



ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO LOCAL DE LERDO, DURANGO



PRONÓSTICO



Comité de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Lerdo

Por el Gobierno del Estado de Durango

Dr. Esteban Alejandro Villegas Villareal

Gobernador Constitucional del Estado de Durango

Mtra. Claudia Ernestina Hernández Espino

Secretaria de Recursos Naturales y Medio Ambiente

M.C. Adán Álvarez Haros

Coordinador de Ordenamientos Ecológicos en el Estado de Durango

Dr. Luis Óscar Güereca Prado

Coordinador de Proyectos Estratégicos del Estado de Durango

Ing. Jaime Simental Ávila

Auxiliar Técnico de la Coordinación Estatal de Ordenamientos Ecológicos

Por el Gobierno del Municipio de Lerdo

Dr. Homero Martínez Cabrera

Presidente Constitucional del Municipio de Lerdo, Dgo.

Lic. Jesús Eduardo Lara Urby

Secretario del R. Ayuntamiento

Mtra. Alina Arlette Rivera Quiñones

Síndica Municipal

Lic. Ricardo Díaz Segovia

Director de Ecología y Medio Ambiente

Dr. Ricardo García Lazos

Coordinador General del Programa

Lic. Gerardo Medrano Mendoza

Presidente de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente

Lic. María Luisa González López

Secretaria de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente

Q.L. Salomé Elyt Sáenz

Vocal de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente

C. Dolores Luévanos Meza

Vocal de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente

C. Selene Galván Roque

Vocal de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente

Prof. Rosalío Alvarado Valenzuela

Director del Instituto Municipal de Planeación

Ing. Juan Antonio Sánchez López

Director de Servicios Públicos

Arq. Marco Antonio Solís Ramírez

Encargado de la Dirección de Obras Públicas

C.P. Jesús Mario Castrillón Jiménez

Director de Fomento Económico y Turismo

Lic. María Isabel Macías Sifuentes

Directora De Protección Civil

Ing. José Ignacio Ramírez Ontiveros

Director del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado

Lic. Enf. Roberto Carlos Calderón Gamboa

Jefe del Departamento de Prevención Social

Ing. Armando Castil Rivas

Sub-Jefe De Desarrollo Urbano

Lic. Lorenzo Ponce Díaz

Director De Desarrollo Rural

Ing. Daniel Salazar Gallegos

Director De Desarrollo Social

Arq. Leopoldo Roel Cervantes

Consejero

C. Julián Lira Hernández

Consejero

Lic. Héctor Onésimo Castro Guevara

Consejero

C. Alejandro Ulloa Campos

Consejero

**Por la Facultad de Ciencias Biológicas de la
Universidad Juárez del Estado de Durango**

M.C. Fernando Alonzo Rojo

Director

M.C. Nancy Yadira Treviño Meza

Secretaria Académica

Ing. Jorge Martín Castro Vitela

Secretario Administrativo

Dr. Jesús Josafath Quezada Rivera

Jefe de la División de Estudios de Posgrado

M.C. Miguel Ángel Garza Martínez

Responsable técnico de la Actualización del Programa de Ordenamiento Ecológico
Local del municipio de Lerdo, Dgo.

M.C. Víctor García Sandoval

Especialista

eLic. en Ecología José Concepción García García

Especialista

pBiol. Paloma Triana López

Especialista

Créditos de las fotografías de la portada:

Héctor Javier Flores Rocha (Photography-Ando) ®

Índice general

I. Pronóstico	8
III.1 Modelo conceptual del sistema socioambiental	9
III.2 Síntesis comparativa entre sectores.....	19
III.3 Imagen objetivo	20
III.4 Escenarios Tendencial, Contextual y Estratégico.....	21
III.4.1 Escenario Tendencial	24
III.4.2 Escenario Contextual	40
III.4.3 Escenario Estratégico.....	52
Referencias	65

Índice de mapas

Mapa 1. Escenario tendencial 2050.	37
Mapa 2. USV SVII a Escenario Tendencial Lerdo, Dgo.....	38
Mapa 3. Escenario Contextual 2050.	49
Mapa 4. USV SVII a Escenario Contextual.	50
Mapa 5. Escenario Estratégico 2050.....	61
Mapa 6. USV SVII a Escenario Estratégico.....	62

Índice de Tablas

Tabla 21 Variables identificadas y condiciones iniciales, Lerdo, Dgo.	25
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama causal del Sector agrícola.....	11
Figura 2 Diagrama causal del Sector Centros de Población.....	12
Figura 3 Diagrama causal del Sector Conservación de la Biodiversidad.....	13
Figura 4 Diagrama causal del Sector Ecoturismo.....	14
Figura 5 Diagrama causal del Sector Energético	15
Figura 6 Diagrama causal del Sector Industrial	16
Figura 7 Diagnóstico causal del Sector Minero	17
Figura 8 Diagrama causal del Sector Pecuario	18

Índice de Gráficas

Gráfica 1 Simulación KSIM para el Sector Agrícola bajo el Escenario Tendencial.	28
Gráfica 2 Simulación KSIM para el Sector Centros de Población bajo el Escenario Tendencial.....	29
Gráfica 3 Simulación KSIM para el Sector Conservación de la Biodiversidad bajo el Escenario Tendencial.	30
Gráfica 4 Simulación KSIM para el Sector Ecoturismo bajo el Escenario Tendencial.....	31
Gráfica 5 Simulación KSIM para el Sector Energético bajo el Escenario Tendencial.	32
Gráfica 6 Simulación KSIM para el Sector Industrial bajo el Escenario Tendencial.....	33
Gráfica 7 Simulación KSIM para el Sector Minero bajo el Escenario Tendencial.	34
Gráfica 8 Simulación KSIM para el Sector Pecuario bajo el Escenario Tendencial.	35
Gráfica 9 Simulación KSIM para los ocho sectores bajo el Escenario Tendencial.....	36
Gráfica 10 Escenario tendencial de Uso de Suelo y Vegetación	39
Gráfica 11 Escenario contextual Sector Agrícola	40
Gráfica 12 Escenario Contextual Sector Centros de población	41
Gráfica 13 Escenario Contextual Sector Conservación de la Biodiversidad	42
Gráfica 14 Escenario tendencial Sector Ecoturismo.....	43
Gráfica 15 Escenario contextual Sector Energético	44
Gráfica 16 Escenario Contextual Sector Industrial	45
Gráfica 17 Escenario Contextual Sector Minero.....	46
Gráfica 18 Escenario Contextual Sector Pecuario.....	47
Gráfica 19 Escenario contextual de los ocho sectores	48
Gráfica 20 Escenario contextual de Uso de Suelo y Vegetación Lerdo, Dgo.....	51
Gráfica 21 Escenario Estratégico Sector Agrícola.....	52
Gráfica 22 Escenario Estratégico Sector Centros de Población	53
Gráfica 23 Escenario Estratégico Sector Conservación de la Biodiversidad	54
Gráfica 24 Escenario Estratégico Sector Ecoturismo	55
Gráfica 25 Escenario Estratégico Sector Energético	56
Gráfica 26 Escenario Estratégico Sector Industrial	57
Gráfica 27 Escenario Estratégico Sector Minero	58
Gráfica 28 Escenario Estratégico Sector Pecuario	59

Gráfica 29 Escenario Estratégico de los 8 sectores	60
Gráfica 30 Escenario Estratégico Uso de Suelo y Vegetación	63

I. Pronóstico

El Reglamento en Materia de Ordenamiento Ecológico de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF, 2003) establece que la Etapa de Pronóstico tiene como objeto examinar la evolución de los conflictos ambientales, a partir de la previsión de variables naturales, sociales y económicas. Merino-Benítez y Bojórquez-Tapia (2021) explican que el Pronóstico complementa la perspectiva estática que ofrece el análisis de aptitud, ya que permite anticipar las posibles consecuencias de las propuestas sectoriales sobre la capacidad del territorio para conservar condiciones favorables. En términos prácticos, el Pronóstico implica integrar una comprensión amplia de las causas que generan cambios en el territorio. Esta comprensión exige adoptar una visión sustentada en un enfoque sistémico, que facilita identificar los procesos que originan la presencia simultánea de actividades sectoriales incompatibles, los impactos que ocurren a distancia y la acumulación progresiva de efectos ambientales.

Para el desarrollo de esta etapa se debe considerar lo siguiente (DOF, 2003):

- El deterioro de los bienes y servicios ambientales
- Los procesos de pérdida de cobertura vegetal, degradación de ecosistemas y de especies sujetas a protección
- Los efectos del cambio climático
- Las tendencias de crecimiento poblacional y las demandas de infraestructura urbana, equipamiento y servicios urbanos
- Los impactos ambientales acumulativos considerando sus causas y efectos en tiempo y lugar
- Las tendencias de degradación de los recursos naturales y de cambio de los atributos ambientales que determinan la aptitud del territorio para el desarrollo de las actividades sectoriales

La proyección futura de los conflictos ambientales debe construirse a partir de tres escenarios posibles de desarrollo: el tendencial, el contextual y el estratégico. Para ello, es necesario formular un modelo conceptual del sistema socioambiental, en el que se contemple el funcionamiento integral de los distintos factores que componen los ámbitos

natural, social y económico, los cuales ya han sido descritos y analizados en etapas anteriores.

Los resultados obtenidos en la etapa de Pronóstico sirven como base para evaluar la eficacia del proceso de ordenamiento ecológico. Desde la perspectiva de la gestión del territorio, el pronóstico implica convertir un conjunto de variables (naturales, sociales y económicas) en indicadores ambientales que permiten dar seguimiento y verificar el avance del Ordenamiento Ecológico.

III.1 Modelo conceptual del sistema socioambiental

De acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración de Ordenamientos Ecológicos Locales Participativos (SEMARNAT, 2023), el primer objetivo de la Etapa de Pronóstico consiste en elaborar un Modelo conceptual que describa y represente la realidad actual del sistema socioambiental del área de estudio. Este modelo constituye la base para elaborar los diferentes escenarios del pronóstico y será construido a partir de la participación social inclusiva, equilibrada y efectivamente representada en el Comité de Ordenamiento Ecológico Participativo.

Para comprender las causas y efectos del cambio en el uso del suelo dentro de los sistemas socioambientales, es habitual recurrir a herramientas de modelación dinámica. Este tipo de modelos permite representar y anticipar dichos procesos mediante simulaciones que capturan las relaciones de retroalimentación entre los componentes biofísicos y los socio-institucionales. Dependiendo del propósito del análisis y de la información disponible, los modelos pueden incorporar factores impulsores, decisiones de los actores involucrados y sus impactos (Merino-Benítez y Bojórquez-Tapia, 2021).

La construcción del Modelo conceptual del sistema socioambiental se realizó utilizando la metodología de Modelos de Depósitos y Flujos, la cual se fundamenta en la modelación constitutiva y tiene como objetivo representar de manera fiel la dinámica de los sistemas reales. Este enfoque implica la identificación de los componentes del sistema y sus respectivas unidades de análisis, así como el desarrollo de un diagrama que represente las interacciones entre dichos componentes. En este tipo de modelos, los flujos (también denominados variables forzantes) son entidades que modifican el estado de los depósitos (o variables de estado), al incrementar o reducir su magnitud. Un flujo con efecto positivo sobre un depósito se interpreta como una entrada al sistema, mientras que un efecto negativo representa una salida (Merino-Benítez y Bojórquez-Tapia, 2021).

El modelo conceptual para el municipio de Lerdo se desarrolló a partir de la información generada durante la Etapa de Diagnóstico, integrando elementos representativos de los componentes natural, social y económico. En el componente natural se incorporaron los principales recursos naturales, así como los bienes y servicios ambientales, poniendo énfasis en aquellos atributos ecológicos que resultan más relevantes y que condicionan el desarrollo de las actividades productivas. En cuanto al componente social, se consideraron las distintas actividades productivas que hacen uso del territorio municipal, ya sea mediante el aprovechamiento directo de los recursos naturales o a través del uso de bienes y servicios ecosistémicos, analizando además su relación con la expansión de los asentamientos humanos. Del componente económico se incluyeron las principales actividades productivas presentes en el área sujeta a ordenamiento. Finalmente, se integraron procesos transversales que inciden en el funcionamiento y la interacción de los componentes del sistema, tales como el cambio climático, la degradación del suelo y la contaminación.

Los diagramas del Modelo conceptual se elaboraron con el programa VENSIM PLE, una herramienta visual de modelización que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas y provee una forma simple y flexible de construir modelos de simulación, a través de, o bien lazos causales o bien diagramas de stock y flujo (*Ventana Systems*, 2025).

Se diseñaron nueve diagramas causales que representan los principales factores que inciden en la transformación del territorio, así como sus efectos sobre los componentes ambientales y las actividades sectoriales. Las interacciones entre variables fueron clasificadas como positivas (indicadas mediante flechas azules) cuando el cambio en una variable genera un efecto en la misma dirección sobre otra; es decir, un incremento (o disminución) en la variable causante produce un incremento (o disminución) en la variable dependiente. En contraste, las interacciones se consideraron negativas (representadas con flechas rojas) cuando el cambio en una variable induce una respuesta en sentido opuesto en la otra; es decir, un aumento en la variable causante genera una disminución en la variable receptora, o viceversa. A continuación, se presentan los diagramas y su descripción:

En este diagrama (Figura 1) se observa que una mayor inversión en el sector agrícola promueve su crecimiento, lo cual conlleva un incremento en el consumo de agua y en el uso de agroquímicos, reflejando una intensificación de las actividades productivas. Por su

parte, el uso intensivo de agroquímicos tiene efectos negativos sobre la calidad del agua y la calidad del suelo, mientras que el consumo excesivo de agua disminuye la disponibilidad de agua en presas y acuíferos. Estas reducciones también están asociadas al deterioro de la fertilidad del suelo, cerrando un ciclo de retroalimentación que compromete la sustentabilidad de la producción agrícola.

Por otro lado, el crecimiento del sector agrícola puede estar asociado a una reducción en la cobertura vegetal, lo que a su vez impacta negativamente la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna. La pérdida de cobertura vegetal también contribuye al cambio climático, lo cual retroalimenta negativamente al sector agrícola a través del aumento de la variabilidad climática y la disminución en la disponibilidad de recursos hídricos.

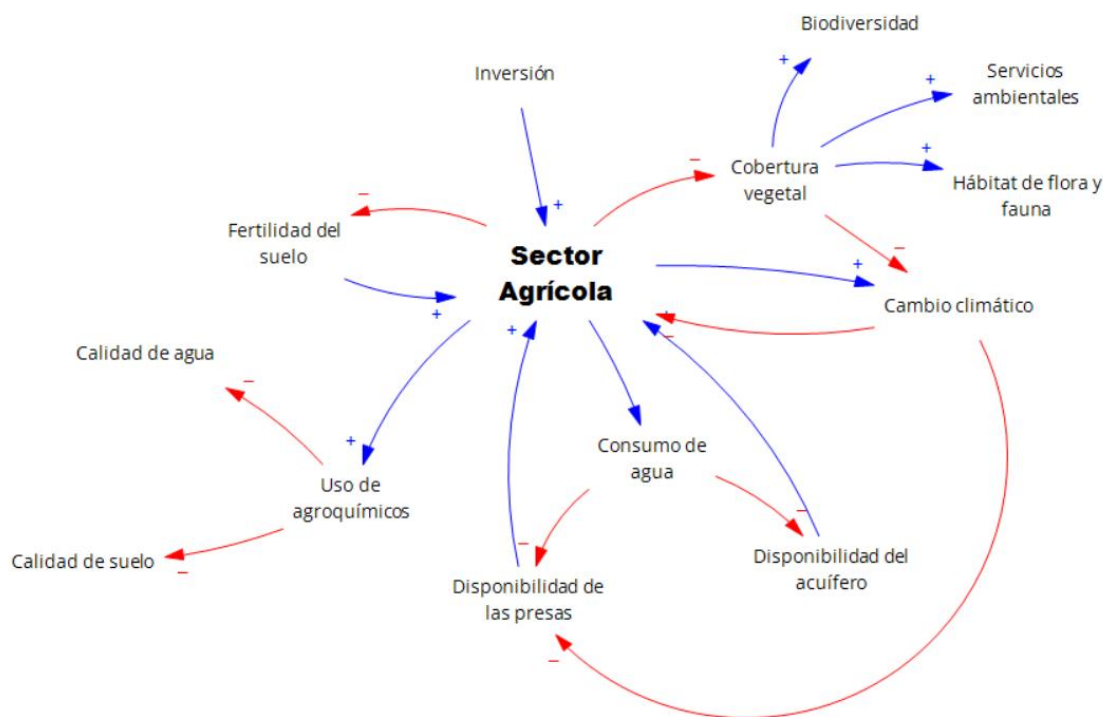


Figura 1 Diagrama causal del Sector agrícola

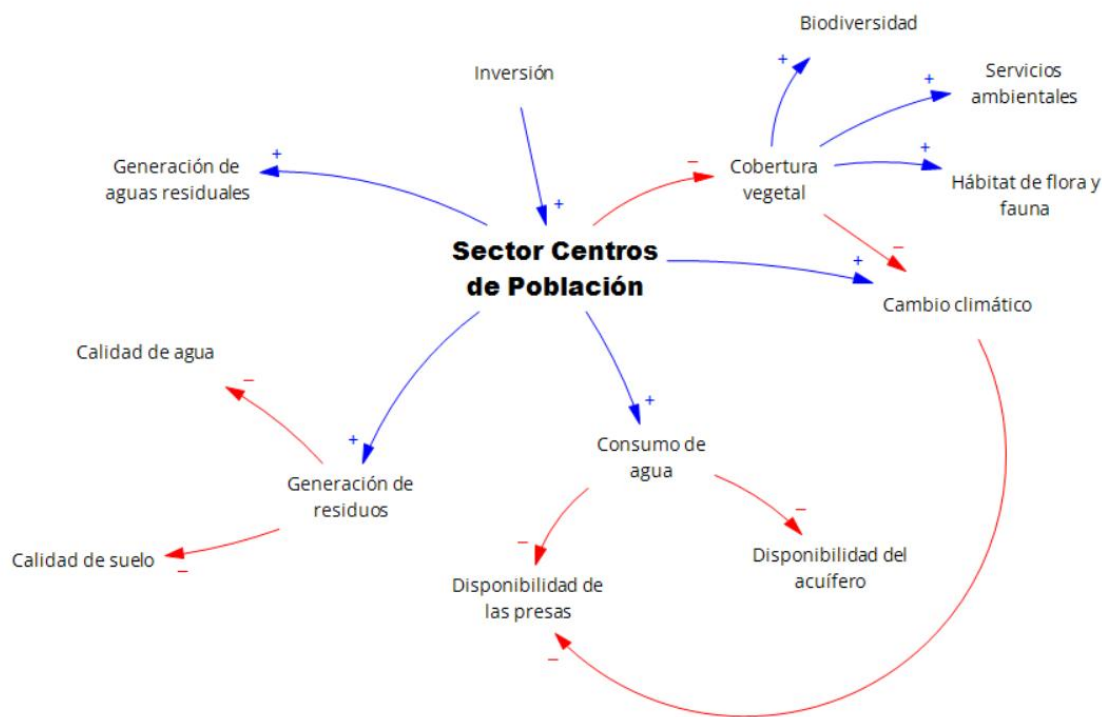


Figura 2 Diagrama causal del Sector Centros de Población

El diagrama (Figura 2) muestra que un aumento en la inversión en infraestructura y servicios urbanos impulsa el desarrollo del sector, lo cual genera un incremento en la generación de residuos y aguas residuales, así como en el consumo de agua. Dichas dinámicas están asociadas a procesos de urbanización intensiva y expansión territorial. El aumento en la generación de residuos y aguas residuales repercute de forma negativa en la calidad del agua y del suelo, mientras que el incremento en el consumo de agua reduce la disponibilidad hídrica tanto en presas como en acuíferos, afectando la sostenibilidad del abastecimiento.

El desarrollo urbano está asociado a una disminución de la cobertura vegetal, lo cual genera impactos negativos sobre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna. La pérdida de cobertura vegetal también intensifica el cambio climático, que a su vez retroalimenta de forma negativa al sector urbano mediante fenómenos como olas de calor, escasez de agua y mayor vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos.

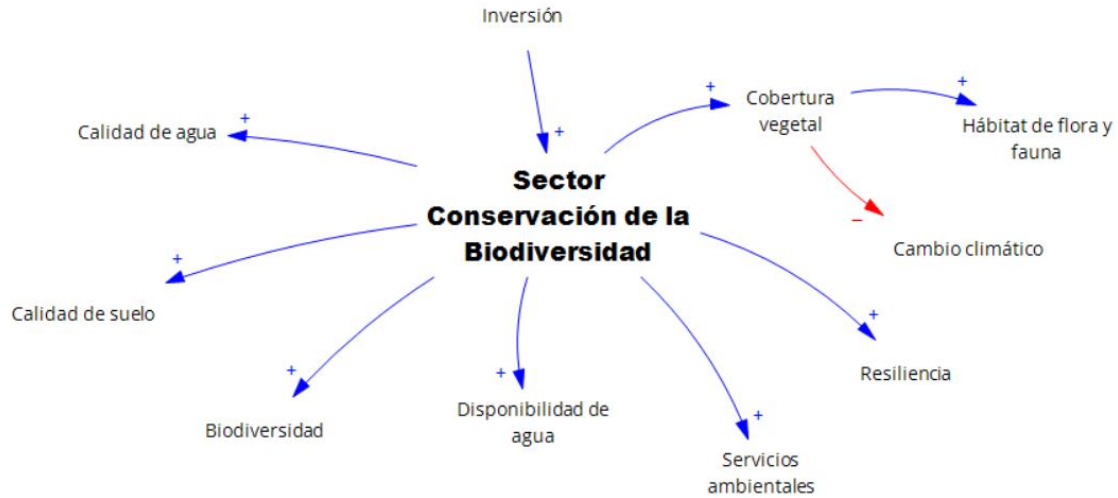


Figura 3 Diagrama causal del Sector Conservación de la Biodiversidad

Una mayor inversión en el Sector Conservación promueve una mejora en variables ecológicas clave como la cobertura vegetal, la biodiversidad, la disponibilidad de agua, y la calidad de los recursos naturales como el suelo y el agua. La recuperación de la cobertura vegetal impulsa de manera positiva el hábitat de flora y fauna, lo cual a su vez contribuye al mantenimiento de la biodiversidad. Estos elementos están asociados con un aumento en la resiliencia de los ecosistemas y una mayor provisión de servicios ambientales. En este diagrama destaca la interacción negativa entre la cobertura vegetal y el cambio climático, lo que indica que su incremento contribuye a la mitigación de este fenómeno. Este vínculo evidencia el papel estratégico que juega la conservación en la regulación climática, al favorecer procesos como la captura de carbono, la regulación hídrica y la estabilización de la temperatura local (Figura 3).

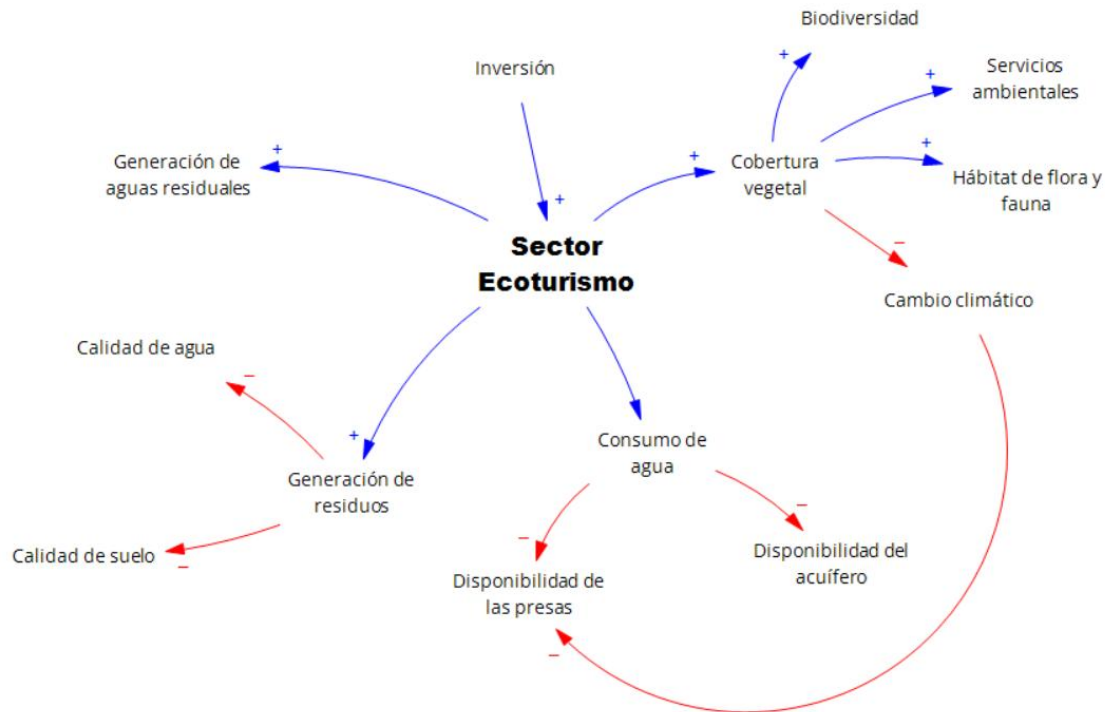


Figura 4 Diagrama causal del Sector Ecoturismo

El diagrama muestra que un incremento en la inversión destinada al Ecoturismo estimula el crecimiento del sector, lo cual conlleva un aumento en la generación de residuos y aguas residuales, así como en el consumo de agua, reflejando los impactos asociados al flujo de visitantes y a la infraestructura de servicios. Los impactos ambientales negativos de estos procesos incluyen la disminución de la calidad del agua y la calidad del suelo, debido a una mayor carga de contaminantes derivados del mal manejo de residuos y efluentes. A su vez, el aumento en el consumo de agua reduce la disponibilidad en presas y acuíferos, generando una presión sobre los recursos hídricos que puede comprometer su sostenibilidad a largo plazo.

Sin embargo, el sector ecoturístico también puede desempeñar un papel positivo en la conservación, particularmente cuando sus prácticas promueven la protección de la cobertura vegetal, lo cual repercute favorablemente en la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna (Figura 4).

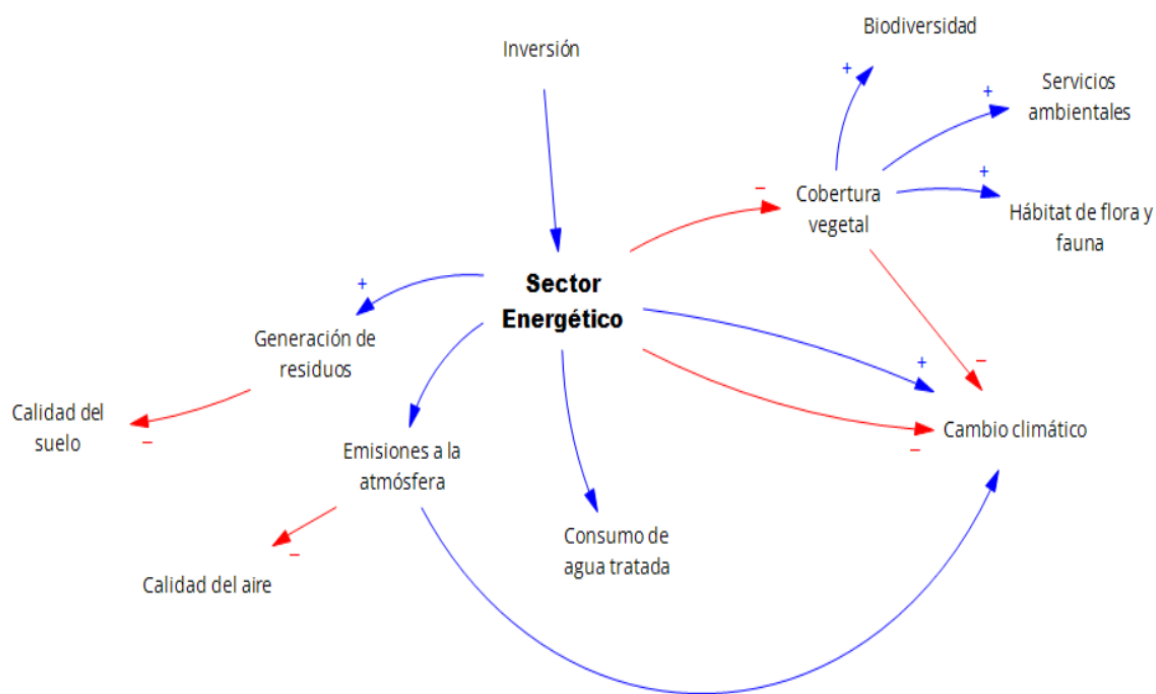


Figura 5 Diagrama causal del Sector Energético

Un incremento en la inversión en infraestructura energética estimula el desarrollo del sector, lo que a su vez genera un aumento en la generación de residuos, las emisiones a la atmósfera y el consumo de agua tratada. La emisión de contaminantes atmosféricos repercute negativamente en la calidad del aire, mientras que los residuos generados afectan la calidad del suelo. La generación de emisiones contribuye directamente al cambio climático, exacerbando los efectos de largo plazo sobre los sistemas socioambientales. De manera indirecta, el cambio climático también retroalimenta negativamente al sector, al generar condiciones ambientales más extremas que pueden afectar la producción, distribución o demanda de energía.

Por otro lado, el modelo muestra que el desarrollo energético puede tener efectos negativos sobre la cobertura vegetal debido a la construcción de infraestructura. Dicha pérdida de cobertura impacta a su vez en la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna.

En caso de proyectos de energías renovables, el sector impacta al cambio climático de forma negativa, es decir, un aumento en la generación de energía proveniente de fuentes

renovables, como la solar, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y, por ende, el cambio climático (Figura 5).

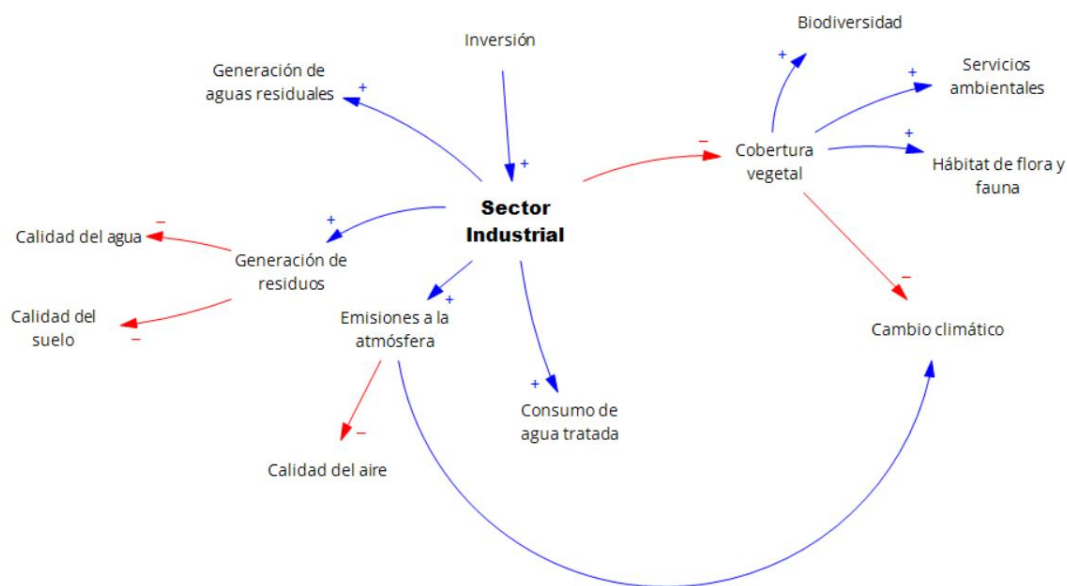


Figura 6 Diagrama causal del Sector Industrial

El aumento en la inversión en el Sector Industrial favorece su crecimiento, lo que conlleva un incremento en la generación de residuos, emisiones a la atmósfera, generación de aguas residuales y consumo de agua tratada. La generación de residuos industriales tiene efectos negativos directos sobre la calidad del agua y la calidad del suelo, mientras que las emisiones a la atmósfera disminuyen la calidad del aire. De igual manera, dichas emisiones contribuyen positivamente al cambio climático, al aumentar la concentración de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, se observa que el desarrollo del sector industrial puede provocar la disminución de la cobertura vegetal por la construcción de infraestructura. La pérdida de cobertura vegetal reduce la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna, generando efectos en cascada sobre la funcionalidad ecológica del paisaje. A su vez, esta pérdida de vegetación intensifica el cambio climático, al limitar los procesos de captura de carbono y regulación climática (Figura 6).

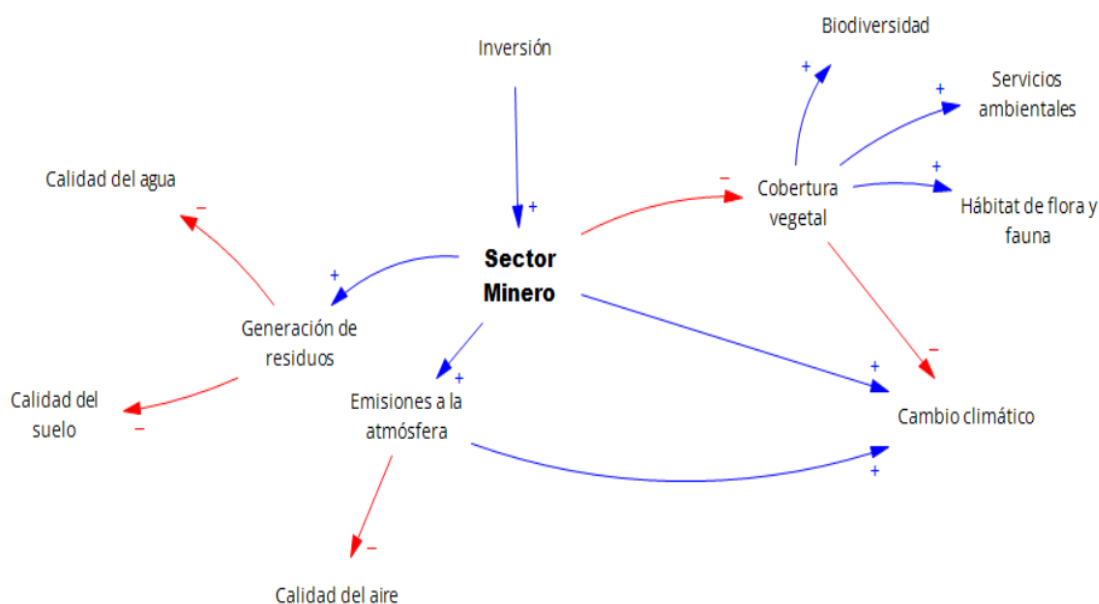


Figura 7 Diagnóstico causal del Sector Minero

Un incremento en la inversión minera impulsa la expansión del sector, lo que conlleva un aumento en la generación de residuos, las emisiones a la atmósfera y los efectos sobre el cambio climático. La generación de residuos afecta negativamente la calidad del agua y suelo, mientras que las emisiones atmosféricas, derivadas principalmente de procesos de extracción, molienda y transporte, deterioran la calidad del aire.

El modelo muestra que el desarrollo del sector minero se asocia a una reducción en la cobertura vegetal, ya sea por remoción directa del suelo, pérdida de hábitat o alteración del paisaje. Esta pérdida repercute negativamente en la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna, comprometiendo la funcionalidad ecológica del territorio. A su vez, la disminución de la cobertura vegetal contribuye al cambio climático al reducir la capacidad del sistema para capturar carbono (Figura 7).

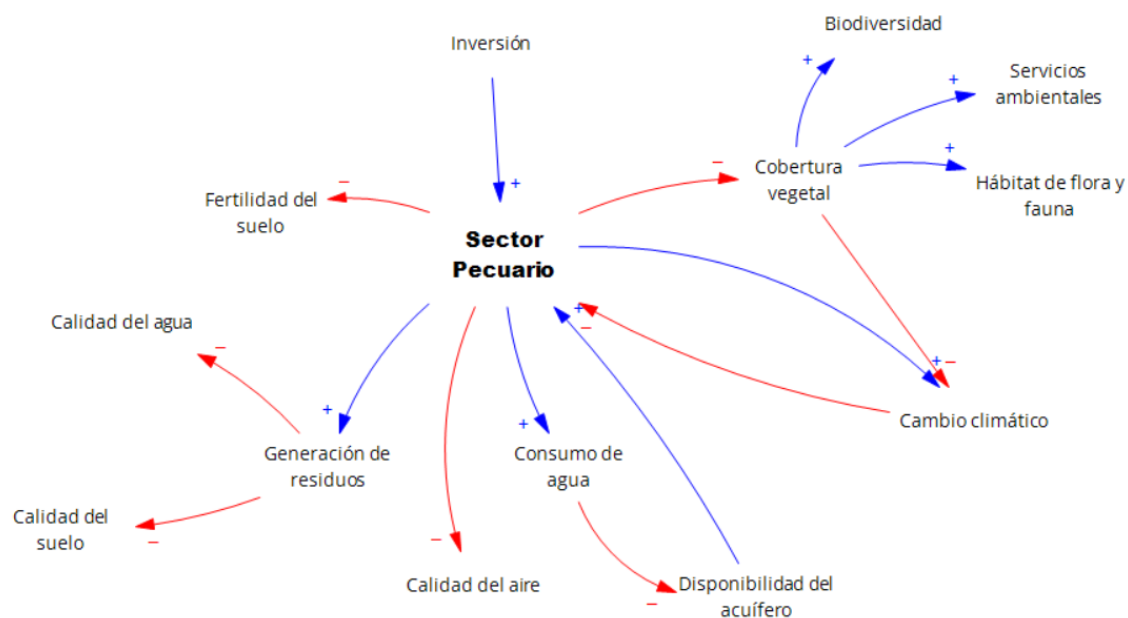


Figura 8 Diagrama causal del Sector Pecuario

En ese diagrama se observa que un aumento en la inversión impulsa el crecimiento del sector, lo cual genera un incremento en la generación de residuos, el consumo de agua y las emisiones que afectan directamente la calidad del aire. La generación de residuos y contaminantes reduce la calidad del agua, la calidad del suelo y, eventualmente, la fertilidad del suelo, comprometiendo tanto la integridad de los ecosistemas como la sostenibilidad de las propias prácticas productivas. El consumo intensivo de agua disminuye la disponibilidad del acuífero, reflejando una presión creciente sobre los recursos hídricos subterráneos.

A su vez, la expansión del sector pecuario contribuye a la reducción de la cobertura vegetal, ya sea por deforestación para el establecimiento de pastizales o por el sobrepastoreo, lo que afecta negativamente la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el hábitat de flora y fauna. Esta pérdida también está vinculada a un aumento en el cambio climático, tanto por la degradación de sumideros de carbono como por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la ganadería extensiva (especialmente metano y óxidos de nitrógeno). Además, el sector no solo contribuye al cambio climático, sino que también se ve afectado por sus impactos, como sequías más intensas y severas (Figura 8).

III.2 Síntesis comparativa entre sectores

El análisis de los modelos causales permite identificar patrones diferenciados en la intensidad, dirección y naturaleza de los efectos que los diversos sectores productivos ejercen sobre el medio ambiente. En términos generales, se observa que los sectores agrícola, pecuario, industrial, minero y, en menor medida, el ecoturismo y los centros de población, actúan predominantemente como sectores de presión ambiental, al inducir múltiples interacciones negativas que comprometen la calidad de los recursos naturales y la funcionalidad de los ecosistemas.

El análisis integrado de los modelos de depósitos y flujos aplicados a los principales sectores productivos y de conservación en el municipio de Lerdo evidencia que la transformación territorial responde a una red compleja de interacciones causales, muchas de las cuales generan efectos acumulativos y sinérgicos sobre los sistemas ambientales.

El sector agrícola se caracteriza por una fuerte presión sobre los recursos hídricos (presas y acuíferos), derivada de su elevado consumo de agua, así como por la degradación de la calidad del suelo y del agua, asociada al uso intensivo de agroquímicos. El sector pecuario, por su parte, presenta impactos similares, con efectos negativos adicionales sobre la fertilidad del suelo y la calidad del aire, resultado de las emisiones de metano y la acumulación de residuos orgánicos.

En el caso del sector industrial, se identifican relaciones causales negativas con la calidad del aire, del agua y del suelo, generadas por la emisión de contaminantes y residuos. Este patrón se intensifica en el sector minero, el cual comparte dichas afectaciones, pero con un nivel de impacto más severo y persistente, debido a la alteración directa del paisaje y la pérdida significativa de cobertura vegetal. Ambos sectores, además, contribuyen de forma directa al cambio climático mediante emisiones a la atmósfera.

El sector energético destaca por su fuerte contribución al cambio climático, así como por la pérdida de cobertura vegetal y la emisión de contaminantes atmosféricos. Aunque presenta algunas interacciones positivas asociadas al uso de agua tratada y potenciales mejoras en la calidad del aire, estas no compensan el impacto estructural del modelo energético dominante basada en fuentes fósiles, por lo que se debería promover la transición energética en la región.

En contraste, el sector conservación de la biodiversidad genera exclusivamente interacciones positivas. Este sector mejora la cobertura vegetal, la disponibilidad y calidad

del agua, la resiliencia ecosistémica y la provisión de servicios ambientales, subrayando su papel clave en la restauración y sostenibilidad del territorio.

Por su parte, el sector ecoturismo, si bien presenta algunas externalidades negativas relacionadas con la generación de residuos y el consumo de agua, también puede generar efectos positivos sobre la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos cuando se gestiona de manera responsable. Así, se posiciona como un sector con potencial dual, susceptible de evolucionar hacia esquemas de sustentabilidad si se regulan sus impactos.

III.3 Imagen objetivo

De acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración de Ordenamientos Ecológicos Locales Participativos (SEMARNAT, 2023), la Imagen objetivo representa la construcción participativa del escenario ideal, esperado y estratégico con base en la aproximación progresiva hacia los escenarios deseables en el territorio a ordenar, que resultan de la aplicación de medidas de corrección, políticas públicas o programas de gobierno.

A partir de la participación de diversos actores del municipio de Lerdo en los talleres organizados por la Dirección de Medio Ambiente y Ecología se elaboró la imagen objetivo en la que se definieron las metas generales que deben cumplirse en el programa de Ordenamiento Ecológico. A continuación, se transcribe dicha imagen objetivo:

“En el año 2050, Lerdo ha logrado consolidar un modelo de desarrollo sustentable, orientado por criterios ecológicos y un uso del territorio acorde con su aptitud natural. El sector agrícola opera con tecnologías eficientes y prácticas de manejo sustentable del suelo y agua. El sector pecuario se ubica estratégicamente, mejorando el manejo de pastizales y reduciendo los procesos de erosión y sobrepastoreo.

El municipio se ha posicionado como un nodo regional para la industria concentrando estas actividades en zonas de alta aptitud, minimizando conflictos de uso de suelo y los impactos ambientales negativos, garantizando el cumplimiento de la legislación ambiental correspondiente. Asimismo, se ha impulsado la transición energética mediante el desarrollo de parques solares en áreas idóneas. La minería se realiza bajo criterios de sustentabilidad y esquemas de responsabilidad ambiental y social.

Se recuperaron más del 50% de las zonas degradadas, priorizando áreas críticas para la regulación hídrica y la recarga de acuíferos. Las acciones de restauración incluyen obras

de conservación de suelos, reforestación con especies nativas y el manejo comunitario de zonas de conservación.

Se incrementó la superficie del municipio bajo esquemas de protección al crearse una nueva Área Natural Protegida de competencia estatal. Se han fortalecido los programas de conservación, promoviendo la conectividad ecológica y el mantenimiento de la biodiversidad nativa. El sector ecoturístico ha crecido de forma ordenada en sitios con alto valor escénico y ecológico, generando beneficios económicos locales y fomentando la educación ambiental y el respeto por el patrimonio natural y cultural.”

III.4 Escenarios Tendencial, Contextual y Estratégico.

El objetivo de este apartado consiste en visualizar las posibles interacciones entre las distintas actividades productivas y comprender cómo esta compleja red de procesos y eventos influye en la configuración del uso del territorio. En particular, se busca identificar los efectos sobre el aprovechamiento de los recursos naturales, así como de los bienes y servicios ambientales provistos por los diferentes ecosistemas presentes en el área de estudio. Esto se realiza a partir de la proyección del Modelo conceptual del sistema socioambiental a futuro bajo tres supuestos escenarios de desarrollo: Tendencial, Contextual y Estratégico.

Escenario Tendencial. Representa la proyección del comportamiento futuro de los atributos ambientales que determinan la aptitud del territorio para cada sector, permitiendo anticipar la posible aparición de conflictos ambientales. Su construcción se basa en el análisis histórico de variables clave, a partir del cual se calculan las tasas de cambio (por ejemplo, la transformación del uso del suelo, la pérdida de suelo, el crecimiento poblacional, entre otras) obtenidas durante las etapas de Caracterización y Diagnóstico. Este escenario parte del supuesto de que las actividades desarrolladas en el territorio mantendrán la misma dinámica observada hasta el momento, sin la implementación de medidas preventivas o correctivas. De este modo, la proyección derivada permite visualizar cómo la continuidad de las tendencias actuales podría intensificar los conflictos ambientales, afectando la sostenibilidad del territorio a mediano y largo plazo.

Escenario Contextual. Proyecta el comportamiento de la aptitud del territorio para cada sector considerando la implementación de proyectos específicos que, por su naturaleza y escala, pueden generar cambios significativos en la dinámica territorial. Para su construcción, se incorporan como elementos externos los programas gubernamentales y

las iniciativas de los sectores privado y social que se prevé desarrollar en el área de ordenamiento, tales como la construcción de vías de comunicación, parques industriales, rellenos sanitarios, complejos residenciales o turísticos, entre otros. Este escenario permite analizar cómo la ejecución de estos proyectos podría modificar la aptitud territorial y alterar el equilibrio entre los distintos usos del suelo, identificando tanto oportunidades de desarrollo como posibles conflictos ambientales derivados de su implementación.

Escenario Estratégico. Este escenario plantea cómo, mediante la implementación de medidas específicas (programas, acciones y regulaciones), es posible reducir las tendencias de deterioro detectadas en el territorio. A diferencia del Escenario Contextual, este enfoque resulta pertinente cuando no existe un proyecto en puerta, pero las proyecciones del escenario tendencial, utilizado como línea base, evidencian un rumbo desfavorable para los atributos ambientales y sectoriales. Su propósito es establecer intervenciones orientadas a prevenir y mitigar los conflictos ambientales más relevantes, así como a conservar y restaurar los bienes y servicios ecosistémicos. Se denomina “estratégico” porque constituye el fundamento para definir el patrón óptimo de ocupación del territorio y las disposiciones normativas que deberán incorporarse en el programa de ordenamiento ecológico durante la etapa de propuesta. Asimismo, integra las expectativas sociales respecto al desarrollo futuro del área de estudio, mostrando cómo la aplicación de estrategias ecológicas concretas puede contribuir a la resolución de conflictos y a la mejora de la aptitud territorial.

La elaboración de los tres escenarios para el municipio de Lerdo al año 2050 (Mapa 55,57, 59) se llevó a cabo mediante la metodología de Simulación Dinámica, también denominada Dinámica de Sistemas. Este enfoque permite representar el comportamiento colectivo de los componentes de un sistema, priorizando el análisis de sus interacciones y variaciones simultáneas a lo largo de un periodo determinado, en lugar de estudiar de forma aislada cada elemento. En el contexto de esta investigación, la Simulación Dinámica posibilita examinar de manera integral las causas y consecuencias de los cambios en el uso del suelo dentro de los sistemas socioambientales. Según lo expuesto por Merino-Benítez y Bojórquez-Tapia (2021), esta metodología presenta diversas ventajas:

- a) Facilita la vinculación entre el comportamiento de los sectores productivos, los factores poblacionales y económicos, y los atributos ambientales mediante sistemas de ecuaciones resueltos de manera simultánea.

- b) Permite representar de forma gráfica y simplificada las interrelaciones entre sectores y factores a través de esquemas analíticos estructurados
- c) Posibilita la simulación y proyección de los procesos de retroalimentación existentes entre los subsistemas biofísico y socioinstitucional.

La herramienta de Simulación Dinámica empleada en este trabajo fue el modelo KSIM (*Knowledge-based Simulation Model*). Esta herramienta, desarrollada por Kane (1972), modela el comportamiento de un sistema a partir de relaciones causales y ecuaciones que describen la evolución temporal de variables interdependientes, y ha demostrado un alto potencial para fortalecer la toma de decisiones en materia de gestión socioambiental a mediano y largo plazo (Kane *et al.*, 1973). Su principal utilidad radica en la capacidad de explorar, construir y evaluar escenarios futuros bajo un conjunto de hipótesis predefinidas (Bankes, 1993), lo que permite anticipar las consecuencias de distintos cursos de acción sobre los componentes del sistema. Este enfoque fomenta la denominada “conciencia anticipatoria”, entendida como la capacidad de identificar, con antelación, intervenciones oportunas y adecuadas para conducir o mantener un sistema socioambiental en condiciones deseables (Moallemi y Malekpour, 2018; Pruyt, 2007; Watson, 1978).

El proceso de modelación con KSIM parte de la construcción consensuada de la estructura del sistema socioambiental, mediante la identificación de sus componentes principales y de las relaciones causa-efecto que los vinculan. Una vez definidas estas relaciones, el algoritmo de KSIM resuelve simultáneamente las ecuaciones interdependientes y genera proyecciones gráficas del comportamiento del sistema para el horizonte temporal establecido (Burns y Marcy, 1979; Mohapatra y Vizayakumar, 1989). En este caso, el modelo integró variables biofísicas, socioeconómicas y de gobernanza, parametrizadas con la información obtenida en las etapas de Caracterización y Diagnóstico, e incluyó tasas de cambio históricas, tales como la transformación del uso del suelo, la pérdida de suelo, el crecimiento poblacional y la presión sobre los recursos hídricos.

De acuerdo con Merino-Benítez y Bojórquez-Tapia (2021), el desarrollo de un modelo KSIM comprende los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar el sistema de estudio.
- 2) Identificar las variables que describen su estructura y dinámica.
- 3) Definir las condiciones iniciales de cada variable.
- 4) Analizar y establecer las relaciones entre pares de variables.

5) Representar gráficamente el comportamiento del sistema.

Para representar espacialmente los Escenarios Tendencial, Contextual y Estratégico se utilizó el programa *TerrSET liberaGIS*, un sistema integrado de monitoreo y modelación geoespacial desarrollado por *Clark Labs* (2024) que combina herramientas de análisis de datos espaciales, teledetección, modelación ambiental y planificación territorial. Está diseñado para facilitar el procesamiento, interpretación y proyección de información geográfica en un entorno único, con una interfaz optimizada para el análisis de cambios en el territorio.

TerrSet incorpora algoritmos de Cadenas de Markov y Autómatas Celulares (CA-Markov), así como métodos de evaluación multicriterio (MCE) y aprendizaje automático, lo que le permite integrar factores biofísicos, socioeconómicos y de accesibilidad en la simulación de cambios espaciales. Esto permite generar escenarios tendenciales (con base en la dinámica histórica), de conservación (modificando probabilidades y restricciones) y de presión (aumentando probabilidades de cambio en zonas críticas). Además, incluye herramientas como VALIDATE, que permiten calcular índices Kappa (Kstandard, Kno, Klocation) para evaluar la precisión predictiva del modelo y su capacidad de replicar patrones reales de cambio.

Se utilizaron como insumos las capas de Uso de Suelo y Vegetación (Series IV a la VI)(Mapa 58,60,62), los tipos de cobertura se reclasificaron en seis categorías (Agricultura, Chaparral, Matorral micrófilo, Matorral rosetófilo, Otros tipos de cobertura y Superficie construida). Para cada tipo de cobertura se generaron los mapas multicriterio considerando variables naturales como la pendiente, exposición, altitud, etc. y socioeconómicas como la distancia a carreteras, distancia a fuentes de agua (canales y pozos) o la cercanía a centros poblacionales. Mediante el módulo Markov se realizó la matriz de probabilidades de transición y con el módulo CA-Markov se generaron los diferentes escenarios.

III.4.1 Escenario Tendencial

Las variables identificadas y las condiciones iniciales (Tabla 21) para el municipio de Lerdo fueron las siguientes:

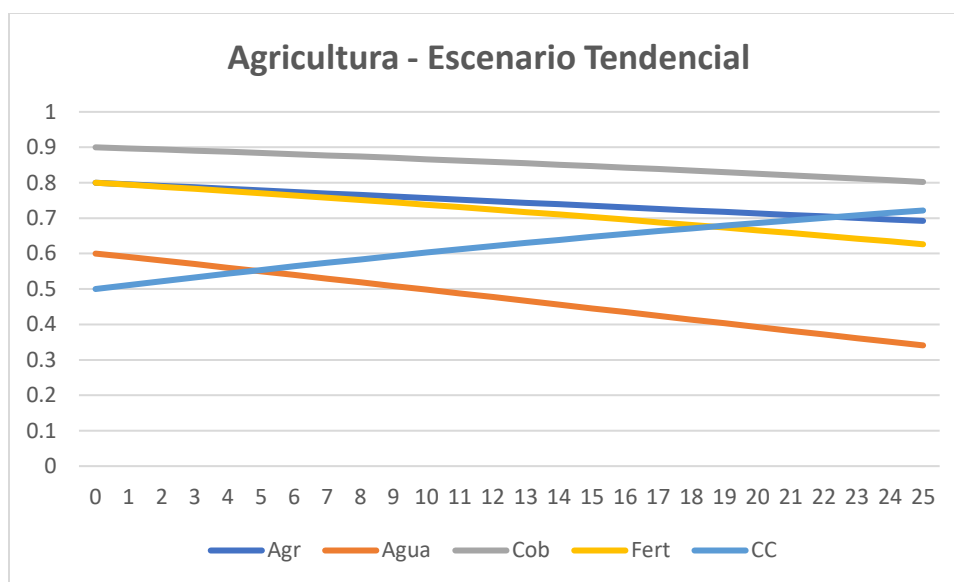
Tabla 1 Variables identificadas y condiciones iniciales, Lerdo, Dgo.

Variable	Descripción	Cantidad	Unidades	Fuente
Emisión de partículas	Emisión de partículas suspendidas de menos de 2.5 micrómetros (PM 2.5) en la Zona Metropolitana de La Laguna	7,363.56	Toneladas	IMPLAN Torreón, 2023
Emisión de partículas	Emisión de partículas suspendidas de menos de 10 micrómetros (PM 10) en la Zona Metropolitana de La Laguna	9,135.63	Toneladas	IMPLAN Torreón, 2023
Emisión de gases de efecto invernadero	Datos para la Comarca Lagunera fue de	5,188,691.04	Toneladas	IMPLAN Torreón, 2016
Emisión de Óxidos de Nitrógeno	Datos para la Comarca Lagunera	25,045.70	Toneladas	SEMARNAT, 2016 (Recuperado de IMPLAN Torreón, 2023)
Emisión de Gases de efecto invernadero	Generación de Monóxido de carbono (CO) en la Zona Metropolitana de La Laguna	76,312	Toneladas	SEMARNAT, 2016 (Recuperado de IMPLAN, 2023)
Uso de agua concesionada a uso agropecuario	Volumen de agua (superficial y subterránea) concesionado al sector agropecuario de la Comarca Lagunera	105.17 millones	Metros cúbicos	CONAGUA 2019 (Recuperado de IMPLAN Torreón 2023)

Uso de agua destinada a actividades agrícolas	Dato para los 15 municipios de la Comarca Lagunera	1,535.786 millones	Metros cúbicos	Representación Región Lagunera - Subdelegación de Planeación (2024)
Extracción de agua subterránea para uso agrícola	Datos para el año 2020	683.14 millones	Metros cúbicos	CONAGUA 2020 (Recuperado de IMPLAN Torreón 2023)
Consumo de agua para la industria	Información del Acuífero Principal – Región Laguna (2022)	64	Pozos	CONAGUA, 2022
		18.7	hectómetros cúbicos	
Generación de residuos sólidos urbanos	Generación diaria de residuos sólidos urbanos en la Zona Metropolitana de La Laguna	100 - 105	Toneladas	https://www.milenio.com/estados/gomez-genera-900-gramos-basura-per-capita-supera-torreon-lerdo
Generación de aguas residuales	Información a nivel municipal	450 - 500	Litros por segundo	https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2024/venta-de-aguas-residuales-en-lerdo-causa-debate.html
Generación de energía	Datos de la Nueva Central de Ciclo Combinado prevista para el municipio de Lerdo	22,674	MW (Mega watts)	https://energyandcommerce.com.mx/central-ciclo-combinado-lerdo-de-cfe-arrancara-en-junio-de-2025/
Conservación de la biodiversidad	Superficie del municipio decretada como ANP dentro del APRN Ríos y Montañas de la Comarca Lagunera	81,952.28	Hectáreas	CONANP, 2025
Producción agrícola de Lerdo 2024	Superficie sembrada	7,117.85	Hectáreas	SIAP, 2024
	Superficie cosechada	7,117.85	Hectáreas	
	Valor de producción	373,635.13	Miles de pesos	

Producción ganadera en Lerdo 2424	Producción de carne bovina	2,492	Toneladas	SIAP, 2024
	Valor de producción	162,305.30	Miles de pesos	
Recarga media anual del acuífero principal	Información para la zona de la Comarca Lagunera en 2020	534.10 millones	Metros cúbicos	CONAGUA 2020 (Recuperado de IMPLAN Torreón, 2023)
Visitas al Cañón de Fernández	Datos de la temporada vacacional de Semana Santa 2025	13,315	Individuos	https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2025/mas-de-13-mil-visitantes-recibe-el-canon-de-fernandez.html
		3,377	Vehículos	
Generación de empleos por instalación de industrias	Datos considerando 35 industrias anunciadas para el municipio	27,000	Empleos directos	https://www.milenio.com/esta-dos/lerdo-preparan-terreno-recibir-parque-solar-iberdrola
		100 mil millones	Pesos (MXN)	
Producción de mármol	Información del Ejido La Mina	3,000	Toneladas	https://oem.com.mx/elsoldelalaguna/local/ejido-la-mina-produce-3-mil-toneladas-diarias-de-marmol-18382301
Cambio climático	Cálculo de acuerdo con los Índices de cambio climático del Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) para el periodo 2003-2020	Aumento de 1.5 °C en la temperatura promedio	°C	Félix-Montes, 2025
		Reducción del 12% en precipitaciones anuales	mm / año	

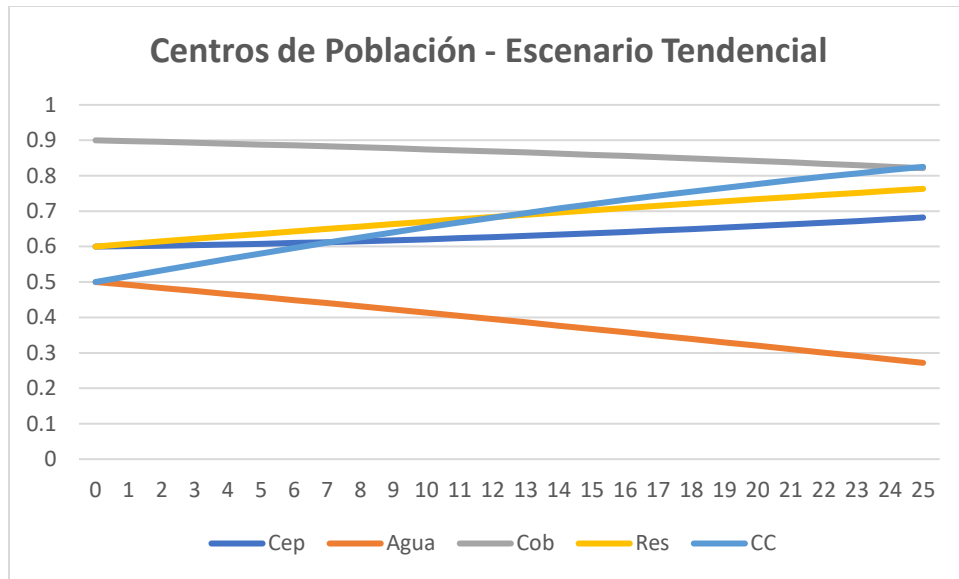
Sector Agrícola



Gráfica 1 Simulación KSIM para el Sector Agrícola bajo el Escenario Tendencial.

Bajo el Escenario Tendencial se observa un incremento progresivo en la expansión agrícola (Agr) a lo largo del tiempo, (Gráfica 6) lo que sugiere una continuidad en las dinámicas actuales de uso del suelo. Esta expansión ocurre a costa de una disminución sostenida en la disponibilidad de agua (Agua), lo que refleja una presión creciente sobre los recursos hídricos debido al uso intensivo para riego; una reducción en la cobertura natural (Cob), lo cual evidencia un proceso de conversión de con cobertura natural hacia usos agrícolas y a una disminución de la fertilidad del suelo (Fert) asociada a prácticas agrícolas no sostenibles y a la degradación paulatina de los suelos. Además, se observa un incremento leve del impacto del cambio climático (CC), lo que podría interpretarse como una retroalimentación negativa derivada de la transformación del territorio y la pérdida de cobertura vegetal.

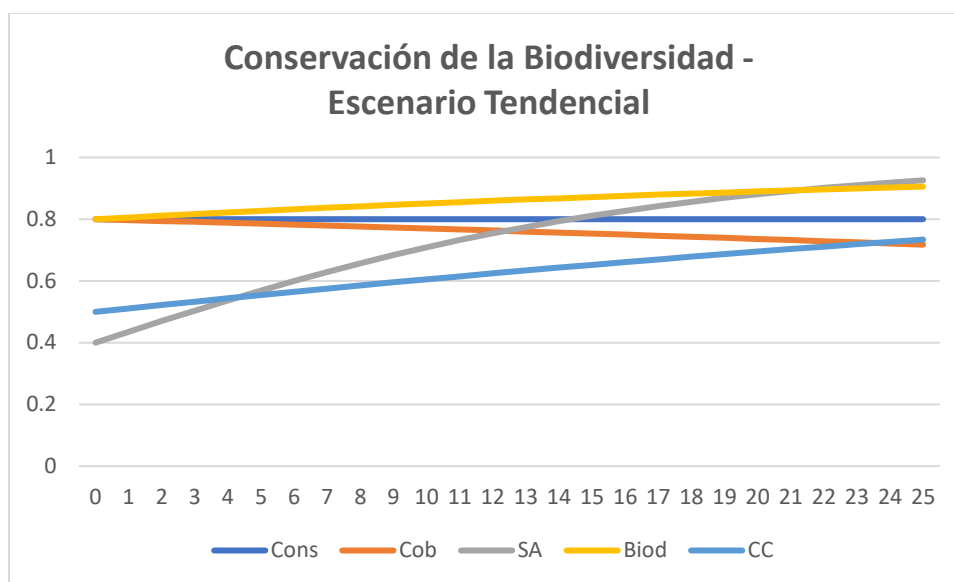
Sector Centros de Población



Gráfica 2 Simulación KSIM para el Sector Centros de Población bajo el Escenario Tendencial

Este escenario refleja el crecimiento poblacional y urbano bajo condiciones actuales, sin nuevas intervenciones. Los Centros de Población (Cep) muestran una tendencia creciente (Gráfica 7), lo cual implica un proceso de urbanización continua y expansión territorial no regulada. Los recursos hídricos (Agua) presentan una disminución constante, lo que refleja una sobreexplotación de recursos hídricos por parte de la población creciente. La Cobertura natural (Cob) disminuye de forma ligera, evidenciando la pérdida de áreas vegetadas ante la expansión urbana. Los Residuos (Res) incrementan paulatinamente, en consonancia con el crecimiento poblacional y la falta de políticas efectivas de manejo integral de residuos sólidos. Por último, el Cambio climático (CC) también muestra una tendencia ascendente, lo que puede estar vinculado a la mayor generación de gases de efecto invernadero y pérdida de cobertura vegetal.

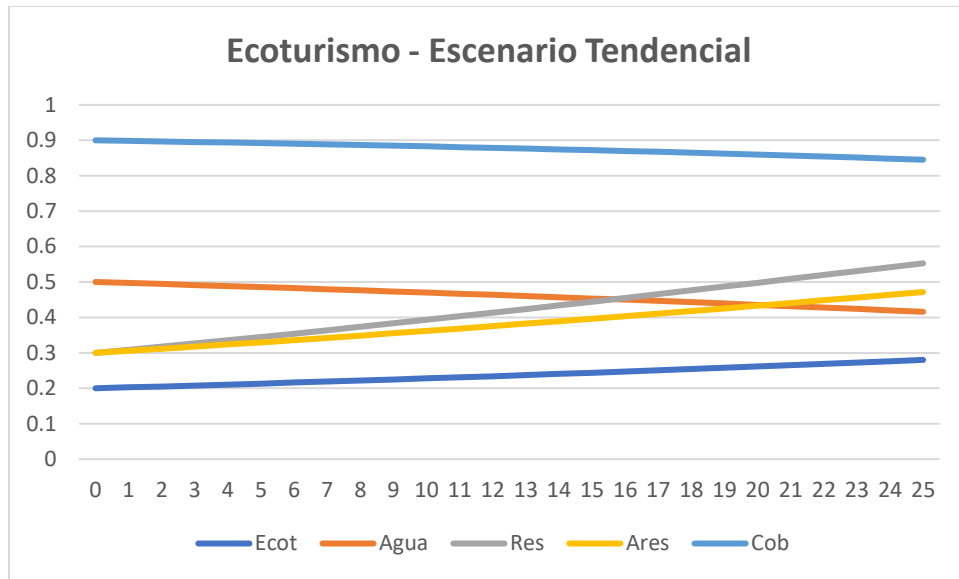
Sector Conservación de la Biodiversidad



Gráfica 3 Simulación KSIM para el Sector Conservación de la Biodiversidad bajo el Escenario Tendencial.

Bajo este Escenario se asume la continuidad de las condiciones actuales, sin nuevas políticas o intervenciones estratégicas. El Sector Conservación (Cons) muestra un incremento leve (Gráfica 8), lo cual podría reflejar esfuerzos institucionales mínimos o limitados en ejecución efectiva. Por su parte, la Cobertura natural (Cob) muestra una ligera tendencia negativa, indicando pérdida progresiva de vegetación natural, probablemente por expansión agrícola, urbana o actividades extractivas. Los Servicios Ambientales (SA) presentan un incremento paulatino, dado el mantenimiento de la biodiversidad en el Área Natural Protegida Ríos y Montañas de la Comarca Lagunera. La Biodiversidad (Biod) mejora levemente, lo que podría relacionarse con la ampliación de áreas conservadas, aunque sin impactos contundentes debido a la pérdida de cobertura. El Cambio climático (CC) se incrementa, lo cual representa una presión ambiental constante, posiblemente derivada de la fragmentación de hábitats y emisiones acumuladas.

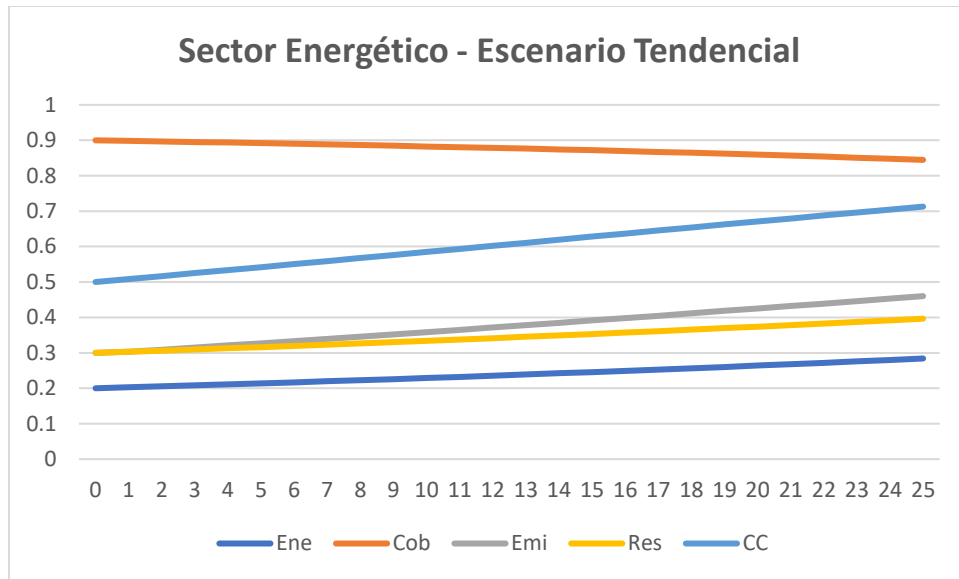
Sector Ecoturismo



Gráfica 4 Simulación KSIM para el Sector Ecoturismo bajo el Escenario Tendencial

En este escenario, el Sector Ecoturístico (Ecot) muestra un crecimiento progresivo, aunque parte de un valor bajo (Gráfica 9). Esto sugiere que, incluso sin apoyo institucional, el sector se expande lentamente. Los recursos hídricos (Agua) disminuyen de forma constante, lo cual es preocupante considerando que muchas actividades ecoturísticas dependen del acceso a cuerpos de agua o paisajes bien conservados. Los residuos sólidos urbanos (Res) presentan un incremento sostenido, posiblemente vinculado al crecimiento desordenado del turismo y a la falta de una gestión integral de residuos en los sitios ecoturísticos. Las aguas residuales (Ares) incrementan moderadamente, debido al incremento de visitantes en los sitios turísticos. La Cobertura natural (Cob) disminuye de manera gradual, lo que sugiere que el crecimiento del ecoturismo, en su modalidad actual, no está contribuyendo a la conservación del entorno, o bien que otras actividades siguen ejerciendo presión sobre estos ecosistemas.

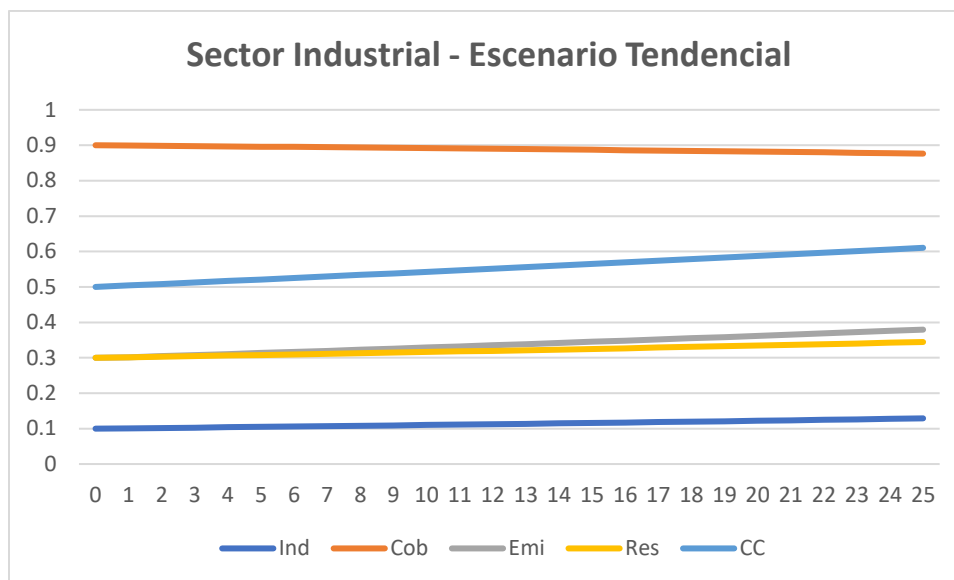
Sector Energético



Gráfica 5 Simulación KSIM para el Sector Energético bajo el Escenario Tendencial.

El Sector Energético (Ene) bajo el Escenario Tendencial muestra un ligero crecimiento a largo plazo (Gráfica 10). La Cobertura natural (Cob) se reduce ligeramente, lo que indica una pérdida progresiva de vegetación natural debido a la ocupación de suelo por infraestructura energética. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) aumentan de forma sostenida, lo que puede atribuirse al predominio de fuentes fósiles. La generación de Residuos (Res) también crecen de manera constante, reflejando una gestión limitada de subproductos y desechos generados por el sector. Además, el Cambio climático (CC) presenta una pendiente creciente, lo cual refuerza la relación directa entre el modelo energético actual, las emisiones y el impacto climático.

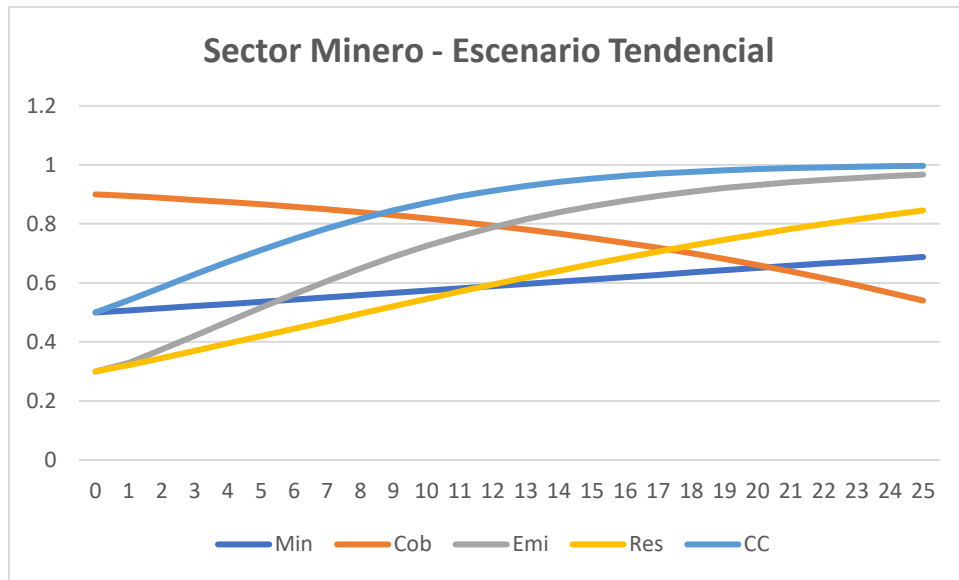
Sector Industrial



Gráfica 6 Simulación KSIM para el Sector Industrial bajo el Escenario Tendencial

El Sector Industrial (Ind) muestra un crecimiento a largo plazo apenas incipiente (Gráfica 11). La Cobertura natural (Cob) disminuye levemente, indicando un impacto territorial moderado, posiblemente vinculado a la urbanización o expansión de zonas industriales. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) aumentan progresivamente, reflejando el uso continuado de procesos industriales con baja eficiencia o alta intensidad energética. La generación de Residuos (Res) también aumenta, lo que puede deberse a la falta de políticas efectivas de reciclaje, tratamiento o economía circular. El Cambio climático (CC) también muestra una pendiente positiva sostenida, lo que se explica por la acumulación de emisiones industriales y la degradación de servicios ambientales.

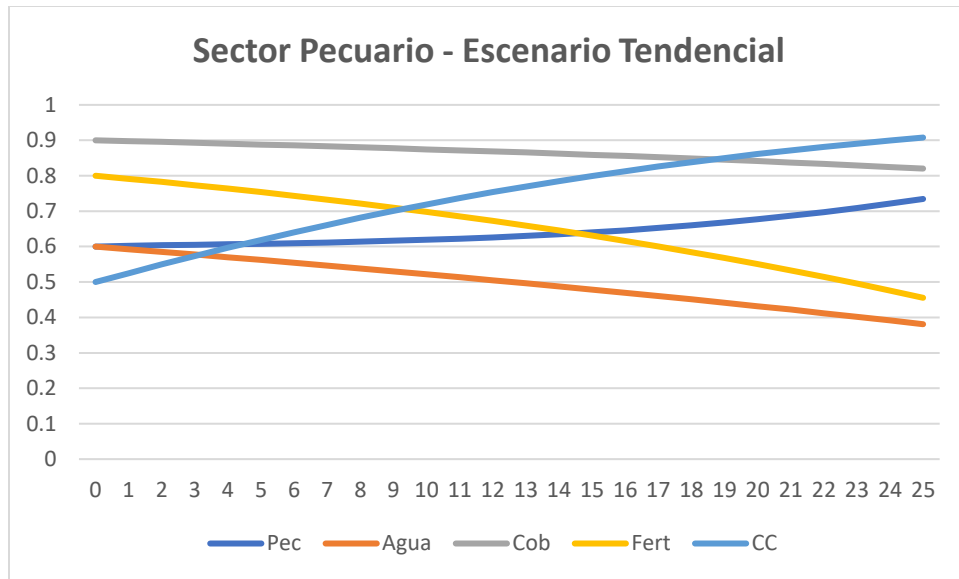
Sector Minero



Gráfica 7 Simulación KSIM para el Sector Minero bajo el Escenario Tendencial.

La actividad Minera (Min) muestra un crecimiento acelerado (Gráfica 12) hasta estabilizarse cerca de su valor máximo, lo que indica una expansión continua y no regulada del sector. La Cobertura natural (Cob) presenta una disminución significativa, lo que implica un fuerte impacto territorial directo debido al desmonte, excavaciones y expansión de zonas de extracción. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) crecen rápidamente, lo que evidencia el uso de procesos extractivos con alta intensidad energética y bajos controles de emisión. Los Residuos (Res) también aumenta de forma pronunciada, lo cual refleja la generación masiva residuos de manejo especial y peligrosos sin sistemas adecuados de contención o tratamiento. El Cambio climático (CC) muestra una fuerte pendiente ascendente, situando a la minería como uno de los principales sectores contribuyentes a este fenómeno, ya sea por emisiones directas o por pérdida de sumideros naturales.

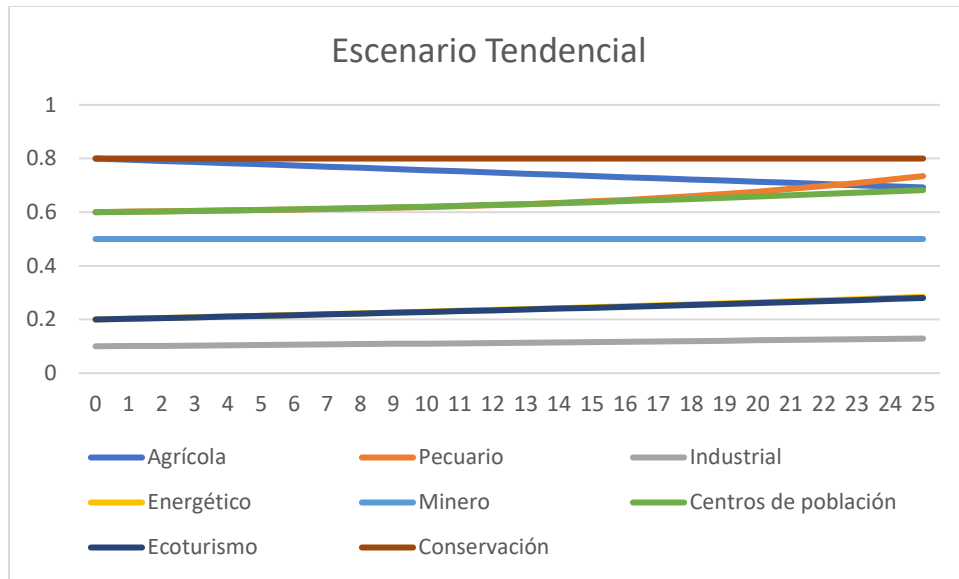
Sector Pecuario



Gráfica 8 Simulación KSIM para el Sector Pecuario bajo el Escenario Tendencial.

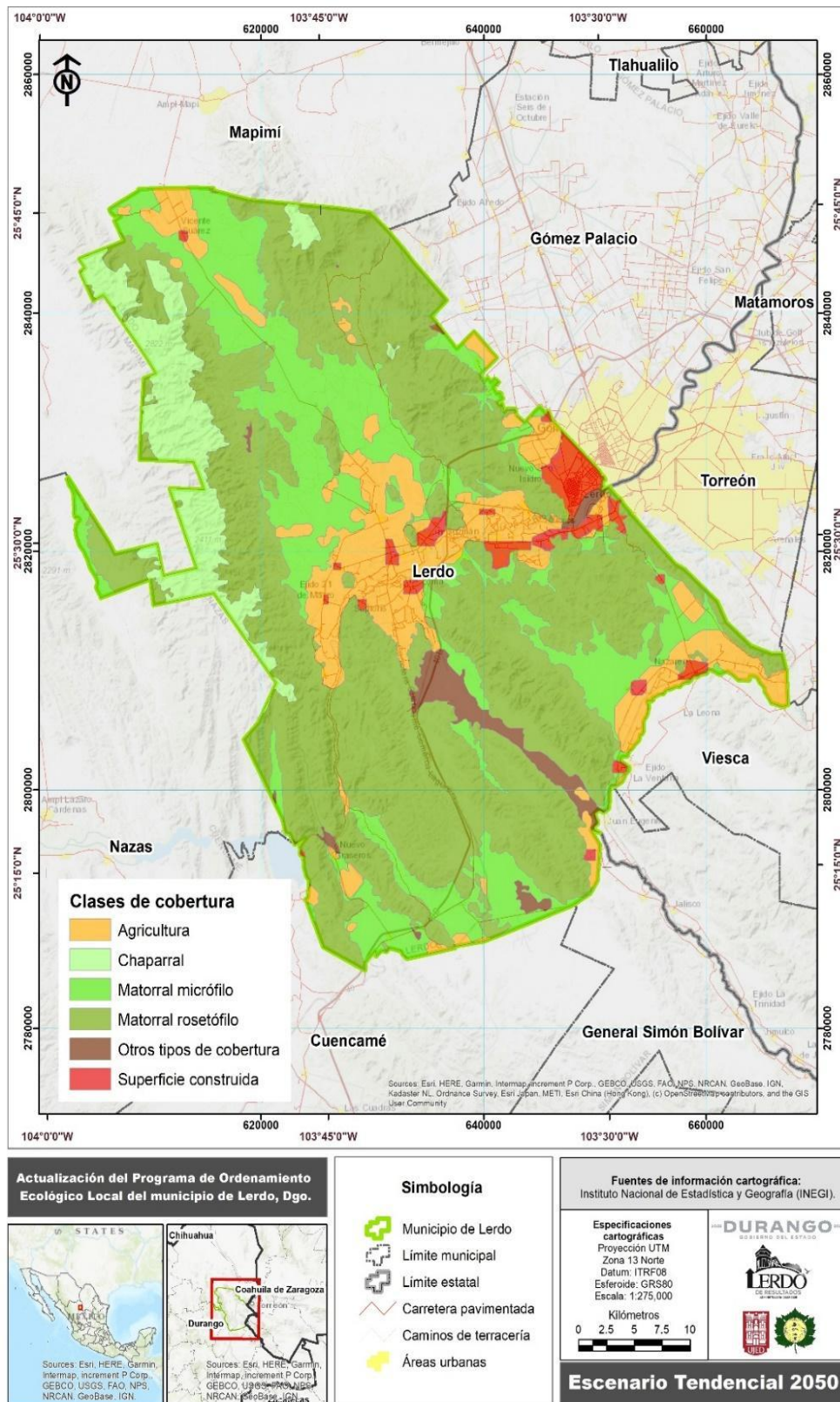
El Sector Pecuario (Pec) presenta una tendencia creciente (Gráfica 13), aunque no significativa. Los Recursos hídricos (Agua) disminuyen de forma sostenida, reflejando la presión que este sector ejerce, especialmente en actividades de ganadería extensiva. La Cobertura natural (Cob) presenta una pendiente negativa leve, lo que indica una pérdida gradual de vegetación asociada al sobrepastoreo. La Fertilidad del suelo (Fert) disminuye constantemente, posiblemente debido a sobrepastoreo, compactación y pérdida de materia orgánica. El Cambio climático (CC) muestra un incremento progresivo, resultado de la deforestación, la degradación de suelos y las emisiones derivadas de la actividad ganadera.

Análisis de los ocho sectores bajo el Escenario Tendencial

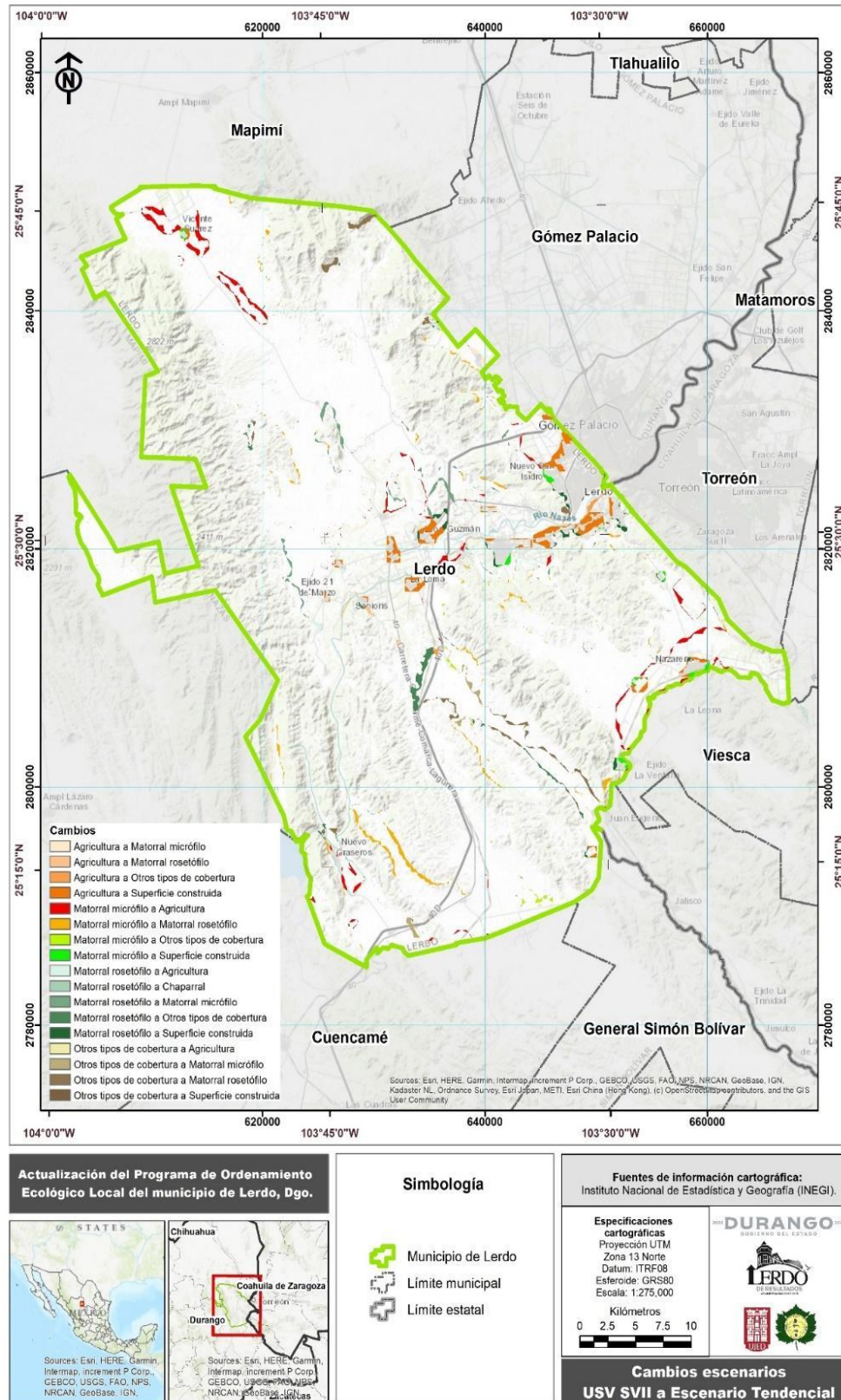


Gráfica 9 Simulación KSIM para los ocho sectores bajo el Escenario Tendencial

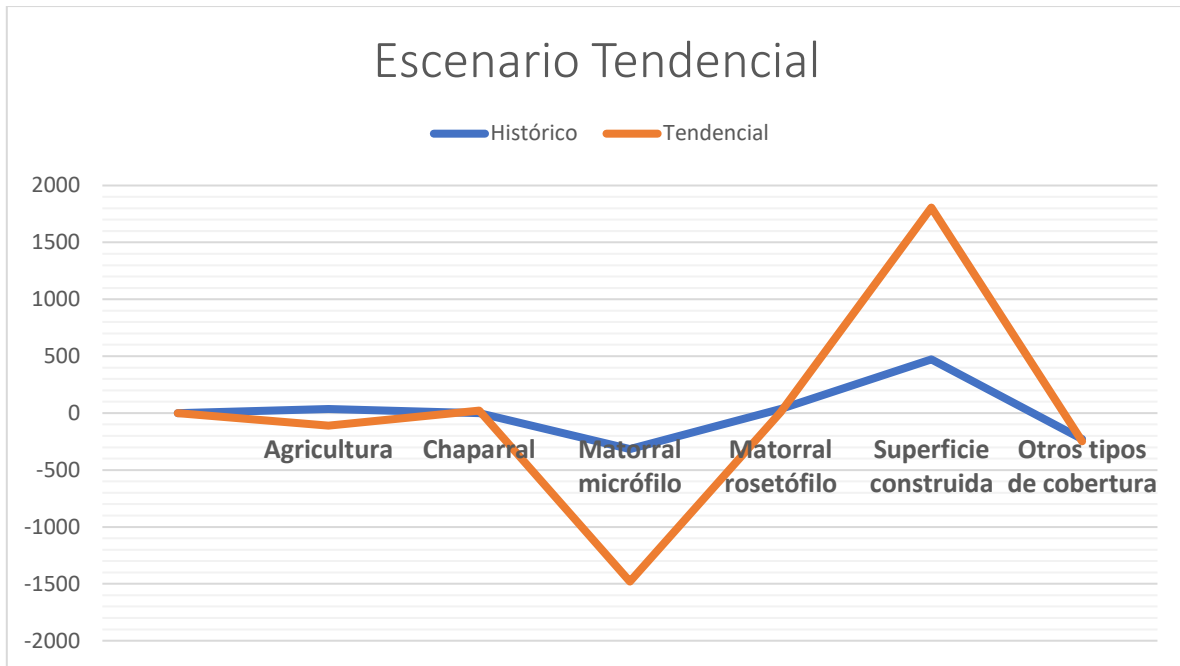
Bajo este Escenario (Gráfica 12) se observa una tendencia general de crecimiento moderado en la mayoría de los sectores, con excepción del Sector Agrícola. Los Sectores Pecuario, Conservación, Centros de Población, Industrial y Ecoturismo, crecen de forma moderada sin presentar transiciones drásticas. Los Sectores Minero y Energético mantienen un ligero incremento a lo largo del periodo simulado. El Sector Agrícola inicia en un valor alto (0.8) pero al final del periodo disminuye hasta el 0.69, debido principalmente a la presión sobre los recursos hídricos que ejerce este sector y a los efectos negativos del cambio climático.



Mapa 1. Escenario tendencial 2050.



Mapa 2. USV SVII a Escenario Tendencial Lerdo, Dgo.



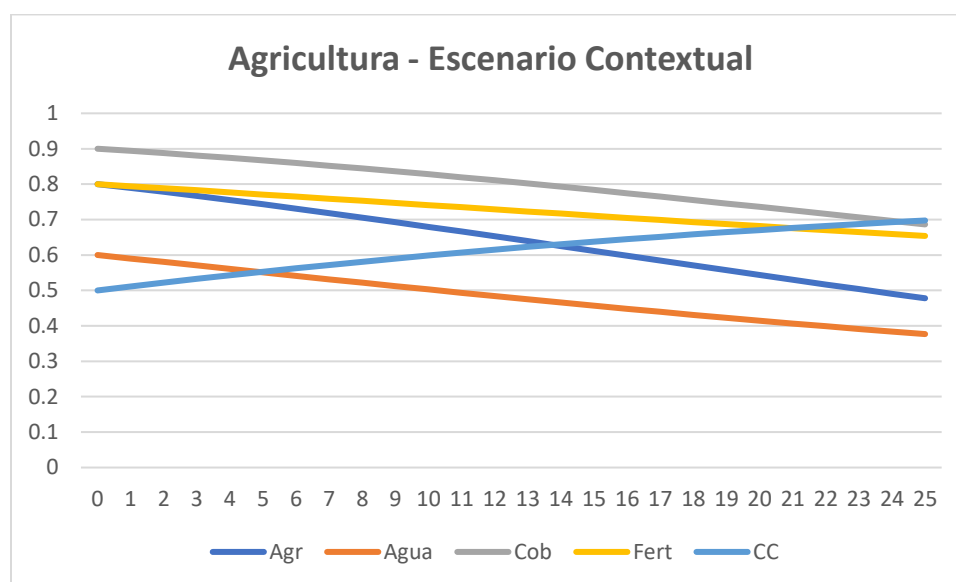
Gráfica 10 Escenario tendencial de Uso de Suelo y Vegetación

En este escenario (Gráfica 15) se observa una disminución marcada del matorral micrófilo y el matorral rosetófilo, lo que sugiere procesos intensivos de degradación y cambio de uso por el crecimiento de la frontera agrícola y el crecimiento urbano. El chaparral y la agricultura también presentan pérdida de superficie, aunque en menor proporción mientras que la superficie construida muestra un incremento significativo, señalando un proceso de expansión urbana no controlada.

III.4.2 Escenario Contextual

En este escenario se incluyeron los proyectos de desarrollo industrial, energético y de infraestructura, consistentes en la instalación de una planta productora de fertilizantes, un centro de datos, un parque solar, la ampliación del Libramiento Norte de La Laguna y la construcción de un nodo ferroviario.

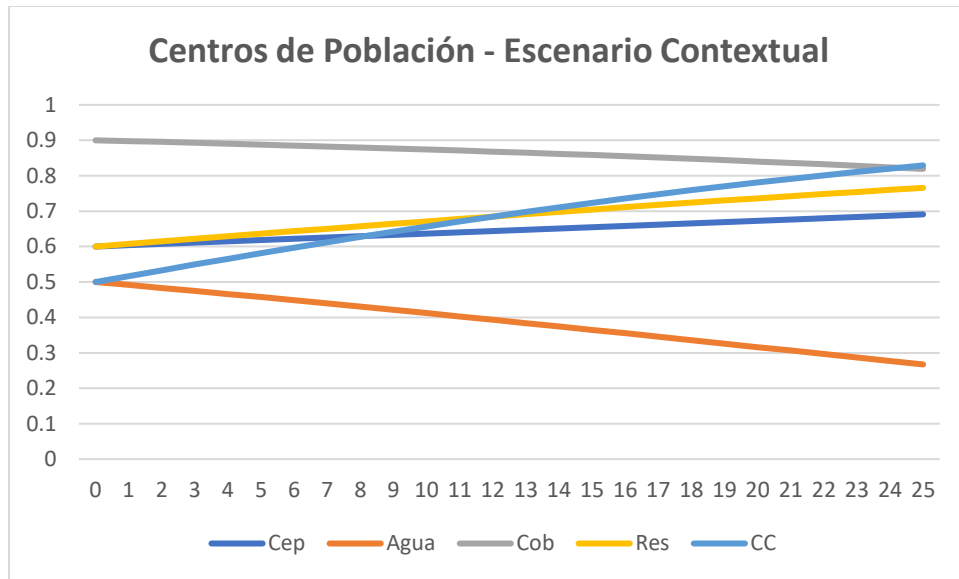
Sector Agrícola



Gráfica 11 Escenario contextual Sector Agrícola

Bajo este Escenario, el Sector Agrícola (Agr) se mantiene, aunque con una pendiente de crecimiento más moderada. Continúa la disminución del agua (Agua) y la cobertura natural (Cob), aunque de manera ligeramente menos pronunciada que en el Escenario Tendencial. La Fertilidad del suelo (Fert) también disminuye, aunque de forma más lenta, lo cual puede estar vinculado a prácticas mejoradas impulsadas por programas de apoyo. El impacto del Cambio climático (CC) aumenta de manera significativa, lo que puede deberse a sinergias negativas entre distintos sectores con proyectos intensivos en recursos (Grafica 16).

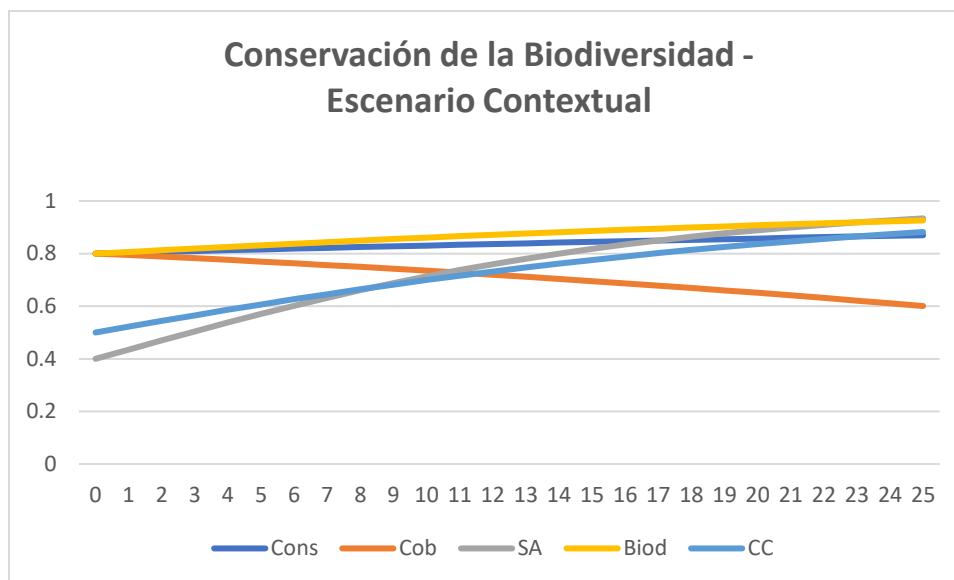
Sector Centros de Población



Gráfica 12 Escenario Contextual Sector Centros de población

En este Escenario, los Centros de Población (Cep) mantienen un crecimiento, pero con una pendiente levemente más suave, lo que sugiere la posible contención del crecimiento urbano. Los Recursos hídricos (Agua) siguen mostrando una disminución similar al escenario tendencial, aunque ligeramente menos acentuada. La Cobertura natural (Cob) disminuye marginalmente, lo que indica que la expansión urbana continúa presionando el entorno, aunque con menor intensidad. Los Residuos (Res) incrementan de manera sostenida, reflejando que los sistemas de manejo aún no son suficientes para contrarrestar la presión generada por el aumento poblacional, mientras que el Cambio climático (CC) continúa en ascenso, reafirmando la relación entre expansión urbana, generación de residuos y emisiones (Gracia 17).

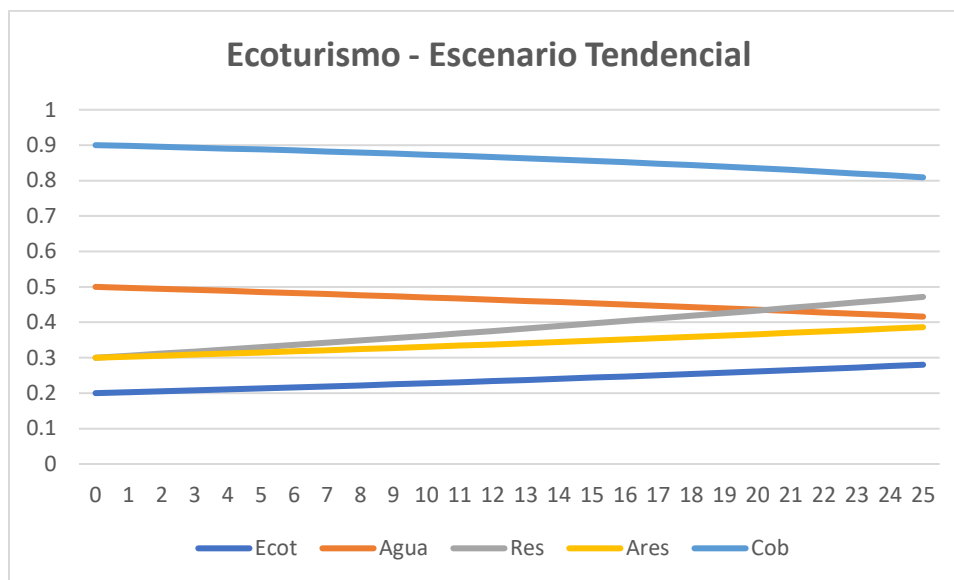
Sector Conservación de la Biodiversidad



Gráfica 13 Escenario Contextual Sector Conservación de la Biodiversidad

Bajo el Escenario Tendencial, el Sector Conservación de la Biodiversidad (Cons) muestra una ligera mejoría respecto al Escenario Tendencial. La Cobertura natural (Cob) disminuye a un ritmo mayor, lo que sugiere que las nuevas inversiones o programas aún ejercen presión significativa sobre el territorio, a pesar de las acciones de conservación. Los Servicios ambientales (SA) crecen de manera sostenida, mientras que la Biodiversidad (Biod) muestra una mayor pendiente ascendente, lo que implica una respuesta positiva a los nuevos programas de conservación, aunque su efectividad sigue limitada por la pérdida de cobertura vegetal. El Cambio climático (CC) se incrementa de forma más pronunciada, lo cual indica que los proyectos de desarrollo previstos tendrán un impacto en dicho componente (Gráfica 18).

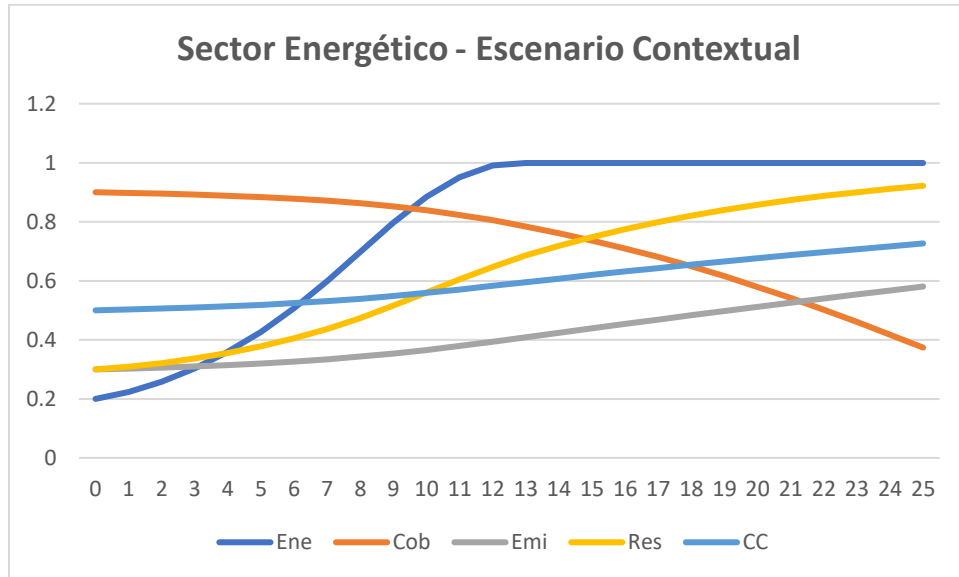
Sector Ecoturismo



Gráfica 14 Escenario tendencial Sector Ecoturismo

El Sector Ecoturístico (Ecot) bajo el Escenario Contextual presenta una tendencia de crecimiento similar al escenario tendencial, aunque con una pendiente ligeramente mayor. Los Recursos hídricos (Agua) continúan en declive, lo que indica que las medidas implementadas no han sido suficientes para contrarrestar la presión sobre dichos recursos. La generación de Residuos (Res) aumenta progresivamente, lo que sugiere que el crecimiento del sector sigue sin acompañarse de mecanismos adecuados para el manejo de en sitios turísticos. Las Aguas residuales (Ares) crecen de forma más acelerada que en el escenario tendencial mientras que la Cobertura natural (Cob) continúa con una ligera reducción, indicando que las acciones emprendidas aún no logran detener la pérdida de ecosistemas, posiblemente debido a conflictos de uso de suelo o falta de medidas de restauración (Gráfica 19).

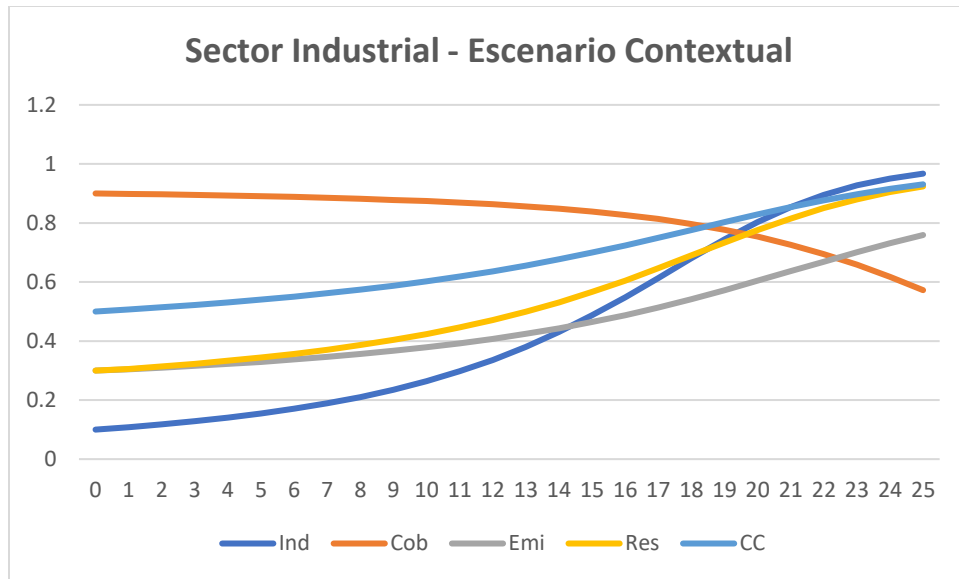
Sector Energético



Gráfica 15 Escenario contextual Sector Energético

El Sector Energético (Ene) es uno de los más beneficiados con los proyectos de desarrollo propuestos para Lerdo por lo que en la gráfica muestra un crecimiento acelerado hasta alcanzar su valor máximo (~1.0) a partir del año 12, lo que refleja la instalación rápida de infraestructura energética. La Cobertura natural (Cob) disminuye de manera drástica conforme aumenta la actividad energética, lo que indica una ocupación directa de áreas naturales. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) continúan aumentando, aunque a un ritmo similar al tendencial, lo cual puede reflejar la incorporación de tecnologías más limpias. La generación de Residuos (Res) presenta un rápido incremento, mientras que el Cambio climático (CC) incrementa progresivamente (Gráfica 20).

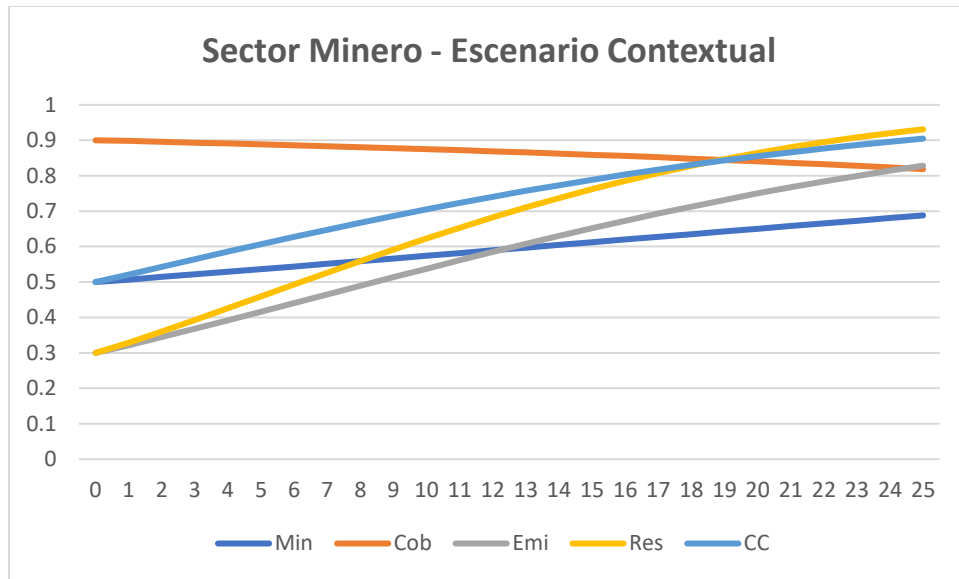
Sector Industrial



Gráfica 16 Escenario Contextual Sector Industrial

Debido al desarrollo de proyectos de alto impacto en el municipio, el Sector Industrial (Ind) se incrementa de forma acelerada a partir de la segunda mitad del periodo simulado, alcanzando casi su valor máximo. La Cobertura natural (Cob) disminuye de forma más abrupta que en el Escenario Tendencial, lo que sugiere una expansión territorial más acelerada del sector industrial. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) aumentan rápidamente, lo que refleja una falta de medidas regulatorias que acompañen el desarrollo industrial. La generación de Residuos (Res) también se incrementa notablemente, lo que indica que un crecimiento industrial sin mejoras en la gestión de residuos industriales. El Cambio climático (CC) muestra un aumento exponencial, consolidando al sector industrial como un factor significativo en la intensificación de este fenómeno (Gráfica 21).

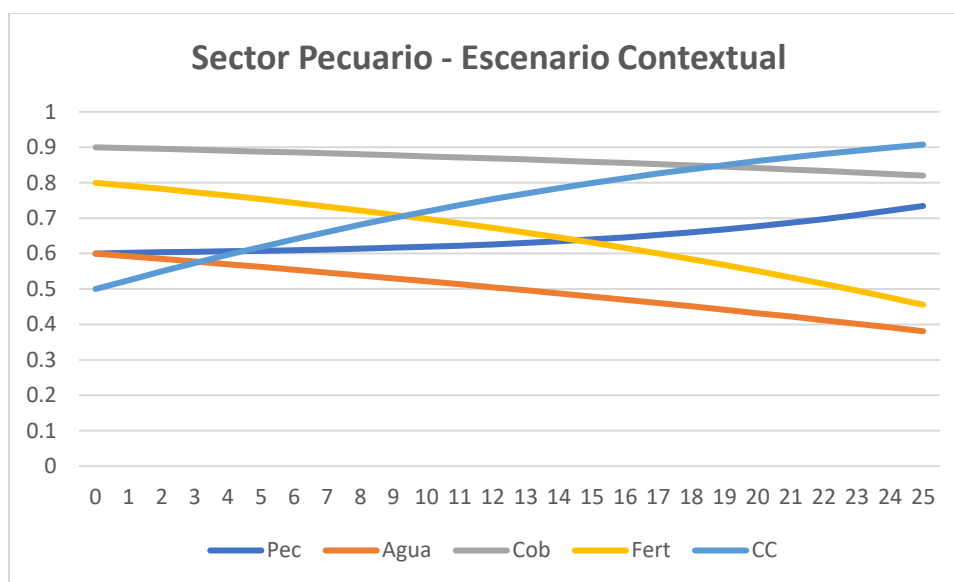
Sector Minero



Gráfica 17 Escenario Contextual Sector Minero

El Sector Minero (Min) crece de manera sostenida pero más moderada que en el Escenario Tendencial, alcanzando altos niveles de desarrollo hacia el final del periodo. La Cobertura natural (Cob) sigue disminuyendo, aunque a menor ritmo que en el escenario anterior, lo que puede interpretarse como una ocupación más controlada del territorio. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) aumentan constantemente mientras que los Residuos (Res) presentan un incremento más rápido, lo cual puede deberse a una mayor productividad sin mejoras significativas en la gestión de residuos. El Cambio climático (CC) se incrementa significativamente, aunque a un ritmo más estable que bajo el Escenario Tendencial (Gráfica 22).

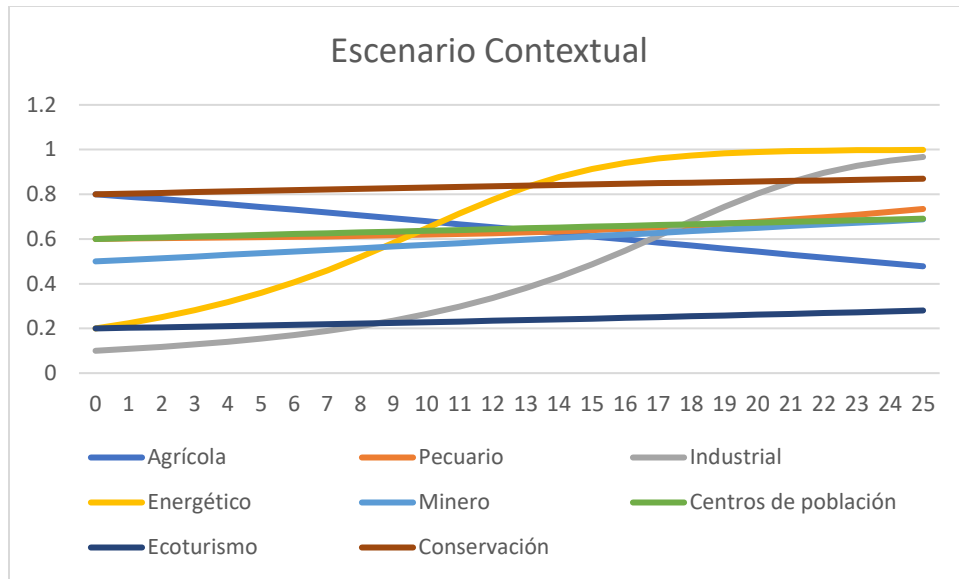
Sector Pecuario



Gráfica 18 Escenario Contextual Sector Pecuario

Las actividades pecuarias (Pec) mantienen un crecimiento acelerado, reflejando una política de impulso económico al sector. El Agua sigue disminuyendo de forma constante, lo cual sugiere que las nuevas estrategias no han priorizado el manejo eficiente de los recursos hídricos. La Cobertura natural (Cob) también disminuye, aunque de forma ligeramente más acentuada que en el escenario tendencial, debido al aumento de la superficie dedicada a la ganadería. La Fertilidad del suelo (Fert) presenta un deterioro continuo, lo que sugiere que el crecimiento pecuario no ha sido acompañado de prácticas regenerativas o de manejo del suelo. Por último, el Cambio climático (CC) aumenta de manera significativa, indicando que el modelo de producción pecuaria impulsado en este escenario tiene un alto costo ambiental y climático (Gráfica 23).

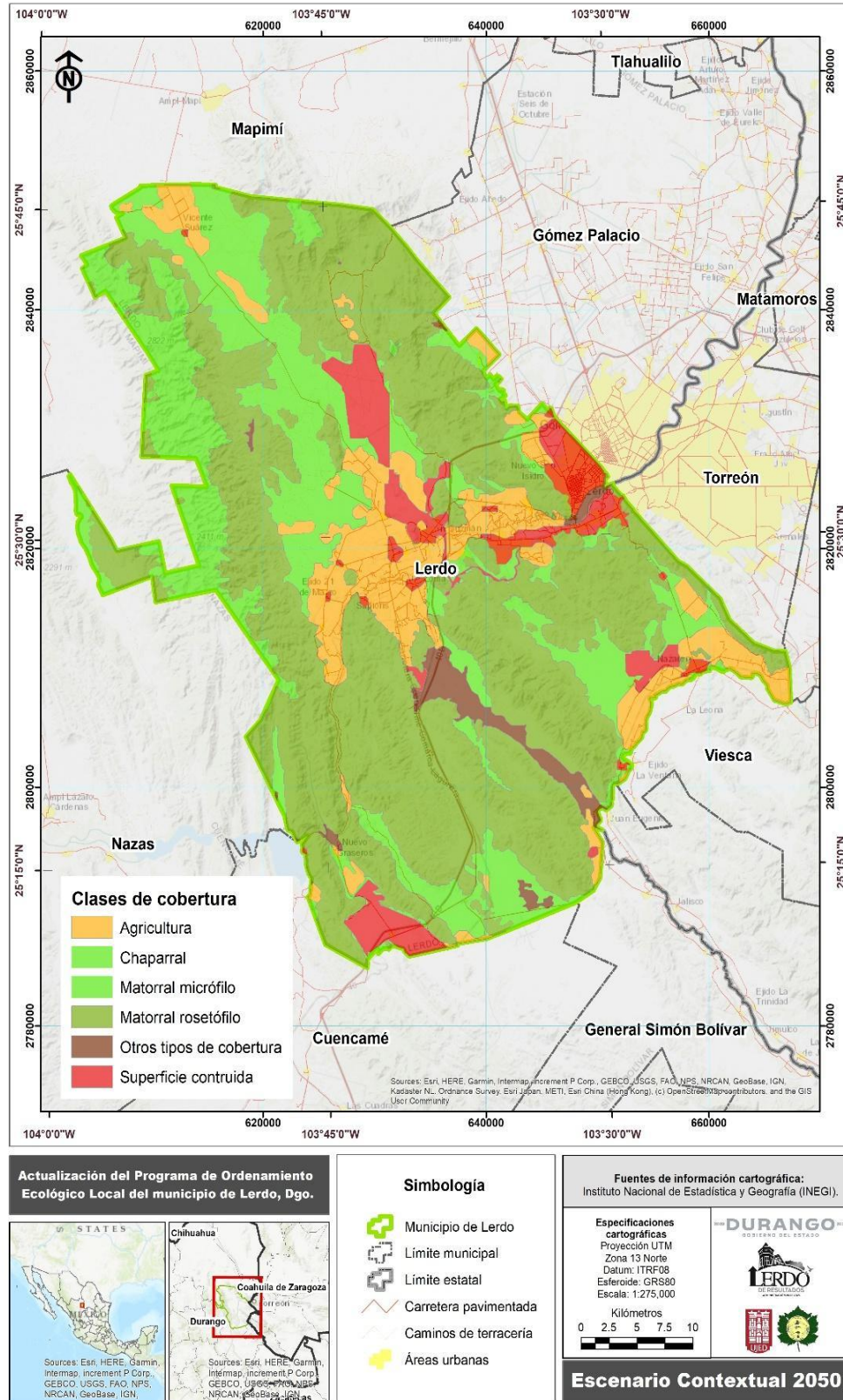
Análisis de los ocho sectores bajo el Escenario Contextual



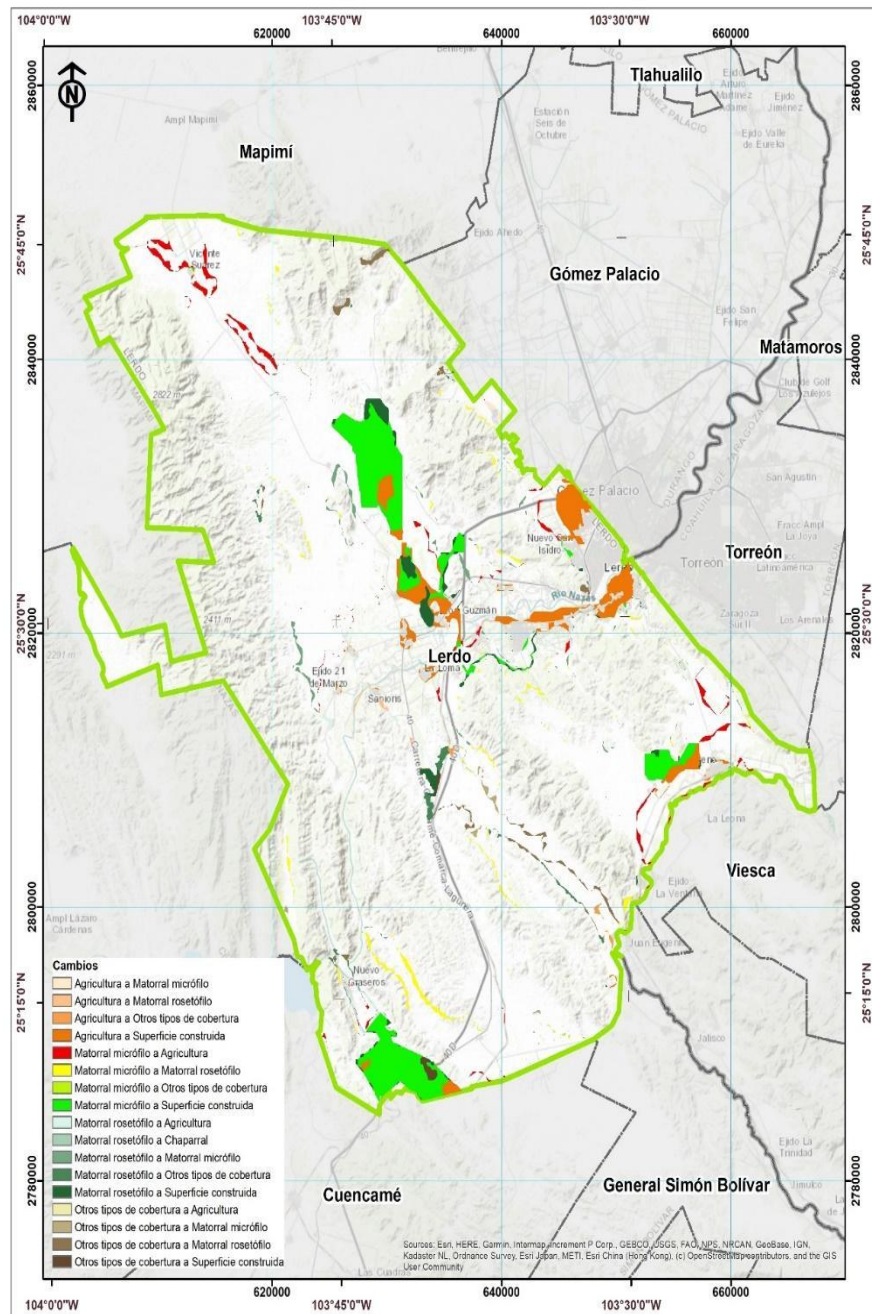
Gráfica 19 Escenario contextual de los ocho sectores

Bajo este Escenario, el Sector Energético es el que muestra el aumento más significativo hasta alcanzar el umbral al finalizar el periodo simulado seguido del Sector Industrial, que presenta un crecimiento similar, pero de una forma menos acelerada.

Los Sectores Centros de Población, Conservación de la Biodiversidad, Pecuario y Minero crecen ligeramente mientras que el Agrícola presenta una drástica disminución pasando de valores altos (0.8) a sólo 0.47 para el año 2050 (Grafica 24).



Mapa 3.Escenario Contextual 2050.



Actualización del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Lerdo, Dgo.

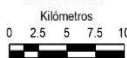


Simbología

- Municipio de Lerdo
- Límite municipal
- Límite estatal

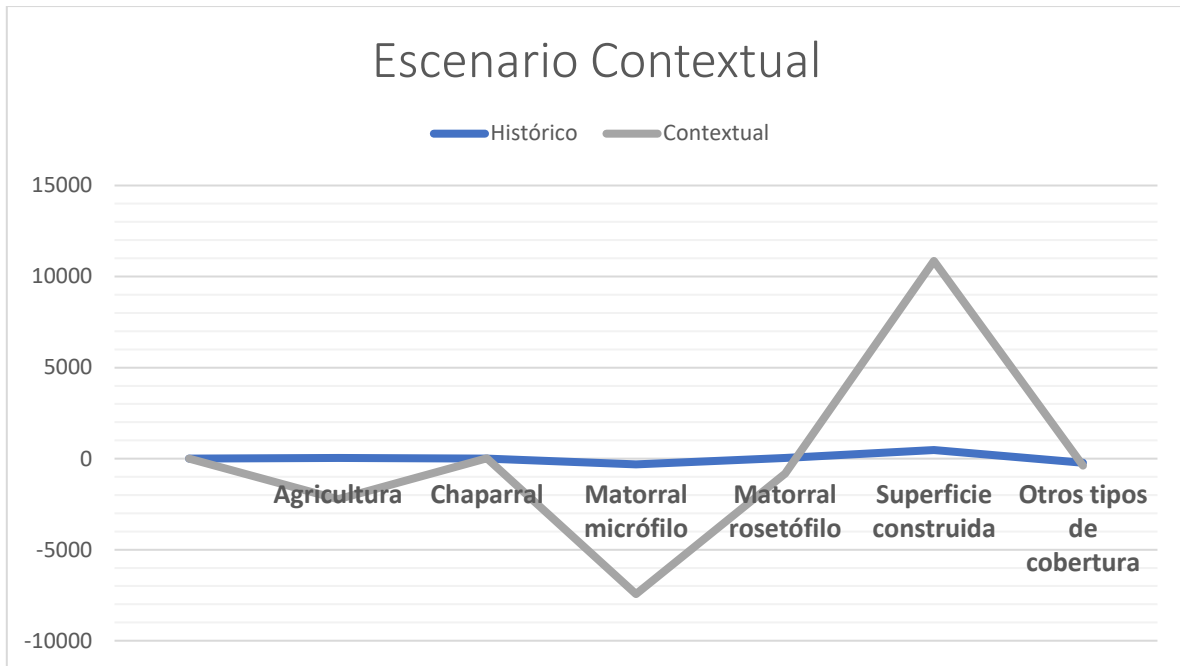
Fuentes de información cartográfica:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Especificaciones cartográficas
Proyección UTM
Zona 13 Norte
Datum: ITRF08
Esferoide: GRS80
Escala: 1:275,000



Cambios escenarios
USV SVII a Escenario Contextual

Mapa 4. USV SVII a Escenario Contextual.



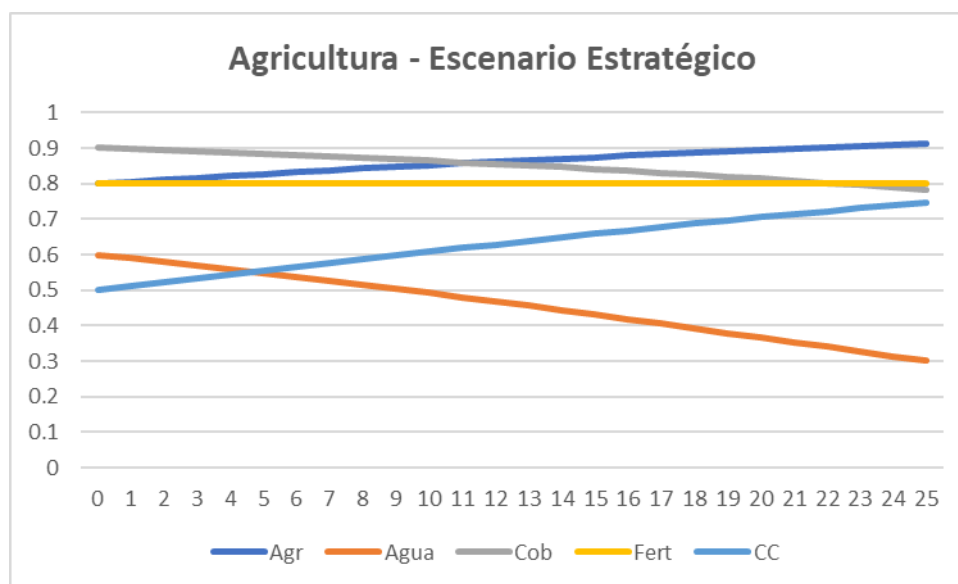
Gráfica 20 Escenario contextual de Uso de Suelo y Vegetación Lerdo, Dgo

En el Escenario Contextual (Grafica 25) se observa una pérdida severa de matorral micrófilo (7,439 hectáreas) asociado a la construcción de infraestructura mientras que la Agricultura pierde poco más de 2,200 hectáreas. La superficie construida se incrementa de manera significativa con casi 11 mil hectáreas, alcanzando niveles muy superiores al histórico.

III.4.3 Escenario Estratégico

Para la generación de este Escenario se consideraron los proyectos de desarrollo del Escenario Contextual aunado a la implementación de obras de restauración ecológica y de conservación del componente natural (biodiversidad, cobertura, servicios ambientales, etc.) así como la implementación del Programa de Ordenamiento Ecológico Local.

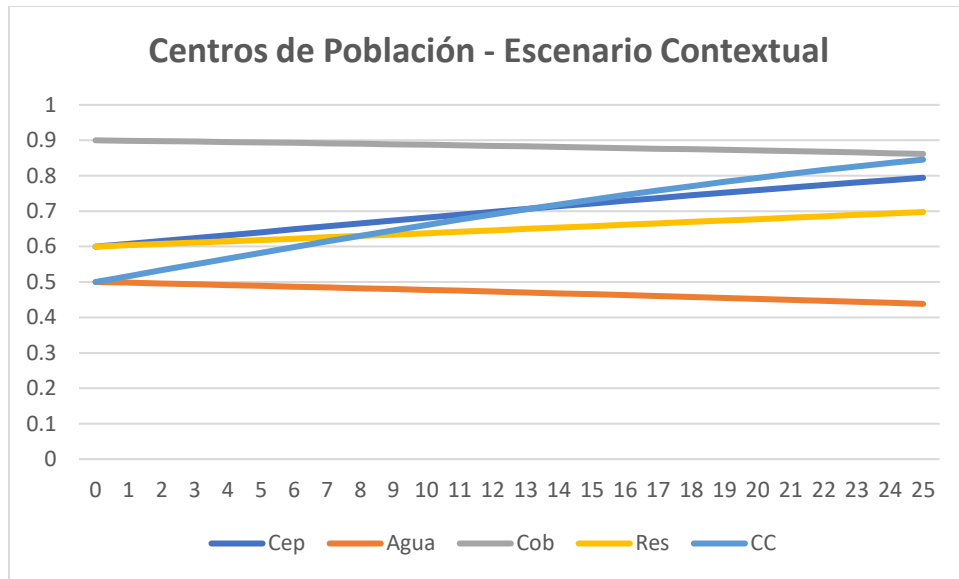
Sector Agrícola



Gráfica 21 Escenario Estratégico Sector Agrícola

Este escenario muestra una expansión agrícola (Agr) más ordenada y estabilizada, alcanzando un punto de equilibrio hacia el final del periodo simulado. También se observa una reducción más controlada de la disponibilidad de agua (Agua), lo que sugiere una mejor gestión hídrica. Se muestra una relativa conservación de la Cobertura natural (Cob), con una pendiente negativa mínima, lo que indica un éxito parcial en medidas de protección ambiental. La Fertilidad del suelo (Fert) muestra una estabilización debido a la incorporación de prácticas de manejo sustentable. Aunque se observa un incremento progresivo del impacto del Cambio climático (CC), presenta una pendiente menor comparada con los escenarios anteriores, aspecto relacionado con la conservación parcial de cobertura vegetal y mejores prácticas agroambientales (Gráfica 26).

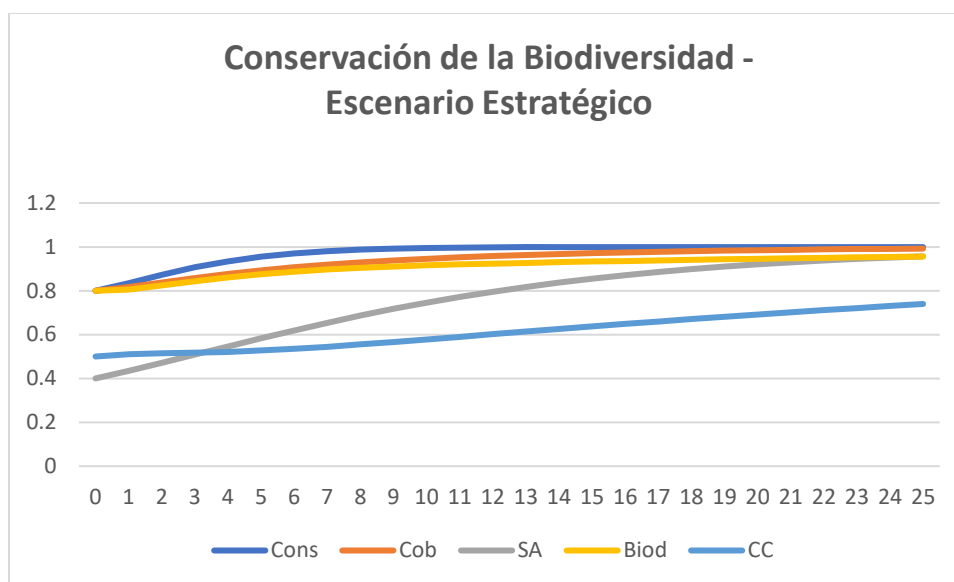
Sector Centros de Población



Gráfica 22 Escenario Estratégico Sector Centros de Población

Bajo este Escenario, los Centros de Población (Cep) continúan creciendo, pero con una tasa de expansión más controlada debido a un patrón de desarrollo urbano compacto y criterios de sustentabilidad. El Recurso hídrico (Agua) disminuye a un ritmo mucho menor comparado con los escenarios anteriores, lo que sugiere una gestión hídrica más eficiente. La Cobertura natural (Cob) prácticamente se mantiene, lo que indica éxito en medidas de conservación territorial y control del uso del suelo. Los Residuos (Res) muestran un incremento menor que en los otros escenarios debido a la implementación de políticas efectivas de gestión de residuos sólidos. El Cambio climático (CC) incrementa ligeramente, pero en menor medida que en los otros escenarios (Gráfica 27).

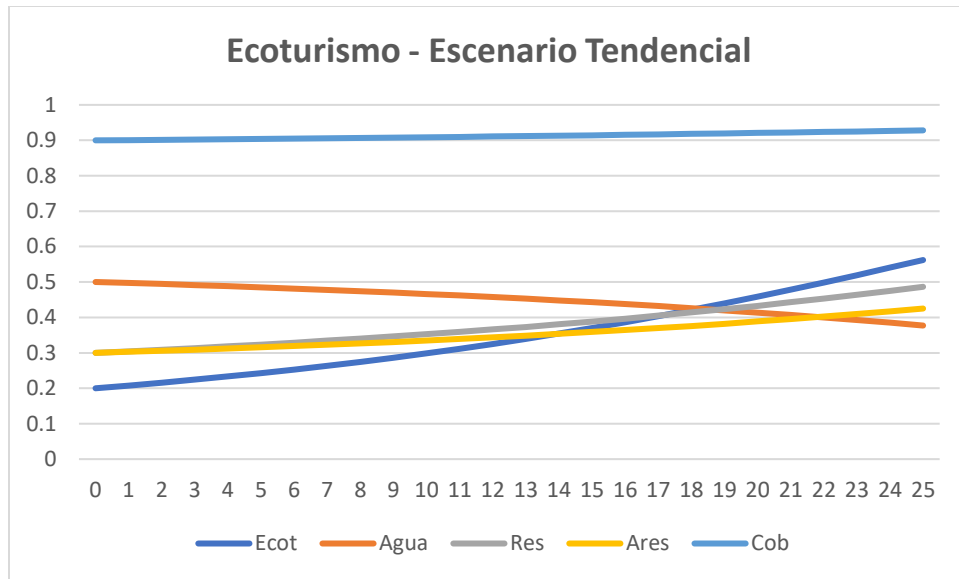
Sector Conservación de la Biodiversidad



Gráfica 23 Escenario Estratégico Sector Conservación de la Biodiversidad

Bajo este Escenario, el Sector Conservación de la Biodiversidad (Cons) muestra una curva ascendente rápida, alcanzando valores cercanos al 1.0, lo que refleja una alta implementación y efectividad de acciones de conservación bajo un enfoque territorial planificado. La Cobertura natural (Cob) no solo se estabiliza, sino que muestra una ligera recuperación debido a la correcta implementación de acciones de restauración. Los Servicios ambientales (SA) se incrementan de forma sostenida mientras que la Biodiversidad (Biod) se mantiene en niveles elevados y con tendencia creciente, lo que representa una respuesta ecológica positiva a las acciones de manejo, protección y restauración. El Cambio climático (CC) continúa en aumento, pero con una pendiente más controlada que en los otros escenarios, debido a la conservación de sumideros de carbono y la resiliencia generada por ecosistemas sanos (Gráfica 28).

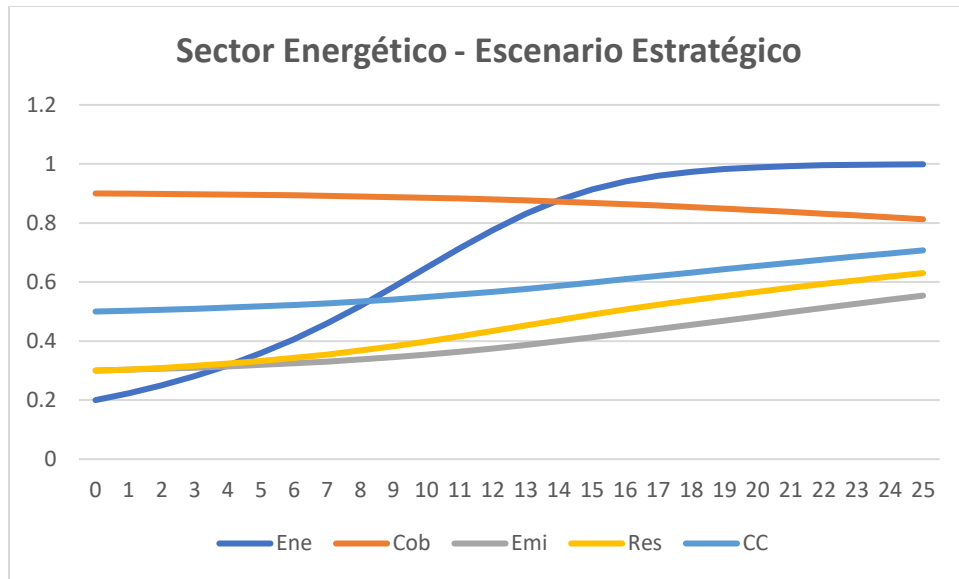
Sector Ecoturismo



Gráfica 24 Escenario Estratégico Sector Ecoturismo

Este Sector (Ecot) bajo el Escenario Contextual presenta un crecimiento acelerado y sostenido, lo cual refleja un desarrollo planeado del sector con estrategias específicas de fortalecimiento. Los recursos hídricos (Agua) continúan en descenso, aunque la pendiente es más suave, lo que sugiere una mejor gestión del recurso. Los Residuos (Res) presentan una tendencia de incremento más atenuada que en los otros escenarios, indicando una mejora en las prácticas de manejo ambiental dentro del sector. Las aguas residuales (Ares) se incrementan de forma sostenida debido al incremento de la actividad turística. La Cobertura natural (Cob) no solo se mantiene estable, sino que muestra una ligera recuperación, lo que sugiere que el modelo de ecoturismo planteado en este escenario contribuye activamente a la conservación y restauración del entorno (Gráfica 29).

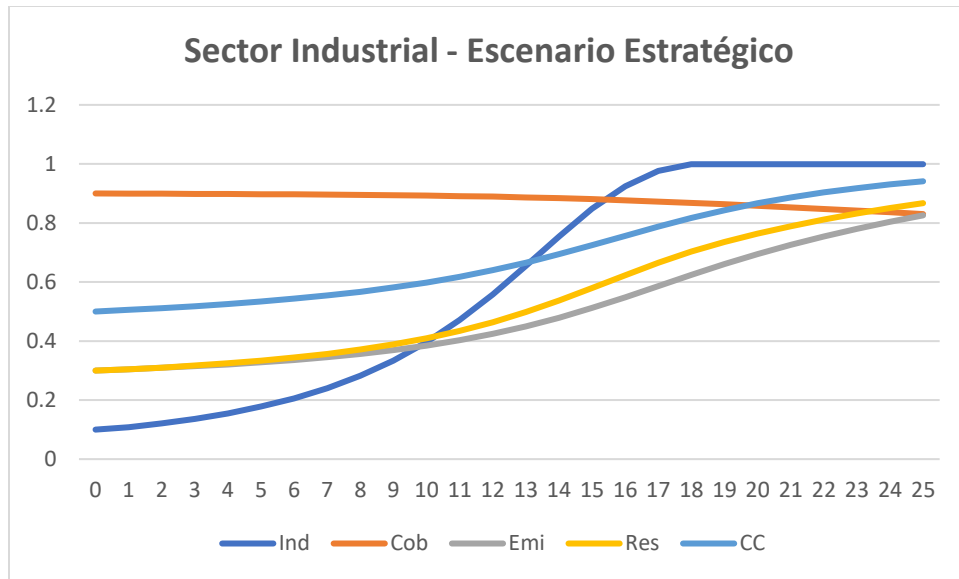
Sector Energético



Gráfica 25 Escenario Estratégico Sector Energético

El Sector Energético (Ene) muestra una curva de crecimiento similar al Escenario Contextual, alcanzando su punto máximo a mitad del periodo, pero de manera más progresiva y controlada. La Cobertura natural (Cob) se reduce a un ritmo menos agresivo, lo que indica una mejor integración entre la planificación energética y la conservación del entorno. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) crecen más lentamente que en los otros escenarios debido a la transición energética. La generación de Residuos (Res) también se incrementa de forma moderada, lo que sugiere la implementación de prácticas de gestión más eficaces. El Cambio climático (CC) presenta una pendiente ascendente, aunque atenuada, reflejando una menor contribución del sector a las emisiones de gases de efecto invernadero (Gráfica 30).

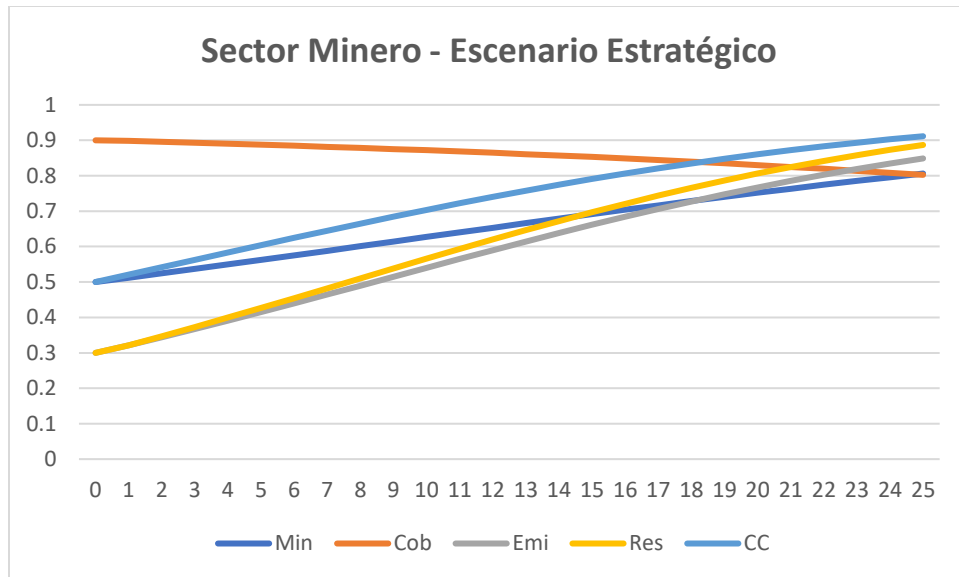
Sector Industrial



Gráfica 26 Escenario Estratégico Sector Industrial

El Sector Industrial bajo este Escenario (Ind) muestra un crecimiento acelerado, similar al Escenario Contextual, alcanzando el valor máximo (1.0) hacia el año 2040, sin embargo, lo hace de forma más gradual y controlada. La Cobertura natural (Cob) disminuye a un ritmo menor que en el escenario contextual, lo que indica que la expansión industrial se realiza en áreas con baja aptitud ecológica o previamente degradadas. Las emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) crecen, pero con una pendiente más atenuada, reflejando la adopción de tecnologías limpias. Los Residuos (Res) también se incrementan, aunque con una pendiente más baja, lo que sugiere mejoras en la valorización, tratamiento y disposición final. El Cambio climático CC presenta un incremento más moderado, lo que indica que el desarrollo industrial, aunque intensivo, es compatible con políticas de mitigación y adaptación al cambio climático (Gráfica 31).

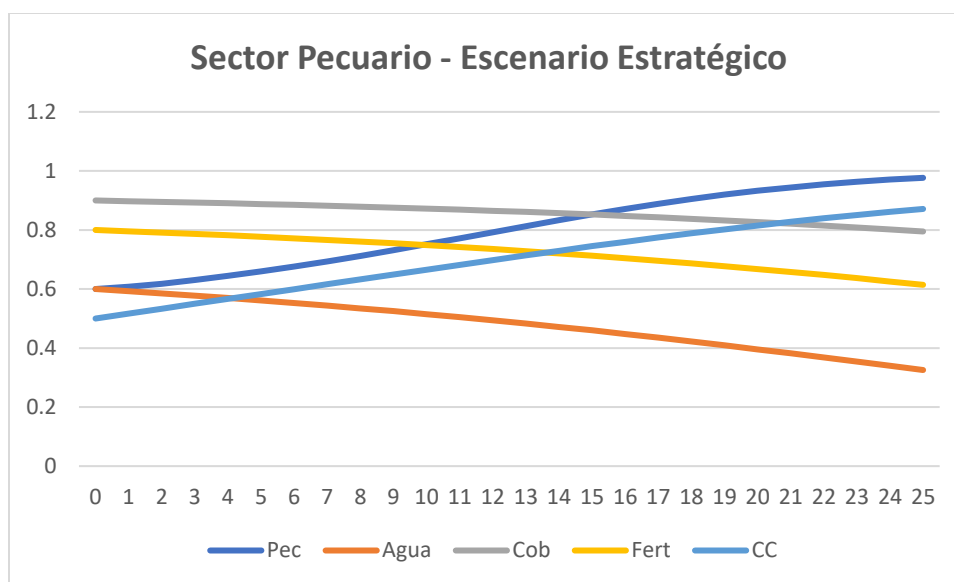
Sector Minero



Gráfica 27 Escenario Estratégico Sector Minero

El Sector Minero (Min) crece de forma progresiva, alcanzando un nivel alto hacia el final del periodo, similar al Escenario Contextual. La Cobertura natural (Cob) disminuye a un ritmo más lento, lo que indica una mejor integración entre la actividad minera y la protección ambiental. Las Emisiones de gases de efecto invernadero (Emi) aumentan de forma más controlada por la adopción de tecnologías más limpias, eficiencia energética y control de partículas. La generación de Residuos (Res) también se incrementa, pero a menor velocidad que en los otros escenarios debido a mejoras en la gestión integral de los residuos de manejo especial y peligrosos. El Cambio climático (CC) mantiene una tendencia creciente, pero con menor pendiente, lo cual refleja una reducción relativa del impacto del sector en la dinámica climática regional (Gráfica 32).

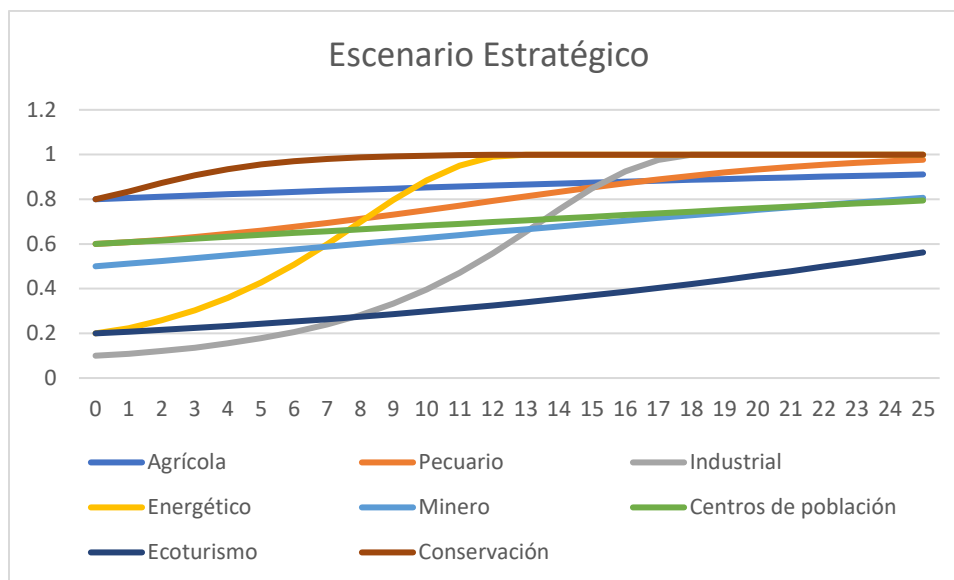
Sector Pecuario



Gráfica 28 Escenario Estratégico Sector Pecuario

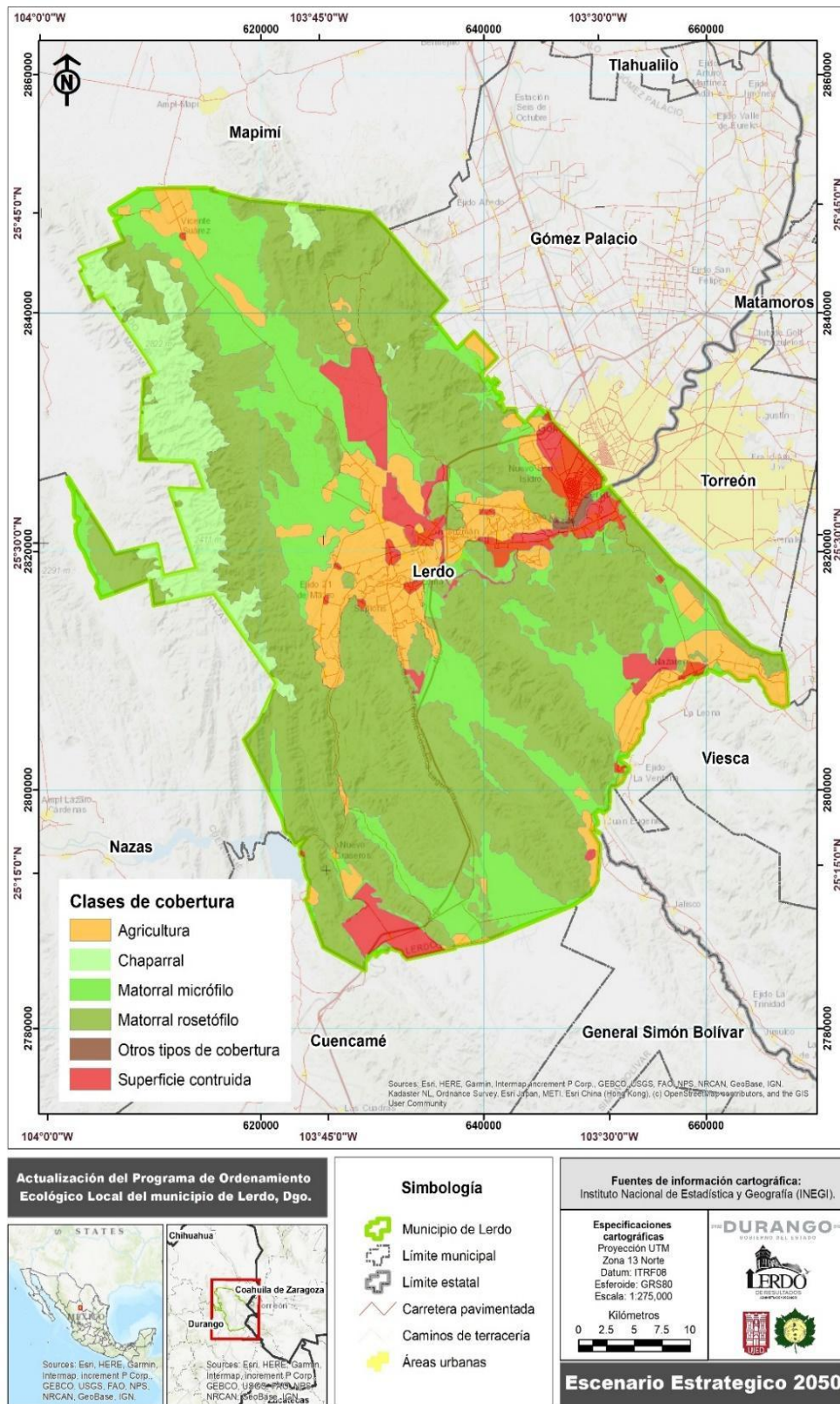
El Sector Pecuario (Pec) mantiene un crecimiento progresivo, alcanzando altos niveles sin comprometer en la misma magnitud los recursos naturales. El Recurso hídrico (Agua) continúa en descenso, aunque con una pendiente más atenuada debido a mejoras en la eficiencia hídrica. La Cobertura natural (Cob) se reduce, aunque en menor proporción respecto a los escenarios anteriores debido a un uso más eficiente del territorio. La Fertilidad del suelo (Fert) disminuye más lentamente, lo que refleja la incorporación de técnicas de manejo regenerativo, rotación de potreros o conservación de la cobertura vegetal. El Cambio climático (CC) sigue aumentando, aunque con una pendiente más suave, lo que denota una mejora relativa en las prácticas del sector y una reducción de las emisiones directas e indirectas (Gráfica 33).

Análisis de los ocho sectores bajo el Escenario Estratégico

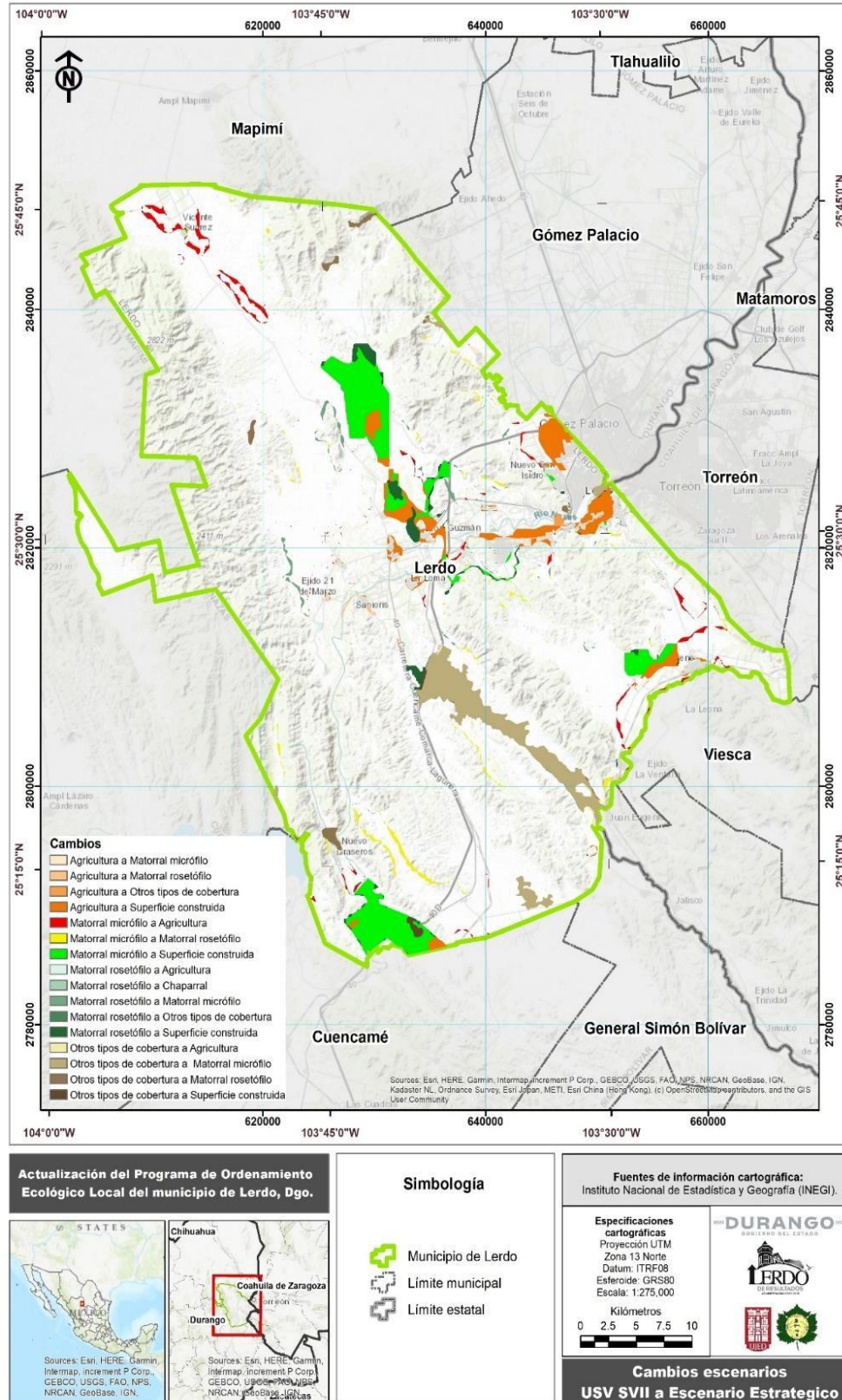


Gráfica 29 Escenario Estratégico de los 8 sectores

Este escenario es el único en el que el Sector Conservación de la Biodiversidad se fortalece de manera notoria, alcanzando valores altos sostenidos. Los Sectores Agrícola, Minero, Ecoturismo, Centros de Población y Pecuario muestran un crecimiento notable pero controlado, mientras que los sectores Industrial y Energético, alcanzan su valor máximo a partir del año 2035 (Gráfica 34).



Mapa 5. Escenario Estratégico 2050.



Mapa 6. USV SVII a Escenario Estratégico.



Gráfica 30 Escenario Estratégico Uso de Suelo y Vegetación

En el Escenario Estratégico se proyecta una pérdida en la superficie agrícola por la construcción de infraestructura. A pesar de presentar un incremento notable de la superficie construida (similar al Escenario Contextual), en el Escenario Estratégico, el chaparral y el matorral rosetófilo se mantienen, mientras que el matorral micrófilo se recupera gracias a la restauración de áreas degradadas (zonas con suelo desnudo, sin vegetación aparente o desprovistas de vegetación (Gráfica 35).

El Escenario Estratégico representa la opción más favorable para el municipio de Lerdo debido a que logra un equilibrio entre el crecimiento de las actividades productivas y la conservación de la biodiversidad. De acuerdo con el análisis combinado de los modelos KSIM y TerrSET, el Escenario Estratégico es el único que permite materializar los objetivos y metas establecidos en la Imagen Objetivo de Lerdo al 2050 debido a lo siguiente:

- Reduce significativamente la pérdida de ecosistemas.
- Contiene los impactos de sectores intensivos como la Industria, la generación de Energía y la Minería.
- Impulsa sectores compatibles con la Conservación, como el Ecoturismo.
- Incorpora mecanismos activos de restauración, conservación y conectividad ecológica.

- Promueve el cumplimiento de la legislación ambiental y la asignación de usos del suelo en función de su aptitud ecológica.

Referencias

- Allan, R. J. (1995). *Impact of mining activities on the terrestrial and aquatic environment with emphasis on mitigation and remedial measures*. In: Förstner, U., Salomons, W., Mader, P. (eds) Heavy Metals. Environmental Science. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-79316-5_8
- Alotaibi, M. O., Gebreel, M., Ikram, M., Rekaby, S. A., Abdelgalil, M. A., Mahmoud, E., Moghanm, F. S., y Ghoneim, A. M. (2025). Enhancing water productivity and wheat (*Triticum aestivum* L.) production through applying different irrigation manners. *BMC Plant Biology*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06299-y>
- Ameer Shihman, S.Vahid Faghihi, y Yaghob Gholipour. (2024). Health, Safety, and Environment Management and Accident Prevention in Projects: A Health and Safety Training and Behaviour Perspective. *American Journal of Health Behavior*, 48(6), 1529–1540. <https://doi.org/10.5993/ajhb.48.6.5>
- Baloch, Q. B., Shah, S. N., Iqbal, N., Sheeraz, M., Asadullah, M., Mahar, S., y Khan, A. U. (2022). Impact of Tourism Development upon Environmental sustainability: a Suggested Framework for Sustainable Ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5917–5930. NCBI. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w>
- Barrio, M., Cárdenas, A., Ortiz, O., y Crus, L. (2012). *CORTINAS ROMPEVIENTOS, SISTEMA FORESTAL PARA MITIGAR LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LOS VIENTOS SOBRE LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS. RESULTADOS DE SU IMPLEMENTACIÓN EN UNA GRANJA GANADERA*. Revista Forestal Baracoa; FAO. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122590/records/6473565053aa8c8963067e1f>
- Bennett, S., Santana-Garcon, J., Marbà, N., Jordà, G., Anton, A., Apostolaki, E. T., Cebrian, J., Gerdali, N. R., Krause-Jensen, D., Lovelock, C. E., Martinetto, P., Pandolfi, J. M., y Duarte, C. M. (2021). Climate-driven impacts of exotic species on marine ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 30(5), 1043–1055. <https://doi.org/10.1111/geb.13283>
- Bojórquez-Tapia, L. A., Díaz-Mondragón, S., y Ezcurra, E. (2010). GIS-based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(2), 129–151. <https://doi.org/10.1080/13658810010005534>
- Bonilla, F., Monrós, Juan-S., y Sasa, M. (2022). Bases conceptuales para la compensación ambiental bajo el enfoque ecológico. *Revista de Biología Tropical*, 70(S1), e52281–e52281. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.2022.52281>

- Capdevilla-Argüelles, L., Zilletti, B., y Suárez, A. (2013). Causas de la pérdida de biodiversidad: especies exóticas invasoras. *Memorias de La Real Sociedad Española de Historia Natural*, 10, 55–76.
- Carlín, L., Solís, H., y Barbosa, D. (2023). La importancia de la gestión ambiental y el manejo de los residuos sólidos. *Gestionar: Revista de Empresa Y Gobierno*, 3. <https://doi.org/10.35622/j.rg.2023.02.004>
- Celi Gómez, X. E., y Moreno Corrales, B. A. (2022). *Implementación de un sistema de abrevadero para ganado vacuno en las fincas Abigail y la Envidia en la parroquia Guasaganda*. La Mana : Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- CONABIO. (2020). *UMAs*. Comisión Nacional Para El Conocimiento de La Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/UMAs>
- CONABIO. (2022a). *¿Por qué se pierde la biodiversidad?* Comisión Nacional Para El Conocimiento de La Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque>
- CONABIO. (2022b). *Sistema Nacional para la Restauración Ambiental: enfoques y términos*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://biodiversidad.gob.mx/pais/snira/enfoques-RA>
- CONAGUA. (2025). *Reúso del agua en la industria*. Comisión Nacional Del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/reuso-del-agua-en-la-industria>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (n.d.). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [17,190] - CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO. (2021). *Sitios prioritarios para la restauración*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/planeacion-para-la-conservacion/sitiosp-restauracion>
- CONABIO. (2022a). *¿Por qué se pierde la biodiversidad?* CONABIO. <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque>
- CONABIO. (2022b). *Sistema Nacional para la Restauración Ambiental: enfoques y términos*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://biodiversidad.gob.mx/pais/snira/enfoques-RA>
- CONAGUA. (2023). *CONAGUA / Disponibilidad por Acuíferos*. Comisión Nacional Del Agua. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html
- CONAGUA. (2024). *Indicadores de Calidad del Agua*. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/indicadores-de-calidad-del-agua?idiom=es>
- CONANP. (2023). *Estudio Previo Justificativo para el Establecimiento del Área Natural Protegida “Área de Protección de Recursos Naturales Ríos y Montañas de la Comarca Lagunera.”* Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

- da Silva, J. K., Costa Costa Ferreira Nunes, L. G., Paz Soares, A. E., y Rosa da Silva, S. (2017). Assessment of water-saving equipment to support the urban management of water. *RBRH*, 22(0). <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170013>
- de la Peña, M. E., Ducci, J., y Zamora Plascencia, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/novedades/>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx. (n.d.). <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap>
- DOF. (2014). *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico*.
- DOF. (2015). *NOM-011-CONAGUA-2015*.
- Dziubak, T., y Dziubak, S. D. (2022). A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation. *Energies*, 15(3), 1182. <https://doi.org/10.3390/en15031182>
- EPA. (2014). *Introduction to Pesticide Drift*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/reducing-pesticide-drift/introduction-pesticide-drift>
- FAO. (2025). *Mensajes clave | Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>
- Fernández Rebollo, P. (2013). *Contribución de la ganadería extensiva al mantenimiento de las funciones de los ecosistemas*. Congreso Forestal Español.
- Ferrer, M. (2012). *Aves y tendidos eléctricos del conflicto a la solución*. ENDESA.
- Flores, U. E. Y., Becerra Monroy, C., y Velasco-Pérez, M. G. (2021). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de San Blas*. Parábola Ambiental.
- Fraga, L., Maciel, S., Zimbres, B., Carvalho, P., Brandao, R., y Rocha, C. (2022). Differences in Wildlife Roadkill Related to Landscape Fragmentation in Central Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 94(suppl 3). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220220041>
- Gargiulo, A., Girardi, P., & Temporelli, A. (2017). LCA of electricity networks: a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(10), 1502–1513. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1279-x>
- Gil López, L. A., y Peñaloza Godoy, M. C. (2014). *Mejora en el Procedimiento de Recolección del Aceite Usado para Minimizar el Impacto Ambiental Generado en el Área de Lubricación de la Empresa Multiservicio Automotor S.A.S*. Escuela Colombiana de Carreras Industriales.

- Gonçalves, A., y Silva, C. (2021). Looking for Sustainability Scoring in Apparel: A Review on Environmental Footprint, Social Impacts and Transparency. *Energies*, 14(11), 3032. <https://doi.org/10.3390/en14113032>
- González, L. G. (2015). Ecotecnologías, autoempleo y sustentabilidad en línea; una triada de formación necesaria en la actualidad / Eco-technologies, online self-employment and sustainability; a triad of training needed today. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 6(11), 393–393. <https://doi.org/10.23913/ride.v6i11.188>
- Gupta, A. K., Suresh, I. V., Misra, J. R., y Yunus, M. (2002). Environmental risk mapping approach: risk minimization tool for development of industrial growth centres in developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 10. [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(01\)00023-3](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(01)00023-3)
- Gurney, G. G., Adams, V. M., Álvarez-Romero, J. G., y Joachim Claudet. (2023). Area-based conservation: Taking stock and looking ahead. *One Earth*, 6(2), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.01.012>
- Heffelfinger, J. R., Geist, V., y Wishart, W. (2013). The role of hunting in North American wildlife conservation. *International Journal of Environmental Studies*, 70(3), 399–413. <https://doi.org/10.1080/00207233.2013.800383>
- Hernández Pérez, J. (2021). Efecto del consumo de energía renovable en las emisiones de gases de efecto invernadero en países con ingresos bajos y altos. *Acta Universitaria*, 31, 1–10. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3030>
- Hilson, G. (2000). Pollution prevention and cleaner production in the mining industry: an analysis of current issues. *Journal of Cleaner Production*, 8(2), 119–126. [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(99\)00320-0](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(99)00320-0)
- Horacio, L. (2010). Ajuste de Carga Animal: Aspectos Teóricos y Recomendaciones Prácticas. *Sitio Argentino de Producción Animal*.
- Hou, D., Bolan, N. S., Tsang, D. C. W., Kirkham, M. B., y O'Connor, D. (2020). Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach. *Science of the Total Environment*, 729, 138961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138961>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENUE. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020, March 4). *México en cifras*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000100012#collapse-Resumen>
- Jones, H., y Boger, D. V. (2012). Sustainability and Waste Management in the Resource Industries. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 51(30), 10057–10065. <https://doi.org/10.1021/ie202963z>

- Khanam, Z., Sultana, F. M., y Mushtaq, F. (2023). Environmental Pollution Control Measures and Strategies: An Overview of Recent Developments. *Geospatial Analytics for Environmental Pollution Modeling*. Springer, Cham. , 385–414. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45300-7_15
- Kukhar, I. V., Orlovskiy, S. N., y Martynovskaya, S. N. (2020). Forest fires environmental impact study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(5), 052061. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052061>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation y Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation y Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lerdo: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (n.d.). Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/lerdo#economy>
- Leuenberger, A., Winkler, M. S., Cambaco, O., Cossa, H., Kihwele, F., Lyatuu, I., Zabré, H. R., Farnham, A., Macete, E., y Munguambe, K. (2021). Health impacts of industrial mining on surrounding communities: Local perspectives from three sub-Saharan African countries. *PLOS ONE*, 16(6), e0252433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252433>
- Lewis, J. S., Spaulding, S., Swanson, H., Keeley, W., Gramza, A. R., VandeWoude, S., y Crooks, K. R. (2021). Human activity influences wildlife populations and activity patterns: implications for spatial and temporal refuges. *Ecosphere*, 12(5). <https://doi.org/10.1002/ecs2.3487>
- Li, L., Zhang, D., Hu, W., Yang, Y., Zhang, S., Yuan, R., Lv, P., Zhang, W., Zhang, Y., y Zhang, Y. (2023). Improving VOC control strategies in industrial parks based on emission behavior, environmental effects, and health risks: A case study through atmospheric measurement and emission inventory. *Science of the Total Environment*, 865, 161235–161235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161235>
- López Bonilla, J. M., y López Bonilla, L. M. (2008). *La capacidad de carga turística: Revisión crítica de un instrumento de medida de sostenibilidad*. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://www.redalyc.org/pdf/1934/193415512006.pdf>
- López López, Á., y Sánchez Crispín, Á. (2010). *Comarca Lagunera. Procesos regionales en el contexto global*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Luque López, J. C. (2019). *Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales Producto de Actividades Ganaderas*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Mahmood, Y., Afrin, T., Huang, Y., & Yodo, N. (2023). Sustainable Development for Oil and Gas Infrastructure from Risk, Reliability, and Resilience Perspectives. *Sustainability*, 15(6), 4953. <https://doi.org/10.3390/su15064953>

- Manga, J., Logreira, N., y Serralt, J. (2001). Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible. *Revista Científica Ingeniería Y Desarrollo*, 9(9), 12–21.
- Mendoza, B. S., Villalva, S. F., Hernández, E. R., Escalera, A. M. A., y Contreras, E. A. C. (2020). Causes and consequences of climate change in livestock production and animal health. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11, 126–145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
- Milera, M. (2013). Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*, 17(0188-7890).
- Mishra, B., Gyawali, B. R., Paudel, K. P., Poudyal, N. C., Simon, M. F., Dasgupta, S., y Antonious, G. (2022). Adoption of Sustainable Agriculture Practices among Farmers in Kentucky, USA. *Environmental Management*, 62(6), 1060–1072. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1109-3>
- Morán Pincay, M. F. (2022). Estudio de la bioseguridad en el manejo de galpones avícolas. *Universidad Tecnica de Babahoyo*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13298>
- Musonda, I., Mwanaumo, E., Onososen, A., y Kalaoane, R. (2024). *Development and Investment in Infrastructure in Developing Countries: A 10-Year Reflection*. CRC Press.
- Nuttall, M. N., Griffin, O., Fewster, R. M., McGowan, P. J. K., Abernethy, K., O’Kelly, H., Nut, M., Sot, V., y Bunnefeld, N. (2021). Long-term monitoring of wildlife populations for protected area management in Southeast Asia. *Conservation Science and Practice*, 4(2). <https://doi.org/10.1111/csp2.614>
- Paredes-Ballena, J., Valiente-Saldaña, Y. M., y Diaz-Valiente, F. A. (2023). Valorización de residuos sólidos generados en las municipalidades locales: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(1), 674–690. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2834>
- Mendoza, M., Plascencia, H., Alcántara, P. C., y Rosete, F. (2011). Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica. In *Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental eBooks*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental UNAM. <https://doi.org/10.22201/ciga.9789688179178e.2011>
- Merino-Benítez, E. T., y Bojórquez-Tapia, L. A. (2021). Manual: *Proceso Analítico Jerárquico (AHP)*. México: UNAM.
- Merino-Benítez, T. y L. A. Bojórquez-Tapia. 2021. Manual: Modelación y simulación dinámica de sistemas socioambientales. México: UNAM.
- Paredes-Vilca, O. J., Jiménez Dávila, L., Dávila García, J., y Apaza Cruz, J. (2024). Contaminación y pérdida de biodiversidad por actividades mineras y agropecuarias: estado del arte. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(1), 56–66. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.594>

- Pérez-Vega, A., Regil García, H. H., y Mas, J. F. (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*, 103. <https://doi.org/10.14350/riq.60150>
- Programa Municipal de Desarrollo Urban. Lerdo, Durango. (2023). In Secretaría De Desarrollo Agrario, Territorial Y Urbano SEDATU. https://www.lerdo.gob.mx/ldop/wp-content/uploads/2024/04/LERDO_20231110.pdf
- Prakash, S., y Verma, A. K. (2022). *Anthropogenic Activities and Biodiversity Threats*. International Journal of Biological Innovations ; 4(1): 94-103. <https://ssrn.com/abstract=4048276>
- Quispe Palomino, A., y Quispe Huisa, V. (2021). Reutilización y reciclaje de residuos sólidos en economías emergentes en Latinoamérica: una revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 13184–13202. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1316
- Rahman, M. M., Alam, K., y Velayutham, E. (2021). Is industrial pollution detrimental to public health? Evidence from the world's most industrialised countries. *BMC Public Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11217-6>
- Ramírez García, A. G., Cruz León, A., Morales Carrillo, N., y Monterroso Rivas, A. I. (2016). El ordenamiento ecológico territorial instrumento de política ambiental para la planeación del desarrollo local. *Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)*, 26(48), 69–99. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572016000200069
- Rands, M. R. W., Adams, W. M., Bennun, L., Butchart, S. H. M., Clements, A., Coomes, D., Entwistle, A., Hodge, I., Kapos, V., Scharlemann, J. P. W., Sutherland, W. J., y Vira, B. (2010). Biodiversity Conservation: Challenges Beyond 2010. *Science*, 329(5997), 1298–1303. <https://doi.org/10.1126/science.1189138>
- RAMSAR. (2025). *Ramsar*. RAMSAR; La Convención sobre los Humedales. <https://www.ramsar.org/es>
- Riquelme, J., Yoshikawa, S., y Aliaga, C. (2021). *Cero labranza. Principios y equipamientos*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1678160/>
- Roque Aguilar, S. M. (2017). Impactos de actividades antrópicas en el recurso agua en la microcuenca del RÍO Timarini – Satipo. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3996>
- Roy, P. S., Ramachandran, R. M., Ignacio, O., Thakur, P. K., Ravan, S. A., Dev Behera, M., Sarangi, C., y Kanawade, V. P. (2022). Anthropogenic Land Use and Land Cover Changes—A Review on Its Environmental Consequences and Climate Change. *Journal*

- of the Indian Society of Remote Sensing, 50(8), 1615–1640. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01569-w>
- Sahu, H. B., y Dash, Er. S. (2011). Land Degradation due to Mining in India and its Mitigation Measures. *Proceedings of Second International Conference on Environmental Science and Technology*. Singapore.
- Sandoval, T. C., Magaña, O., Lizette, S., y Alberto, J. (2024). La vegetación como reguladora del clima urbano: el caso del Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Investigaciones Geográficas Boletín Del Instituto de Geografía*, 114. <https://doi.org/10.14350/riq.60849>
- Sathya, K., Nagarajan, K., Carlin Geor Malar, G., Rajalakshmi, S., & Raja Lakshmi, P. (2022). A comprehensive review on comparison among effluent treatment methods and modern methods of treatment of industrial wastewater effluent from different sources. *Applied Water Science*, 12(4). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01594-7>
- SEDATU. (2014). *Atlas de Riesgos Naturales Lerdo, Durango 2014*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
- SEMARNAT. (2006). *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico*.
- SGM. (2013). *Modelo de Aptitud Minera del Estado de Durango*.
- Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., Warner, K. A., Nelson, M. D., White, C., Briggs, J., McFarland, S., y Wittemyer, G. (2015). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91(4), 982–1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>
- Smith, T. M., y Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Pearson Educacion.
- Soto, L. M. C. (2019). Zonas de amortiguamiento como herramienta clave para la gestión de áreas silvestres protegidas y sus comunidades aledañas. *Revista Ambientico*, 271, 52–58.
- Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., Cruz-Sotelo, S. E., y Ramírez-Barreto, M. E. (2013). Manejo y Potencial de Recuperación de Residuos Sólidos en una Comunidad Rural de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 43–48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37029665005>
- Tang, L., Jia, M., Yang, J., Li, L., Bo, X., y Mi, Z. (2023). Chinese industrial air pollution emissions based on the continuous emission monitoring systems network. *Scientific Data*, 10(1), 153. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02054-w>
- Thompson, S. A., y Thompson, G. G. (2015). Fauna-rescue programs can successfully relocate vertebrate fauna prior to and during vegetation-clearing programs. *Pacific Conservation Biology*, 21(3), 220. <https://doi.org/10.1071/pc14922>
- Tibbett, M. (2024). Post-mining ecosystem reconstruction. *Current Biology*, 34(9), R387–R393. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.03.065>

- TIES. (2015). *What is ecotourism?* The International Ecotourism Society. <https://ecotourism.org/what-is-ecotourism/>
- Tomson, N., Michael, R. N., y Agranovski, I. E. (2021). Removal of particulate air pollutants by Australian vegetation potentially used for green barriers. *Atmospheric Pollution Research*, 12(6), 101070. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101070>
- Trombulak, S. C., y Frissell, C. A. (2001). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18–30. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
- Valenzuela T., P., Vega S., S., y Palma G., J. H. (2014). *View of Dust suppressant treatments. Quality control.* Journal of Construction, 13(3), 27–35. <https://teologiayvida.uc.cl/index.php/RDLC/article/view/13502>
- van der Ree, R., Gagnon, J. W., y Smith, D. (2015). Fencing. *Handbook of Road Ecology*, 159–171. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch20>
- Velásquez-Pita, F. E., Olivera-Aldana, M. F., Díaz-Valiente, F. A., y Mantilla-Sevillano, J. E. (2024). Gestión de residuos sólidos: Una revisión documental. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(2), 806–821. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i2.2974>
- Vidal-Álvarez, M. (2018). Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables. *RINDERESU*.
- Vujanović, M., Wang, Q., Mohsen, M., Duić, N., y Yan, J. (2021). Recent progress in sustainable energy-efficient technologies and environmental impacts on energy systems. *Applied Energy*, 283, 116280. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116280>
- Wang, Y., Hu, Y., y Zhang, J. (2022). *Panini-Net: GAN Prior Based Degradation-Aware Feature Interpolation for Face Restoration*. ArXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2203.08444>
- Weerasooriya, R. R., Liyanage, L. P. K., Rathnappriya, R. H. K., Bandara, W. B. M. A. C., Perera, T. A. N. T., Gunarathna, M. H. J. P., y Jayasinghe, G. Y. (2021). Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review. *Environment, Development and Sustainability*, 23(9), 12661–12709. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01184-0>
- Zerga, B., Warkineh, B., Teketay, D., y Woldetsadik, M. (2021). The sustainability of reforesting landscapes with exotic species: a case study of eucalypts in Ethiopia. *Sustainable Earth*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s42055-021-00044-7>