación del suelo, abarca el 5% de la superficie total (15.2 km²), y se sitúa en el extremo noroeste, oeste y sur de la zona de estudio. En estos paisajes no se observan procesos de erosión evidentes, aunque se pueden encontrar rastros menores de erosión hídrica laminar que afectan menos del 5% del territorio. Estas características de degradación se observan en nueve localidades físico-geográficas que incluyen montañas y lomeríos tectónico-kársticos en clima templado húmedo con las siguientes claves: I, II, III, IV, V, VI, VII, XI y XVII.

En cuanto a la categoría baja degradación del suelo, abarca el 22% del área de la cuenca (68 km²), y se localizan principalmente en las zonas sur y oeste del territorio. En estos paisajes se presentan procesos de erosión hídrica laminar, en surcos y declinación de la fertilidad, que afectan a 15 localidades físico-geografías que engloban montañas y lomeríos de origen tectónico-kársticos, así como piedemonte fluvio-torrencial en climas semicálidos y cálidos húmedos, los más representativos son: I, IV, VI, VII, VIII, XIX.

Para la categoría media degradación del suelo, representa el 14% (41.4 km²) del territorio y se establecen en la parte norte, centro-oeste y noroeste de la cuenca.

Sobre este espacio se observan procesos de erosión hídrica laminar, en surcos y degradación química por declinación de la fertilidad que impactan a seis localidades físico-geográficas que comprenden montañas y lomeríos de origen tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos, como también piedemonte fluvio-torrencial en climas templados y semicálidos húmedos, con las siguientes claves: I, II, XIX, XV, XVIII y XIX

La categoría alta degradación del suelo ocupa la mayor extensión territorial dentro de la cuenca, con el 29.8% del territorio (91.39 km²), ubicados en la parte noroeste y centro-sur de la zona de estudio. En estos paisajes, se observan procesos de erosión hídrica en surcos, degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica. Estos factores de degradación repercuten en 11 localidades físico-geográficas integradas por montañas y lomeríos de origen tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos, en climas templados y semicálidos húmedos. Los PFG a nivel localidad más representativos son: II, III, IV, V, VII, IX, XVII, XVIII, XIX, XX y XXI.

Finalmente, la categoría muy alta degradación del suelo, cubre el 29.6% del área de la cuenca (91.3 km²), los cuales se establecen en la parte centro y este del territorio. En esta categoría, se identifican procesos erosión hídrica en surcos, degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica. Estas condiciones de degradación se presentan en 18 localidades físico-geográficos que abarcan montañas y lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos, así como planicies y valles en climas semicálidos y cálidos húmedos. Los PFG a nivel localidad más representativos son: I, II, III, IV, VI, VII, VIII, XIX, X, XI.

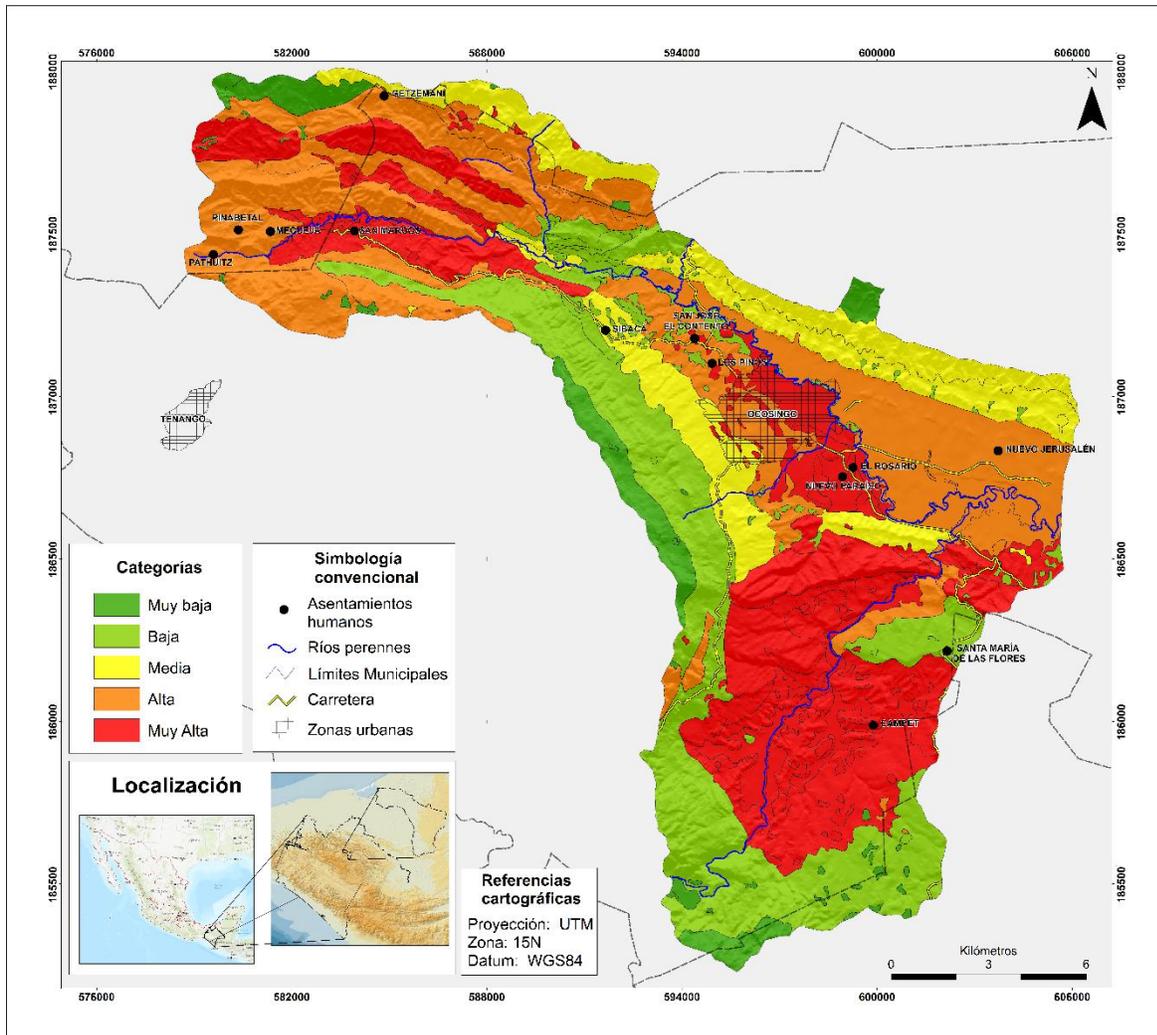
Los resultados indican que los paisajes con suelos muy y fuertemente degradados, tienen predominancia territorial con 59.54% de la superficie total. Esta situación está influenciada por tres factores principales: i) la presencia de la zona urbana de Ocosingo que contribuye al sellamiento del suelo por el asfalto, esta situación genera la pérdida total de las funciones ambientales del suelo; ii) deforestación y pérdida de cobertura vegetal; y iii) uso intensivo del suelo para actividades agrícolas y pecuarias.

Los territorios donde predominan actividades pecuarias y asentamientos urbanos, situados en la parte central y oriental de la cuenca, presentan los niveles altos y muy altos de degradación. Esta situación es provocada por el sobrepastoreo y expansión urbana, los cuales favorecen la aparición e intensificación de erosión hídrica laminar, en surcos, declinación de la fertilidad y de materia orgánica.

Es particularmente importante la presencia de las categorías alta y muy alta degradación del suelo en las partes sur y noroeste de la cuenca, donde las pendientes superan los 20° de inclinación y existe una ausencia de cobertura vegetal. Esta combinación de factores contribuye la generación de nuevos procesos erosivos, los cuales comprometen la capacidad del suelo para sostener tanto la vegetación como la producción agrícola.

En la zona de estudio, se detectó que los paisajes montañosos, de lomeríos, piedemonte, valles y planicies presentan los niveles altos y muy altos de degradación del suelo. Esto no solo refleja la influencia del ser humano en todos los tipos de paisajes, sino que también indica la fragilidad de estos paisajes ante las modificaciones humanas. Este escenario es evidente en los paisajes de planicies y valles del sur de la cuenca, donde se observan procesos moderados de erosión hídrica provocado por actividades agrícolas de subsistencia (ver figura 1).

Figura 1.
Degradación del suelo de la cuenca Río La Virgen.



Fuente: elaboración propia

9.1.2.2. Grupo de indicadores de modificación antropogénica

Índice de Antropización por Elementos Antrópicos al Paisaje (IAEA)

Los resultados obtenidos mediante el IAEA, muestran los impactos de la intervención humana en los paisajes de la cuenca Río La Virgen. A través de este índice, se encontró que los elementos antropogénicos como carreteras, caminos de terracería, veredas, brechas, líneas de transmisión eléctrica y zona urbana están presentes en el 78% de la cuenca Río La Virgen. La existencia de estos elementos antropogénicos

varía en distintos grados de intervención, desde áreas con baja antropización, dominadas por vegetación natural, hasta zonas altamente modificadas (ver tabla 9).

Tabla 9.
Descripción de las categorías del IAEA.

Categorías	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Muy Baja	22	67.5	IV, III, VII, XVIII, V	Son PFG con niveles muy bajos de infraestructura eléctrica y vial; existe poca o nula presencia de asentamientos humanos.
Baja	35	107.4	IV, XV, VIII, XVI, VII	PFG con baja presencia de infraestructura eléctrica y niveles medios de densidad de carreteras. Los asentamientos humanos se tratan de zonas rurales.
Media	24	73.7	III, VIII, XVIII, V, VII, IV	Los PFG de esta categoría muestran una combinación entre elementos naturales y antropogénicos. La influencia humana se manifiesta en asentamientos rurales, carreteras y en menor medida, líneas eléctricas. Las infraestructuras desarrolladas por el ser humano están presentes de manera más intensa, pero no predominan completamente.
Alta	17	52.2	XXI, IX, XIX	En estos PFG, los elementos antropogénicos dominan el territorio. La mayoría de los PFG se encuentran bajo la influencia de la urbanización e infraestructura. Estos PFG están fragmentados significativamente.
Muy Alta	2	6.1	XIX, IX, XVIII, VII	Son PFG que han sufrido una modificación antrópica de muy alto grado; al interior de los PFG existe dominancia de zonas urbanas, de carreteras y líneas eléctricas. Los sistemas naturales han sido

				reemplazados por entornos completamente artificiales.
--	--	--	--	---

Fuente: tomado y modificado de Espinoza (2016)

La categoría muy baja modificación antropogénica tiene una extensión de 67.5 km² (22%) del territorio y se establece en la parte noroeste, oeste, y sur de la cuenca. Esta categoría se encuentra en paisajes de montaña y lomeríos de origen tectónico-kársticos en climas templados y semicálidos húmedos. En estas condiciones biofísicas se observan caminos de terracería y brechas, y nula presencia de asentamientos humanos; de tal modo que se considera a estos paisajes como territorios de transición y comunicación de la población. Esta categoría se establece en todos los tipos de paisajes, con las siguientes claves físico-geográficos más representativos: I, IV, III, VII, XVIII, V.

El grado bajo de elementos antrópicos representa la mayor superficie de la cuenca, con el 35% (107.4 km²) del territorio y se sitúa en las zonas oeste, norte y sur del área de estudio. Esta categoría está integrada principalmente por montañas y lomeríos tectónico-kársticos en climas templados y semicálidos húmedos. En estos paisajes, la presencia de elementos antrópicos se limita a caminos de terracería y veredas, que generan conectividad entre las localidades situadas en esta categoría con la cabecera municipal de Ocosingo. Esta categoría se encuentra en 17 localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: IV, XV, VIII, XVI, VII,

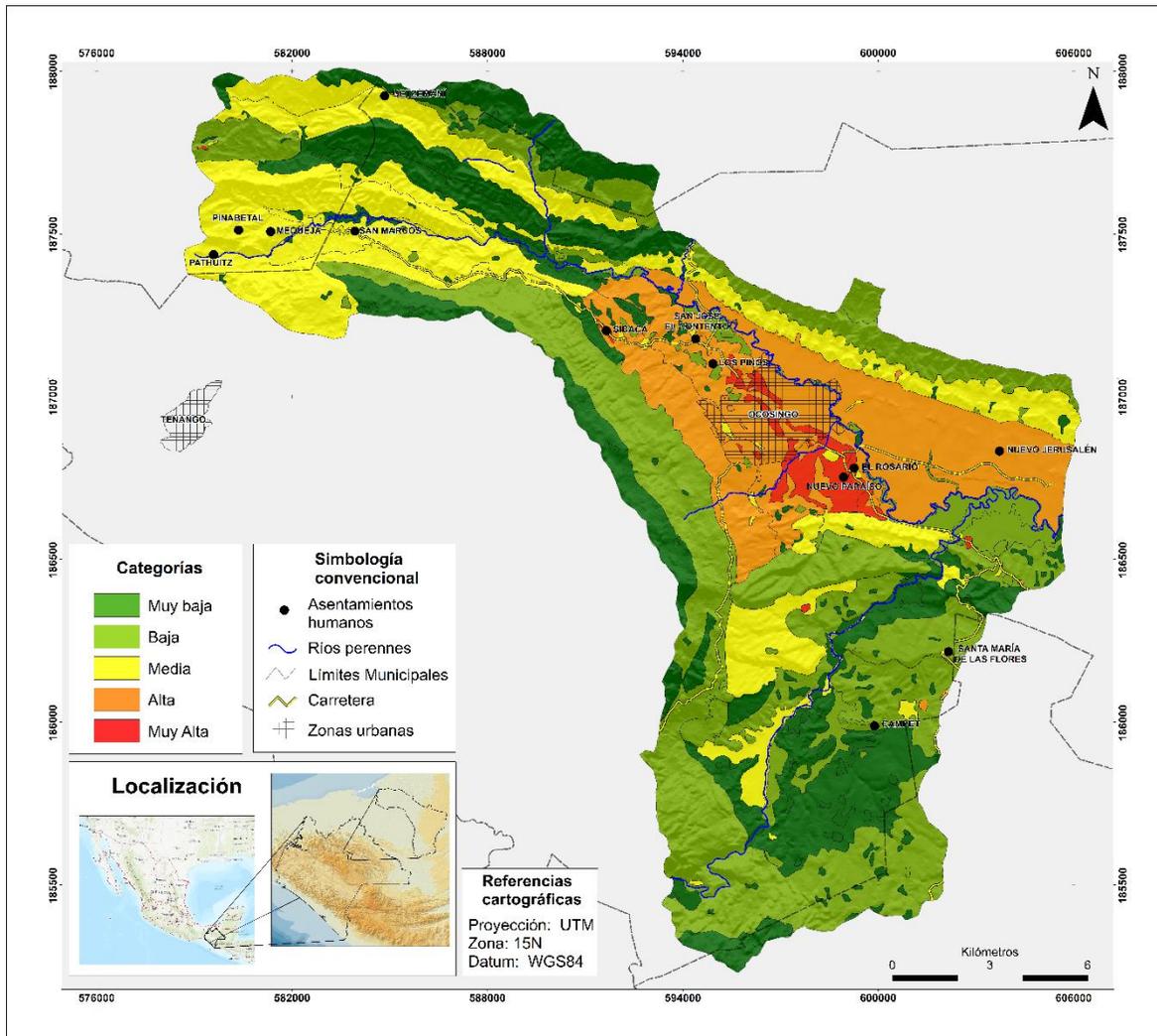
La categoría de modificación media es la segunda de mayor extensión, con un 24% del territorio (73.7 km²) del total de la superficie y se encuentra principalmente en la parte noroeste y norte de la cuenca. Esta categoría incluye paisajes de lomeríos tectónicos-acumulativos, montañas y planicies tectónica-acumulativas en clima cálido húmedo. En estas características, se localizan asentamientos rurales, líneas de transmisión eléctrica, carreteras y caminos de terracería. De tal forma, las intervenciones humanas han generado transformaciones al territorio, sin embargo, aún persisten áreas con cobertura vegetal. Esta categoría se ubica en 16 localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: III, VIII, XVIII, V, VII, IV.

Las categorías alta y muy alta modificación antropogénica, en conjunto, representan el 19% del territorio de la cuenca (58.3 km²) y se sitúan únicamente en la parte centro y este del área de estudio. Estas se encuentran en paisajes de planicies tectónico-acumulativas y piedemonte fluvio-torrencial, en clima cálido húmedo. Los componentes naturales de estas categorías han sido reemplazados por la zona urbana de Ocosingo y sus elementos antrópicos como la infraestructura vial y líneas de transmisión eléctrica. Estas categorías se encuentran en 12 localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: XXI, IX, XIX, XVIII, VII.

Los resultados indican que las zonas de mayor antropización se localizan principalmente en la parte central y este del territorio. Los valores del IAEA en estos paisajes se deben a que se sitúan los asentamientos humanos más importantes de la cuenca, tanto por el número de habitantes como por el desarrollo económico derivado de la zona urbana de Ocosingo. Esto genera una alta concentración de elementos antrópicos como infraestructuras, caminos, carreteras y líneas eléctricas.

Los paisajes clasificados en las categorías bajas de elementos antrópicos corresponden a zonas montañosas remotas con acceso limitado, debido a que las pendientes superan los 20° de inclinación. En estos paisajes, la intervención humana es mínima; sin embargo, en paisajes de la parte noroeste y centro-sur, se observa la presencia de vías de comunicación. Aunque el impacto es menor en comparación con las zonas de alta antropización, se observan signos de modificación a los paisajes (ver figura 2).

Figura 2
Índice de Elementos Antrópicos en el Paisajes



Fuente: elaboración propia

Índice de Antropización de la cobertura vegetal¹

En la zona de estudio se presentan cinco categorías de antropización de la cobertura vegetal (Gutiérrez-Solís et al., 2024b). La de mayor extensión territorial corresponde a la categoría media con el 44%; seguida de la categoría baja, con 32%; la categoría alta, con 19%; la categoría muy alta, con 3% y finalmente, la muy baja con 0.07%. Esta información nos indica que el 66% del territorio presenta una modificación a la cobertura vegetal debido a las actividades agrícolas, pecuarias y la presencia de la zona urbana de Ocosingo.

La categoría muy baja antropización, se sitúa en paisajes montañosos, lomeríos y valles en climas templado, semicálido y cálido húmedo. En esta categoría predomina la vegetación en estado primario y/o secundario en el 90% del territorio, mientras que el 10% restante está asignado a actividades agrícolas.

Por su parte, la categoría baja antropización se encuentra en paisajes montañosos, lomeríos y valles en climas templado, semicálido y cálido húmedo. Prevalece una cobertura vegetal primaria y/o secundaria entre el 55-60% del territorio, mientras que el porcentaje restantes, se presentan actividades agropecuarias, sin la presencia de asentamientos urbanos.

La categoría media antropización se localiza principalmente en paisajes de montañas, lomeríos y piedemonte, en climas templado, semicálido y cálido húmedo. En esta categoría, la cobertura vegetal en estado primario y/o secundario representa entre el 15-20% de su superficie, mientras que hasta el 80% del territorio está ocupado por actividades agrícolas y pecuarias.

En cuanto a la categoría alta antropización se ubica en paisajes de planicies y piedemonte, en climas semicálido y cálido húmedo. En esta categoría, las actividades agropecuarias dominan hasta en el 87% del territorio, en el porcentaje restante, mantiene una cobertura vegetal en estado primario y secundario.

¹ Debido a la relevancia de los hallazgos de este índice, los resultados expuestos son ampliamente retomados del trabajo de Gutiérrez-Solís et al. (2024b).

Finalmente, la categoría muy alta antropización se establece en paisajes de planicies y piedemonte con pendientes menores a 10° de inclinación, en climas semicálido y cálido húmedo. En estas condiciones se encuentra la zona de urbana de Ocosingo, así como usos de suelo agropecuarios. Representa los paisajes con mayor impacto antropogénico hacia la cobertura vegetal.

Las áreas de mayor conservación de la cobertura vegetal refieren a paisajes montañosos y lomeríos de origen tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos con pendientes superiores a los 20°. Estas áreas muestran una vegetación natural en estado primario y secundario que incluyen bosques y vegetación de ribera. Dada la naturalidad de estos paisajes, la vegetación natural contribuye a la reducción de procesos de erosión, mantienen la estructura del suelo y generan la aportación de servicios ambientales.

Mientras que las zonas de mayor antropización se presentan en paisajes de planicie tectónico-acumulativas y piedemonte fluvio-torrencial, con pendientes menores o iguales a 10°, en climas semicálido y cálido húmedo. En estas áreas, la vegetación natural ha sido sustituida por asentamientos urbanos, cultivos agrícolas y sistemas pecuarios. Los efectos se traducen en la reducción de la biodiversidad, aumento de procesos de erosión y pérdida de la dotación de servicios ambientales.

9.1.2.3. Grupo de indicadores socio-demográficos

Densidad de Población (DP)

La densidad población permite identificar la distribución de la población y su influencia en los paisajes de la cuenca; en tanto, la presión demográfica ejercida por el ser humano varía en diferentes niveles de intervención, desde áreas con alta densidad población como la cabecera municipal de Ocosingo, hasta paisajes sin presencia de asentamientos humanos (ver tabla 10).

Tabla 10*Descripción de las categorías de densidad de población.*

Categoría	Superficie %	Población	Clave de paisajes más representativos	Descripción
Muy Baja	18%	s/p	I, VI, II, XX, XVIII	PFG sin población
Baja	35%	2,875	IV, VII, XV, VIII	Se refiere a asentamientos rurales, donde la población es escasa y dispersa, con grandes espacios entre asentamientos.
Media	16%	3,621	VIII, XVIII, VII, XVI, IV	Corresponde a asentamientos rurales, donde la población se encuentra más concentrada y cercana a la zona urbana. Los servicios públicos aún son escasos. Se pueden encontrar infraestructura vial y eléctrica.
Alta	25%	21,434	XXI, III, IX, V, XIX	Se refiere a PFG densamente pobladas, situadas en la periferia de la zona urbana de Ocosingo. Con infraestructura y servicios públicos bien establecidos.
Muy Alta	6%	48,085	XIX, XXI, IX, XVIII, VII	Corresponde a PFG muy densamente pobladas. Alberga la mayor parte de la población de la cuenca. En estos paisajes se concentran los servicios públicos, y todo lo relacionado con la dinámica urbana.

Fuente: elaboración propia con información de Gress (2016) y Velasco (2016).

La categoría muy baja densidad poblacional abarca el 18% del territorio (55 km²) y se ubican en la parte centro-sur, oeste y sur de la zona de estudio. En estos geocomplejos se encuentran sistemas montañosos y lomeríos tectónico-kársticos, en climas templado y cálido húmedo. Esta categoría no cuenta con ningún asentamiento humano.

Por otro lado, la categoría baja densidad poblacional es la de mayor superficie con 35% (107 km²), ubicadas en la parte sur, oeste, norte y noroeste de la cuenca. Estos territorios están dominados por paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos en climas templado y semicálido húmedo. Los asentamientos humanos de

esta categoría son comunidades dispersas, con poblaciones menores a 100 habitantes, que concentran el 4% de la población total de la cuenca, equivalente a 2,875 habitantes. Esta categoría se encuentra en nueve localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: I, VI, II, XX, XVIII.

La categoría media densidad poblacional constituye el 16% de la superficie de la cuenca con una población de 3,621 personas. Se localiza en paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos en climas semicálido y cálido húmedo. En estos geocomplejos se encuentran asentamientos rurales dispersos entre sí, conectados con caminos de terracería y brechas. Esta categoría se encuentra en siete localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: VIII, XVIII, VII, XVI, IV.

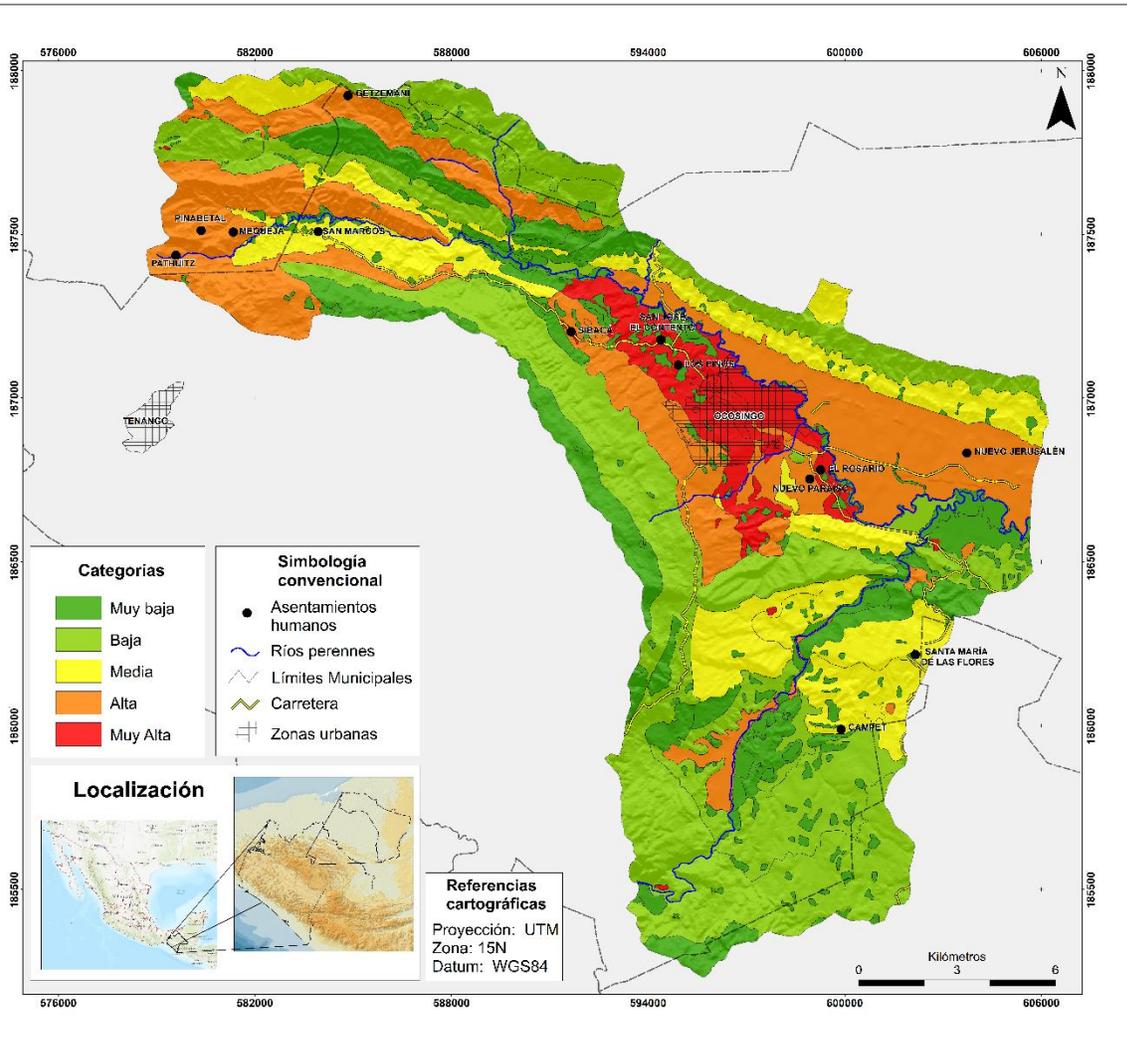
La categoría alta densidad población cubre el 25% del territorio, con 21,434 habitantes (28%) de la población total. Esta categoría incluye paisajes de piedemonte y planicies fluvio-torrencial y tectónico-acumulativas en clima semicálido húmedo, incluye asentamientos humanos entre 1000 y 2500 habitantes. En torno a estos paisajes, se establecen poblaciones rurales donde su principal actividad económica es del sector primario como ganadería y agricultura, en tanto que, en zonas urbanas y periurbanas, se desarrollan actividades del sector secundario y terciario. Esta categoría se encuentra en diez localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: XXI, III, IX, V, XIX.

Finalmente, la categoría muy alta densidad poblacional se localiza en paisajes de piedemonte fluvio-torrencial y planicies tectónico-acumulativas en clima cálido húmedo. Constituye el 6% del territorio, donde alberga una población de 48,085 habitantes, lo que equivale al 63% de la población total de la cuenca. En esta categoría se presenta la mayor cantidad de personas, de servicios públicos e infraestructura, así como un desarrollo económico superior en comparación con el resto de la cuenca. Presenta severas presiones al suelo y demanda de recursos como agua, energía y alimentos, lo que ha ocasionado la pérdida funciones ambientales de los paisajes. Esta categoría se encuentra en siete localidades físico-geográficas con las siguientes claves más representativas: XIX, XXI, IX, XVIII, VII.

La influencia demográfica que ejerce la población hacia los paisajes de la cuenca, se manifiesta a través de la urbanización y la expansión de asentamientos, principalmente en la parte centro y este del territorio. Las categorías de alta y muy alta densidad poblacional albergan 69,519 habitantes, lo que equivale al 91% de la población total. En estas áreas generan una alta demanda de recursos como agua, alimentos y energía, además de la expansión de infraestructuras viales y redes de transmisión eléctrica (ver figura 3).

En contraste, las categorías muy baja, baja y media densidad poblacional representan solo el 9% de población total, distribuidos en el 69% del territorio. A pesar de los niveles bajos de densidad poblacional, la presencia de asentamientos humanos dispersos y actividades agrícolas contribuyen a la modificación de los paisajes. Estas condiciones se observan en la parte noroeste, norte y centro-sur de la cuenca, donde los paisajes dominados por montañas y lomeríos cumplen un papel importante que limitan la construcción de infraestructura vial y la presencia de asentamientos humanos.

Figura 3
Densidad de población de la cuenca Río La Virgen



Fuente: elaboración propia

Grado de Urbanización (GU)

Este indicador nos permite determinar la concentración de la población en zonas urbanas, lo que permite identificar la relación entre población urbana y rural en la zona de estudio. Los resultados obtenidos se clasificaron en cinco categorías. Los valores bajos del grado de urbanización indican una menor proporción de población establecida en zonas urbanas, mientras que los valores altos señalan los paisajes donde predomina la población urbana (ver tabla 11).

Tabla 11*Descripción de las categorías del grado de urbanización.*

Categoría	Superficie		% de población urbana	Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%			
Muy Baja	75%	230.2	0%	IV, VII, VIII, XVIII, V, XV	No existe presencia de asentamientos humanos urbanos, más bien, existe en su totalidad zonas rurales, y en algunos paisajes, sin presencia de asentamientos.
Baja	7%	21.5	4%	III	PFG donde la urbanización comienza a ser más evidente, pero limitada. Incluye asentamientos humanos con infraestructura básica y cercanas a la zona urbana de Ocosingo.
Media	2%	6.1	18%	XIX	Se refiere a PFG donde la urbanización está bien establecida, así como servicios públicos e infraestructura.
Alta	9%	27.6	36%	XXI, XIX	Son PFG con urbanización moderada, donde la zona urbana domina el paisaje. Se encuentra en las zonas periurbanas de la ciudad de Ocosingo.
Muy Alta	7%	21.5	42%	IX, XIX	PFG enteramente influenciados por zonas urbanas, donde se sitúan la mayor parte de la población urbana de la cuenca. En estas áreas, se encuentran las zonas más densamente pobladas, así como de servicios públicos, de infraestructura y actividades económicas.

Fuente: elaboración propia con información de Espinoza (2013) e INEGI (2017)

La categoría muy baja urbanización domina la zona de estudio con el 75% de superficie de la cuenca y se encuentra en todos los tipos de paisajes. En esta categoría no se encuentra en zonas urbanas, tiene presencia en zonas rurales con poblaciones menores a 100 habitantes, su conexión con otros asentamientos consiste en vías de

terracería o veredas. Entre las localidades físico-geográficas que se encuentra son: IV, VII, VIII, XVIII, V, XV.

Para el caso de la categoría baja urbanización, cubre 7% del territorio y se localiza en la parte noroeste de la cuenca en paisajes montañosos tectónico-acumulativos en clima semicálido húmedo. En esta categoría se encuentra el 4% de la población urbana de la cuenca, con asentamientos humanos entre 2,500-3000 habitantes. Estas condiciones de urbanización se establecen únicamente en la localidad físico-geográfica II.

La categoría media urbanización tiene una extensión de 1% del territorio, y se encuentra únicamente en paisajes de planicies tectónico-acumulativas en clima cálido húmedo en la parte centro de la cuenca. Presenta colindancias con paisajes de mayor antropización, por lo que representan zonas en procesos de urbanización y aumento de la población. En torno a estos geosistemas, se encuentra el 18% de la población urbana de la zona de estudio.

En el caso de la categoría alta urbanización se encuentra en paisajes de planicies tectónico-kársticos en clima cálido húmedo, ubicados en la parte centro-este y este de la zona de estudio. En estos paisajes se establece el 36% de la población urbana de la cuenca, donde las principales actividades económicas son agricultura y ganadería. Los factores como la pendiente menor a 10° y la alta densidad de vías de comunicaciones, facilitan que la población genere mayor flujo de mercancías y bienes que promueve el desarrollo económico. Estas condiciones se desarrollan exclusivamente en las localidades físico-geográficas XIX y XXI.

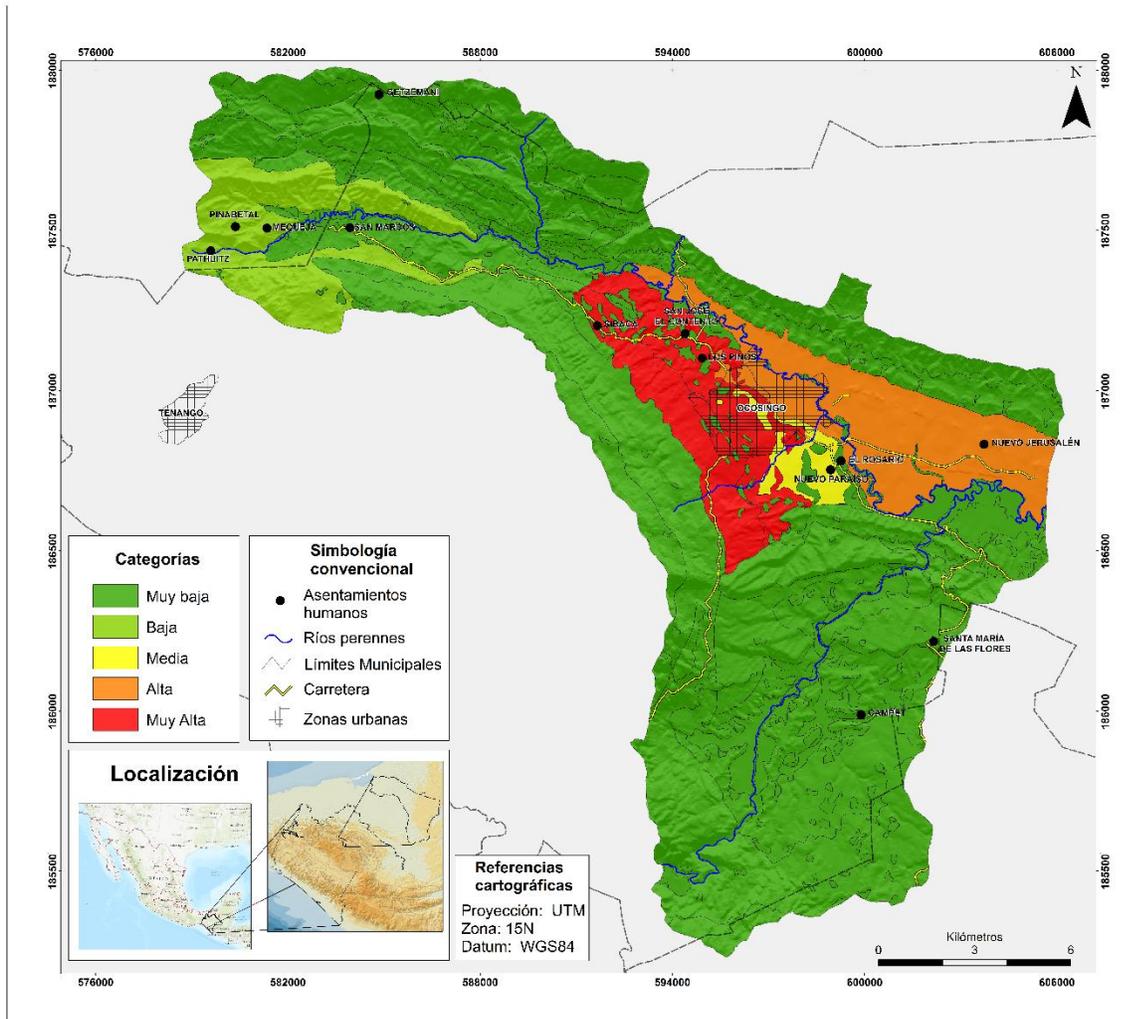
Para la categoría muy alta urbanización, se sitúa en PFG de piedemonte fluvio-torrencial en clima cálido húmedo y albergan el 42% de la población urbana de la cuenca. En estas unidades de paisajes existe una concentración de la población urbana, debido a que se sitúa la ciudad de Ocosingo, que genera mayor flujo económico, mejores condiciones de infraestructura y servicios públicos que el resto de la cuenca. Estas particularidades se establecen en las localidades físico-geográficas IX y XIX.

Las categorías de urbanización nos indican que, en cuanto a superficie, la cuenca es predominantemente rural, a pesar de ello, las zonas urbanas tienen un predominio en la parte centro y este de la cuenca, donde albergan el 78% de la población total de la zona de estudio. Estas particularidades nos indican una concentración de actividades económicas y los servicios que derivan como el acceso a bienes y mejor calidad de vida. Esto se traduce en mayor consumo y demanda de alimentos, recursos, energía y mano de obra para desarrollar actividades económicas.

A medida que se presentan los niveles bajos y muy bajos urbanización, se aprecia el impacto de la población en los paisajes. En estas categorías se presenta una fragmentación de la cobertura vegetal y procesos de erosión del suelo causados por asentamientos rurales. En cambio, la categoría media, representa el punto de transición entre territorios dominados por la zona urbana de Ocosingo y espacios rurales; lo que significa áreas óptimas para el crecimiento urbano.

Por otro lado, las categorías alta y muy alta, generan la sustitución total de la cobertura vegetal, así como la pérdida de las funciones y propiedades del suelo a causa de asentamientos urbanos (ver figura 4). Si bien, la urbanización representa un factor importante en el desarrollo económico y social, también significa mayores impactos a los paisajes, debido al aumento en la demanda de recursos naturales, como agua, energía y materiales de construcción. Lo que resulta grandes volúmenes de desechos, tanto sólidos como líquidos, que a menudo no son gestionados de manera adecuada.

Figura 4
Grados de urbanización de la cuenca Río La Virgen



Fuente: elaboración propia

Índice de Rezago Social (IRS)

Este índice señala la calidad de vida de los habitantes de la cuenca Río La Virgen en función del acceso a servicios públicos, de salud, de educación y calidad de vivienda. La descripción de las categorías de este índice se muestra en la tabla 12.

Tabla 12

Descripción de las categorías del índice de rezago social.

Categoría	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Muy Baja	63	20	I, VII, VI, II, XX	Presenta los niveles más bajos de rezago social, donde la mayoría de la población cuenta con acceso a servicios básicos como agua potable, electricidad, educación, salud y vivienda adecuada.
Baja	0.04	0.02	IX	Se refiere a PFG con niveles bajos de rezago social donde la mayoría de los servicios básicos están cubiertos, pero pueden existir algunas deficiencias en la calidad o cobertura.
Media	60	19.5	XXI, VII, VIII, IX, XVII	Son PFG con niveles medios de rezago social, donde existe acceso limitado a servicios básicos. La población se ve expuesta a malas condiciones de vivienda, acceso a agua potable y educación
Alta	169.5	55.23	IV, III, IX, XIX, XVIII	PFG con altos niveles de rezago social, donde el acceso a servicios básicos es deficiente. En estos paisajes, la población enfrenta serias limitaciones en términos de salud, educación, vivienda y poca infraestructura.
Muy Alta	14.4	4.71	XV, VI, XIX, XVII	Son PFG con los niveles más altos de rezagos social, asociada a una mala calidad de vida; donde la mayoría de la población carece de acceso a servicios públicos, de salud y de educación.

Fuente: elaboración propia con información de CONEVAL (2020).

La categoría muy baja rezago social, abarca el 21% del territorio (63 km²) y se sitúa en las zonas noroeste, oeste, este y sur de la zona de estudio. Esta categoría se encuentra en paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos en clima templado y semicálido húmedo. Si bien, esta categoría representa un cuarto del territorio, solo alberga menos del 1% de la población con rezago social de la cuenca. Estas condiciones se manifiestan en las localidades físico-geográficas que incluyen: I, VII, VI, II, XX.

En la categoría media rezago social ocupa el 20% del territorio (59.9 km²) y se establece en la parte centro, noroeste y este de la cuenca. Se encuentra en paisajes de lomeríos y planicies tectónico-acumulativas en climas semicálido y cálido húmedo. La población de esta categoría representa el 11% de los habitantes con rezago social de la cuenca, quienes enfrentan limitaciones en servicios públicos, acceso a servicios de salud pública y cuentan con deficiencias en la infraestructura viales. Estas particularidades se sitúan en las siguientes localidades físico-geográficas: XXI, VII, VIII, IX, XVII

En cuanto a la categoría alta rezago social, cubre una superficie de 169.5 km² (55.23%) del territorio, la cual se localiza en la parte centro, noroeste y oeste de la zona de estudio. Esta categoría alberga el 88% de la población con rezago social de la cuenca, los cuales presentan limitaciones en las condiciones de calidad de vida relacionadas con la vivienda, salud y educación. Incluye paisajes montañosos, lomeríos, piedemonte y planicies en climas templado, semicálido y cálido húmedo. Sobre estas condiciones se encuentra la zona urbana de Ocosingo, lo que representa un asentamiento humano con severas limitaciones sociales.

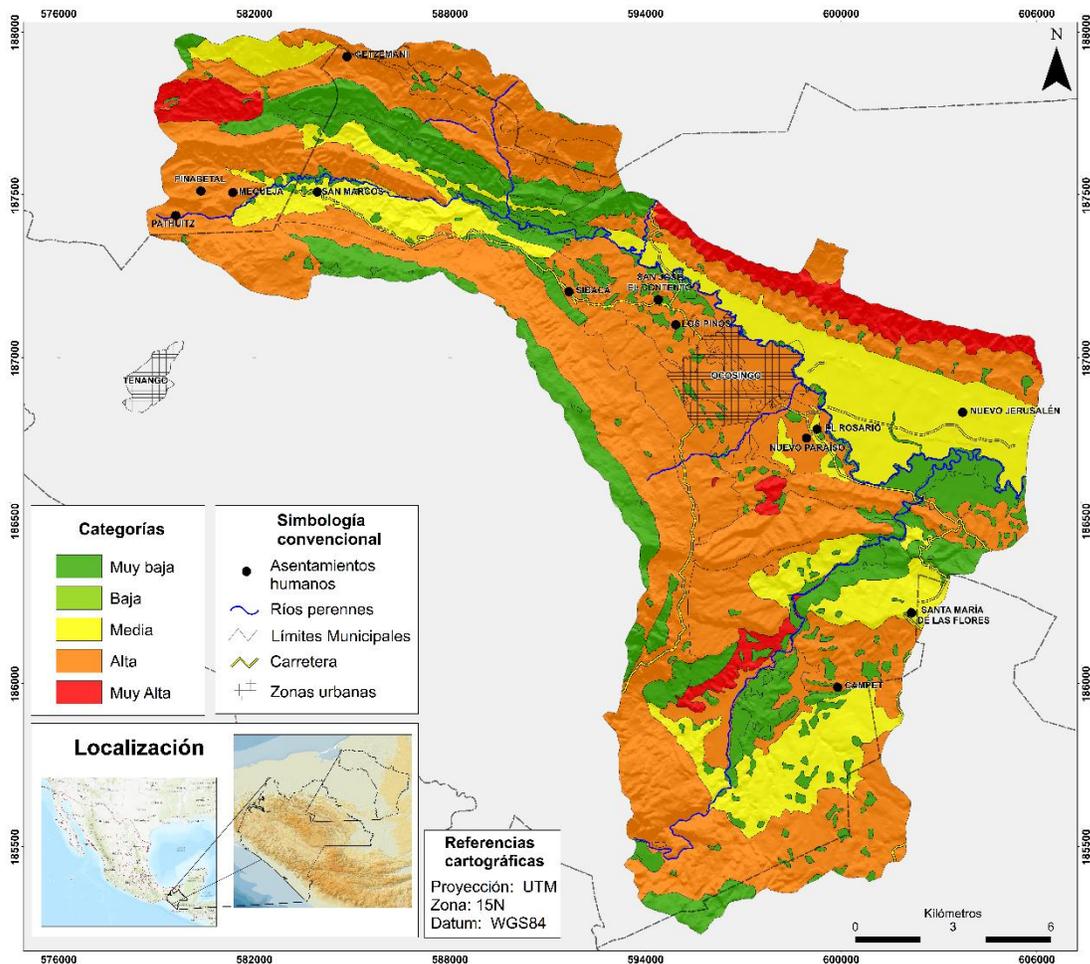
La categoría muy alta rezago social constituye el 5% del territorio (59.9 km²), y se ubican en paisajes de lomeríos y piedemonte en clima cálido húmedo en la parte norte y noroeste de la cuenca. La población en estos paisajes es predominantemente rural con niveles bajos de calidad de vida, con escaso acceso a servicios de salud, de educación y vivienda de calidad. Estas condiciones se desarrollan en las siguientes localidades físico-geográficas: XV, VI, XIX, XVII

En la zona de estudio, el 89% de la población, equivalente a 67,701 habitantes, experimenta niveles altos y muy altos rezago social. Estos resultados indican que las comunidades de la cuenca presentan condiciones precarias en calidad de vida, con infraestructura deficiente en sus viviendas y acceso limitado a servicios básicos como educación, salud, energía eléctrica y saneamiento. Por tanto, la población que viven en condiciones altas de rezago, como aquellas comunidades rurales en la parte noroeste de la cuenca, suelen estar más expuestas a los efectos negativos de la

degradación, como pérdida de los servicios ambientales y disminución de recursos naturales.

Por otro lado, los niveles bajos y muy bajos rezago social, representan solo el 11% de la población total con 8,367 habitantes. A pesar de lo anterior, la realidad que presenta la cuenca, revela carencias significativas en servicios públicos y malas condiciones de calidad de vida (ver figura 5).

Figura 5
Categorías de rezago social en la cuenca Río La Virgen



Fuente: elaboración propia

9.1.2.4. Grupo de indicadores económicos

Tasa de Dependencia Económica (TDE)

Este indicador mide la proporción de personas que no están en edad de trabajar en relación a la población que si lo está. Los resultados obtenidos se clasificaron en cinco categorías, donde los valores bajos de dependencia económica indican menor proporción de habitantes en edad de trabajar que se encuentran económicamente activas, en tanto que, los valores altos señalan mayor población involucrada en la dinámica económica de la cuenca (ver tabla 13).

Tabla 13

Descripción de las categorías de la tasa de dependencia económica

Categoría	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Muy Baja	26.0%	79.8	I, VII, VI, II, XX, XVIII	Esta categoría indica menor proporción de personas dependientes en comparación con población económicamente activa.
Baja	25.3%	77.7	III, XIX, VIII, V, I, IV, XVII	Este nivel se encuentra en 15 y 30 dependientes por cada 100 personas activas, lo que significa una carga baja hacia la población económicamente activa.
Media	40.2%	123.4	IV, VIII, XVI, VII, XXI, VI	En esta categoría existe entre 3 ^o y 50 dependientes por cada 100 personas activas. Representa un equilibrio entre las personas ocupas económicamente y las que no.
Alta	8.3%	25.5	XXI, IX, VII, XIX, XVIII	En este nivel se sitúa entra 50 y 75 dependientes por cada 100 habitantes activos. Una gran proporción de la población no está en edad de trabajar.
Muy Alta	0.2%	0.6	VII, XVIII, XV, XXI	En esta categoría existe más de 75 dependientes por cada 100 personas activas. Lo que genera una presión extrema sobre la población en edad de trabajar.

Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2021)

Las categorías baja y muy baja dependencia económica representan el 51.3% de superficie de la cuenca y se sitúa en el extremo noroeste y este de la zona de estudio. Estas se sitúan en paisajes que integran montañas y lomeríos tectónico-

kársticos y tectónico-acumulativos en climas templado y semicálido húmedo. Bajo estas condiciones biofísicas, se encuentra la zona urbana y suburbana de Ocosingo, donde la población presenta bajos niveles de dependencia económica, lo que indica que la mayor parte de sus habitantes está activa en el campo laboral, principalmente en actividades del sector terciario.

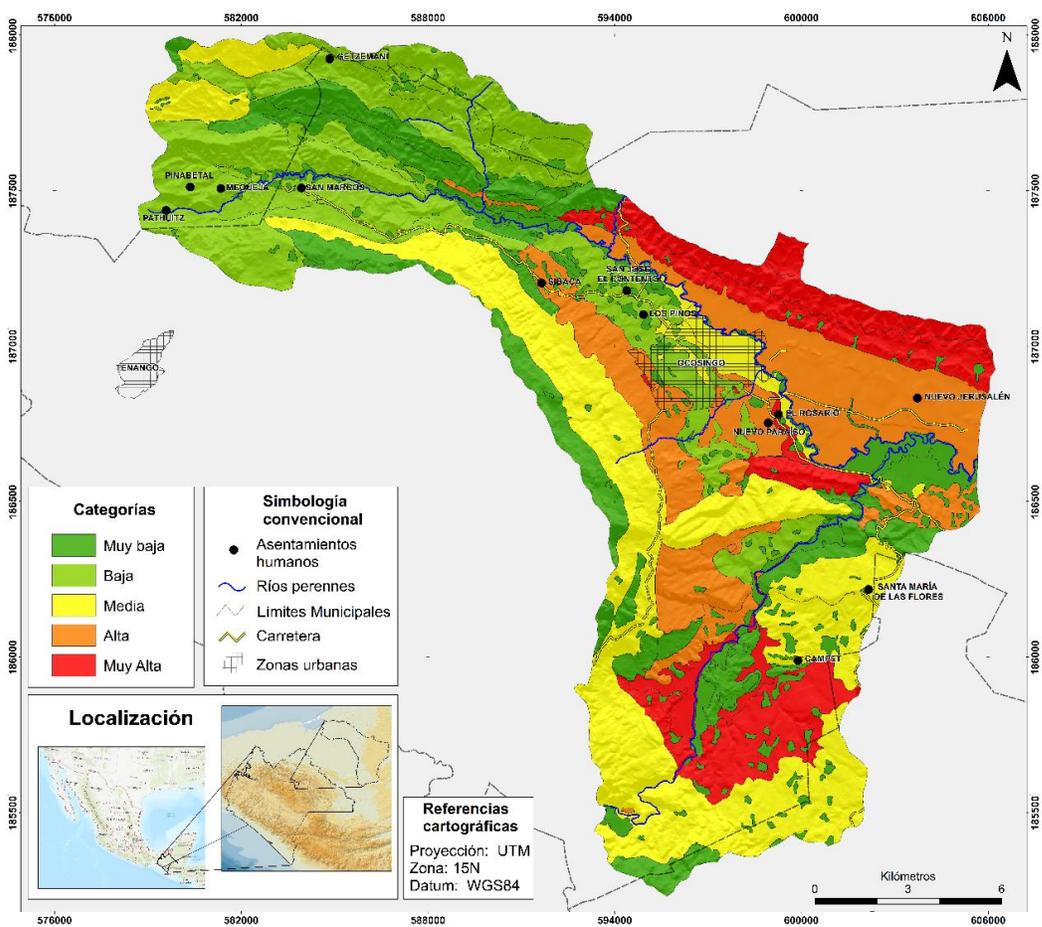
En cuanto a la categoría media dependencia económica, domina la zona de estudio con una ocupación del 40.2% y se ubican en la parte oeste y centro-sur de la cuenca. Esta clase se establece en paisajes de montañas y lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos en climas semicálido y cálido húmedo. En esta categoría, existe un equilibrio entre las personas que están activamente involucradas en el mercado laboral y viceversa.

Las categorías alta y muy alta dependencia económica, en conjunto, representan el 8.5% de la superficie de la cuenca. Se ubican en paisajes de lomeríos y planicies tectónico-acumulativas en clima cálido húmedo. Estas categorías albergan poblaciones con niveles extremos de dependencia económica, en las cuales una gran parte de los habitantes no está en las condiciones de trabajar.

En la figura 6 se aprecia la distribución espacial de las categorías; los niveles altos y muy altos se encuentran en la parte norte, este, sur y oeste de la cuenca. La población en estas áreas es predominantemente rural, donde su población desarrolla actividades de subsistencia como la agricultura y su participación en el mercado laboral es mediante la venta de productos agrícolas. En estas comunidades, las familias en edad productiva enfrentan la necesidad de generar mayores ingresos económicos para mantener un número mayor de personas.

En contextos rurales y de bajos ingresos, desencadena otros factores como la explotación de los recursos naturales como madera, agua y suelo; en tanto que impulsa la creación de nuevos sistemas agrícolas y pecuarios intensivos, que se traduce en el aumento de los procesos de deforestación y degradación del suelo. Por otro lado, las categorías bajas y muy bajas de dependencia económica, situadas en la parte centro y este de la cuenca, presentan los niveles más altos de participación económica. Estas condiciones de mayor involucramiento económico, se desarrollan fundamentalmente en la zona urbana de Ocosingo, donde la fuerza laboral fomenta el crecimiento económico en la cuenca.

Figura 6
Grados de dependencia económica en la cuenca Río La Virgen



Fuente: elaboración propia

Índice de Suficiencia Vial (ISV)

Este índice establece la capacidad que tienen las infraestructuras viales como carreteras, veredas, brechas, caminos, entre otros, para garantizar los servicios de transporte en relación con la población por unidad de paisaje. Igual que en el grado de urbanización los resultados obtenidos se clasificaron en cinco categorías, donde los valores bajos de suficiencia vial indican menor capacidad vial para satisfacer las necesidades de la población, en tanto que, los valores altos indican mayor capacidad vial (ver tabla 14).

Tabla 14

Descripción de las categorías del índice de suficiencia vial

Categoría	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Muy Baja	24.3	74.6	I, VII, VI, II, XVII	Son PFG que cuentan con una infraestructura vial deficiente donde las vías se limitan a veredas y brechas de difícil acceso.
Baja	16.2	49.7	VII, IV, XIX, XXI	En estos PFG la infraestructura vial es escasa y se reduce a caminos de terracería o veredas de difícil tránsito.
Media	40.7	124.9	IV, XXI, III, XVIII, VII	En esta categoría la red vial cumple medianamente con las necesidades de transporte de la población; sin embargo, las conexiones con las zonas más remotas son insuficientes.
Alta	15.9	48.8	VIII, V, XV, XVI, XVIII	En este nivel la infraestructura vial es suficiente para sostener las actividades económicas y el traslado de habitantes. No obstante, las carreteras se encuentran en condiciones deficientes y predominio de caminos terracería.
Muy Alta	2.9	8.9	VI, XVIII, XXI, XVII, XIX	En esta categoría la infraestructura vial satisface las demandas de movilidad de la población, con una amplia red de carreteras pavimentadas, caminos, veredas y brechas; lo que favorece las conexiones entre las áreas urbanas y rurales.

Fuente: elaboración propia con información de Espinoza (2013) e Instituto Mexicano del Transporte (2023).

Las categorías baja y muy baja suficiencia vial, representan el 40.5% del territorio (124.3 km²) y se encuentran en la parte. Se sitúan en paisajes montañosos y de lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos en climas templado, semicálido y cálido húmedos ubicados en la parte central y noroccidental de la zona de estudio. Estas categorías albergan 123.29 km de infraestructura vial, lo que representa el 37% de la longitud total de las vías de comunicación, que conectan 116 localidades. Estas dos categorías muestran la necesidad de mejorar la movilidad y conectividad terrestre.

La categoría media suficiencia vial tiene predominio territorial en la cuenca, con 40.7% de superficie. Se presenta en paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-cumulativos en clima semicálido y cálido húmedo en las zonas centrales, orientes, occidentales y noroccidentales de la zona de estudio. En esta clase se encuentra el 43% de la infraestructura vial de la cuenca (142.95 km) y proporciona conectividad en 60 localidades con una población total de 7,797 habitantes. La conectividad en estos paisajes es aceptable, a pesar de eso, en la parte noroeste de la cuenca, algunas localidades se encuentran parcialmente aisladas, o con vías de acceso que consisten en brechas y veredas.

Las categorías alta y muy alta suficiencia vial ocupan el 17.8% del territorio y se distribuyen en paisajes de piedemonte fluvio-torrencial y planicies tectónico-acumulativas en clima cálido húmedo en la parte oriental y noroccidental de la zona de estudio. Estos territorios albergan 20% de la longitud vial de la cuenca (66 km) y generan una conectividad a 52 asentamientos humanos con la zona urbana de Ocosingo. De tal forma que la red vial es suficiente para satisfacer las necesidades de transporte de bienes y personas.

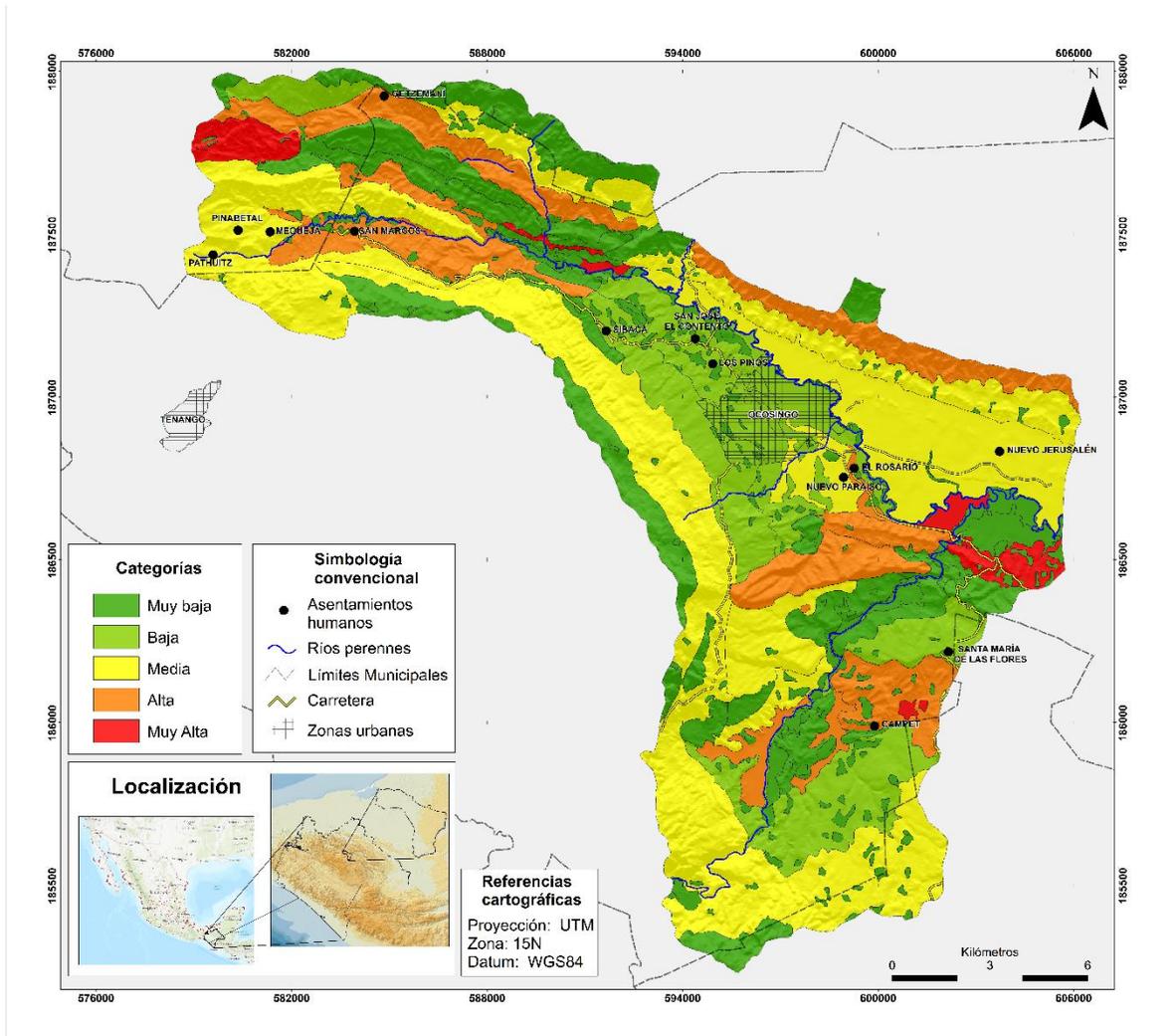
En el 81% de la zona de estudio se presenta una conectividad vial deficiente, ya que las vías en estas áreas no cubren adecuadamente las necesidades de movilidad terrestre de bienes y de población. Esta condición genera nuevas áreas de oportunidad para la creación de nuevas vialidades, sin embargo, se traducen en

impactos notables en los paisajes, como la fragmentación de la cobertura vegetal y hábitats naturales, así mismo, en la creación de taludes en sistemas montañosos que propician la aparición de los procesos de remoción en masa, así como la interrupción de cauces superficiales.

Por otro lado, se reconoce que los paisajes de categorías alta y muy alta suficiencia vial cuentan con una red vial completamente desarrollada, con caminos que cumplen las necesidades de conectividad de la población, la cual contribuye a un mayor desarrollo económico en los paisajes de estas categorías. Sin embargo, los valores altos de este indicador señalan también refleja una baja densidad poblacional, lo que permite que las vialidades satisfagan adecuadamente las demandas de movilidad de los habitantes. A pesar de ello, un ISV alto, facilita la expansión de asentamientos humanos, la intensificación de la agricultura y ganadería, así como la explotación forestal y mineral como se observan en la parte oeste del territorio (ver figura 7).

Es particularmente relevante la presencia de las categorías baja y muy baja, situadas en la parte central y oriental del territorio, donde se encuentra la zona urbana de Ocosingo. Esta situación se debe a la escasa red vial de primer orden (carreteras y caminos), insuficiente para atender las necesidades de la población en estos paisajes. Si bien predominan calles y avenidas, estas solo garantizan la conectividad dentro de la zona urbana, pero no en los territorios adyacentes.

Figura 7
Grados de suficiencia vial en la cuenca Río La Virgen



Fuente: elaboración propia

Tasa de Actividad Económica (TAE)

Este indicador determina el porcentaje de la población en edad de trabajar que se encuentra económicamente activa. Los resultados obtenidos se clasificaron en cinco categorías, donde los valores altos de actividad económica reflejan una mayor participación de la población en actividades económicas, en tanto que, los valores bajos indican menor cantidad de personas en edad de trabajar (ver tabla 15).

Tabla 15.
Descripción de las categorías de la tasa de actividad económica.

Categoría	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Muy Baja	24.9	76.4	VII, I, VI, II, XX	Esta categoría indica que muy pocos miembros de la población en edad de trabajar están activamente involucrados en la dinámica económica de la cuenca; debido principalmente al número reducido de población en los asentamientos humanos.
Baja	11.1	34.1	XVIII, VII, VIII, XXI, XIX	Categoría con una actividad económica baja, una proporción significativa de la población en edad de trabajar no está activa en el mercado laboral.
Media	39.8	122.2	IV, XXI, IX, XV, XVI	En esta categoría se encuentra una población que mantiene un equilibrio entre las económicamente activas y las que no. Representa a demás, asentamientos más cercanos a la zona urbana de Ocosingo.
Alta	13.0	39.9	II, VIII, IV, XVII, XIX, IX	Se presenta una proporción significativa de la población en edad de trabajar que se encuentra activa en el mercado laboral y las que no. Los habitantes están en la búsqueda activad de empleo.
Muy Alta	11.2	34.4	XIX, V, I, IV, IX, VI	En esta categoría se encuentran con los niveles más altos de participación económica. La mayoría de la población en estos paisajes se encuentran en edad de trabajar y económicamente activas.

Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2023).

Las categorías baja y muy baja actividad económica, representan el 36% del territorio (110.5 km²). Se ubican en paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos en clima templado, semicálido y cálido húmedo en las zonas meridional, central y noroccidental de la cuenca. En estas condiciones biofísicas, se concentra menos del 1% de la población de la cuenca; donde los niveles bajos de actividad económica son gracias a la falta de integración al mercado laboral, lo que limitan las capacidades de los habitantes para su desarrollo económico.

En la cuenca predomina la categoría media de actividad económica, que ocupa el 39.8% del territorio (122.2 km²). Esta categoría se localiza en paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos en clima semicálido húmedo ubicadas en la parte este

y oeste de la zona de estudio. En estas áreas reside el 55% de la población de la cuenca, donde la participación económica se refleja en actividades del sector primario, como la agricultura y la ganadera.

Para el caso de las categorías alta y muy alta actividad económica abarcan el 24.2% del territorio. Se encuentran en paisajes de piedemonte y montañosos en clima semicálido húmedo situadas en la parte central y noroccidental de la cuenca. En estas categorías se incluye la zona urbana de Ocosingo, que alberga el 34% de la población total de la cuenca. Los habitantes de estas áreas están inmersos en el mercado laboral debido a las oportunidades laborales que ofrece la zona urbana.

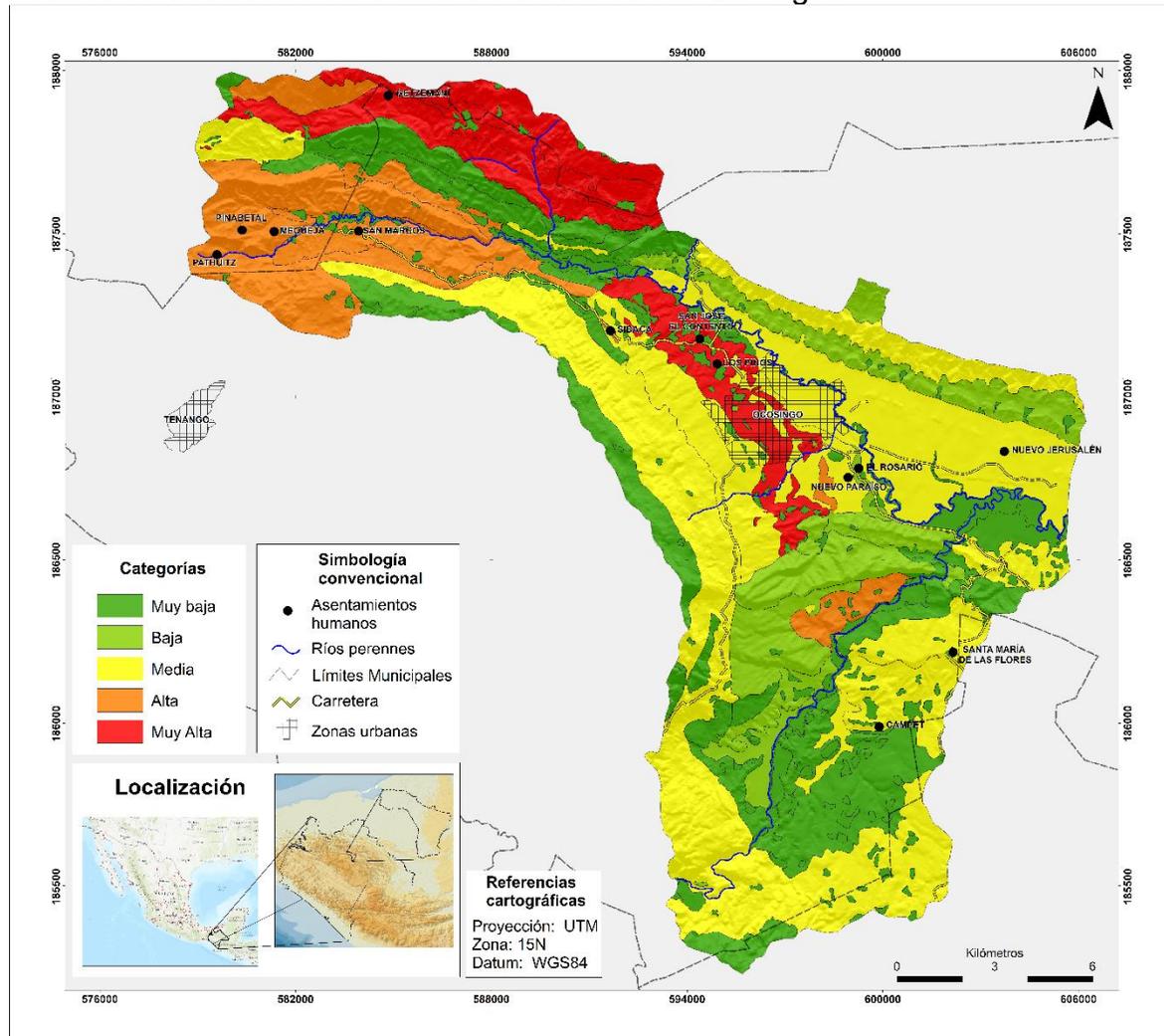
Los resultados señalan que el 89% de la población de la zona de estudio se encuentra en edad de trabajar y desarrollar actividades económicas. De esta población, el 83% reside en la zona urbana y suburbana de la ciudad de Ocosingo. Si bien, trae consigo beneficios a la población, como un mayor desarrollo económico, también tiene implicaciones negativas a los paisajes, como favorecer los procesos de urbanización, la atracción migratoria, y una mayor demanda de recursos naturales y de alimentos (ver figura 8).

El crecimiento de la actividad económica en la zona de estudio está asociado con la expansión de los asentamientos humanos, la infraestructura urbana y por sectores como la agricultura y la ganadería. Por un lado, en territorio donde se establece la cabecera municipal de Ocosingo, se presentan procesos de erosión severas del suelo, mayor demanda de recursos y contaminación del agua, estas condiciones se pueden observar en la parte central y oriental de la cuenca.

Por otro lado, en paisajes donde predominan altos niveles de actividad económica derivado del sector primario como agricultura y ganadería conllevan a la explotación del suelo y a la deforestación que provocan al aumento y aparición de procesos de erosión, agotamiento de nutrientes, de servicios y bienes ambientales. La intensificación de la extracción de recursos conlleva a la pérdida de funcionalidad de los paisajes, que compromete su estabilidad y capacidad de recuperación a largo plazo.

Figura 8

Grados de actividad económica en la cuenca Río La Virgen



Fuente: elaboración propia

9.1.3. Establecimiento del grado de influencia

El establecimiento del grado de influencia de los indicadores es fundamental para comprender su impacto en la degradación geocológica de la cuenca Río La Virgen. En este estudio, se aplicó el análisis multicriterio de Saaty para evaluar y priorizar múltiples indicadores, con el fin de determinar grado de contribución de cada uno. Esta metodología permitió asignar pesos a cada indicador, donde valores altos indican una mayor influencia en la degradación, mientras que valores más bajos, reflejan una menor aportación (ver tabla 16).

Tabla 26

Pesos asignados a cada indicador para la evaluación de la degradación geoecológica.

Indicadores	Pesos
Degradación del suelo	0.13
Índice de antropización de la cobertura vegetal	0.21
Densidad de población	0.12
Tasa de dependencia económica	0.08
Tasa de actividad económica	0.13
Grado de urbanización	0.15
Índice de rezago social	0.05
Índice de suficiencia vial	0.05
Índice de antropización por elementos antrópicos al paisaje	0.09

Fuente: elaboración propia

9.1.4. Cálculo del Índice de Degradación Geoecológica

Este índice nos permite conocer y describir el estado y los procesos de degradación que presentan los paisajes físico-geográficos del área de estudio. Los resultados del Índice de Degradación Geoecológica se agruparon en cinco categorías, lo que permitió identificar diferentes niveles de degradación en la cuenca. Los paisajes con mayor intensidad de degradación (52% de superficie) se localizan en la parte central y oriental de la zona de estudio, influenciados por la presencia de la zona urbana y económica más grande del territorio. En contraste, las zonas occidentales y meridionales muestran menores niveles de influencia antropogénica (ver tabla 17).

Tabla 17

Categorías de degradación geoecológica de la cuenca Río La Virgen.

Categoría de degradación	Superficie		Clave de paisajes más representativos	Descripción
	km ²	%		
Paisajes muy poco degradados	4%	10.8	I, XI, XVIII, VII, IV	Paisajes que se distinguen por actividad antropogénica baja; por tanto, los componentes naturales presentan niveles bajos de degradación, alta presencia de cobertura vegetal, sin degradación

				del suelo aparente, los componentes socio-demográficos y económicos indican baja presión sobre el territorio.
Paisajes poco degradados	10%	29.6	VII, II, XX, VIII, XII, II	Paisajes que se caracterizan por actividad antropogénica baja a media, como resultado, presentan modificación media a baja a los componentes naturales como vegetación y suelo. Los componentes socio-demográficos establecen poca presión sobre los sistemas naturales, por su parte, los componentes económicos indican buenas condiciones.
Paisajes medianamente degradados	34%	105.9	IV, VII, XV, VI, XVIII	Paisajes que presentan condiciones moderadas de alteración antropogénicas, por ende, los componentes naturales como el suelo y vegetación presentan modificaciones considerables. Existen presiones socio-demográficas notables hacia los sistemas naturales. Presenta condiciones favorables para el desempeño de actividades económicas.
Paisajes muy degradados	34%	105.5	III, VIII, XVIII, V, I, VII	Paisajes que se distinguen por elevados valores de modificación antropogénica, por tanto, presentan modificación intensa en sus componentes naturales como el suelo y vegetación. Existen niveles altos de presión socio-demográfica, territorios con población urbana en crecimiento. Presentan condiciones favorables para el desarrollo de actividades económicas.
Paisajes intensamente degradados	18%	55.3	XXI, IX, XIX	Paisajes que se caracterizan por una alta y muy alta antropización, con población predominantemente urbana. Presentan modificaciones muy intensas a los componentes naturales, ausencia total de cobertura vegetal, así como presión demográfica muy alta sobre el suelo. Existen condiciones económicas satisfactorias.

Fuente: Tomado y modificado de Martínez-Serrano (2017) y Chávez-Canela (2023).

Las cinco categorías obtenidas de degradación geocológica se describen a continuación.

Paisajes con muy baja degradación geocológica: esta categoría cubre 10.8 km² (4%) del territorio que corresponde a paisajes montañosos y lomeríos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos, en clima templado y semicálido húmedo, situados en la parte occidental y septentrional de la zona de estudio. Las claves de las localidades físico-geográfica son las siguientes: I, XI, XVIII, VII, IV (ver figura 9).

En esta categoría, el 90% del territorio alberga una cobertura vegetal en estado primario y secundario; el 10% restante está dedicado al uso de suelo agrícola. Esta condición de conservación de la cobertura vegetal, se traduce en niveles muy bajos de degradación del suelo, ya que el componente edáfico conserva su estructura, fertilidad y capacidad de infiltración de agua. Si bien, se presentan procesos leves de erosión hídrica laminar, estos afectan menos del 5% de superficie.

Figura 9
Categoría muy baja de degradación geocológica



Fuente: tomada por el autor

Los niveles muy bajos de degradación geocológica de estos paisajes se deben a la combinación de cobertura vegetal en estado primario y secundario, de grados mínimos de erosión del suelo y de la ausencia de asentamientos humanos. Sin embargo, la influencia antrópica se manifiesta en la fragmentación de la vegetación y

en los procesos de erosión, ocasionados por la presencia de elementos como caminos de terracería y veredas.

Los procesos tectónicos en estos territorios, dan origen a montañas fuertemente diseccionadas (251-500 m/km²), caracterizadas por pendientes pronunciadas (>30°). Esta combinación de factores favorece la conservación de los paisajes, al generar condiciones restrictivas para el desarrollo de agricultura, ganadería y el establecimiento de asentamientos humanos. Sin embargo, se observa la presencia de redes viales, como resultado de la conexión territorial entre la parte central y occidental de la cuenca, con asentamientos ubicados fuera de la zona de estudio.

Esta conectividad refleja la influencia socioeconómica de la zona urbana de Ocosingo sobre asentamientos humanos dentro y fuera de la cuenca. En el contexto de las condiciones geomorfológicas, las vialidades generan la interrupción de flujos de aguas superficiales, la formación de taludes que favorecen la ocurrencia de procesos de remoción en masa y la intensificación de la degradación del suelo.

Es necesario mencionar que los paisajes de esta categoría de degradación situadas en la parte occidental y sur de la cuenca, colindan con geosistemas de degradación media. Esta proximidad con áreas más degradadas favorece la aparición de procesos degradativos, como la erosión del suelo y pérdida de cobertura vegetal, lo que compromete las funciones y propiedades de los paisajes de mayor naturalidad de la zona de estudio. Por lo tanto, conservar estas áreas es fundamental para la preservación de la biodiversidad y garantizar la dotación de servicios ambientales, tanto a nivel local como regional.

Paisajes con baja degradación geocológica: esta categoría tiene una superficie de 29.6 km² (10%) del territorio. Está integrada por paisajes de lomeríos y montañosos tectónico-kársticos y tectónico-acumulativas en clima semicálido y cálido húmedo (ver figura 10). Las claves de las localidades físico-geográfica son las siguientes: VII, II, XX, VIII, XII, II

En estos paisajes la cobertura vegetal en estado primario y secundario abarca el 60% del territorio, mientras que el porcentaje restante se aprovecha en actividades agrícolas y pecuarias. Los efectos de estas actividades sobre el suelo se traducen en niveles moderados de erosión hídrica laminar y en surcos. Esta situación, combinada con áreas desprovistas de vegetación y pendientes pronunciadas ($<20^\circ$), como en la parte noroeste de la cuenca favorece la aparición de nuevos procesos de erosión.

Figura 10

Categoría baja de degradación geocológica



Fuente: tomada por el autor

El bajo nivel de degradación de estos paisajes se debe a la ausencia de asentamientos humanos; sin embargo, la influencia humana está presente a través de carreteras, veredas, brechas y líneas de transmisión eléctrica. Aunque estos elementos ofrecen conectividad terrestre entre la población, su impacto antrópico se observa en la fragmentación de la vegetación y la generación de nuevos procesos de erosión.

Esta categoría se caracteriza por no presentar signos evidentes de degradación. A pesar de ello, mantienen vecindad con paisajes de alta degradación, lo que ejerce mayor presión sobre las zonas más conservadas, y fomenta la aparición de nuevos procesos degradativos. Por ello, resulta imperante implementar prácticas sostenibles de uso del suelo que mantengan la calidad de los paisajes.

A pesar de presentar modificaciones antrópicas los paisajes de esta categoría, aún conservan sus funciones ambientales, ya que sus componentes naturales como la vegetación y suelo no presentan procesos de degradación que comprometan la dotación de servicios ambientales. Por tanto, paisajes de esta categoría muy baja y baja degradación geocológica, representan los PFG de mayor naturalidad de la cuenca, por lo que es fundamental gestionar adecuadamente las actividades antropogénicas que en ellos se desarrollen, para evitar su avance hacia estados de mayor degradación.

Paisajes con media degradación geocológica: esta categoría abarca una superficie de 105.9 km² (34%) del territorio. Por sus dimensiones, es la categoría de mayor extensión de la cuenca Río La Virgen. Está integrada por montañas tectónico-kársticas, piedemonte fluvio-torrencial y planicies tectónico-acumulativas en clima semicálido y cálido húmedo. Las claves de las localidades físico-geográfica son las siguiente: IV, VII, XV, VI, XVIII (ver figura 11).

Figura 11

Categoría media de degradación geocológica



Fuente: tomada por el autor

En los paisajes de esta categoría, el uso de suelo agrícola y pecuario abarcan el 80% del territorio; mientras que el resto, está cubierto por vegetación secundaria. Esta combinación de factores, provoca que los paisajes montañosos presenten niveles moderados de erosión hídrica, tanto laminar como en surcos, lo que acelera la pérdida de la capa fértil y estabilidad del suelo.

Por otro lado, en paisajes de piedemonte y planicies, se observa una degradación química asociada a la disminución del contenido de materia orgánica, lo que reduce capacidad del suelo para cumplir con sus funciones ambientales. Estos procesos erosivos, combinados con el uso intensivo, genera una cadena de alteraciones que impacta negativamente producción agrícola y la capacidad de los paisajes para proporcionar servicios ambientales.

En esta categoría se encuentran asentamientos rurales con poblaciones menores a 500 habitantes, lo que da lugar una baja densidad poblacional. Sin embargo, esta presión demográfica sobre los paisajes está acompañada de actividades económicas de subsistencia como agricultura y ganadería, con la población dedicada a la venta que productos agrícolas y derivados de la ganadería como leche y queso.

La población en esta categoría hace uso de infraestructura vial, que incluye carreteras asfaltadas, de terracería y brechas. Aunque la red vial cumple con las demandas de movilidad terrestre de la población y facilita el acceso a zonas más remotas, también promueve una mayor intervención humana en los paisajes. Los efectos de esta infraestructura se reflejan en la fragmentación de la vegetación y, en paisajes montañosos, en la presencia de taludes que favorecen la aparición procesos de remoción en masa.

La categoría media de degradación geocológica se sitúa en un punto intermedio en la escala de degradación. Refleja una intervención humana dominada por actividades agrícolas, pecuarias y presencia de infraestructura vial, que si bien, no es intensa como en los grados altos, presenta signos evidentes de modificación en los componentes naturales de los paisajes. En este contexto, en paisajes ubicados en la

parte oeste y noroeste de la cuenca, se han observado una pérdida significativa de la cobertura vegetal (80% de superficie), que, a su vez, progresivamente generan cambios en la estructura del suelo, en la pérdida de biodiversidad y de servicios ambientales de los paisajes.

El nivel medio de degradación geocológica es particularmente importante, no solo por ser la categoría de mayor extensión, sino también porque representa una transición entre áreas más conservadas y aquellas con mayor degradación. Esta categoría plantea un escenario complejo, donde la alta influencia humana actúa como un efecto de borde que favorece la degradación en paisajes con niveles bajos y muy bajos de degradación, asimismo de generar las condiciones para que estas áreas cambien hacia niveles altos de degradación.

La gestión de estos territorios requiere un enfoque integral, que considere tanto las dinámicas socioeconómicas, como las características de los elementos biofísicos de la cuenca. Para ello, las unidades de paisajes resultan herramientas holísticas que facilitan las acciones de conservación, el manejo de recursos naturales y los procesos de restauración. Los paisajes situados en la parte oeste y sur de la cuenca, presentan las características como vecindad a paisajes de menor degradación, así como presencia limitada de elementos antrópicos, que facilitan las tareas de conservación.

Paisajes con alta degradación geocológica: esta categoría ocupa una superficie de 105.5 km² (34%). Por sus dimensiones, es la segunda categoría de mayor superficie en la cuenca Río La Virgen. Está integrada por paisajes montañosos tectónico-kársticos y de lomeríos tectónico-acumulativos en clima templado, semicálido y cálido húmedo. Las claves de las localidades físico-geográfica son las siguientes: III, VIII, XVIII, V, I, VII (ver figura 12).

En esta categoría, los paisajes muestran signos evidentes de degradación, donde el 90% del territorio se encuentra desprovisto de vegetación y dedicados a usos de suelo agrícolas, pecuarios y asentamientos rurales; en el porcentaje restante, alberga una cobertura vegetal en estado secundario. La combinación de estas

condiciones genera niveles altos de erosión hídrica en surcos, lo que indica la pérdida de la capa superficial del suelo, la disminución de la fertilidad y de materia orgánica.

La presión demográfica que presentan estos paisajes se manifiesta en la presencia de 77 asentamientos con poblaciones menores a 1,300 habitantes. La inserción de infraestructura vial, como carreteras de asfalto, de terracería y brechas, favorece la conectividad terrestre de esta población a otras zonas de la cuenca; sin embargo, también genera la fragmentación de la vegetación, la expansión de zonas agrícolas y el crecimiento de asentamientos humanos.

Figura 12

Categoría alta de degradación geoecológica



Fuente: tomada por el autor

La dinámica económica en estos paisajes se caracteriza por niveles medios y altos de involucramiento de la población en el mercado laboral; no obstante, existe una alta presión de la población que no tiene la capacidad de integrarse en el ámbito laboral. Esta carga económica se combina con niveles altos y medios de rezago social, lo que indica que, a pesar de contar con una población económicamente activa,

presentan condiciones deficientes en la calidad de vida especialmente en las viviendas, el acceso a servicios públicos, salud y educación.

Los efectos de la degradación geocológica en estos paisajes se observan en la pérdida de biodiversidad, de servicios y bienes ambientales, así como en el aumento de erosión del suelo. Estas condiciones afectan especialmente en las comunidades vulnerables, con altos niveles de rezago social y baja participación económica, establecidas en la parte noroeste y centro-sur de la cuenca. En este territorio, la población depende en gran medida de los recursos naturales para el sustento diario, lo que agrava aún más las carencias sociales y el acceso a servicios básicos.

La pérdida de cobertura vegetal y los procesos de degradación del suelo, generan una disminución en la producción agrícola y un impacto en las propiedades y funciones de los paisajes. En combinación con niveles altos de dependencia económica y rezago social, comprometen la calidad de vida y medios de subsistencia de las 77 comunidades rurales.

En la zona de estudio, predominan paisajes montañosos y de lomeríos con pendientes superiores a 20° de inclinación, caracterizados por altos niveles altos de degradación. Esto refleja la influencia del ser humano en los territorios de difícil acceso; a pesar de ello, la expansión de actividades agrícolas y ganaderas como sustento económico ha sido un factor clave de los procesos de degradación de los paisajes. Al mismo tiempo, en estos territorios se presentan niveles medios y altos de infraestructura vial, que facilitan una mayor intervención humana en zonas conservadas.

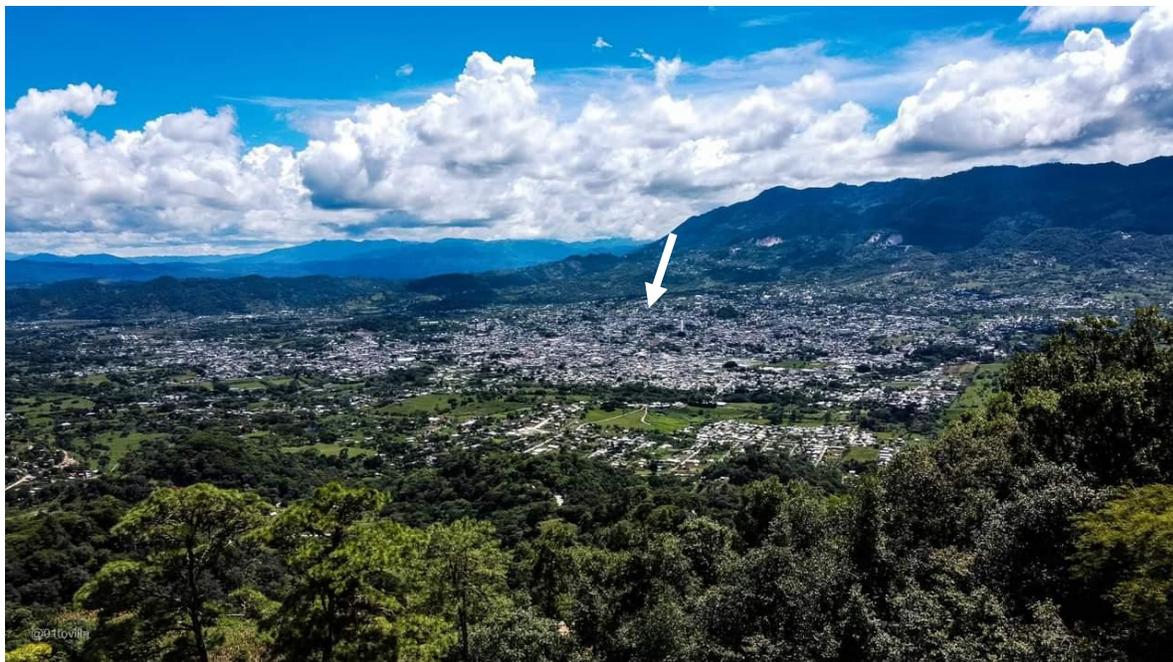
Si bien, en estos paisajes, no se encuentra la zona urbana de Ocosingo, sí presentan un estado avanzado de degradación, resultado de actividades antropogénicas constantes y de gran impacto. Como consecuencia, estos paisajes han perdido parte de sus funciones y propiedades, lo que afecta su capacidad de sostener la biodiversidad y proporcionar servicios ambientales.

En los territorios con degradación alta, donde los paisajes aún conservan cierta capacidad de recuperación, es fundamental realizar prácticas de restauración, como

frenar los procesos de erosión en pendientes pronunciadas a partir de la reforestación, también, promover prácticas agrícolas sostenibles, con el uso adecuado de agroquímicos. Las tareas de restauración, giran en torno a la recuperación de cobertura vegetal nativa y con ello, restaurar ciertas funciones ambientales como retención de agua, de erosión y reservorio de biodiversidad.

Paisajes con muy alta degradación geocológica: esta categoría tiene una superficie de 55.3 km² (18%) de extensión territorial. Por sus dimensiones, es la tercera categoría de mayor superficie. Está integrada principalmente por planicies tectónico-acumulativas y piedemonte fluvio-torrencial en clima cálido húmedo. Las claves de las localidades físico-geográfica son las siguientes: XXI, IX, XIX (ver figura 13).

Figura 13
Categoría alta de degradación geocológica



Fuente: Tovilla (2024)

Los niveles de degradación de estos paisajes son resultado de la influencia antropogénica de la zona urbana de Ocosingo y de las actividades agropecuarias que ocupan el 98% del territorio. El impacto humano también se manifiesta en la degradación del suelo, donde persisten procesos de erosión hídrica en surcos, declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica; además,

existe una pérdida total de las funciones ambientales del suelo debido al sellamiento que ocasiona el espacio urbano.

Las actividades agropecuarias y la zona urbana de Ocosingo generan la inserción de elementos antrópicos como carreteras de asfalto, terracería y brechas para satisfacer las necesidades de transporte de bienes y de la población. Si bien, presenta una conectividad terrestre con otras zonas de la cuenca, también facilitan la influencia de estas actividades económicas hacia áreas menos degradadas.

Los niveles más altos de degradación geocológica se presenta en los asentamientos humanos más importantes del área de estudio, tanto por el número de población, como por el desarrollo económico vinculado a la zona urbana de Ocosingo. Esto no solo genera mayor demanda de recursos naturales, alimentos, energía y sistemas de saneamiento, sino también nuevas fuentes de contaminación a través de desechos domésticos, residuos urbanos y pequeñas industrias. Esta serie de factores contribuye en gran medida a la alteración total de los paisajes, lo que resulta en la pérdida irreparable sus funciones y propiedades.

Estos paisajes reflejan un estado extremo de degradación, donde sus funciones y propiedades han sido afectados por las intervenciones humanas. Las consecuencias hacia la población que dependen de las actividades agrícolas, se manifiestan en una disminución de la producción, lo que impulsa la expansión de nuevas zonas agrícolas. Esta expansión desencadena otros impactos, como el cambio de la cobertura vegetal y procesos de degradación del suelo. Por otro lado, los efectos hacia los paisajes resultan en la pérdida de servicios ambientales y en la incapacidad de sostener la biodiversidad.

Es necesario mencionar, que solo tres localidades físico-geográficas (IX, XIX y XXI) concentran el 85% de la población total de la zona de estudio, lo que genera una presión considerable sobre estos paisajes. Simultáneamente, los habitantes experimentan niveles altos de rezago social, lo que se traduce condiciones de vida desfavorables, asimismo, generan una profunda transformación hacia los paisajes. A medida que la zona urbana de Ocosingo, crece, los territorios que antes estaban dominados por cobertura vegetal y pastos, son sustituidos por infraestructura urbana,

como edificios, viviendas y complejos habitacionales. Este proceso de urbanización, no solo altera las funciones y propiedades de los paisajes, sino que también incrementa la población en condiciones de vida deficientes.

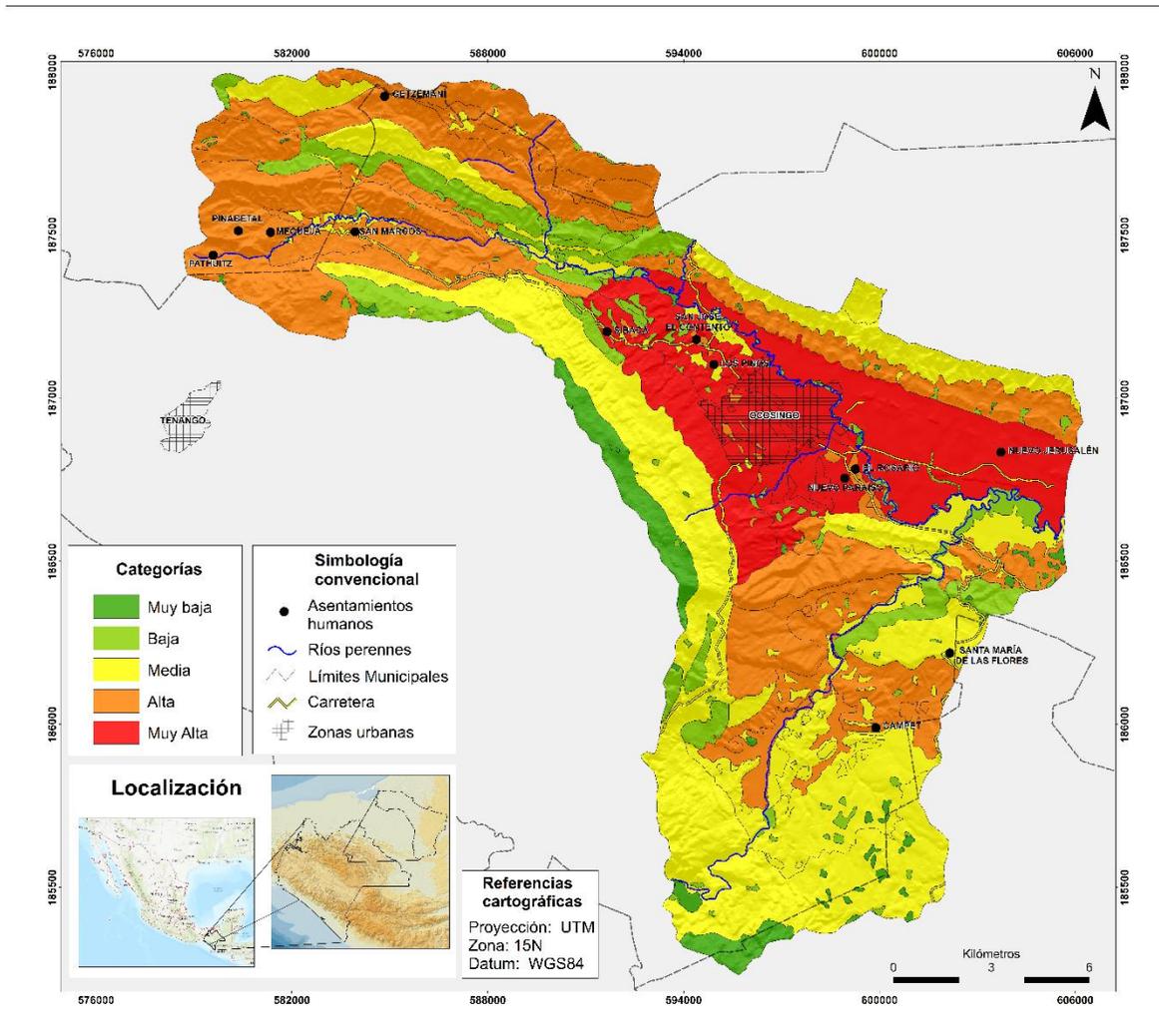
La combinación de las categorías alta y muy alta, representan las áreas más críticas de la cuenca. Las implicaciones negativas no solo se observan en los componentes naturales de los paisajes, sino también en las actividades de la población, sobre todo aquellas que dependen de la agricultura y ganadería. Esta serie de elementos impacta en la capacidad de recuperación y adaptabilidad de las comunidades y de los paisajes. De manera que, estas categorías requieren prácticas integrales y sostenibles para su restauración, así como el respaldo para las comunidades más vulnerables.

Las acciones de recuperación y conservación de los paisajes de categoría muy alta requieren un enfoque integral, que no solo aborde las problemáticas ambientales de los paisajes, sino también, genere acciones para el desarrollo humano de la población. Esto implica esfuerzos de diferentes órganos gubernamentales y de la sociedad civil. Entre las tareas de restauración y conservación, destacan las labores de reforestación, así como políticas públicas orientadas a la regulación de la expansión urbana.

En la figura 14, se muestra la ubicación espacial de las categorías de degradación, donde los niveles alto y muy alto dominan el 52% de la superficie del territorio. Estas se sitúan en la parte central, oriental y noroccidental de la cuenca. Mientras tanto, los niveles bajos y muy bajos, mantienen vecindad con paisajes de categorías altas, especialmente en la parte noroeste y este de la zona de estudio. En cuanto a la categoría media, presentan condiciones que favorecen su transición hacia

niveles altos, debido a su proximidad con áreas de alta degradación en la parte central y noroccidental del territorio.

Figura 14
Categorías de degradación geocológica de la cuenca Río La Virgen.



Fuente: elaboración propia

Los resultados generales indican que los paisajes con mayor degradación se deben principalmente a los usos de suelo agropecuarios, procesos de erosión del suelo y la presencia de zonas urbanas. Aunque en el área de estudio predomina los asentamientos rurales, la ciudad de Ocosingo desempeña un papel importante en la dinámica económica y social que contribuye a la degradación.

El estudio de la degradación de los paisajes en la cuenca Río La Virgen, permite identificar patrones similares a los observados en otros territorios del país y del estado de Chiapas, con características y dinámicas socioeconómicas comparables. Sin embargo, la intensidad, los efectos y las causas de la degradación de los paisajes varían según las condiciones específicas de cada zona de análisis.

En las reservas de la biósfera La Encrucijada, Montes Azules, El Ocote, La Sepultura y El Triunfo en Chiapas son unos de los territorios de mayor biodiversidad del estado, pero también una de las más afectadas por las modificaciones antropogénicas (Reyes-Escutia et al., 2010). En este sentido, la cuenca Río La Virgen, muestra una tendencia similar, donde el crecimiento de las actividades agropecuarias ha llevado a los procesos de degradación de los paisajes. Sin embargo, existe una diferencia clave, es que, en las reservas de la biósfera descritas, presentan planes de manejo y conservación, mientras que territorios sin protección, están sujetos a un mayor grado de degradación debido a la falta de control de las actividades humanas.

Otros territorios con contextos socioeconómicos similares, se trata de la región Soconusco en la costa de Chiapas (Tovilla, 2008). En ambas zonas, la expansión agropecuaria, la deforestación, la erosión del suelo y, los incendios forestales son las principales causas de la degradación del paisaje. No obstante, en la región Soconusco, predominan planicies fluviales ligeramente disecionadas (Morales-Iglesias et al., 2017), con pendientes menores a 5°; mientras que, en la zona de estudio, dominan paisajes montañosos con pendientes superiores a los 20°, lo que no ha representado un obstáculo para el desarrollo de actividades humanas.

En cuanto a contextos nacionales, destaca la región Ocotlán-Valle de Zamora en Michoacán (Chávez-Canela, 2023), donde la degradación de los paisajes, no solo está vinculada con las actividades agropecuarias, sino también con la expansión de la infraestructura vial, urbana e industrial. En ambos territorios, el crecimiento e influencia de los asentamientos humanos generan los mayores niveles de degradación del paisaje, que ha traído consecuencias similares, como la reducción de suelos fértiles, contaminación de cuerpos de agua y deforestación.

En regiones semiáridas, como la cuenca del Río Conchos en el estado de Chihuahua (Pérez-Cutillas, et al., 2018), la degradación de los paisajes está impulsada por la industrialización de la agricultura y ganadería. La excesiva carga ganadera y de cultivos, han alterado a los paisajes y contaminado las aguas superficiales y subterráneas. A diferencia de la cuenca Río La Virgen, donde la agricultura y ganadería es de subsistencia y autoconsumo, en el Río Conchos, los mecanismos de automatización agrícola son el principal motor de la degradación.

En un análisis comparativo general entre la cuenca Río La Virgen con otros territorios de México como en el estado de Guanajuato (Pérez-Vega et al., 2017, 2020), Chihuahua (Currit, 2009; Peña et al., 2022), Sonora, (Valdez-Galvez, et al., 2023), Zacatecas (Llamas-Gonzales, et al., 2012), Estado de México (Orozco, et al., 2012; Narchi, 2013; Homem de Abreu et al., 2023), Jalisco (Figueroa et al., 2007), Veracruz (Lozada y Dávila, 2020), coinciden en que la agricultura, ganadería, la deforestación, erosión del suelo y el aumento de asentamientos humanos, así como de casos puntuales de industrias, son el principal motor de degradación del paisaje en México.

Esta situación responde a una combinación de factores comunes de la zona de estudio con muchas regiones del país. Sin embargo, la intensidad y la velocidad, así como las técnicas de explotación del suelo, son los factores determinantes en el nivel de degradación. Al mismo tiempo, estos estudios de caso, señalan la necesidad de implementar estrategias de conservación, restauración y mitigación de los efectos de la degradación. Programas de reforestación, técnicas de conservación del agua, suelo y vegetación y una mejor planificación de la expansión demográfica son algunas alternativas para la gestión de territorios degradados.

Finalmente, la comparación de estos estudios, visibiliza que la degradación de los paisajes en la cuenca Río La Virgen no es un fenómeno aislado, sino que forma parte de un problema estructural más amplio que considera dimensiones sociales, económicas, culturales y biofísicas. Una posible solución a estos problemas, es implementar estrategias de conservación en paisajes con muy baja y baja degradación, con acciones que promuevan el uso adecuado del territorio. Para la

categoría media, se sugiere implementar alternativas del uso intensivo del suelo hacia prácticas más sostenibles.

En tanto, para las categorías altas y muy altas, se recomiendan acciones de mitigación y reducción de los impactos derivados de las actividades antropogénicas. Estas acciones buscan generar un equilibrio entre el desarrollo humano con la protección de los paisajes, y de esta manera garantizar el cumplimiento de las funciones ambientales de la cuenca en largo plazo

CAPÍTULO 6

10. CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación permitió cumplir con los objetivos planteados. Se determinaron y evaluaron los niveles de degradación geoecológica a partir de indicadores que describen las condiciones naturales, la modificación antropogénica, así como los procesos socio-demográficos y económicos en los paisajes de la cuenca Río La Virgen.

Durante el desarrollo de la investigación se identificaron diversas limitaciones metodológicas como la disponibilidad, variabilidad temporal y escalar de los datos. Uno de los principales desafíos fue la existencia de información detallada y actualizada, por ejemplo: los datos de erosión del suelo a escala 1:250 000 que datan del 2013. Asimismo, la aplicación del análisis multicriterio de Saaty para la ponderación de variables representó otro reto metodológico, debido a que la asignación de estos valores depende en mayor medida del juicio experto e información empírica para validar las ponderaciones asignadas.

En la cuenca Río La Virgen, existen paisajes montañosos que presentan bajos niveles de degradación geoecológica, lo que responde parcialmente a la hipótesis inicial, ya que se encontró que los paisajes de montaña no necesariamente crean las condiciones ideales para la conservación de los paisajes. Esta situación se observa en los paisajes de categoría alta, ubicados en la parte noroeste de la cuenca, donde el predominio de actividades agropecuarias ha generado procesos de degradación.

El Índice de Degradación Geoecológica (IDG), ofrece una valoración integral y precisa del nivel de modificación de los paisajes de la cuenca. A partir de este, se establecieron cinco categorías de degradación: muy alta, abarca el 18% del territorio, equivalente a 55.3 km² de superficie; alta cubre el 34.39% con 105.5 km²; media que representa la mayor extensión territorial con 34.53% y 105.9 km²; baja, ocupa el 9.65%, correspondiente a 29.6 km²; finalmente, comprende el 4%, equivalente a 10.8 km².

A nivel general, los resultados obtenidos muestran que el 86% de la superficie de la cuenca presenta procesos de degradación, ocasionados por el crecimiento urbano, los procesos de erosión, y cambios en la cubierta y uso del suelo. Estos factores han provocado una pérdida de las funciones y propiedades de los PFG.

Se observó el predominio territorial de la categoría media, donde los PFG de esta clase presentan niveles considerables de degradación geocológica, causados por actividades agropecuarias, erosión hídrica en surcos y la presencia de infraestructura vial. Por otra parte, las categorías de baja y muy baja degradación representan los PFG con mayor naturalidad en la cuenca y se localizan en áreas de difícil acceso, dominadas por montañas con pendientes superiores a los 20° de inclinación que limita el acceso de la población a estos paisajes.

La evaluación de la degradación geocológica indica la necesidad de implementar estrategias de conservación en paisajes de categoría muy baja y baja degradación, mediante acciones que promuevan la protección de los recursos naturales y el uso adecuado del territorio. En los paisajes de degradación media, es fundamental aplicar prácticas sostenibles en el uso de suelo. Las categorías alta y muy alta degradación, es importante implementar acciones que mitiguen los impactos de las actividades antropogénicas.

La cartografía generada en la presente investigación ofrece una visión más detallada de la situación ambiental de la cuenca. Puede ayudar en la formulación de acciones y estrategias con miras a realizar una gestión integral del territorio, y se considera de interés en la fase de diagnóstico de los ordenamientos ecológicos, territoriales y urbanos.

La conclusión general de esta investigación radica en que proporciona una aproximación del estado y dinámica de la degradación geocológica. El estudio pone en evidencia la realidad de los paisajes de la cuenca Río La Virgen que han sido profundamente alterados por las actividades humanas. Si bien, existen paisajes que presentan un estado avanzado de degradación, otros muestran una degradación menor, lo que abre las oportunidades para la implementación de medidas de

prevención, restauración y/o conservación de los paisajes físico-geográficos de la cuenca Río La Virgen.

11. RECOMENDACIONES

Para reforzar la investigación sobre la degradación geoecológica, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Optimización del método: para reducir las limitaciones metodológicas, se recomienda fortalecer la selección y ponderación de los indicadores utilizados en el análisis. Asimismo, sería útil incorporar indicadores complementarios que reflejen mayor nivel de detalle de los procesos de degradación como la capacidad de infiltración y fertilidad del suelo, la calidad del agua y conectividad del paisaje.
- Expansión geográfica del estudio: esto permitirá replicar la evaluación de la degradación en otras regiones del estado de Chiapas, que incluyen Áreas Naturales Protegidas y zonas de aprovechamiento económico como la región Soconusco, Metropolitana y Meseta Comiteca. Esto permitiría contrastar patrones y ampliar el conocimiento sobre las causas que influyen en la degradación a nivel estatal.
- Uso de modelos predictivos: para robustecer el análisis, se recomienda la implementación de modelos predictivos que simulen futuros escenarios de degradación bajo distintas condiciones socioeconómicas. Asimismo, incluir proyecciones sobre el avance de la frontera agropecuaria y la expansión de la zona urbana.
- Incorporación de una perspectiva comunitaria: es fundamental incluir a las comunidades locales en las tareas de mitigación, conservación y restauración de los paisajes. Para ello, se deben diseñar mecanismo de participación social en la gestión sostenible del territorio.

La mejora de este estudio y su posible replicación en otros territorios del estado de Chiapas y de México, requiere la optimización de la metodología, el uso de información más detallada, la aplicación de modelos predictivos y la participación comunitaria.

Estas acciones, permitirán el desarrollar de proyectos integrales adaptados a contextos socioeconómicos específicos.

Finalmente, los hallazgos de este estudio ponen en evidencia la necesidad de continuar con investigaciones que permitan ampliar el conocimiento sobre los procesos de degradación de los paisajes. Una forma de abordarlos, es dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los efectos directos de la degradación sobre la flora y la fauna en paisajes conservados? ¿Puede un territorio dominado por asentamientos urbanos alcanzar y cumplir las acciones de mitigación de los efectos de la degradación? ¿La intensidad de los factores de degradación observados en la cuenca Río La Virgen, se repite con la misma magnitud a nivel estatal?

12. BIBLIOGRAFÍA

- Abellán-García, A., Esparza Catalán, C., & Pérez Díaz, J. (2011). Evolución y estructura de la población en situación de dependencia. Cuadernos de Relaciones Laborales. Universidad Complutense de Madrid (UCM). http://doi.org/10.5209/rev_crla.2011.v29.n1.2
- Aguirre, V. S. (2019) La degradación ambiental en los bosques ribereños de Hudson, provincia de Buenos Aires. VII Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XXI Jornadas de Geografía de la Universidad Nacional de la Plata
- Ahirwar, N. y Singh, R., (2024). Climate Change and Environmental Degradation: Chapter 4. In: Environment In 21st Century (Volume IV) (pp.42-51). Publisher: Kripa Drishti Publications, MH, INDIA
- Ahmed, N., Khan, T. I., y Augustine, A. (2018). CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION: a SERIOUS THREAT TO GLOBAL SECURITY. Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1307227>
- Ajai, Arya, A. S., Dhinwa, P. S., Pathan, S. K., y Raj, K. G. (2009). Desertification/land degradation status mapping of India. Current Science, 97(10), 1478-1483. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093359398>.
- Amorim Homem de Abreu Loureiro, G., Escalona Valdez, R. A., Espinosa Rodríguez, L. M., Juan Pérez, J. I., y Balderas Plata, M. Ángel. (2022). Environmental context of land use and land cover change processes in Calimaya, Mexican Altiplano. Revista Geográfica De América Central, 1(70), 221-241. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.8>
- Argotty, F. (2016). Estado Del Arte Sobre Degradación De Bosques En Una Selección De Países Latinoamericanos, Costa Rica. En: Degradación De Bosques En Latinoamérica Síntesis Conceptual, Metodologías De Evaluación Y Casos De Estudio Nacionales. Publicado Por Ibero-Redd+
- Armenteras D. y González, T. (2016). Degradación de bosques: contexto y definiciones. Número 1. En: Degradación De Bosques En Latinoamérica Síntesis Conceptual, Metodologías De Evaluación Y Casos De Estudio Nacionales. Publicado Por Ibero-Redd+
- Atkinson, A., y Dávila, J. D. (2019). The Challenge of Environmental Management in Urban Areas. En Routledge eBooks (pp. 1-15). <https://doi.org/10.4324/9780429439094-1>
- Ayuntamiento Municipal de Ocosingo. (2015). Plan de Desarrollo Municipal. Ocosingo. Obtenido de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Chiapas/Todos%20los%20Municipios/wo86596.pdf>

- Balderas, M.A., Canchola, G.Y., Espinoza M.L., y Ortiz, M.A. (2005). Valoración de la degradación geoecológicas del paisaje como fundamento para la gestión ambiental. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. México. 6 (13).
- Bao, C., & Zou, J. (2017). Analysis of spatiotemporal changes of the human-water relationship using water resources constraint intensity index in Northwest China. *Ecological Indicators*, 84, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.056>
- Bastian, O., Krönert, R., y Lipský, Z. (2006). Landscape Diagnosis on Different Space and Time Scales – A Challenge for Landscape Planning. *Landscape Ecology*, 21(3), 359-374. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-5224-1>
- Bastin, J., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M., y Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76-79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- Bera, B., Chinta, S., Mahajan, D. A., & Mahajan, R. D. (2023). Urbanization and its Impact on Environmental Sustainability: A Comprehensive review. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/373358802_Urbanization_and_Its_Impact_on_Environmental_Sustainability_A_Comprehensive_Review
- Betim, T. y Tavares, Y. (2019) Propuesta de zonificación ambiental de la Reserva Forestal del Morro Grande (RFMG), Municipio de Cotia, Estado de São Paulo, Brasil. En. *Cartografía Biogeográfica y el paisaje*. Ciudad de Tupã, São Paulo. Brasil-
- Bezák, N.; Mikoš, M.; Borelli, P.; Alewell, C.; Alvarez, P.; Alexandre, J.; Anache, A.; Baartman, J.; Ballabio, C.; Biddoccu, M.; et al. (2021) Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. *Environ.* 197, 111087. [CrossRef]
- Bocco, G. Mendoza, M., Priego-Santander, A. y Burgos, A. (2010). La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. México.
- Bogaert, J., Vranken, I., André, M. (2014). Anthropogenic Effects in Landscapes: Historical Context and Spatial Pattern. In: Hong, SK., Bogaert, J., Min, Q. (eds) *Biocultural Landscapes*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8941-7_8
- Bollo M., Martínez, A. y Martín, G. (2022). Los paisajes antropogénicos del municipio Morelia, Michoacán de Ocampo - México. *cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 32 (1): 50-69. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v32n1.92063>.
- Bollo, M. (2018). La Geografía del Paisaje y la Geoecología: Teoría y enfoques. En: *Paisaje: métodos de análisis y reflexiones*. Ed. Ediciones del Lirio - Editorial UAM. México. ISBN: 978-607-28-1169-0.

- Bollo, M. y Martínez, A. (2023). Fundamentos de Geoecología de Paisaje. En: El Paisaje: una mirada a través del análisis espacial. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM).
- Bollo, M. y Velasco, W. (2018). El Estado del Medio Ambiente en Michoacán de Ocampo. México. Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada/Cuadernos Geográficos, 57(3). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i3.6504>
- Bollo, M., Hernández, J.R., y Méndez, A.P. (2010). Evaluación de potencialidades naturales en el ordenamiento ecológico territorial: noroeste del estado de Chiapas, México. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. N°53. Págs. 191.218.
- Bollo, M., Montañó, R. Y Hernández J. (2017). Situación Ambiental De La Cuenca Del Río Santiago-Guadalajara. Universidad Nacional Autónoma De México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (SEMARNAT) Secretaría De Medio Ambiente Y Desarrollo Territorial (SEMADET). ISBN: 978-607-97786-5-1
- Bottero, M. (2011). Sistemas de evaluación de indicadores. Landscape Indicators, 15–29. doi:10.1007/978-94-007-0366-7_2.
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Da Fonseca, G. a. B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., Mittermeier, C. G., Pilgrim, J. D., & Rodrigues, A. S. L. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*, 313(5783), 58–61. <https://doi.org/10.1126/science.1127609>
- Brown G, J Montag, K Lyon. 2012. Public participation GIS: a method for identifying ecosystem services. *Society and Natural Resources* 25 (7): 633-651.
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., Baillie, J. E. M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K. E., Carr, G. M., Chanson, J., Chenery, A. M., Csirke, J., Davidson, N. C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., . . . Watson, R. (2010). Global Biodiversity: Indicators of Recent declines. *Science*, 328(5982), 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. A. (2015). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía. *Ciencias Espaciales*, 8(2), 391–408. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2089>
- Campos, M., Velázquez, A., Verdinelli, G. B., Skutsch, M., Juncà, M. B., y Priego-Santander, Á. G. (2012). An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico. *Applied Geography*, 32(2), 409-419. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.004>
- Chávez-Canela, K. (2023). La Degradación De Los Paisajes En La Región físico-geográfica Ocotlán-Valle De Zamora. [Tesis de Maestría] Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Choudhary, M., Singh, G. y Kushwah, Y. (2015) Environmental Degradation: Causes, Impacts and Mitigation. Department of Civil Engineering, University College of Engineering, Rajasthan Technical University, Kota, Rajasthan, India.
- Comisión de vivienda del estado de Guanajuato (COVEG). (2011). Sistema Estatal de Información e Indicadores de Suelo y Vivienda Observatorio de Vivienda, Sistema de indicadores de vivienda. Guanajuato, México: Gobierno del estado de Guanajuato.
- Comisión Nacional del Agua (2024b). Localizador REPDA De Aguas Nacionales, Zonas Federales Y Descargas De Aguas Residuales. Consultado el 30 de abril de 2024 en: <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda20/>
- Comisión Nacional del Agua (2024b). Localizador REPDA De Aguas Nacionales, Zonas Federales Y Descargas De Aguas Residuales. Consultado el 30 de abril de 2024 en: <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda20/>
- Comisión Nacional del Agua, (2024a). Calidad y Disponibilidad de Agua. Portal de Sistemas de Información del Agua. CONAGUA. Consultado el 30 de abril de 2024 en: <https://app.conagua.gob.mx/sistemasdeagua/>
- Comisión Nacional del Agua, (2024a). Calidad y Disponibilidad de Agua. Portal de Sistemas de Información del Agua. CONAGUA. Consultado el 30 de abril de 2024 en: <https://app.conagua.gob.mx/sistemasdeagua/>
- Compa, M., Alomar, C., Wilcox, C., Van Seville, E., Lebreton, L., Hardesty, B. D., & Deudero, S. (2019). Risk assessment of plastic pollution on marine diversity in the Mediterranean Sea. *The Science of the Total Environment*, 678, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.355>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2020a). Índice de Rezago Social por localidad urbana o rural 2020. Obtenido de https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_de_Rezago_Social_2020_anexos.aspx
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2020a). Índice de Rezago Social por localidad urbana o rural 2020. Obtenido de [https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice de Rezago Social 2020 anexos.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_de_Rezago_Social_2020_anexos.aspx)
- Crossman N, B Burkhard, S Nedkov, L Willemen, K Petz, I Palomo, E Drakou, B Martín-López, T McPhearson, K Boyanova, R Alkemade, B Egoh, M Dunbar, J Maes. 2013. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services* 4: 4-14.
- Cruz Peralta, M. A. ., & Ramírez Sánchez, L. G. (2023). Antropización del Paisaje de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. *Punto Cunorte*, 1(16), 13–42. <https://doi.org/10.32870/punto.v1i16.163>
- Currit, N., y Easterling, W. E. (2009). Globalization and population drivers of rural-urban land-use change in Chihuahua, Mexico. *Land Use Policy*, 26(3), 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.08.001>

- Danese, M., & Gioia, D. (2021). Spatial Analysis for Landscape Changes: A Bibliometric review. *Applied Sciences*, 11(21), 10078. <https://doi.org/10.3390/app112110078>
- Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H. S., Breman, E., Rebola, L. C., Chomba, S., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith, R. J., & Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328–1348. <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., . . . Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471). <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- Dotterweich, M. (2013). The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation—A global synopsis. *Geomorphology*, 201, 1-34. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.021>.
- Durán, A. P., Rauch, J., & Gaston, K. J. (2013). Global spatial coincidence between protected areas and metal mining activities. *Biological Conservation*, 160, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.02.003>
- Early, R., Bradley, B. A., Dukes, J. S., Lawler, J. J., Olden, J. D., Blumenthal, D. M., Gonzalez, P., Grosholz, E. D., Ibañez, I., Miller, L. P., Sorte, C. J. B., & Tatem, A. J. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Espinoza, A. (2013). Paisajes Antropo-Naturales En Tzintzuntzan Y Sus Alrededores. [Tesis de Maestría] Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Esse, C., Valdivia, P., Encina-Montoya, F., Aguayo, C., Guerrero, M., & Figueroa, D. (2014). Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 35(3), 289–299. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002014000300004>
- Ferreira-Fernandes, C.S., Alves, F. y Loureiro, J. (2024) Sustainable futures: from causes of environmental degradation to solutions. *Discov Sustain* 5, 63 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00242-1>
- Ferrier, Simon y Brendan A Wintle, 'Enfoques cuantitativos para la priorización de la conservación espacial: cómo adaptar la solución a la necesidad', en Atte Moilanen, Kerrie A Wilson y Hugh P Possingham (eds), *Priorización de la conservación espacial: métodos cuantitativos y herramientas computacionales* (Oxford, 2009; edición en línea, Oxford Academic, 31 de octubre de 2023),

- Fetisov, D. M. (2011). Landscape diversity in the Russian part of the Lesser Khingan. *Geography And Natural Resources*, 32(1), 60-64. <https://doi.org/10.1134/s1875372811010100>
- Figuroa, R., Gerritsen, P. y Malischke, T. (2007). Percepciones sobre la degradación ambiental de agricultores orgánicos y convencionales en el ejido La Ciénega, municipio de El Limón, Jalisco, México. *Economía, sociedad y territorio*, Vol. 7, Nº. 25, 2007, pags. 215-239. VIII. [10.22136/est002007236](https://doi.org/10.22136/est002007236).
- Fischer, J., Riechers, M., Loos, J., Martin-Lopez, B., & Temperton, V. M. (2020). Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.018>
- Flores-Domínguez, Á y Priego Santander, Á. (2011) ZONIFICACIÓN FUNCIONAL ECOTURÍSTICA DE LA ZONA COSTERA DE MICHOACÁN, MÉXICO A ESCALA 1:250 000 *Revista Geográfica de América Central*, vol. 2, pp. 1-15 Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- Foli E., Kant P., Katila P., de Jong W., Kleine M., Oduro K.A., Obeng, E.A., Guuroh R.T., Jayaswal L., Reddy P.V., Saidulu B., 2021. Governance of Forest Landscape Restoration – Analyses of Governance Issues in Cases from Ghana and India. Occasional Paper No. 34. IUFRO. Vienna, Austria. 54 p.
- Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., Galaz, V., Westley, F., Lamont, M., Scheffer, M., Österblom, H., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Seto, K. C., Weber, E. U., Crona, B. I., Daily, G. C., Dasgupta, P., Gaffney, O., Gordon, L. J., Hoff, H., Levin, S. A., . . . Walker, B. H. (2021). Our future in the Anthropocene biosphere. *Ambio*, 50(4), 834-869. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8>
- Gaitán, J., Navarro, M., Tendi, L., Pizarro, M., Carfago, P. y Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Instituto de Suelos – Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN) Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Gálvez, C. a. V. (2021). Los capitales naturales en Latinoamérica y los costos de su deterioro. *Revista Académica CUNZAC*, 4(1), 87–94. <https://doi.org/10.46780/cunzac.v4i1.47>
- Ganzei, K. S., y Ivanov, A. N. (2012). Landscape diversity of the Kuril Islands. *Geography And Natural Resources*, 33(2), 142-148. <https://doi.org/10.1134/s18>
- Ghazoul, J., y Chazdon, R. (2017). Degradation and Recovery in Changing Forest Landscapes: A Multiscale Conceptual Framework. *Annual Review Of Environment And Resources*, 42(1), 161-188. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060736>
- González, T (2016). Estado Del Arte Sobre Degradación De Bosques En Una Selección De Países Latinoamericanos, Bolivia. En: *Degradación De Bosques En Latinoamérica Síntesis Conceptual, Metodologías De Evaluación Y Casos De Estudio Nacionales*. Publicado Por Ibero-Redd+
- Grainger, A. (2015). Is Land Degradation Neutrality feasible in dry areas? *Journal Of Arid Environments*, 112, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.014>

- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P. W., & Balmford, A. (2004). Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307(5709), 550–555. <https://doi.org/10.1126/science.1106049>
- Gress, F. (2015). Evaluación De La Degradación De Los Paisajes Del Suelo De Conservación Del Distrito Federal. [Tesis de Maestría] Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez-Solís, E. O., Morales-Iglesias, H., Ramírez-Sánchez, L. G., Priego-Santander, Á. G., & Alatorre-Ibargüengoitia, M. Á. (2024a). Biophysical landscapes of the Río La Virgen watershed in the Ocosingo municipality, Chiapas, Mexico. *Journal of Maps*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/17445647.2024.2347895>
- Gutiérrez-Solís, E. O., Morales-Iglesias, H. y Ramírez-Sánchez, L. G. (2024b) Antropización de la cobertura vegetal de los paisajes físico-geográficos de la cuenca río La Virgen, Ocosingo, Chiapas. En: Temas selectos de riesgo socioambiental en el sureste de México Capítulo: 5. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Harden, C. P., Luzzadder-Beach, S., MacDonald, G. M., Marston, R. A., & Winkler, J. A. (2020). Physical geography contributes. *Progress in Physical Geography Earth and Environment*, 44(1), 5–13. <https://doi.org/10.1177/0309133319893918>
- Hassan, M.S., Mahmud-ul-islam, S., y Rahman, M.T. (2015). Integration of Remote Sensing and GIS to Assess Vulnerability of Environmental Degradation in North-Western Bangladesh. *Journal of Geographic Information System*, 07, 494-505. <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.75040>
- Hermans, K., y McLeman, R. (2021). Climate change, drought, land degradation and migration: exploring the linkages. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, 50, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.013>
- Howard, P. H., Boethling, R. S., Jarvis, W. F., Meylan, W. M., y Michalenko, E. M. (2017). Handbook of Environmental Degradation Rates. En CRC Press eBooks. <https://doi.org/10.1201/9780203719329>
- Hoyos, R. (2015). DEFINICIN DE LOS INDICADORES DEMOGRFICOS. https://www.academia.edu/19654656/DEFINICIN_DE_LOS_INDICADORES_DEMOGRFICOS
- Humphreys D., Singer B., McGinley K., Smith R., Budds J., Gabay M., Bhagwat S., de Jong W., Newing H., Cross C. and Satyal P. (2020). SDG 17: Partnerships for the Goals – Focus on Forest Finance and Partnerships. In: Katila P., Colfer C.J.P., de Jong W., Galloway G., Pacheco P. and Winkel G. (eds.). Sustainable Development Goals: Their Impacts on Forests and People. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Husnain, M. I. U., Syed, Q. R., Bashir, A., y Khan, M. A. (2022). Do geopolitical risk and energy consumption contribute to environmental degradation? Evidence from E7 countries. *Environmental Science And Pollution Research*

- International, 29(27), 41640-41652. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17606-Z>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1:250 000 Serie I Continuo Nacional
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Metodología de Indicadores de la Serie Histórica Censal, 2017. Obtenido de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/cpvsh/doc/serie_historica_censal_met_indicadores.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2020a), Censo de población y vivienda 2020, recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020b) Red Nacional de Caminos 2020, recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807452>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020c) Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. Obtenido de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- IUCN (International Union for the Conservation of Nature). 2012. Jeju declaration. http://cmsdata.iucn.org/downloads/jeju_declaration_15_september_final.pdf [accessed on 20 November 2012].
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. (2021). Introducción. En: Introducción al aprendizaje estadístico. Springer Texts in Statistics. Springer, Nueva York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1_1.
- Jimenez, Y. y Moreno, J. J. (2006). Los SIG en el análisis y el diagnóstico del paisaje. El caso del río Guadix (Parque Nacional de Sierra Nevada). Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, 39(39), 103-123. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v39i0.1503>
- Kremen, C., & Merenlender, A. M. (2018). Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*, 362(6412). <https://doi.org/10.1126/science.aau6020>
- Kubacka, M., Bródka, S., & Macias, A. (2016). Selecting agri-environmental indicators for monitoring and assessment of environmental management in the example of landscape parks in Poland. *Ecological Indicators*, 71, 377–387. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.004>
- Kuznetsova, T. I., Bychkov, I. V., Batuev, A. R., Plyusnin, V. M., Ruzhnikov, G. M., y Khmel'nov, A. E. (2011). Structural-typological characteristics and ecological potential of the Baikal region's geosystems. *Geography and Natural Resources*, 32(4), 315–322. <https://doi.org/10.1134/s1875372811040032>.
- Lee, T. M., & Jetz, W. (2008). Future battlegrounds for conservation under global change. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 275(1640), 1261–1270. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1732>
- Li, J., Lin, X., Chen, A., Peterson, T., Ma, K., Bertzky, M., Ciais, P., Kapos, V., Peng, C., & Poulter, B. (2013). Global Priority Conservation areas in the face of 21st

- century climate change. *PLoS ONE*, 8(1), e54839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054839>
- Li, S., & Ma, Y. (2014). Urbanization, economic development and environmental change. *Sustainability*, 6(8), 5143–5161. <https://doi.org/10.3390/su6085143>
- Liu, Y., Gao, J., y Yang, Y. (2003). Holistic Approach Towards Assessment of Severity of Land Degradation Along the Great Wall in Northern Shaanxi Province, China. *Environmental Monitoring And Assessment*, 82(2), 187-202. <https://doi.org/10.1023/a:1021882015299>.
- Llamas-Gonzales, A. (2012). POBREZA Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN LA AGRICULTURA DEL ESTADO DE ZACATECAS A NIVEL MUNICIPAL. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad de Estudios del Desarrollo. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/20.500.11845/303>
- López, A. y Aguilar, G. (2018). Unidades de paisaje locales en el noreste de Michoacán, México. *Revista Geográfica De América Central*, 3(61E), 157-159. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-3.9>.
- Lozada, R. y Dávila, S. (2020). Degradación ambiental e inundaciones en La Lagunilla, Xalapa, Veracruz. *UV serva*. 179-196. 10.25009/uvs.v0i10.2738.
- Lund H.G. (2009) What is a degraded forest? White Paper on Forest Degradation Definitions Prepared for FAO.
- Lysanova, G. I., Semenov, Y. M., y Sorokovoi, A. A. (2011). Geosystems of the Upper Yenisei basin. *Geography And Natural Resources*, 32(4), 357-362. <https://doi.org/10.1134/s1875372811040093>
- Mabahwi, N. A. B., Leh, O. L. H., y Omar, D. (2014). Human Health and Wellbeing: Human Health Effect of Air Pollution. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, 153, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.056>
- Machuca, W. (2011). Evaluación del potencial natural para la prestación de Servicios Ambientales Hídricos en Cerro Grande, Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Tesis de Maestría en Geografía. Centro De Investigaciones En Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma De México.
- Macías A. y Sevilla Y. L. (2021). Desarrollo agroindustrial y degradación ambiental en México (1941-2021). *Observatorio Medioambiental*, 24, 195-228. <https://doi.org/10.5209/obmd.79522>
- Macías, A. M., y García, Y. L. S. (2021). Desarrollo agroindustrial y degradación ambiental en México (1941-2021). *Observatorio Mediambiental/Observatorio Medioambiental*, 24, 195-228. <https://doi.org/10.5209/obmd.79522>
- Mahala, A. (2019). Land degradation processes of Silabati River Basin, West Bengal, India: a physical perspective. In *Advances in Science, Technology Innovation/Advances in science, technology & innovation* (pp. 265–278). https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_16
- Majeed, M. T., Mazhar, M., Samreen, I., y Tauqir, A. (2021). Economic complexities and environmental degradation: evidence from OECD countries. *Environment*,

Development And Sustainability, 24(4), 5846-5866.
<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01687-4>

- Martínez-Serrano, A. (2017). Diagnóstico Geoecológico de la Zona Metropolitana de Morelia. Tesis de Doctorado en Geografía. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mateo, J. (1991). Geoecología de los Paisajes. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela
- Mateo, J. M. y Ortíz-Pérez, M. (2001). La Degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. Palacio, J.L, Oropeza, O., Figueroa, J.M. (eds). Mario Arturo Ortiz Pérez. Contribuciones geográficas. (pp. 255-286).
- Mateo Rodríguez, J.M. (2002). Geografía de los Paisajes. Primera Parte. Paisajes Naturales. Ministerio de Educación Superior. Universidad de la Habana. Facultad de Geografía. La Habana 2002.
- Mateo, J. (2011). Geografía de los paisajes. La Habana: Félix Varela.
- Mateo J. M., Celeiro Chaple, M., Acevedo Rodríguez, P., Hernández Mestre, D., y Veranes Miranda, A. (2020). Los mapas de Paisajes del Atlas Nacional de Cuba LX Aniversario. Revista Cubana De Geografía, 2(1). Recuperado a partir de <https://revistasgeotech.com/index.php/rcg/article/view/32275372812020072>
- Mateo, J., Da Silva, E. y Cavalcanti, A. (2022). Geoecología del Paisaje: una visión sistémica del análisis ambiental. Universidade Federal do Ceará (UFC). Brasil
- Mathews-Fernández, J. (2008) Evaluación de la Modificación Edafo-Biógena de los paisajes de la región Sierra-Costa de Michoacán, México. [Tesis de Maestría]. Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- McDonald, R. I., Douglas, I., Revenga, C., Hale, R., Grimm, N., Grönwall, J., y Fekete, B. (2011). Global Urban Growth and the Geography of Water Availability, Quality, and Delivery. *Ambio*, 40(5), 437-446. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0152-6>
- McDonald, R. I., Güneralp, B., Huang, C., Seto, K. C., & You, M. (2018). Conservation priorities to protect vertebrate endemics from global urban expansion. *Biological Conservation*, 224, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.010>
- McFarlane, K., Wallace, K., Shanahan, D., & Clapcott, J. (2024). Working together to scale ecosystem restoration: collective approaches to community action in Aotearoa New Zealand. *Ecology and Society*, 29(2). <https://doi.org/10.5751/es-15152-290217>
- Medeiros, R. B., Chávez, E. S., Da Silva, C. A., y Berezuk, A. G. (2022). Geoecological diagnosis of landscapes of the Formoso River Watershed, Bonito/MS, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 81(6). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10247-6>
- Menz, MHM, KW Dixon y RJ Hobbs. 2013. Obstáculos y oportunidades para la restauración a escala del paisaje. *Science* 339(6119):526-527. <https://doi.org/10.1126/science.1228334>

- Morales-Iglesias, H., Priego-Santander, A. G., Díaz-Nigenda, E., y Alatorre-Ibargüengoitia, M. A. (2022). Landscapes with the Greatest Natural Heritage in Chiapas, Mexico. *Geography And Natural Resources*, 43(4), 394-400. <https://doi.org/10.1134/s1875372822040096>.
- Morales-Iglesias, H., Priego-Santander, A., Bollo-Manent, M. y Ríos, J.M. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. *Papeles de Geografía*, 65, 139-154. <https://doi.org/10.6018/geografia.396571>.
- Morales-Iglesias, H.; Priego-Santander, A. G., (2020). La diversidad paisajista en el estado de Chiapas. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada/Cuadernos Geográficos*, 59(1). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8862>
- Mrabet, Z., AlSamara, M., y Jarallah, S. H. (2016). The impact of economic development on environmental degradation in Qatar. *Environmental And Ecological Statistics*, 24(1), 7-38. <https://doi.org/10.1007/s10651-016-0359-6>
- Narchi, N. (2013). Deterioro Ambiental en Xochimilco: Lecciones para el cambio climático global. *Veredas: Revista del Pensamiento Sociológico*. 27. 177-197.
- Niemeijer, D., & de Groot, R. S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators*, 8(1), 14-25.
- OECD Organization for Economic Co-operation and Development (2003) OECD environmental indicators. Development, measurement and use. <http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>.
- Okpara, U. T., Stringer, L. C., Akhtar-Schuster, M., Metternicht, G. I., Dallimer, M., & Requier-Desjardins, M. (2018). A social-ecological systems approach is necessary to achieve land degradation neutrality. *Environmental Science & Policy*, 89, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.07.003>
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. and Sombroek, W.G. (2017) World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre.
- Orimoloye, I. R., y Ololade, O. O. (2020). Global trends assessment of environmental health degradation studies from 1990 to 2018. *Environment, Development And Sustainability*, 23(3), 3251-3264. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00716-y>
- Orozco-Hernández, M. E., Mireles Lezama, P., Valdez Pérez, M. E., y Peña Manjarrez, V. (2012). INCENDIOS FORESTALES Y DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES: IMPACTOS LOCALES Y EMISIONES GLOBALES. EXPLORACIÓN DE LA SITUACIÓN EN EL ESTADO DE MÉXICO. *Revista Geográfica de América Central*, 2(), 1-21
- Ortiz, A. (2016). La Regionalización físico-geográfica y la degradación de los paisajes en el estado de Guerrero, México. [Tesis Doctoral] Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Osman, K. T. (2012). Soil Resources and Soil Degradation. En Springer eBooks (pp. 175-213). https://doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2_12

- Palacio Prieto, J. L., Sánchez Salazar, M.T., Casado Izquierdo, J.M., Propin Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., Chias Becerril, L., Ortiz Álvarez, M.I., González Sánchez, J., Negrete Fernández, G., Gabriel Morales, J., y Márquez Huitzil, R., (2004) Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Secretaría de Desarrollo Social.
- Patsios, S. I., Kontogiannopoulos, K. N., & Banias, G. F. (2021). Environmental impact assessment in agri-production. In *Elsevier eBooks* (pp. 83–116). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819774-5.00005-9>
- Peña, L., Córdova, M., Alatorre, L., Torres O., Moreno-Murrieta, R., Salas, V., Rojas-Villalobos, H., Gómez, V., Uc-Campos, M. y González, M. (2022). Degradación y deforestación en la cuenca del río Conchos (México): modelado predictivo mediante regresión logística (1985-2016). *Cuadernos Geográficos*. 61. 129-149. [10.30827/cuadgeo.v61i1.21629](https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i1.21629).
- Pérez-Cutillas, P., Álvarez, J. P. A., Ortega, E. F. S., García, C. C., y Cabañero, J. J. A. (2019). La degradación ambiental y sus efectos en la contaminación de las aguas superficiales en la cuenca del río Conchos (Chihuahua - México). *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada/Cuadernos Geográficos*, 58(1). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6636>
- Pérez-Vega, A., Álvarez, F. y García, H. (2017). Distribución espacial del uso/cubierta del suelo y degradación forestal en la reserva de la biosfera Sierra Gorda de Guanajuato. *Acta Universitaria*. 26. 33-44. [10.15174/au.2016.1500](https://doi.org/10.15174/au.2016.1500).
- Pérez-Vega, A., García, H. H. R., y Causse, J. F. M. (2020). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas/Investigaciones Geográficas - Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México*, 103. <https://doi.org/10.14350/riq.60150>
- Perring, MP, TE Erickson y PHS Brancalion. 2018. Restauración acelerada: posibilitando la ampliación de la restauración ecológica en el Antropoceno. *Ecología de la restauración* 26(6):1017-1023. <https://doi.org/10.1111/rec.12871>
- Pollesch, N., & Dale, V. (2016). Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. *Ecological Economics*, 130, 195–208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.06.018>
- Polyakov, V., Baffaut, C., Ferro, V., & Van Pelt, S. (2023). Advances in soil erosion research: Mechanisms, modeling and applications - A special issue in honor of Dr. Mark Nearing. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(4), 589–591. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.006>
- Priego-Santander A. y Bocco-Verdinelli, G. (2016) Paisajes Naturales. En: Geografía De México: Una reflexión espacial contemporánea. José Omar Moncada Maya Álvaro López López (coordinadores). Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- Priego-Santander, Á., Bocco, G. y Palacio, J. (2012). Mapa de Paisajes físico-geográficos de México. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2787>
- Ramírez-Sánchez, L.G., Priego-Santander, A.G., Bollo-Manent, M., (2022). Modificación Antropogénica de la cubierta vegetal de los paisajes naturales de Michoacán. En: PAISAJE Y TERRITORIO EN EL OCCIDENTE MICHOACANO. Pp. 215-244.
- Ramón Puebla, Adonis Maikel, & Bollo Manent, Manuel. (2023). El índice de antropización de la cubierta vegetal como medida de la antropización de áreas naturales protegidas: Caso Pico Azul-La Escalera, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 17770. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.57-2.4>
- Rejalada, L. (2016). Estado Del Arte Sobre Degradación De Bosques En Una Selección De Países Latinoamericanos, Paraguay. En: Degradación De Bosques En Latinoamérica Síntesis Conceptual, Metodologías De Evaluación Y Casos De Estudio Nacionales. Publicado Por Ibero-Redd+
- Reyes-Escutia, F., Barrasa, S., Miceli, C., Rivera, G., Velázquez, E. (2010). La complejidad de la problemática ambiental en Chiapas. En: Biodiversidad y Sustentabilidad, Investigación para la conservación en las áreas naturales protegidas de Chiapas. Vol 1. p. 21-53. Editorial Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Rocha, J. C., Peterson, G., Bodin, Ö., & Levin, S. (2018). Cascading regime shifts within and across scales. *Science*, 362(6421), 1379–1383. <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>
- Rocha-Díaz, M. F. (2013). Migración ambiental y cambio climático en una mirada a las actuales tendencias y los futuros escenarios en el estado de Chiapas [Tesis Doctoral, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/628628?show=full>
- Ruiz, V. y González T. (2016). Estado Del Arte Sobre Degradación De Bosques En Una Selección De Países Latinoamericanos, Nicaragua. En: Degradación De Bosques En Latinoamérica Síntesis Conceptual, Metodologías De Evaluación Y Casos De Estudio Nacionales. Publicado Por Ibero-Redd+
- Salirrosas, L. V. C. (2023). Impactos Negativos y Posibles Tratamientos para la Degradación Ambiental. *High Tech - Engineering Journal*, 3(1), 48-52. <https://doi.org/10.46363/high-tech.v3i1.4>
- SEMARNAT (2012), *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México 2010*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Estadística e Información Ambiental [\[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_201_cd/pdf/Version_completa.pdf\]](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_201_cd/pdf/Version_completa.pdf) [Links].
- Shrinkhal, R. (2019). Economics, Technology, and Environmental Protection. En Elsevier eBooks (pp. 569-580). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813912-7.00022-3>.

- Sietz, D., Fleskens, L., & Stringer, L. C. (2017). Learning from Non-Linear Ecosystem Dynamics Is Vital for Achieving Land Degradation Neutrality. *Land Degradation and Development*, 28(7), 2308–2314. <https://doi.org/10.1002/ldr.2732>
- Singh, V., Yadav, S., Yadav, K. y Yadava, R. (2022). Environmental Degradation: Challenges and Strategies for Mitigation. In, Environmental Degradation: Challenges and Strategies for Mitigation. En Water science and technology library. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-95542-7>
- Solomon, N., Birhane, E., Tilahun, M. et al. Revitalizing Ethiopia's highland soil degradation: a comprehensive review on land degradation and effective management interventions. *Discov Sustain* 5, 106 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00282-7>
- Sommano, J., Delgado, J., López, Á., Ayala, Á., Cruz, O., Menéndez, M. y Reyes, O. (2023). Comparación de técnicas y herramientas para la selección de variables. *Ciencia y Mar*. 27. 103-110. 10.59673/cym.v27i80.9.
- Soni, H., Yadav, R. K., & Patra, S. K. (2024). Global Impact of Urbanization on Ecosystems: A Comprehensive Bibliometric analysis. *Natural Hazards Research*. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.04.001>
- Srinivasan, V., Lambin, E. F., Gorelick, S. M., Thompson, B. H., y Rozelle, S. (2012). The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water Resources Research*, 48(10). <https://doi.org/10.1029/2011wr011087>
- Stanturf, J. A. (2015). What is forest restoration? In *CRC Press eBooks* (pp. 16–31). <https://doi.org/10.1201/b18809-5>
- Stanturf, J. A. (2020). Landscape degradation and restoration. In *Elsevier eBooks* (pp. 125–159). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813193-0.00005-9>
- Stanturf, J. A. (2021). Landscape degradation and restoration. En *Elsevier eBooks* (pp. 125-159). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813193-0.00005-9>
- Strassburg, B. B. N., Iribarrem, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., Junqueira, A. B., Lacerda, E., Latawiec, A. E., Balmford, A., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Chazdon, R. L., Erb, K., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P. F., . . . Visconti, P. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Suding, K., Spotswood, E., Chapple, D., Beller, E., & Gross, K. (2016). Ecological dynamics and ecological restoration. In *Island Press/Center for Resource Economics eBooks* (pp. 27–56). https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1_2
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. (2017). Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index. *Ecological Indicators*, 75, 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.043>

- Symeonakis, E., Calvo-Cases, A., y Arnau-Rosalen, E. (2007). Land Use Change and Land Degradation in Southeastern Mediterranean Spain. *Environmental Management*, 40(1), 80-94. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0059-0>.
- Teixeira, N., Moura, P., Lima, I., y Silva, E. (2022). SUBSÍDIOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DA GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL. *REDE - Revista Eletrônica Do PRODEMA*, 15(2), 62-71. Recuperado de <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/677>
- Tenesaca, M. (2021). Análisis de la cobertura de proyectos viales en el área rural de la Provincia de Guayas, Ecuador (2016-2017). Tesis de Maestría. Universidad de Salzburg.
- Thompson, I. D., Guariguata, M. R., Okabe, K., Bahamondez, C., Nasi, R., Heymell, V., y Sabogal, C. (2013). An Operational Framework for Defining and Monitoring Forest Degradation. *Ecology And Society*, 18(2). <https://doi.org/10.5751/es-05443-180220>
- Tietenberg, T. H., y Lewis, L. (2016). *Environmental and Natural Resource Economics*. En Routledge eBooks. <https://doi.org/10.4324/9781315523972>
- To, A. H., Ha, D. T., Nguyen, H. M., y Vo, D. H. (2019). The Impact of Foreign Direct Investment on Environment Degradation: Evidence from Emerging Markets in Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health/International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1636. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091636>
- Tovilla, J. (2024). Ocosingo. Facebook. (n.d.). <https://www.facebook.com/search/top/?q=Julio%20Cesar%20Tovilla%20Ocosingohttps://www.facebook.com/share/p/1BbYSAFpte/>
- Tovillas-Hernández (2008). La dimensión de la crisis ambiental en la costa de Chiapas y la Necesidad de un programa de Ordenamiento de las actividades. En: La frontera sur. Reflexiones sobre El Soconusco, Chiapas y sus problemas ambientales, poblacionales y productivos. <http://ru.juridicas.unam.mx/xmlui/handle/123456789/11746>. ISBN 970-9712-6-3. México.
- Trejo, Y. (2020). Uso de indicadores demográficos en los estudios de impacto ambiental y socio-cultural. *Revista Geográfica Venezolana*, 61(1), 178+. <https://link.gale.com/apps/doc/A632560989/IFME?u=anon~161ae4ce&sid=googleScholar&xid=2fd3c064>
- Tulloch, V. J., Tulloch, A. I., Visconti, P., Halpern, B. S., Watson, J. E., Evans, M. C., Auerbach, N. A., Barnes, M., Beger, M., Chadès, I., Giakoumi, S., McDonald-Madden, E., Murray, N. J., Ringma, J., & Possingham, H. P. (2015). Why do we map threats? Linking threat mapping with actions to make better conservation decisions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(2), 91–99. <https://doi.org/10.1890/140022>

- Tyagi, S., Garg, N., y Paudel, R. (2014). Environmental Degradation: Causes and Consequences. *Evropejskij Isslodovatel'*, 81(8-2), 1491. <https://doi.org/10.13187/er.2014.81.1491>.
- UNCCD (2016). Land in balance. The scientific conceptual framework for land degradation neutrality (LDN). Science-Policy Brief 02. September 2016, United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Science-Policy Interface, Bonn, Germany
- Vačkář, D. (2012). Ecological Footprint, environmental performance and biodiversity: A cross-national comparison. *Ecological Indicators*, 16, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.008>
- Valdez-Galvez, M., Coronado-González, Y. y Camarena-Gómez, B. (2023). Degradación ambiental y sustentabilidad en áreas con prácticas agrícolas intensivas de Sonora, México. *Scientia et PRAXIS*. 3. 26-50. <https://doi.org/10.55965/setp.3.coed1.a2>
- Vargas, F. (2015). Estado Ambiental de la Región Bajío, Michoacán en el Periodo 1990, 2000 y 2010. [Tesis de Maestría] Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vásquez, H. (2021). Degradación ambiental y riesgo de desastres en la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinemann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K., Golubiewski, N., Grau, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D. C., Chowdhury, R. R., Shibata, H., Thomson, A., y Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>
- Wainaina, P., Minang, P. A., y Muthee, K. (2023). Relational values within landscape restoration: a review. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 101335. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101335>
- Watson, J. E. M., Dudley, N., Segan, D. B., y Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515(7525), 67–73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>
- Winograd, M. (1995) Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sostenibilidad para toma de decisiones en América Latina y el Caribe. Documento para discusión Taller Regional sobre uso y desarrollo de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad. PNUMA - CIAT. México, D.F.
- Yeganeh, K.H. (2020), "A typology of sources, manifestations, and implications of environmental degradation", [Management of Environmental Quality](https://doi.org/10.1108/MEQ-02-2019-0036), Vol. 31 No. 3, pp. 765-783. <https://doi.org/10.1108/MEQ-02-2019-0036>
- Yin, C., Zhao, W., & Pereira, P. (2024). Ecosystem restoration along the “pattern-process-service-sustainability” path for achieving land degradation neutrality.

- Landscape and Urban Planning*, 253, 105227.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105227>
- Yin, C., Zhao, W., & Pereira, P. (2024). Ecosystem restoration along the “pattern-process-service-sustainability” path for achieving land degradation neutrality. *Landscape and Urban Planning*, 253, 105227.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105227>
- Yin, C., Zhao, W., Cherubini, F., & Pereira, P. (2021). Integrate ecosystem services into socio-economic development to enhance achievement of sustainable development goals in the post-pandemic era. *Geography and Sustainability*, 2(1), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.03.002>
- Zaragoza, R., Peters, E., Bollo-Manent, M. y Hernández Santana, J. (2013). Áreas Prioritarias de Geo-conservación de la biodiversidad en la Península de Baja California, México. *Journal of Latin American Geography*. 12 (3) 7-31.
<https://doi.org/10.1353/lag.2013.0036>.
- Zhang, K., Li, X., Zhou, W., Zhang, D., y Yu, Z. (2006). Land resource degradation in China: Analysis of status, trends and strategy. *International Journal of Sustainable Development y World Ecology*, 13(5), 397–408.
<https://doi.org/10.1080/13504500609469689>
- Zhang, Q., Tang, F., Chen, H., Li, F., Chen, Z., & Jiao, Y. (2024). Assessing landscape fragmentation and ecological connectivity to support regional spatial planning: A case study of Jiangsu province, China. *Ecological Indicators*, 162, 112063.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112063>