



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE ECONOMÍA “VASCO DE QUIROGA”

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DOCTORADO EN DESARROLLO Y SUSTENTABILIDAD

TESIS

**“CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL TERRENO EN LA CUENCA DEL
LAGO DE CUITZEO: UN ANÁLISIS DEL PERIODO 2000-2020”**

P R E S E N T A

M.C. LUCERO ELIZABETH PIMIENTA RAMÍREZ

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN DESARROLLO Y SUSTENTABILIDAD

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ERNA MARTHA LÓPEZ GRANADOS

MORELIA, MICHOACÁN, ENERO DEL 2024



Dedicatoria

En este viaje académico he tenido la fortuna de contar con el apoyo de personas excepcionales. Por ello, dedico este trabajo a mi familia, por su amor inquebrantable y apoyo constante a lo largo de este tiempo. A mis amigos y compañeros, por su aliento y risas que hicieron más llevaderos los momentos difíciles. A mis profesores, cuyos conocimientos, sabios consejos y orientación fueron fundamentales en la culminación de esta tesis.

“A todos ustedes, mi sincero agradecimiento por ser parte de este logro”

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas e instituciones que han desempeñado un papel fundamental en la realización de esta tesis, por su contribución a mi desarrollo académico y por facilitar la terminación de este proyecto.

Agradezco profundamente a la Dra. Erna Martha López Granados, por su acompañamiento, guía y compromiso durante estos cuatro años como mi directora de tesis. Su orientación experta, apoyo incondicional, sus valiosos consejos y su tiempo que generosamente dedicó a este proyecto de investigación, han sido clave para lograr esta meta.

Asimismo, deseo agradecer a los distinguidos miembros de la mesa sinodal por compartir su vasto conocimiento, brindar asesoramiento y dedicar su preciado tiempo a este proyecto de investigación:

Dr. Dante Ariel Ayala Ortiz, Profesor Investigador en la Facultad de Economía de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

Dr. Salvador García Espinosa, Profesor Investigador en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Dra. Frida Güiza Valverde, Profesora Investigadora en el Centro Universitario del Noreste, Departamento: Escuela de Humanidades y Ciencias Sociales.

Dr. Manuel Mendoza Cantú, Profesor Investigador en el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Autónoma de México (UNAM).

Además, agradezco al Dr. Francisco Javier Espinosa García, del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES)-UNAM. Su gran influencia académica ha sido fundamental en mi desarrollo profesional, y que marcaron mi interés por la investigación científica.

Deseo reconocer al Dr. Juan Manuel Ortega Rodríguez† de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Por compartir sus conocimientos y enseñanzas, las cuales me acercaron al fascinante mundo de la investigación espacial.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo que, a través de la Facultad de Economía, me facilitó los medios necesarios para poder cursar el Doctorado en Desarrollo y Sustentabilidad.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por haberme otorgado la beca de doctorado (No. 446089).

Mi agradecimiento al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI), por otorgarme apoyos económicos para poder participar en congresos nacionales e internacionales, con la finalidad de divulgar el conocimiento obtenido en esta investigación.

RESUMEN

En la cuenca del lago de Cuitzeo desde hace algunas décadas se han venido registrando cambios importantes en su cobertura natural y usos antrópicos. El objetivo del presente estudio fue analizar los cambios espacio-temporales entre el año 2000 y 2020 e identificar las fuerzas sociales y económicas que han ejercido una influencia directa sobre estos cambios. Se llevó a cabo a partir de la interpretación visual de imágenes sentinel-2A del año 2020 y un mapa de cobertura y uso del terreno del año 2000. Además, se analizaron datos de población, vivienda y datos agropecuarios para identificar fuerzas impulsoras. Los resultados indican una reducción de la cobertura vegetal, destacando el matorral con una pérdida del (18.3%), las plantaciones de árboles (18.2%), el bosque (5%). Mientras que los usos antrópicos ganaron superficie, como los asentamientos humanos (63.9%), el pastizal (57.8%), con excepción de los cultivos que perdió el 11.3%. Otras categorías que ocupan una superficie menor al 5% en el área de estudio, también se expandieron, como la vegetación acuática (69%) y el suelo desnudo (160%). Las fuerzas impulsoras son diversas, se identificaron el crecimiento de población total (42%), la población urbana (40%), las localidades urbanas (50%) y el número de viviendas (63.9%). Además, se registró superficie destinada a las huertas, cultivo protegido y la expansión de algunos cultivos económicamente más rentables, como el aguacate, agave y fresa. Estos hallazgos señalan que, en función de la cobertura y usos del terreno, la cuenca se encuentra menos conservada que el periodo anterior. Se recomienda seguir monitoreando estos cambios considerando las diversas fuerzas impulsoras, el análisis continuo y detallado permitirá desarrollar estrategias efectivas que promuevan la conservación de los recursos naturales y contribuyan en la planificación sostenible del territorio.

Palabras clave: Cobertura del terreno/Uso del terreno, Sentinel-2A, fuerzas impulsoras, cuenca de Cuitzeo.

Abstract

In the Cuitzeo Lake basin, significant changes in its natural coverage and anthropic uses have been recorded for several decades. The objective of this study was to analyze the spatiotemporal changes between the years 2000 and 2020 and identify the social and economic forces that have directly influenced these changes. This analysis was conducted through the visual interpretation of Sentinel-2A images from 2020 and a land cover and use map from 2000. Additionally, population, housing, and agricultural data were analyzed to identify driving forces. The results indicate a reduction in vegetation coverage, notably shrubland with a loss of (18.3%), tree plantations (18.2%), and forest (5%). While anthropic uses expanded, highlighting human settlements (63.9%) and grassland (57.8%), except for crops which experienced an 11.3% decline. Other categories occupying less than 5% of the study area also expanded, such as aquatic vegetation (69%) and bare soil (160%). The driving forces are diverse, including total population growth (42%), urban population (40%), urban areas (50%), and the number of households (63.9%). Additionally, an increase in land dedicated to orchards, protected cultivation, and the expansion of economically more profitable crops like avocado, agave, and strawberry was recorded. These findings indicate that concerning land coverage and uses, the basin is less conserved than in the previous period. Continual monitoring of these changes considering the diverse driving forces is recommended. A continuous and detailed analysis will enable the development of effective strategies promoting natural resource conservation and contributing to sustainable territorial planning.

Keywords: Land cover/Land use, Sentinel-2A, drivers, basin Cuitzeo.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Resumen.....	III
1. Introducción general	1
2. Marco conceptual	5
1. 2.1 Cobertura del terreno y usos del terreno	5
2. 2.2 Cambio de cobertura y uso del terreno (CCVUT)	6
3. 2.3 Fuerzas impulsoras (proximales y subyacentes) del CCVUT	7
4. 2.4 Procesos del cambio de cobertura vegetal y usos del terreno	14
5. 2.5 El cambio de cobertura vegetal y usos del terreno en México	14
6. 2.6 Teledetección	18
2.6.1 Imagen Sentinel 2	18
2.6.2 Resolución espacial	19
7. 2.7 Sistemas de Información Geográfica.....	21
8. 2.10 Detección de cambios	21
2.6.1 Matriz de transición o tabulación cruzada	21
9. 2.8 Información socioeconómica	22
3. Antecedentes.....	22
10. 3.1 Investigaciones sobre el CCVUT en la cuenca de Cuitzeo	22
11. 3.2 Marco legal e institucional	27
3.2.1 Ordenamiento Ecológico de la cuenca del lago de Cuitzeo.....	27
4. Justificación	29
5. Objetivos.....	30
6. Preguntas de investigación	31
7. Hipótesis de trabajo	32
8. Área de estudio.....	33
12. 8.1. Localización geográfica del área de estudio	33
13. 8.2 Características biofísicas de la cueca de Cuitzeo.....	35
8.2.1 Clima	35
8.2.2 Hidrología	37
8.2.3 Edafología.....	38
8.2.4 Geología	40
8.2.5 Vegetación.....	41
8.2.6 Fisiografía	44
14. 8.3. Factores sociodemográficos de la cuenca de Cuitzeo	44

8.3.1 Municipios que conforman la cuenca de Cuitzeo	44
9. Metodología	47
15. 9.1 Obtención de la cobertura y uso del terreno del año 2020.....	47
9.1.1 Fuente de datos y procesamiento de la imagen satelital.....	47
16. 9.1.2 Digitalización e interpretación visual	49
17. 9.1.3 Categorización de los polígonos.....	51
18. 9.1. 4 Evaluación de la precisión	55
19. 9.1.5 Detección del CCVUT para el periodo 2000-2020	57
20. 9.2 Análisis de las fuerzas impulsoras del CCVUT	58
9.2.1. Dinámica demográfica	58
9.2.2. Análisis de correlación entre la población total y los asentamientos humanos	59
9.2.3 Número de viviendas en el periodo 2000-2020	59
9.2.4 Dinámica de la producción ganadera en la cuenca de Cuitzeo	59
9.2.5. Dinámica de la producción agrícola en la cuenca de Cuitzeo.....	59
9.3 Diagrama del enfoque metodológico.....	61
10. Resultados y discusiones.....	62
21. 10.1 Evaluación de la precisión	62
22. 10.2 Detección de los cambios de cobertura vegetal y usos del terreno.....	62
10.2.1 Ganancias y pérdidas entre categorías	69
23. 10.3 Fuerzas impulsores del CCVUT	92
10.3.1 Dinámica demográfica	92
10.3.2 Población rural y urbana	96
10.3.3 Localidades rurales y urbanas	97
10.3.4. Análisis de correlación (población total y asentamientos humanos)	99
10.3.5. Número de viviendas en el periodo 2000-2020	100
10.3.6 Dinámica de la producción ganadera en la cuenca de Cuitzeo	103
10.3.7 Dinámica de la producción agrícola en la cuenca de Cuitzeo.....	105
10.3.7.1 Superficie cosechada y producción económica.....	105
10.3.7.2 Tipos de cultivos	107
11. Conclusiones	111
12. Recomendaciones	112
13. Bibliografía.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la matriz de transición.....	22
Tabla 2. Aspectos climáticos de la cuenca de Cuitzeo.....	35

Tabla. 3 Tipos de suelos que se encuentran en la cuenca de Cuitzeo.....	38
Tabla 4. Municipios que conforman la cuenca de Cuitzeo.....	44
Tabla 5. Características de la imagen Sentinel-2A.....	47
Tabla 6. Descripción de los tipos de cobertura y usos del terreno.....	53
Tabla. 7 Matriz de confusión.....	55
Tabla. 8 número de polígonos validados en campo.....	57
Tabla 9. Índices de fiabilidad.....	56
Tabla 10. Matriz de transición.....	58
Tabla 11. Distrito de riego-Morelia-Queréndaro.....	60
Tabla 12. Precisión de la clasificación de la imagen del año 2020.....	62
Tabla 13. Superficies de las CUT de 1975 al 2020.....	63
Tabla 14. Matriz de transición de los CCUT, en el período 2000-2020.....	68
Tabla 15. Índices de cambio de la cobertura y uso del terreno 2000-2020.....	69
Tabla 16. Población total de los municipios de la cuenca de Cuitzeo.....	95
Tabla 17. Localidades rurales y urbanas en la cuenca de Cuitzeo (2000-2020).....	98
Tabla 18. Número de viviendas en la cuenca de Cuitzeo.....	102
Tabla 19. Producción ganadera entre el 2006 y 2020.....	103
Tabla 20. Tipos de cultivo entre el 2003 y 2020.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coberturas y usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.....	5
Figura 2. Cambios de cobertura y usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.....	6
Figura 3. Fuerzas impulsoras del CCVUT.....	8
Figura 4. Fuerzas proximales del CCVUT.....	9
Figura 5. Población y expansión urbana de 1995 al 2015.....	12
Figura 6. Fuerzas subyacentes del CCVUT.....	13
Figura 7. Procesos del CCVUT.....	14
Figura 8. Resolución espacial.....	20
Figura 9. Ubicación geográfica de la cuenca del lago de Cuitzeo.....	34
Figura 10. Distribución de los tipos de climas en la cuenca de Cuitzeo.....	36
Figura 11. Hidrología superficial y subterránea de la cuenca de Cuitzeo.....	37
Figura 12. Edafología en la cuenca de Cuitzeo.....	39
Figura 13. Geología de la cuenca de Cuitzeo.....	40
Figura 14. Vegetación en la cuenca de Cuitzeo.....	43
Figura 15. Municipios de la cuenca de Cuitzeo.....	46

Figura 16. Imagen en color natural.....	48
Figura 17. Escala de interpretación visual.....	50
Figura 18. Categorías de la cobertura y usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.....	52
Figura 19. Cambios en las coberturas y usos del terreno 2000-2020.....	64
Figura 20. Distribución espacial de la cobertura vegetal y usos del terreno del año 2000.	66
Figura 21. Distribución espacial de la cobertura vegetal y usos del terreno del año 2020.....	67
Figura 22. Pérdidas y ganancias de las CUT entre año 2000-2020.....	70
Figura 23. Distribución del matorral en 1975, 2000 y 2020.....	72
Figura 24. Distribución de las plantaciones de árboles en 1975, 2000 y 2020.....	73
Figura 25. Distribución del bosque en 1975, 2000 y 2020.....	75
Figura 26. Distribución espacial del Bosque abierto, semiabierto y cerrado del 2000 y2020.....	76
Figura 27. Distribución del cultivo en 1975, 2000 y 2020.....	78
Figura 28. Distribución espacial de los cultivos de temporal y riego en 1975, 2000 y 2020.....	79
Figura 29. Distribución del lago de Cuiteo en 1975, 2000 y 2020.....	80
Figura 30. Distribución de los asentamientos humanos en 1975, 2000 y 2020.....	83
Figura 31. Distribución del pastizal en 1975, 2000 y 2020.....	85
Figura 32. Distribución espacial de la superficie de huertas.....	87
Figura 33. Distribución de la superficie de cultivo protegido.....	89
Figura 34. Distribución espacial de la vegetación acuática en 1975, 2000 y 2020.....	90
Figura 35. Distribución espacial de los bordos, suelo desnudo y zona de inundación.....	91
Figura 36. Población total de la cuenca de Cuitzeo de 1970, 2000 y 2020.....	93
Figura 37. Población de los municipios de la cuenca de Cuitzeo en 1970, 2000 y 2020.....	94
Figura 38. Población rural y urbana en 1970-2000 y 2020.....	96
Figura 39. Localidades rurales y urbanas en la cuenca 1970-2000 y 2020.....	97
Figura 40. Población total y la superficie de sentamientos humanos.....	100
Figura 41. Número de viviendas en la cuenca de Cuitzeo en el periodo 2000-2020.....	101
Figura 42. Superficie de pastizal y animales sacrificados.....	104
Figura 43. Producción de carne y valor económico.....	104
Figura 44. Superficie y producción total de cultivos.....	105
Figura 45. Cultivo de riego y temporal.....	106
Figura 46. Principales cultivos en la cuenca de Cuitzeo en el año 2003.....	108
Figura 47. Principales cultivos en la cuenca de Cuitzeo en el año 2020.....	108

1. Introducción general

En el último milenio se ha presenciado una transformación de tres cuartas partes de la biósfera (Gao et al., 2023), alrededor del 17% de esta superficie ha experimentado cambios (Kayitesi et al., 2022; Yang et al., 2023). Las causas directas de estas modificaciones son las actividades antrópicas (Foladori y Pierri, 2005), que han generado la degradación ambiental, entre las que se destaca, el cambio en la cobertura vegetal y usos del terreno (CCVUT), los cuales han sido cada vez más devastadores (Turner et al., 1994). Estos cambios en el sistema terrestre se han clasificado entre los nueve “límites planetarios” que deben ser monitoreados para que los ecosistemas sigan existiendo y cumpliendo con los procesos que regulan el funcionamiento y mantienen el equilibrio del sistema terrestre (Steffen et al., 2015). Debido a que todos los ecosistemas han sido modificados, especialmente los bosques (Costanza, 1999; Gutman et al., 2007; Lindenmayer et al., 2023), donde se han reportado que desde 1990 al 2019, se ha perdido 420 millones de hectáreas (FAO, 2020). Esta disminución de la vegetación natural, es ocasionado por la expansión de la agricultura y los asentamientos humanos (Kayitesi et al., 2022; Liu et al., 2023), representa un desafío ambiental y un problema ecológico mundial, por lo que se ha convertido en un elemento clave para comprender el cambio ambiental global y el desarrollo sostenible (Costanza, 1999; Gutman et al., 2007; Prestele et al., 2017; Wang et al., 2023).

Para explicar estos cambios es necesario identificar dos conceptos interdependientes, el “uso del terreno” afecta la “cobertura del terreno”, por lo que generalmente se estudia en una misma unidad espacial (Nadal et al., 2023). La cobertura del terreno (CT), describe el estado de la superficie terrestre, como los tipos generales de vegetación, el agua, los glaciares, los ríos, los lagos, y las construcciones realizadas por el humano, como carreteras, ciudades y presas (Lambin y Geist, 2008; Lambin y Geist, 2010). El uso del terreno (UT), se refiere a la actividad humana, llevadas a cabo en esas coberturas naturales o antrópicas para satisfacer necesidades básicas y económicas del ser humano (Lambin y Geist, 2008; Raja y Mathew, 2023), por ejemplo la agricultura, silvicultura, ganadería, industria, vivienda, recreación y extracción de recursos naturales (Turner et al., 1994).

Durante las últimas décadas la comunidad científica ha realizado un esfuerzo por documentar las causas que inducen el CCVUT en casi todos los ecosistemas del mundo (Turner et al., 2021; Wang et al., 2023). Se ha observado que factores físicos, ecológicos,

y socioculturales influyen en este fenómeno (Campos et al., 2012), destacando la rápida urbanización (Domingo et al., 2023), la intensificación del uso del terreno agrícola (Alijani et al., 2020) y el crecimiento demográfico (Sena et al., 2023). Además, la interacción de condiciones socioeconómicas locales (Frija et al., 2023; Katusiime et al., 2023), y la toma de decisiones locales desempeñan un papel crucial en estos procesos de cambio, por ejemplo la disponibilidad de tierras para satisfacer necesidades básicas de la población (Chasia et al., 2023), empresarios, y pequeños locatarios (Gebeyehu et al., 2023), las políticas gubernamentales a nivel local, regional y nacional (Acheampong et al., 2018; Olivera et al., 2023), hasta las demandas del mercado global (Yang et al., 2023), que inducen el desarrollo económico, a través de la intensificación de monocultivos (Carte et al., 2021; VanderWilde et al., 2023).

El CCVUT tiene consecuencias directas en los ecosistemas ya que representa el riesgo más importante de agotamiento de los recursos naturales (Wang et al., 2023), debido a que altera la composición, estructura y función de los bosques (Schulte y Pettorelli, 2023), selvas y humedales (Mariye et al., 2022). A nivel local, induce a la pérdida directa de la biodiversidad (Katusiime et al., 2023), altera el ciclo hidrológico, cambios en el microclima, conduce a la erosión y disminución de la calidad de los suelos (Chen et al., 2021), modifica las formas de producción tradicional, entre otras (Devine et al., 2021; Teshome et al., 2022). En el ámbito regional, afecta el funcionamiento de las cuencas hidrológicas (Damtew et al., 2022; Katusiime et al., 2023). A nivel global contribuye al aumento del CO₂ a la atmósfera por la descomposición de la materia orgánica de los ecosistemas perdidos y coadyuva al calentamiento global (Baumann et al., 2017; Xian et al., 2023). Las proyecciones futuras del CCVUT, han señalado que se tendrían graves implicaciones para la agricultura (Kafy et al., 2021), la energía (Wang et al., 2023), la disponibilidad del agua, cambios en el clima (Schulte y Pettorelli, 2023), la provisión de servicios ecosistémicos (Nie et al., 2023; Schirpke et al., 2023), resiliencia al cambio climático (Gong et al., 2023) y los desastres naturales (Baumann et al., 2017).

El CCVUT en el contexto del desarrollo sostenible, la ONU (2018), señala dentro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en la meta número 15 “proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar, sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad” (pág. 67). El uso racional del terreno es indispensable para lograr la sostenibilidad de los territorios, los cambios que ocurren han tenido un

impacto perjudicial en los ecosistemas, exacerbando la degradación ambiental que pone en riesgo el patrimonio natural y cultural de la humanidad (Debebe et al., 2023; Gebeyehu et al., 2023). Es por ello, que el seguimiento constante de los cambios en el uso del terreno y su magnitud se convierte en una herramienta crucial, para guiar la planificación del uso sostenible del terreno (Acheampong et al., 2018; Wang et al., 2022), y orientar las acciones necesarias para preservar y proteger los recursos naturales y culturales para las futuras generaciones (Lidzhegu y Kabanda, 2022; Osumanu y Ayamdoo, 2022; Sena et al., 2023).

La cuenca del lago de Cuitzeo ha sido reconocida por su riqueza ecológica y su importancia socioeconómica para las comunidades locales y la región, desde hace algunas décadas enfrenta desafíos debido a los cambios acelerados de su paisaje y usos del terreno, a causa de las diversas actividades que se ha desarrollado sobre esta zona (Correa et al., 2014; Villafán et al., 2021). Esta presión antropogénica en la cuenca, ha afectado sus ecosistemas y sus dinámicas socioeconómicas (Ortiz et al., 2023).

En las últimas décadas se han registrado cambios dinámicos en la cobertura y los usos del terreno, particularmente en el incremento de los asentamientos humanos en especial la expansión evidente de la mancha urbana de Morelia y el municipio periurbano de Tarímbaro (López, 2006). La segregación espacial de los asentamientos informales ha dado lugar a cambios en el uso del terreno y ha llevado a la transformación del entorno natural circundante (Ruiz et al., 2021). Se ha señalado que los procesos demográficos como el crecimiento poblacional, la migración de la población (López et al., 2006) y el desarrollo inmobiliario sobre zonas rurales y semirurales, que han tenido lugar en la cuenca, han transformado el entorno natural y los usos tradicionales del terreno (Rodríguez et al., 2020; Ruiz et al., 2021).

El objetivo central de esta investigación fue interpretar, cuantificar y analizar la cobertura vegetal y el uso del terreno durante el año 2020 y comparar los cambios ocurridos con el año 2000, actualizando la información espacial a escala semidetallada. Además, identificar las fuerzas sociales y económicas que han ejercido influencia sobre estos cambios observados, que permitan responder algunas de las cuestiones cruciales en torno esta problemática, tales como: ¿Qué coberturas y usos del terreno están experimentando transformaciones?, ¿Dónde se están produciendo estos cambios?, ¿Cuánto está cambiando?, ¿De qué manera están ocurriendo?, y finalmente, ¿Cuáles son las razones que explican estos cambios?

Comprender las dinámicas del CCVUT permitirá la gestión y la formulación de respuestas adecuadas para su manejo, ya que estas investigaciones tienen el potencial de mejorar la comprensión de las complejas interacciones entre la sociedad y el entorno local. Por otra parte, los mapas de cobertura del terreno son necesarios para conocer el territorio, la distribución de las coberturas, los usos y el impacto antrópico sobre los paisajes. Además, este tipo de análisis son una herramienta fundamental para evaluar la eficacia de programas y políticas generadas como los Ordenamientos Territoriales a nivel Municipal y el de la cuenca del lago de Cuitzeo.

2. Marco conceptual

2.1 Cobertura del terreno y usos del terreno

El uso del terreno afecta a la cobertura del terreno y para comprender adecuadamente la problemática del CCVUT (Figura 1), es importante señalar que existen dos elementos conceptuales que no son sinónimos pero que se encuentran estrechamente vinculados con el entorno físico y humano (Nadal et al., 2023).

Cobertura del terreno (CT), son las características físicas y biológicas que están presentes en la superficie de la Tierra y pueden ser de origen natural, incluida la distribución de la vegetación, el agua, el suelo, bosques, glaciares, ríos, lagos, y otras producidas por el hombre; tales como carreteras, ciudades, presas entre otras características físicas (Lambin y Geist, 2010).

Uso del terreno (UT), se refiere a las diferentes formas en que se emplea un terreno (Yang et al., 2023), la cubierta vegetal y que ha sido utilizada por los seres humanos para satisfacer sus necesidades materiales, en un contexto socioeconómico (agricultura, industria, vivienda, recreación, provisión de refugio y extracción de recursos naturales) (Parveen et al., 2018).

Figura 1. Cobertura y usos del terreno.



Nota: las flechas en color amarillo muestran algunas coberturas del terreno y las flechas en color rojo los usos del terreno.

2.2 Cambio de cobertura y uso del terreno (CCUT)

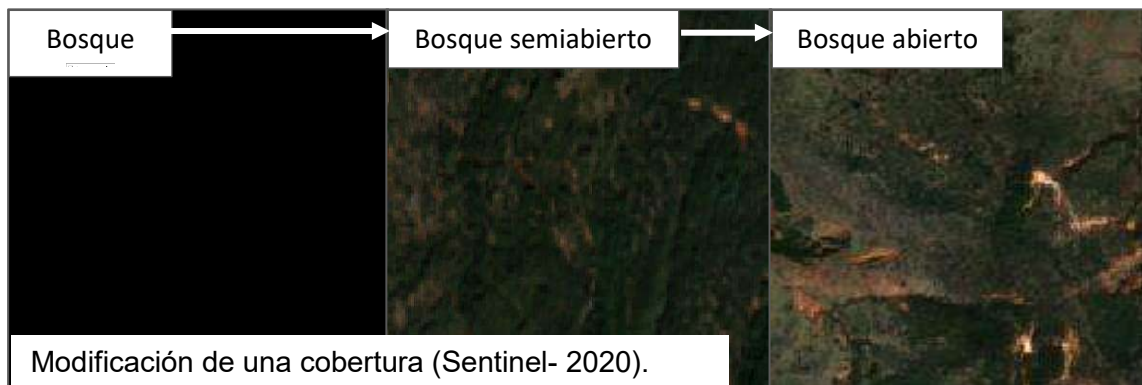
El término cambio se refiere a la transformación de una cobertura y uso del terreno por otra, en el cual se distinguen dos procesos; el primero de ellos es la conversión, es decir, la sustitución completa de un tipo de cobertura por otro, como ejemplo se encuentran los bosques que pueden ser sustituidos por cultivos o asentamientos humanos; y el segundo es la modificación que se refiera a cambios más sutiles que no implican una sustitución total de la cobertura (bosque cerrado a bosque semiabierto o abierto) (Turner et al., 1994). Estos CCUT, pueden ser impulsados por procesos naturales (incendios forestales, erosión) o, por actividades humanas (deforestación y la urbanización) (Figura 2).

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), define al cambio de uso de suelo como “la modificación de la vocación natural o predominante de los terrenos, llevada a cabo por el hombre a través de la remoción total o parcial de la vegetación” (DOF, 2022).

Figura 2. Cambios de cobertura y usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.



Sustitución completa (Sentinel-2020).



Modificación de una cobertura (Sentinel- 2020).

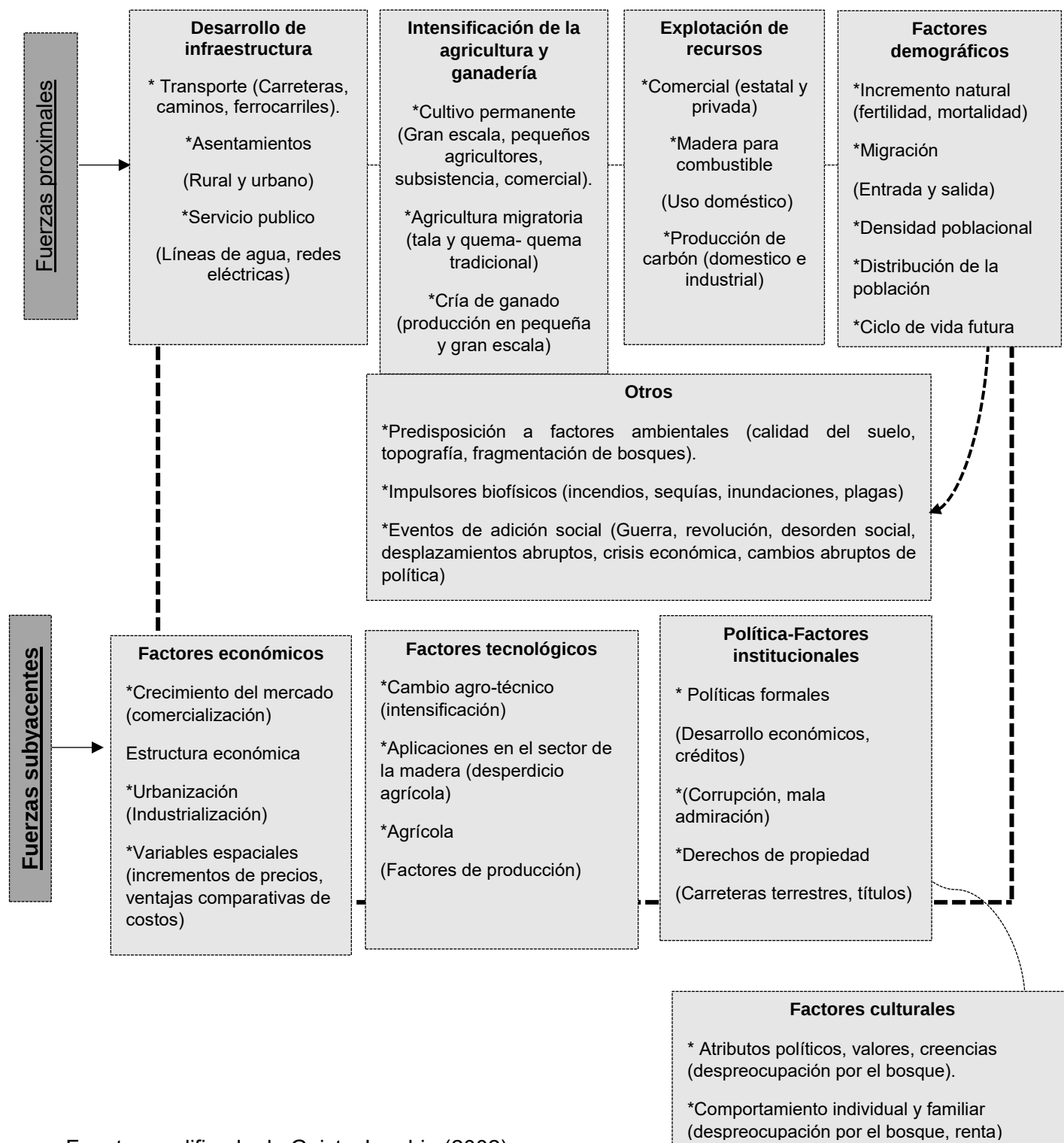
Fuente: elaborado a partir de una imagen Sentinel 2A del año 2020.

2.3 Fuerzas impulsoras (proximales y subyacentes) del CCVUT

En el análisis del CCVUT se requiere comprender cómo las personas toman decisiones sobre el uso del terreno y cómo interactúan determinados factores biofísicos y socioeconómicos en los cambios observados en el entorno (Gebeyehu et al., 2023). Existe una variedad de fuerzas motrices que impulsan el CCVUT, no son aisladas si no complementarias entre sí.

Para ello, se han descrito dos grupos de fuerzas que desempeñan un papel central en dicho fenómeno: las fuerzas proximales o directas, provocan alteraciones evidentes en la cobertura y usos del terreno, está conformado por las actividades humanas que provocan consecuencias inmediatas y el otro grupo de impulsores son las fuerzas subyacentes o indirectas, abordan factores más complejos y menos visibles, pero que tienen un impacto igualmente significativo en los cambios que se observa en la cobertura y en los usos del terreno, se caracterizan por una compleja red en la toma de decisiones sociales, políticas, variables económicas, demográficas, tecnológicas, culturales y biofísicas como se representa en la Figura 3 (Geist y Lambin, 2002).

Figura 3. Fuerzas impulsoras del CCVUT.

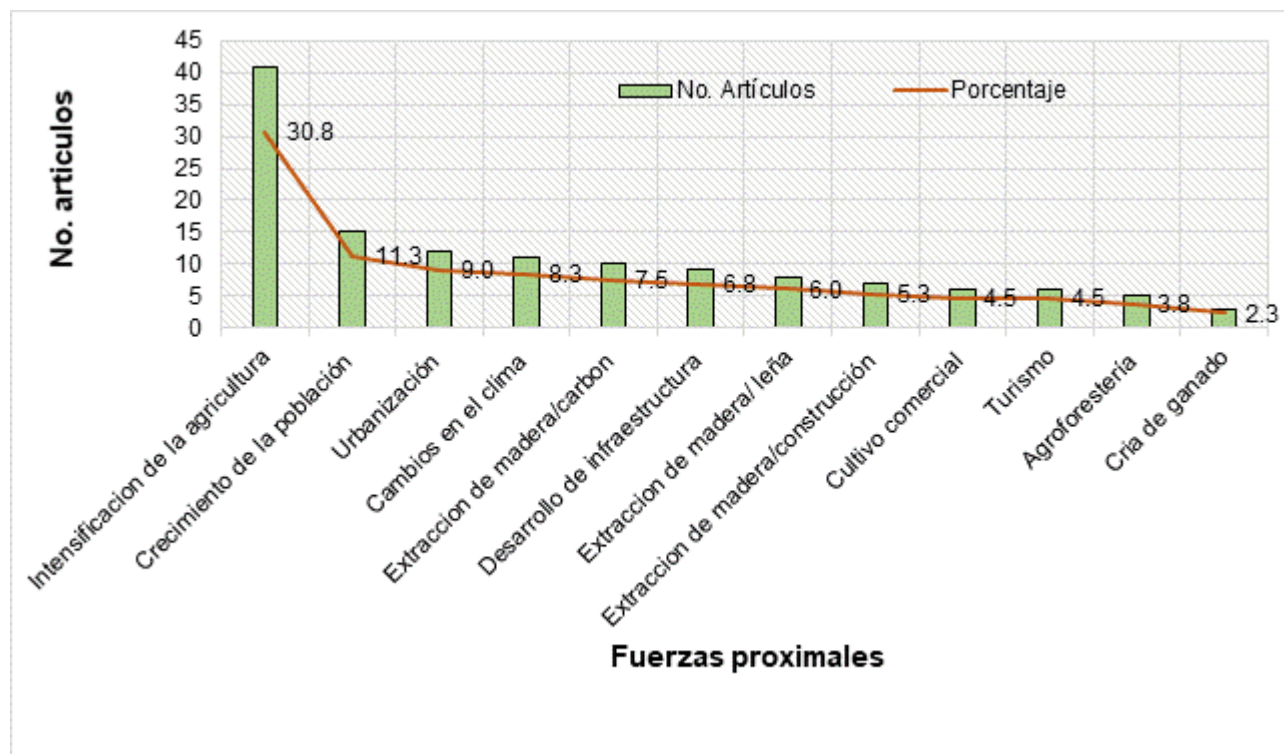


Fuente: modificado de Geist y Lambin (2002).

Fuerzas proximales o directas

En la literatura científica se han registrado algunas causas que son más comunes, en primer lugar, la intensificación de la agricultura, la urbanización, cambios en el clima, la extracción de madera para la producción de carbón vegetal y el desarrollo de infraestructura como carreteras o caminos, entre otras (figura 4) (Pimienta y López, 2023).

Figura 4. Fuerzas proximales del CCVUT.



Fuente: Pimienta y López (2023).

Intensificación agrícola

El crecimiento de la población global y el aumento del consumo, conducen a una rápida demanda de productos agrícolas y ganaderos (Gitima et al., 2022; Teshome et al., 2022), ya que numerosos estudios indican que la demanda de estos productos continúa en constante crecimiento (Temesgen et al., 2018; Waleed et al., 2023). Sin embargo, la expansión de áreas destinadas a la agricultura y ganadería conlleva costos ambientales significativos (Esgalhado et al., 2021), entre los que se destaca la reducción de áreas naturales (Rehman y Khan, 2022), las emisiones de gases de efecto invernadero, y la pérdida de biodiversidad, especialmente en las regiones tropicales (Lambin y Meyfroidt, 2011).

La agricultura comercial es una actividad considerada como una mega-tendencia, la cual se define como una combinación compleja de factores económicos, políticos, culturales, y tecnológicos, que tienen un mayor impacto que las tendencias normales (Gaudig et al., 2021). Se caracterizan por su producción a gran escala, en contraste con la agricultura de subsistencia, donde la producción se destina principalmente al consumo propio o local. Por otra parte, esta actividad agrícola está orientada a la venta y distribución de los productos agrícolas en mercados más amplios, principalmente para cubrir una demanda del mercado global (Carte et al., 2021; Lira et al., 2022). Se ha señalado que esta nueva forma de producción agrícola es una causa directa del CCVUT en la actualidad, especialmente puede tener un impacto negativo en el medio ambiente, contribuye a la deforestación (Cissell et al., 2018), emisión de gases de efecto invernadero (Xian et al., 2023), pérdida de polinizadores (Gómez et al., 2021; Tommasi et al., 2021) y pérdida de prácticas de producción tradicional (Dibaba et al., 2020).

El cultivo protegido ha crecido de manera exponencial, en México se producen alrededor de 39 millones de toneladas de frutas y hortalizas anuales bajo este sistema de producción, con un valor de 39 mil millones de pesos (SIAP, 2017). El crecimiento de la agricultura protegida en territorio nacional está presente en los 32 estados del país abarcando una extensión superior a las 42 mil hectáreas. El 56% de la superficie de la agricultura protegida se concentra principalmente en tres estados: Sinaloa (20%), Jalisco (20%) y Michoacán (17%) (SIAP, 2017). Esta forma de producción podría tener implicaciones positivas, como una mayor eficiencia para la producción de alimentos y el rendimiento económico, pero también implica una modificación y desplazamiento de los cultivos tradicionales (Ango et al., 2020).

Crecimiento de la población

El crecimiento poblacional es uno de los principales procesos sociales que provoca cambios directos a nivel local, regional y global en la cobertura y usos del terreno (Foley et al., 2005; Kamran et al., 2023). De acuerdo con el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA), en el año 2022, la población mundial ha alcanzado los 8,000 millones de personas, y se estima que aumentará los 9,000 millones para el año 2050 y 10,400 millones en 2100. Estas tendencias implican una creciente demanda de recursos naturales en el planeta, y presenta desafíos significativos en términos de seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad y manejo sostenible de los recursos naturales, así como

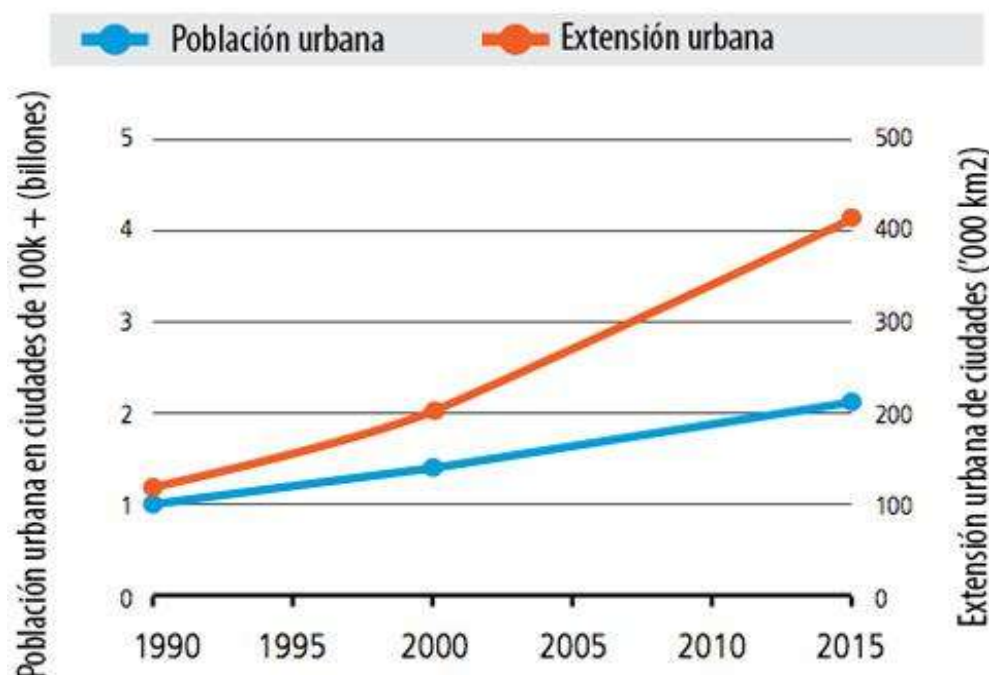
la necesidad de expandir áreas para la agricultura, ganadería y la urbanización (Tuffour et al., 2020).

La urbanización

Se define como el proceso de concentrar personas en áreas urbanas o ciudades y el desarrollo de actividades en estos centros, lo que conlleva a cambios demográficos, económicos, sociales, culturales (Friedmann, 1990). Actualmente existen 1,934 áreas metropolitanas o metrópolis en el mundo, con más de 300,000 habitantes, esto debido a que más del 56% de la población mundial vive en ciudades (BANCO-MUNDIAL, 2017). Se prevé que para el año 2030 aumente hasta aproximadamente los 5,000 millones. Gran parte de la urbanización tendrá lugar en África y Asia, como es el caso de la India y China. Mientras que en América Latina una de las características dominantes del crecimiento desde la Segunda Guerra Mundial ha sido la rápida urbanización, lo que ha provocado una transformación social, económica y ambiental (ONU-HABITAT, 2016).

La urbanización se encuentra estrechamente relacionada con la expansión urbana (Figura 5), la cual se refiere al crecimiento físico y territorial de las áreas urbanas. Mediante este proceso las ciudades se expanden hacia las áreas circundantes, ya sea a través de la construcción de nuevos desarrollos inmobiliarios en áreas rurales o la transformación de tierras agrícolas o naturales en zonas urbanas (Nie et al., 2023). Sin embargo, la ONU-HABITAT (2016), señaló que el consumo de suelo para la urbanización está superando el crecimiento de la población urbana, lo que lleva a una expansión urbana de menor densidad de habitantes por superficie urbana (km^2). Esta situación plantea nuevos desafíos importantes en la cobertura y el uso del terreno, ya que se produce la pérdida de tierras agrícolas y espacios naturales para las áreas construidas (Olivera et al., 2023).

Figura 5. Población y expansión urbana de 1995 al 2015.

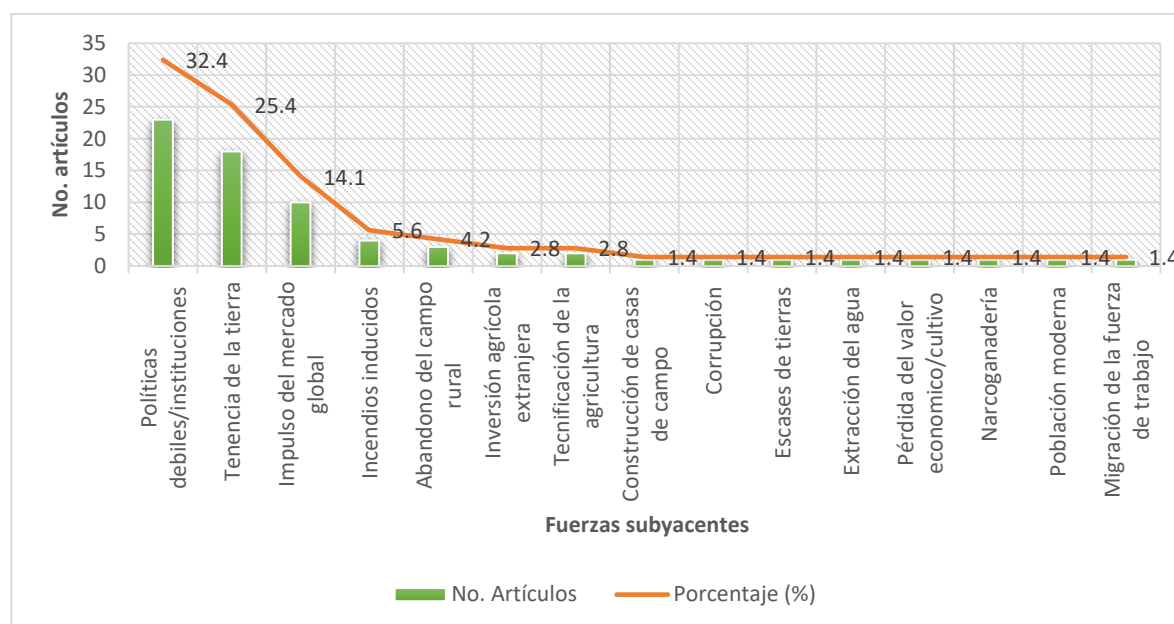


Fuente: ONU-HABITAT (2016).

Fuerzas subyacentes o indirectas

Las fuerzas subyacentes que inducen al CCVUT, son los factores más amplios y fundamentales que influyen indirectamente en la transformación de los paisajes y la utilización de los recursos de la tierra (Geist y Lambin, 2002). Estas fuerzas son más difíciles de percibir y pueden operar, cambiar o modificarse a lo largo del tiempo, afectando de manera sutil y general las decisiones y acciones humanas en relación con el uso del terreno (Geist y Lambin, 2002; Qasim et al., 2013). Algunos de estos factores que se han registrado, están en función de la toma de decisiones de políticos e instituciones (Bruno et al., 2021), de intereses económicos como la mercantilización de la agricultura (Betru et al., 2019), y factores demográficos como la inmigración (Larbi, 2023). En un estudio reciente, realizado por Pimienta y López (2023), se han reportado las fuerzas indirectas que la población local percibe con mayor influencia en el CCVUT, como el cambio de las políticas gubernamentales, la tenencia de la tierra, el crecimiento de la población, impulso del mercado global, los incendios inducidos etc. A continuación, se describen las fuerzas subyacentes más comunes reportadas en la literatura científica.

Figura 6. Fuerzas subyacentes del CCVUT.



Fuente: Pimienta y López (2023).

Políticas débiles/institucionales

Esta fuerza indirecta se refiere a la toma incorrecta de decisiones gubernamentales, falta de medidas e implementación de las leyes, decretos y otros instrumentos que regulan y gestionan el uso del terreno (Phillips y João, 2017; Shackleton et al., 2019; Uisso y Tanrıvermiş, 2021), así como la corrupción que permea el manejo del paisaje (López, 2006). La falta de una implementación de la legislación ambiental y la toma incorrecta de decisiones por la falta de información en los estudios de planificación del territorio contribuye a cambios insostenibles en el uso del terreno y a la degradación de los recursos naturales.

Tenencia de la tierra

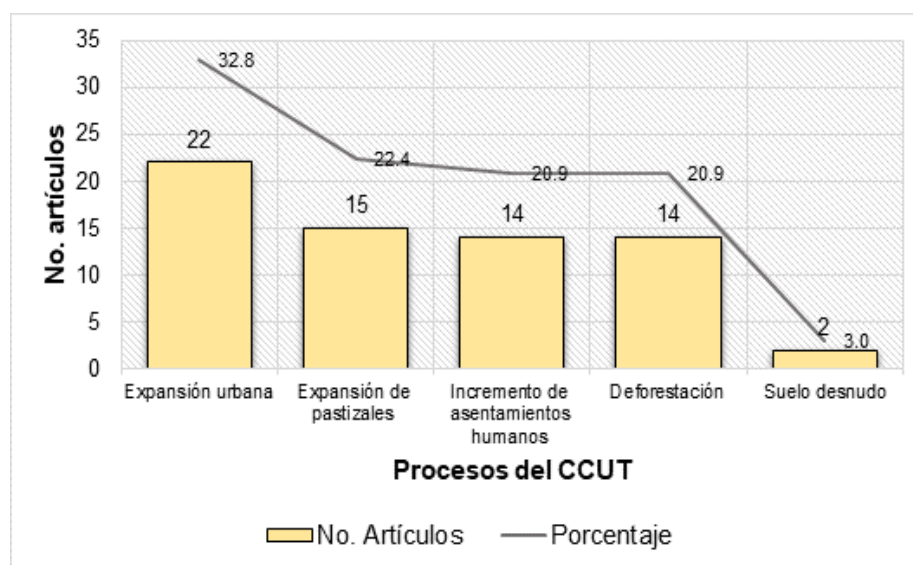
La tenencia de la tierra tiene una influencia importante en el CCVUT en la forma en que se gestiona y utiliza el terreno y los cambios que se lleven a cabo (Ewunetu et al., 2021), especialmente, en lo que respecta a la venta o renta a particulares (Farley et al., 2012; Katusiime et al., 2023). En México, durante el mandato del expresidente Carlos Salinas de Gortari, la tenencia de la tierra fue ampliamente discutida, debido a las reformas y cambios en las políticas agrarias. En esta administración se promovió la reforma al artículo 27 de la constitución mexicana, donde se eliminaron las restricciones a la venta de tierras ejidales o comunales y facilitando su privatización (Ávila y Campos, 2012). Esta reforma permitió que

las tierras ejidales pudieran ser vendidas, hipotecadas o arrendadas, favoreciendo a los especuladores del terreno del sector privado que han promovido la inversión extranjera, modernización del sector agrícola y el desarrollo inmobiliario (Ávila et al., 2019). Con respecto al CCVUT, ha tenido un impacto negativo, ya que ha dado lugar a la deforestación de bosques y selvas por el cambio de uso del terreno intensivo (Liao et al., 2023).

2.4 Procesos del cambio de cobertura vegetal y usos del terreno

En la literatura internacional se han registrado procesos como resultado del CCVUT y que son frecuentes en diversas áreas geográficas, tal como lo señalan Pimienta y López (2023). El fenómeno más común es la expansión urbana, seguido de la expansión de pastizales, el incremento de los asentamientos humanos y la deforestación de los bosques, matorrales, selvas y manglares (Turner et al., 2021). Estos procesos ejercen un impacto directo en la cobertura natural y en los usos tradicionales del terreno a lo largo del tiempo (Figura 7).

Figura 7. Procesos del CCVUT.



Fuente: Pimienta y López (2023).

2.5 El cambio de cobertura vegetal y usos del terreno en México

En México el cambio de cobertura vegetal y usos del terreno (CCVUT), se ha intensificado durante las últimas cinco décadas por arriba de la media mundial (Mas et al., 2009). Durante este periodo los paisajes naturales han sido modificados por actividades de origen antrópico como la agricultura, ganadería y la expansión urbana (Camacho et al., 2015). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 70 millones de hectáreas de bosques con las que contaba el país en 1990, se ha deforestado a una tasa promedio de 354 mil hectáreas por año hasta el año 2010 (FAO, 2010). Existen

diversas publicaciones científicas que han cuantificado la deforestación de los bosques y selvas durante los últimos 20 años, donde se ha señalado que este proceso ha sido drástico en diferentes regiones, aun cuando no es una tendencia generalizada en todo el país (Mas et al., 2009). Se han perdido 736 mil hectáreas de bosques a consecuencia de actividades socioeconómicas (FAO, 2020). Se destaca la intensificación de la agricultura (monocultivos), expansión urbana, desarrollo industrial e infraestructura, los cuales amenazan la cobertura vegetal y los medios de vida de las poblaciones locales (CEMDA, 2023).

Bonilla y Mitchell (2020), señalan que en México existen ocho biomas y una variedad de ecorregiones terrestres, debido a esta variedad los patrones de cambio de cobertura y uso del terreno también difieren en cada uno de ellos. Una de las causas generalizadas que conducen actualmente los CCVUT en el territorio nacional, se destacan las políticas de uso del terreno que han tenido un impacto drástico en diversas zonas geográficas del país (Escandón et al., 2018). Por otra parte, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), también ha tenido un papel indirecto en estos procesos de cambio. Estos medios han facilitado la producción de madera, intensificación de la agricultura comercial a través del Plan Nacional Agropecuario para 2017-2030, que fomenta la productividad de la agricultura de alto valor económico (Camacho et al., 2017) y mejora el acceso al mercado nacional e internacional (Bonilla y Mitchell, 2020). Además, se han señalado como impulsores directos del cambio de uso del terreno el desarrollo de los megaproyectos impulsado por el gobierno en curso (CEMDA, 2023). A continuación, se describen las actividades socioeconómicas que se han reportado actualmente como los impulsores principales de CCVUT en México.

Expansión urbana

Las ciudades en México se enfrentan a un proceso acelerado de expansión urbana debido al modelo que se ha establecido en las últimas décadas, el cual se caracteriza por su falta de conectividad y dispersión, es un patrón que se puede observar en diversas ciudades del territorio nacional (Caro et al., 2021; Manley et al., 2022). Este fenómeno ha provocado el desplazamiento de la vegetación natural como los bosques, matorrales y las actividades agrícolas locales (Carpio et al., 2021; Tellman et al., 2021; Zubicaray et al., 2021). Además, pone en riesgo a las poblaciones más vulnerables a peligros naturales, como inundaciones y deslaves (Soto et al., 2023).

Producción de aguacate

Los bosques templados en México se encuentran bajo la presión de la agroindustria aguacatera, ya que han sido deforestados drásticamente para llevar a cabo dicha actividad. México es el principal productor y exportador de aguacate, a nivel mundial su producción es de más de dos millones de toneladas anuales y Michoacán es el estado que más produce en el país (Tauro et al., 2023). Un estudio reciente de, señalan que este cultivo se ha expandido a nuevos lugares y se prevé una futura expansión, lo que representa un riesgo de pérdida de bosques, particularmente el bosque de pino y encino, el bosque montano mesófilo y el bosque de oyamel (Arima et al., 2022), así como también representa una amenaza para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Pérez et al., 2023).

Producción de soya

Otro de los monocultivos que ha ocasionado una devastación de la vegetación tropical en el sureste mexicano es la expansión del cultivo de la soya (Ellis et al., 2020). El Instituto Mexicano de Tecnología y Agua (IMTA, 2023), señala que en el municipio de Hopelchén ubicado en el estado de Campeche, es el mayor productor de soya en México. La superficie sembrada de este cultivo se ha incrementado en más de 22 mil veces entre 2001 y 2022, se ha reportado una pérdida de 227,000 hectáreas de selva solo en este municipio. El CCVUT en esta región se caracteriza por su expansión en zonas ocupadas por selvas, bosque tropical y áreas de cultivos locales. Otros Estados como Yucatán y Quintana Roo, también son afectados en los usos del terreno por esta actividad (Echánove, 2020). Una de las implicaciones que se han reportado, radica en que anteriormente estas zonas se dedicaban a la producción del maíz, pastizales y selvas tropicales, actualmente están siendo remplazados por este cultivo (Ellis et al., 2017) . Además, la forma de vida, la salud y los ecosistemas están en riesgo creciente debido a la deforestación y al uso de sustancias tóxicas (CEMDA, 2016).

Producción de la palma aceitera

La expansión del cultivo de la palma aceitera en México se ha venido incrementando y se prevé que esta tendencia continúe (Márquez et al., 2021). Este monocultivo de consumo masivo ha sido señalado como uno de los cultivos de mayor valor económico del trópico (Escobar, 2016). México sobresale debido a la rápida expansión en la superficie de producción. Sin embargo, es una amenaza para las regiones más emblemáticas de conservación y el paisaje tropical, ocasionando la deforestación en los estados de Tabasco,

Chiapas, Veracruz y Campeche (Hernández et al., 2018). Además, se han impactado las áreas naturales protegidas como la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, lugar donde se ha dado la mayor expansión del monocultivo en los últimos diez años (Berget et al., 2021). El remplazo del cultivo de maíz y sorgo que las comunidades locales practican tradicionalmente y que es sustituido por la intensificación de esta actividad, atenta con la seguridad alimentaria y el patrimonio cultural de la población local.

La construcción del tren maya y la refinería de Dos Bocas

Los megaproyectos se han señalado como un impulsor del CCVUT actual en México, por ejemplo, la construcción del tren maya, para impulsar el desarrollo económico, tiene implicaciones en el ordenamiento territorial para los estados de Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. En estas zonas se desea priorizar el turismo e intensificar la expansión de los asentamientos humanos a cambio de la conservación de los recursos naturales y la forma de vida de la población local (Hernandez, 2022). El Centro Mexicano de Derecho Ambiental, reportó que la construcción del Tren Maya tiene implicaciones en la cobertura forestal, se han perdido 6,659 hectáreas de selva, esto implica la disminución de la biodiversidad local, impacto en los acuíferos y en la red de cuevas y cenotes de esas regiones (CEMDA, 2023) . Otro proyecto que promueve la deforestación de la selva media perennifolia y los manglares, es la construcción de la refinaría de Dos Bocas en el municipio del Paraíso, Tabasco (CEMDA, 2018).

Cultivo de agave

En los recientes años también se ha señalado que los productos artesanales como el mezcal conduce a cambios de cobertura vegetal y usos del terreno (Arellano et al., 2021). La explotación comercial del cultivo de agave, debido a la creciente demanda de mezcal y a su incorporación al mercado nacional e internacional, tiene un impacto en el cambio de uso del terreno en los estados de Oaxaca que produce el 90% del mezcal del país (Lira et al., 2022) y Jalisco es otro estado con impactos negativos por esta actividad extractiva (Cruz et al., 2020). El desarrollo de esta actividad ha generado un impacto en el bosque seco tropical, ha modificado los paisajes y los usos del terreno local.

Industria porcina

Las industrias porcinas en Mérida Yucatán han crecido de manera exponencial en las dos últimas décadas, uno de sus efectos negativos es el impulso del cambio de cobertura y uso del terreno por la expansión de las granjas que se han establecido en zonas prioritarias de

conservación, contamina los suelos y atenta contra la integridad cultural y medios de vida de las comunidades mayas (Bautista et al., 2022). Estas actividades extractivas tienen en común el cambio en el uso del terreno, la degradación de los bosques y selvas, así como la transformación de los formas de vida y producción tradicional de las comunidades originarias, impulsado por el desarrollo económico y la demanda del mercado global (López et al., 2020)

2.6 Teledetección

La teledetección o percepción remota es la ciencia y técnica aplicada para obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el sistema bajo investigación. Permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, así como el procesamiento de las mismas (Chuvieco, 2008).

Entre los múltiples campos de aplicación en los que se emplean estas técnicas, destacan especialmente por su relevancia en los estudios asociados con las geoformas y análisis de la cobertura vegetal y usos del terreno. La teledetección ayuda a generar datos oportunos y completos sobre la evolución de los terrenos, permitiendo identificar y analizar áreas degradadas en intervalos de tiempo definidos (Debebe et al., 2023; Fikadu y Olika, 2023).

2.6.1 Imagen Sentinel 2

Una imagen satelital es el resultado que se obtiene de capturar la radiación emitida o reflejada por la superficie de la Tierra mediante un sensor colocado a bordo de un satélite artificial (Chuvieco, 2008). La selección de una imagen satelital se basa en el objeto espacial que se desea conocer través de este insumo. También será importante considerar, la disponibilidad temporal y espacial. Además, la resolución espacial, asociada al tamaño de los objetos o el nivel de detalle que se desean observar en la imagen, es muy importante al realizar la elección (Chuvieco, 2008).

Las imágenes Sentinel-2 (S2), fueron adquiridas, procesadas y generadas por la Agencia Espacial Europea (ESA), son una asociación intergubernamental que se dedica a la exploración espacial. Destacada misión espacial europea, consiste en una constelación de satélites que incluye Sentinel-2A y Sentinel-2B, ambos en órbita polar. Esta órbita polar significa que se desplazan casi perpendicularmente a la línea del ecuador, lo que les

permite cubrir prácticamente toda la superficie de la Tierra durante su ciclo orbital (ESA, 2015).

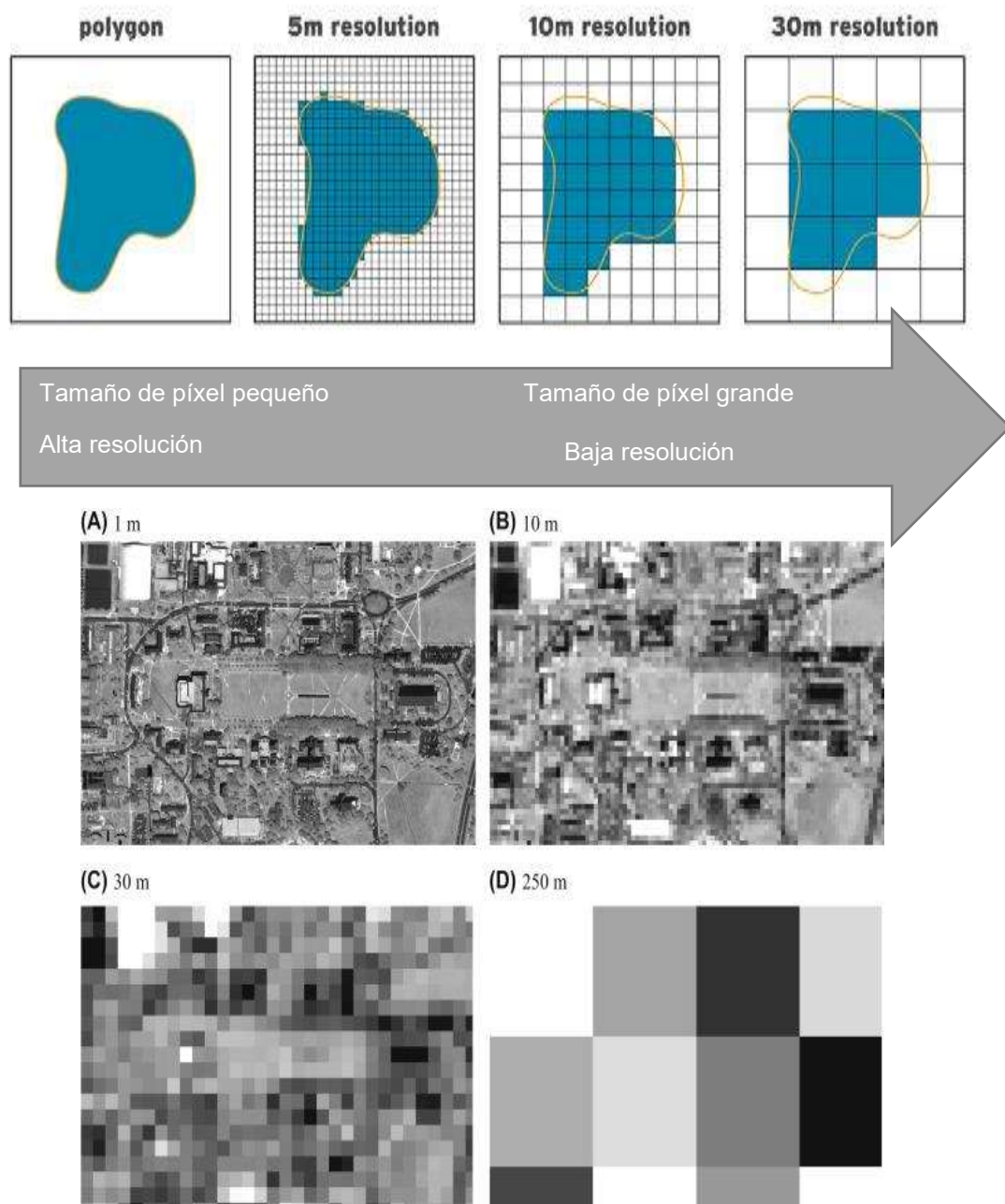
El nombre "Sentinel-2" se refiere a que es la segunda misión del programa espacial europeo, su enumeración es crucial para diferenciar y seguir el desempeño de cada satélite dentro de la constelación. Toma datos en 13 bandas, 9 de ellas en las zonas visible e infrarrojo cercano del espectro, con un periodo de revisita de 10 días, cuatro de ellas en el azul, verde, rojo e infrarrojo cercano, y presentan 10 m de resolución espacial, seis bandas tienen 20 m de resolución y las otras tres tienen 60 m, para la corrección atmosférica y detección de nubes (ESA, 2015).

La ESA ha puesto a disposición de los usuarios de manera gratuita las imágenes y herramientas para visualizar y procesar imágenes S2. Además, abren una nueva era en la observación de la Tierra, ya que presenta múltiples aplicaciones debido a su alta resolución espacial. Por ello, diversos autores han estudiado las posibilidades de S2, como se ha reportado en diferentes publicaciones científicas para estudios sobre incendios forestales, agua, y urbanismo. Para el análisis del cambio de cobertura vegetal y usos del terreno también se ha utilizado ampliamente (Degife et al., 2019; Liu et al., 2023).

2.6.2 Resolución espacial

Un elemento importante a considerar en la generación de cartografía de cobertura y uso del terreno y su análisis, es la resolución espacial, la cual se define como el tamaño de la unidad más diminuta de información contenida en la imagen, conocida como "pixel" de las imágenes satelitales o fotografías aéreas (Chuvienco, 2008). Esta medida determina la cantidad de detalles que son visibles en la imagen, lo que a su vez influye en su capacidad para captar cambios sutiles en el terreno (Figura 8).

Figura 8. Resolución espacial.



Fuente: adoptado a partir de Chuvieco (2008).

2.7 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son una herramienta indispensable en la cuantificación de los cambios de cobertura y usos del terreno, permite analizar datos y generar información a partir de imágenes de satélite o fotografías aéreas (Dimopoulos y Kizos, 2020). También se puede incorporar datos de diferentes fuentes como pueden ser cartas temáticas (rocas, suelo, relieve), censos demográficos, económicos, agropecuarios (Chasia et al., 2023). Estas herramientas reúnen, gestionan y analizan datos que permiten la ubicación espacial y la organización de capas de datos para su visualización (Mwabumba et al., 2022). Son fundamentales para una variedad de aplicaciones, como la evaluación del uso de la tierra y la cobertura vegetal, la planificación urbana, la conservación del medio ambiente amenazado y el seguimiento de las transformaciones y dinámicas de uso del terreno (Islam et al., 2021). Actualmente, los programas de cómputo más utilizados en el análisis del CCVUT, registrado en la literatura internacional, son ArcGIS, ERDAS Imagine, Google Earth Engine, Qgis, IDRISI Taiga y TerrSet (Pimienta y López, 2023).

2.10 Detección de cambios

2.6.1 Matriz de transición o tabulación cruzada

La detección de cambios de la cobertura vegetal y usos del terreno se refiere al proceso de identificar diferencias en el estado de un objeto o fenómeno al observarlo en diferentes momentos temporales y a la misma escala espacial de preferencia. Una de las herramientas ampliamente utilizadas es la matriz de transición, se fundamenta en una representación tabular que muestra cómo las diferentes categorías de cobertura y uso del terreno cambian de una categoría a otra en períodos de tiempo definidos (Mas et al., 2004). La matriz se organiza de manera que las filas representan las categorías de cobertura y uso del terreno en un momento inicial (al comienzo del período de estudio), y las columnas representan las categorías en un momento posterior (al final del período de estudio), tal como se observa en la Tabla 1. Cada celda de la matriz muestra la cantidad o porcentaje de área que ha experimentado algún cambio (Pontius et al., 2004).

Tabla 1. Características de la matriz de transición.

	Time 2				Total time 1	Loss
	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4		
Time 1						
Category 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Category 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Category 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Category 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total time 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Gain	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: Pontius et al. (2004)

2.8 Información socioeconómica

Para el análisis del CCVUT se emplea información estadística de variables socioeconómicas, para identificar las fuerzas motrices del cambio. En el caso de México, esta información es proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), como los censos de población, agrícola y ganadera, y datos del sector agropecuario, a nivel municipal para todo el país, estos datos son actualizados cada diez años. Por otro lado, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) entre otros, proporcionan estadística de los tipos de cultivos, producción agrícola y ganadera, el rendimiento económico etc.

3. Antecedentes

3.1 Investigaciones sobre el CCVUT en la cuenca de Cuitzeo

La cuenca del lago de Cuitzeo al ser una unidad geográfica con una delimitación natural claramente definida, se ha convertido en un área de estudio relevante en diversos campos de estudio, como el histórico, social, económico y biológico entre otros.

A continuación, se presentan los principales trabajos reportados en la literatura que se han centrado en analizar el CCVUT, así como los procesos de degradación en la cuenca de Cuitzeo. Estos estudios han sido fundamentales para conocer sobre la evolución de los cambios que ha tenido esta zona de estudio y sus implicaciones en el entorno natural y social.

De acuerdo a Pompa et al., (1996), realizaron una investigación que describe la relación de la agricultura y el deterioro ambiental en la cuenca del Lago de Cuitzeo entre 1950 a 1985. Donde señala que la deforestación es el principal proceso de cambio en los

diversos paisajes y ha conducido al cambio acelerado de uso del terreno en la cuenca. Además, menciona que ha influido de forma significativa en el deterioro y la sobreexplotación de los recursos hídricos, del suelo y la salinización de los suelos. Sin embargo, no realizaron ninguna medición espacial de los cambios ocurridos, sólo comentaban lo que observaron en campo o indicaba la literatura previa (Citado por Acosta, 2002).

Pompa (1997), analizó el efecto del crecimiento urbano y el deterioro ambiental de la ciudad de Morelia, siendo esta zona urbana la más importante dentro de la cuenca de Cuitzeo. El autor refiere que el crecimiento de la población ha tenido un efecto en el deterioro de los recursos naturales y los alrededores de la ciudad, ocasionando un cambio de uso del terreno drástico en el municipio, principalmente para la construcción de asentamientos habitacionales (Citado por Acosta, 2002).

Bocco et al. (2001), llevaron a cabo una investigación a partir de una revisión de literatura, sobre la situación ambiental de la cuenca de Cuitzeo. La investigación realizada sugiere que el proceso de desecación que sufre el lago de Cuitzeo está asociado al abatimiento de las aguas que nutren al lago, el decremento en la calidad del agua y el aumento de la vegetación acuática, en el cual se encuentra más relacionado a las descargas urbanas que a los procesos de sedimentación o por cambio climático regional y global. Señalan que se debe considerar la información geológica, geomorfológica y los cambios de uso del terreno de toda la cuenca para poder entender lo que ocurre en el lago, así como los comportamientos climáticos de corto y largo plazo (cambio climático). Elementos que son indispensables en la toma de decisiones y para los programas de Ordenamiento Territorial de la cuenca del Lago de Cuitzeo.

Mendoza et al. (2002), realizaron una investigación sobre las implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del lago de Cuitzeo. Reportó que las planicies y piedemontes mostraron un incremento de los valores de escorrentía como resultado de un incremento de la superficie ocupada por asentamientos humanos, con una fuerte presión sobre el recurso hídrico lo cual repercute en el deterioro del Lago, principalmente por contaminación y reducción del suministro de agua principal del vaso como resultado del CCUT.

Acosta (2002), desarrolló una investigación para analizar el CCVUT urbano, agrícola y pecuario, así como el consumo de agua en la cuenca en el periodo de 1975 al 2000.

Encontró un incremento del cultivo de temporal (42%), cultivos de riego (24%), y otros asentamientos urbanos (10%). Los cultivos de riego crecieron 7, 519 hectáreas sobre cultivos de temporal (60%), pastizal (17%) y matorral (8%). Los bordos crecieron 1,547 (425 ha). Señala que la expansión de la superficie urbana, el crecimiento poblacional y el de la superficie de los cultivos de riego están originando una mayor demanda de agua, así como el rendimiento menos efectivo del consumo de agua en estas actividades.

López et al. (2002), realizaron un análisis de CCVUT para el periodo (1975-2000), en la cuenca del lago de Cuitzeo, con relación al crecimiento de las localidades urbanas, ubicadas dentro de la cuenca de Cuitzeo. Encontró que en 1975 existían 392 asentamientos humanos y para el 2000 creció en 687, donde el 4% eran localidades urbanas. La ciudad de Morelia se expandió hacia zonas fuertemente inclinadas y en zonas de peligro, representaban el 66.5 % de la superficie total de crecimiento urbano de la cuenca. En los municipios de Tarímbaro y Zinapécuaro se observó el mismo comportamiento, lo que indica que hay una tasa de transformación de otras coberturas hacia asentamientos humanos, ocasionando una fuerte deforestación y degradación de los bosques. De esta investigación surgen las bases de datos de los años 1975 y 2000 que se utilizan en la presente tesis de doctorado.

López et al. (2006), estudiaron los patrones del CCVUT en la cuenca del lago de Cuitzeo, en el periodo comprendido (1975-2000). Encontró que el cambio de cobertura más importante fue de disminución de la superficie ocupada por cultivos de temporal, categoría que fue remplazada por matorral subtropical. Además, encontraron que la emigración de la población campesina hacia Estados Unidos, conduce al abandono de la tierra cultivada, situación que conlleva a la regeneración de la vegetación que indica una recuperación de la cobertura vegetal en el periodo analizado.

López et al. (2007), analizaron los patrones de degradación ambiental en la cuenca del Lago de Cuitzeo, a partir de una perspectiva espacial. Describieron la distribución espacial de los patrones de degradación (deforestación, degradación de bosques, erosión en cárcavas y cambio de la superficie del Lago de Cuitzeo), los cuales funcionan como indicadores de las condiciones de salud de la cuenca. Sus resultados mostraron que la deforestación y degradación de bosques es compensada (en superficie) por los procesos de matorralización, regeneración del bosque y los cambios en la superficie del Lago de Cuitzeo. Refieren que el aumento de la vegetación acuática, así como los procesos de

degradación de la cuenca se relacionan con la rápida urbanización de la misma, el uso agrícola de aguas negras en los módulos de riego del Valle Morelia-Queréndaro.

Bravo et al. (2008), describieron a partir de una revisión bibliográfica la situación de las diversas problemáticas, perspectivas y los retos hacia el desarrollo sustentable de la cuenca de Cuitzeo. A partir de los impactos sociales y económicos que genera el crecimiento de los asentamientos urbanos, en este caso la ciudad de Morelia, la más importante. Señalan que predominantemente, la población en la cuenca es urbana y se concentra en 26 asentamientos, dentro de las más importante se encuentra Morelia, Bocanejo, Cuto del Porvenir, San Lucas, Tarímbaro y Zinapécuaro. El crecimiento urbano frecuentemente invade y contaminan áreas de captación y recarga de agua, tierras de cultivo y de vegetación nativa ocasionando procesos de degradación ambiental, social y económica y en las comunidades rurales aledañas. Para ello, mencionan que atender la degradación y uso sostenible de sus recursos naturales, requiere de la participación de todos los actores en el diseño y aplicación integral de programas multisectoriales guiados bajo principios de planeación participativa.

Carlón et al. (2009), evaluaron el efecto de la cobertura del terreno a lo largo del tiempo en el modelado de regionalización en la cuenca del lago de Cuitzeo que se encuentra probablemente aforada y desarrollaron modelos para crear dos regionalizaciones hidrogeográficas para los años 1975 y 2000. Observaron que el modelo es sensible a los procesos de cambio de cobertura del suelo. Los datos e información generados durante el análisis fueron puestos a disposición de las autoridades locales para que puedan mejorar tanto la planificación de los recursos hídricos como su línea base informativa para la toma de decisiones y para el desarrollo de políticas ambientales en la cuenca del Lago de Cuitzeo.

Mendoza et al. (2011), llevaron a cabo un análisis sobre los procesos del CCVUT en un periodo de 28 años. Reportaron que los procesos de cambio de uso del terreno en el área no fueron constantes, ya que la mayoría de los cambios de uso del terreno ocurrieron durante un período de menos de diez años. Este período específico coincidió con la Ley de Reforma y Control de Inmigración de 1986 y un gran terremoto catastrófico en el centro de México en 1985. Además, señalaron que los procesos de cambio de uso del terreno difirieron durante los períodos de análisis en las zonas funcionales de la cuenca.

Correa et al. (2014), analizaron los cambios en la conectividad del paisaje durante los años 1975, 1996, 2000, 2003 y 2008 para identificar posibles áreas de conservación en la cuenca. Modelaron las distribuciones potenciales del gato montés mexicano (*Lynx rufus escuinapae*) y el cacomistle (*Bassariscus astutus*) dos especies focales. Señalan la importancia de la conservación de la superficie y de las áreas óptimas de parches de hábitat. La aplicación combinada de un enfoque basado en gráficos y el mapeo de flujo actual fueron útiles y complementarios para la estimación de corredores de dispersión potenciales y para identificación de áreas de dispersión de alta probabilidad. Mencionan que el análisis de la conectividad del paisaje es una herramienta útil para la identificación de áreas potenciales de conservación y para la planificación del paisaje local.

Rodríguez et al. (2020), analizaron las trayectorias de la peri-urbanización en Morelia y la segregación espacial desde un enfoque relacional. Además, consideraron el uso del suelo tradicional de estas zonas y su actual urbanización. Señalan que en las últimas tres décadas Morelia ha presentado una dinámica de expansión acelerada, su crecimiento poblacional no corresponde con la expansión desproporcionada de la superficie urbana. Mencionan que este proceso expansivo obedece al sector inmobiliario y amparado en las políticas neoliberales el cual originó un escenario de segregación en el poniente de Morelia para la construcción de fraccionamientos de grandes dimensiones para las clases medias, como Villas del Pedregal, Arko San Antonio y Arko San Mateo.

Ruiz et al. (2021), desarrollaron una investigación sobre la segregación espacial de Tarímbaro, municipio periurbano de la zona metropolitana de Morelia. Analizaron los patrones de segregación espacial a través de los cambios en los atributos personales de la población debido a la expansión urbana producto del cambio de cobertura y usos del terreno y las dinámicas territoriales internas. Se calcularon índices para medir la segregación en cada atributo poblacional, en tres cortes temporales (1990, 2000 y 2010). Concluyeron que la segregación es coproducida por dinámicas propias y externas del territorio, cambiando los patrones de segregación en tres rutas; la homogenización del área más antigua del municipio, la concentración de población indígena en localidades dispersas y la consolidación de una franja homogénea de población recién llegada con condiciones desiguales.

Villafán et al. (2021), llevaron a cabo una investigación sobre la situación socioambiental en el Lago de Cuitzeo, desde la responsabilidad social. Abordan la problemática social y ambiental de pescadores y agricultores de maíz en la zona del lago

de Cuitzeo, desde el enfoque de la responsabilidad social. Los agricultores y pescadores identificaron acciones que tienen impactos ambientales y sociales negativos, tales como: usar agroquímicos, descargar aguas negras, tirar basura, usar redes de pesca prohibida y por excluir a los grupos vulnerables en sus actividades. En esta comunicación se visualizan propuestas que contribuyen a la sostenibilidad de las actividades productivas y de la vida comunitaria de la zona desde una perspectiva socialmente responsable.

Hernández et al. (2023), analizaron el riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo, señalan que la agricultura es uno de los sectores más sensibles a los efectos del cambio climático. Cuantificaron la magnitud del riesgo agrícola y su distribución espacial en la región Cuitzeo. Encontraron que existe una tendencia en el incremento de la temperatura para 63% de la región. El riesgo agrícola al cambio climático se distribuye de manera heterogénea y con diferente magnitud. Finalmente, concluyeron que se requiere mayor atención para reducir la vulnerabilidad y contrarrestar la tendencia a la reducción de la precipitación pluvial en las zonas de captación de agua de la región que podría aumentar el riego de las actividades productivas.

3.2 Marco legal e institucional

3.2.1 Ordenamiento Ecológico de la cuenca del lago de Cuitzeo

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en la última actualización del 11 de abril del 2022, señala que el Ordenamiento Ecológico Territorial (OET), es una herramienta para el diagnóstico integral del uso territorial, ofrece los elementos necesarios para definir políticas y criterios que den sustento técnico a la toma de decisiones y apoyen la planificación del desarrollo de una región, en el cual se define como “un instrumento de la política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos” (DOF,2022).

El OET de la cuenca de Cuitzeo se publicó en el Periódico Oficial del estado de Michoacán de Ocampo, con el Gobernador constitucional Lázaro Cárdenas Batel, en 2008, y se hizo una actualización en el año 2011, con el Gobernador Leonel Godoy Rangel. Este documento es de tipo regional, debido a que representa un espacio geográfico integrado por un conjunto de ecosistemas que interactúan entre sí, este permite establecer balances regionales entre la disponibilidad, la demanda y el deterioro de los recursos naturales. Tiene

como finalidad, establecer el programa de uso de suelo y el manejo de los recursos naturales, procurando proteger el ambiente y la biodiversidad, tomando en cuenta las características y aptitudes de cada área. Este OET consta de 2020 Unidades de Gestión Ambiental (UGA), con el propósito fundamental de ordenar y clasificar el uso adecuado del suelo en la región, con base en su aptitud ambiental y productiva, incentivando su reconversión y el cambio tecnológico hacia sistemas de producción sustentable.

El OET es un instrumento de planeación estratégica que sugiere a escala detallada a quienes toman decisiones sobre los usos más apropiados del terreno que deben implementarse, por parte de los diversos sectores productivos del estado, así como las áreas que requieren de atención prioritaria para conservar y proteger los bienes y servicios ambientales de la región.

4. Justificación

La cuenca del lago de Cuitzeo desempeña un papel vital en la interacción entre las comunidades humanas y el medio ambiente, debido al valor ecológico que posee y el papel central que tiene en la vida de las comunidades que en ella habitan. También se ubica el lago de Cuitzeo, el segundo más grande de México, es una fuente importante de agua dulce para la población local y la actividad agrícola.

Desde hace algunos años se han venido presentando diversos problemas socioambientales que requieren atención y gestión para preservar sus recursos naturales y la sostenibilidad. Algunos de los problemas más destacados son el cambio de uso del terreno y la deforestación de la cubierta vegetal. Esta situación se ha originado por la intensificación de diversas actividades humanas, como el crecimiento no planificado de las áreas urbanas, agrícolas y el incremento en el consumo de agua en todas las actividades antrópicas en la zona de estudio. Estos cambios han impactado el entorno natural, los ecosistemas, la biodiversidad, la disponibilidad de recursos hídricos y la calidad de vida de las comunidades locales.

Es necesario llevar a cabo un análisis a escala semidetallada de los cambios en la cobertura vegetal y los usos del terreno, identificar las causas que inducen estos procesos, también es fundamental contar con datos actualizados y precisos que ayuden en el manejo sostenible del terreno, importante para la toma de decisiones informadas, la planificación urbana y la preservación de áreas prioritarias de conservación en la Cuenca del lago de Cuitzeo. Además, la gestión adecuada de los recursos naturales en esta región no solo contribuirá al bienestar de las comunidades locales, sino que también ayudará a enfrentar los desafíos ambientales y sociales que se presentan en esta zona, garantizando así un futuro más sostenible y equitativo para todos los involucrados.

5. Objetivos

General

El objetivo de esta investigación fue analizar los cambios de la cobertura vegetal y los usos del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo, durante el periodo comprendido entre 2000 y 2020, así como identificar las directrices socioeconómicas que dirigen los cambios en la zona de estudio.

Específicos

- a) Cuantificar la distribución de la cobertura vegetal y los usos del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo en el año 2020.
- b) Cuantificar los principales CCVUT en el periodo 2000-2020, de la cuenca del lago de Cuitzeo.
- c) Identificar las principales fuerzas socioeconómicas que inciden en el CCVUT en la cuenca de Cuitzeo.
- d) Proponer recomendaciones para la gestión integral y la promoción de la sustentabilidad en la cuenca de Cuitzeo, basadas en los resultados obtenidos en esta investigación.

6. Preguntas de investigación

General

¿Cuáles son los principales cambios en las coberturas y los usos del terreno durante el periodo 2000-2020 y las fuerzas socioeconómicas que actualmente impulsan este proceso en la cuenca del lago de Cuitzeo?

Específicas

a) ¿Cuál es el estado actual de la cobertura vegetal y usos del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo?

b) ¿Cuáles son los principales cambios en la cobertura y usos del terreno durante el periodo 2000-2020, en la cuenca de Cuitzeo?

c) ¿Cuáles son las principales fuerzas socioeconómicas que dirigen actualmente el CCVUT en el área de estudio?

d) ¿Qué directrices socioeconómicas deberían cambiar para comenzar a generar sustentabilidad en la zona de estudio en función de la cobertura vegetal y el uso del terreno?

7. Hipótesis de trabajo

En los últimos 20 años se intensificaron los cambios de cobertura y usos del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo, propiciando una reducción en la cobertura natural, ocasionado principalmente por el crecimiento de la población y por el incremento en los usos de origen antrópico, que incluyen el aumento en la superficie de los asentamientos humanos, así como a la intensificación de las actividades agropecuarias, como principales fuerzas socioeconómicas que predominan y conducen este proceso en el área de estudio.

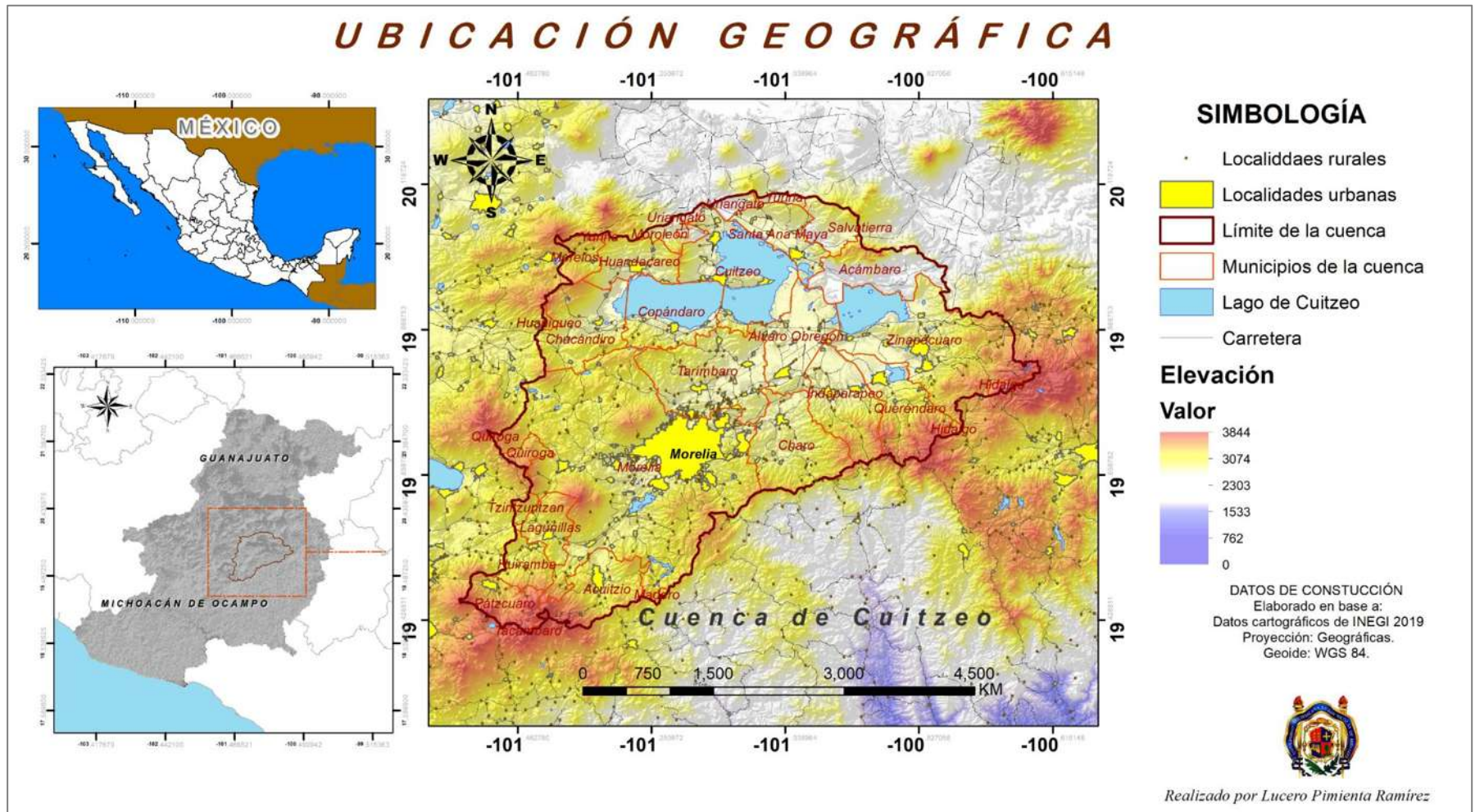
8. Área de estudio

8.1. Localización geográfica del área de estudio

La cuenca hidrológica del lago de Cuitzeo se ubica en la región de Lerma-Chapala, dentro del Sistema Volcánico Transversal, en el Centro Occidente de México, entre los 19°30' y 20°05' latitud norte y 100°35' y 101°30' longitud oeste, al norte del Estado de Michoacán y al sur de Guanajuato (Figura 9). El nombre de Cuitzeo proviene de la palabra purépecha "cuiseo", que significa lugar de tinajas (López, 2006). La cuenca tiene una superficie aproximada de 4 000 km² (López-Granados, 2006). Está conformada por colinas, lomeríos altos y planicies, desarrolladas sobre materiales volcánicos (Mendoza et al., 2002). Los tipos de vegetación presentes en la cuenca son bosques templados, matorrales, selva baja caducifolia y vegetación acuática y subacuática, existen además una valiosa fauna, ya que en ella se pueden encontrar reptiles, anfibios, aves y mamíferos que incluye a especies endémicas (Mendoza et al., 2002).

En la cuenca se ubica el lago de Cuitzeo el segundo más grande de México, forma parte de la región hidrológica de Lerma Chapala en el centro-oeste de la república mexicana, dentro de los 19°53'15" N - 20°04'34" N latitud y 100°50'20" O - 101°19'34" O longitud, a 1880 msnm y cubren alrededor de 400 km² (Morales et al., 2010). El lago recibe agua de tres ríos principales: el Grande de Morelia, Queréndaro y Zinapécuaro y recibe aportaciones de numerosos arroyos de temporal y cuerpos termales que se localizan en la parte baja de la cuenca. Las zonas de mayor infiltración y recarga se encuentran en la parte poniente de Capula y Cuto de la Esperanza, Irapeo y la zona de Mil Cumbres (Mendoza et al., 2007). Sin embargo, ha sido fuertemente impactado por las diversas actividades de origen antrópico que llevan a cabo la población de la región, como la urbanización, la contaminación provocada por la industria, la agricultura y por los efectos del clima regional y global (López et al., 2002).

Figura 9. Ubicación geográfica de la cuenca del lago de Cuitzeo.



8.2 Características biofísicas de la cuenca de Cuitzeo

8.2.1 Clima

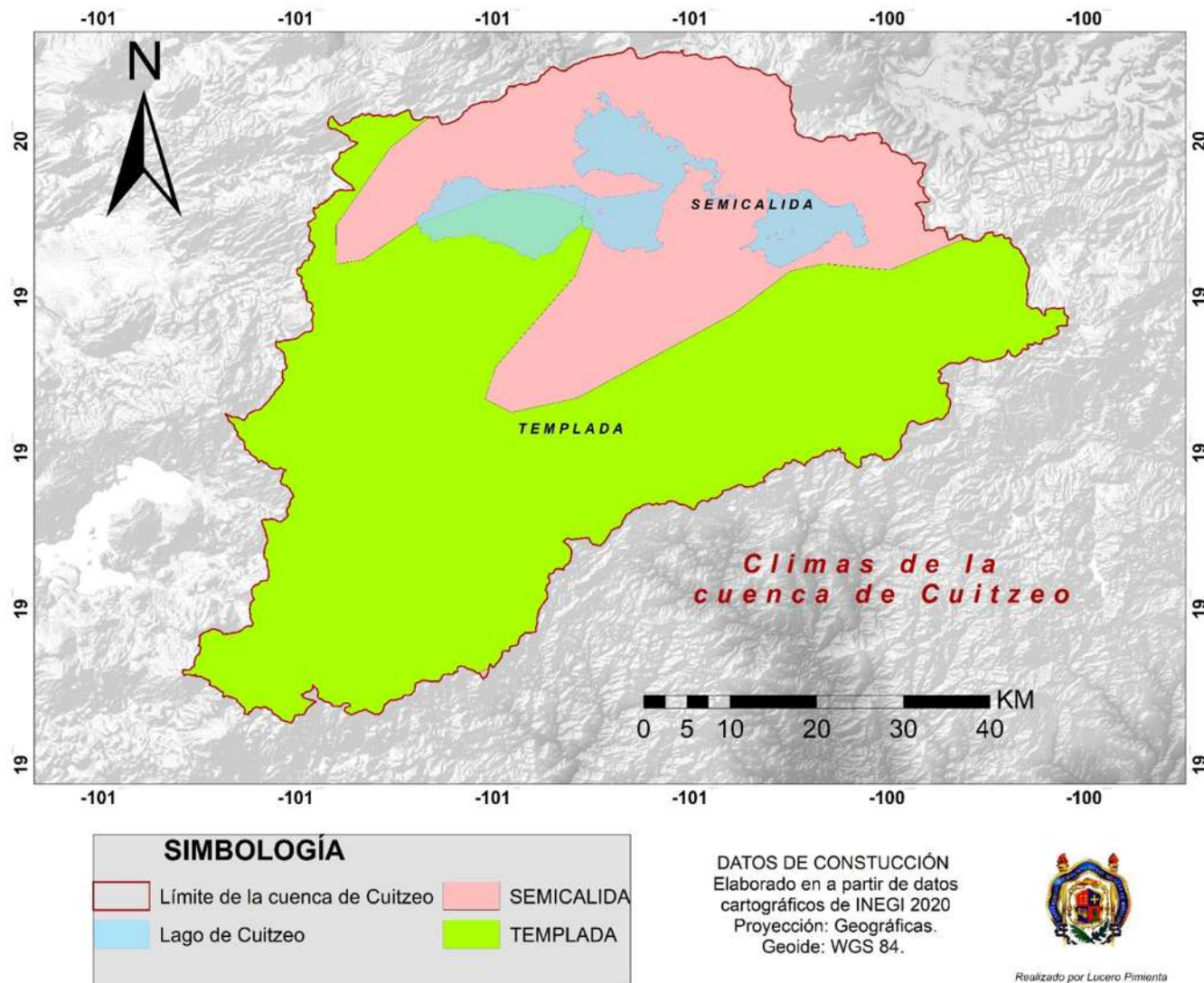
En la cuenca se tienen registros de alrededor de 27 estaciones meteorológicas que se encuentran distribuidos en casi toda la región, el clima predominante corresponde a templado húmedo con estación invernal seca (Figura 10). Aunque de acuerdo con la cartografía regional de INEGI, se divide en dos períodos que van de los meses de noviembre a abril (época de secas) y de mayo a octubre (época de lluvias) (Tabla 2). También es posible reconocer tres tipos de climas en toda la cuenca, (A) C (W₀), es el más cálido de los semicálidos, corresponde al más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, se presenta en la porción más baja de la cuenca (centro norte), el C(W₁), desplazándose hacia el sur, el clima cambia (Vidal, 2010).

Tabla 2. Aspectos climáticos de la cuenca de Cuitzeo.

Periodo	Precipitación media (mm)	Superficie (ha)	Temperatura media máxima(°C)	Superficie (ha)	Temperatura media mínima (°C)	Superficie (ha)
Mayo a Octubre	< 700	15,5425.1	<18°	4,631.3	<6°	9,496.1
	700 a 800	13,6842.6	18° a 21°	30,408.4	6° a 9°	51,373.6
	800 a 900	27,586.7	21° a 24°	12,0486.3	9° a 12°	18,0717.0
	900 a 1000	41,808.3	24° a 27°	17,5729.8	>12°	15,8736.1
	1000 a 1200	28,706.8	>27°	69,067.2		
	>1200	99,53.4				
Noviembre a Abril	<75	20,3433.3	<18°	5,995.9	<0°	940.2
	75 a 100	14,1711.8	18° a 21°	34,846.7	0° a 3°	15,384.9
	100 a 125	46,556.9	21° a 24°	33,8283.5	3° a 6°	70,107.1
	125 a 150	81,72.8	>24°	21,196.9	>6°	31,3890.9
	>150	44,8.3				

Fuente: (Vidal, 2010).

Figura 10. Distribución de los tipos de climas en la cuenca de Cuitzeo.

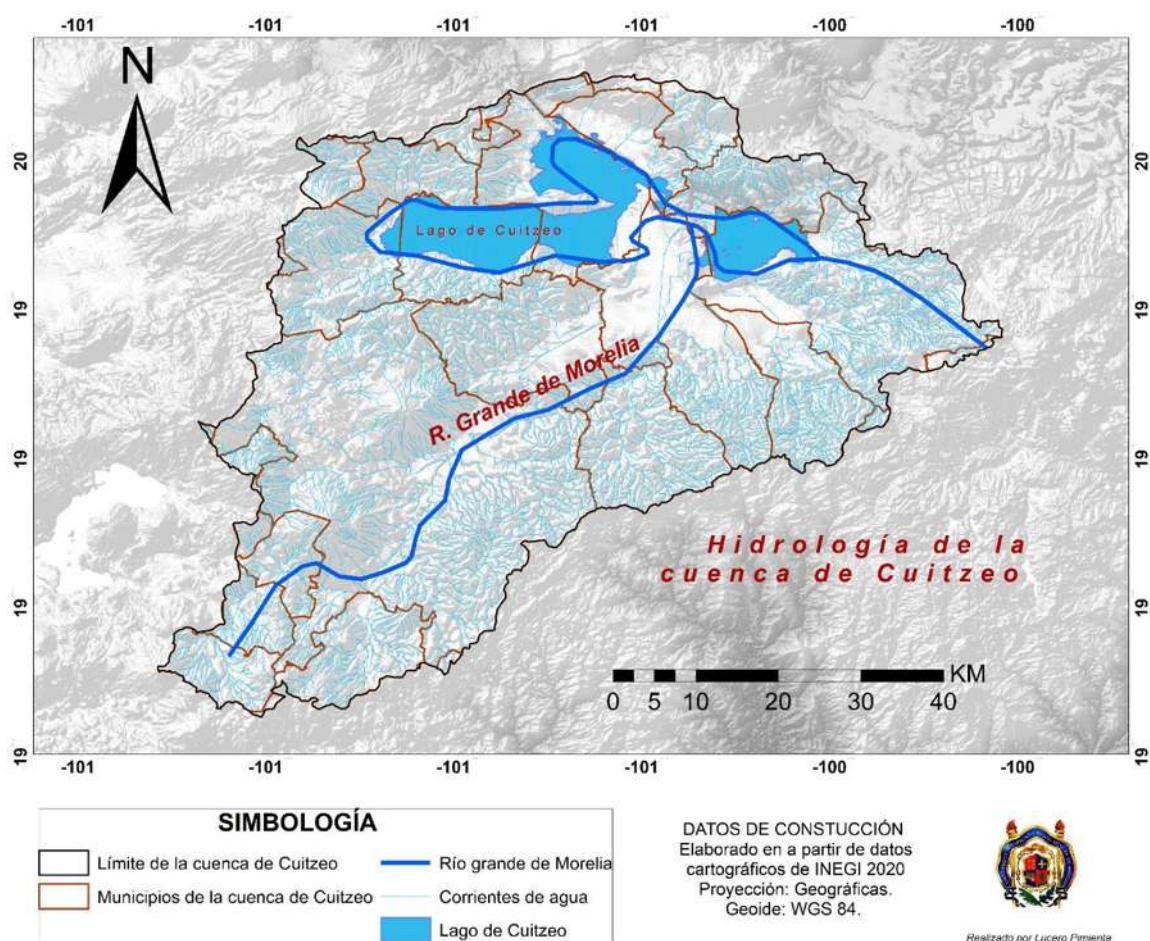


Fuente: elaborado a partir de los datos de INEGI, 2013.

8.2.2 Hidrología

La cuenca hidrológica del lago de Cuitzeo pertenece a la región hidrológica de Lerma-Chapala-Santiago (RH12), siendo sus principales escurrimientos el Río Grande de Morelia (Figura 11), el cual nace a partir de los 2,000 m.s.n.m. y el Río Chiquito. Sus principales afluentes son los arroyos Tiripetío y Tirio que se unen aguas arriba de Santiago Undameo. El área cuenta con una red de drenaje que muestra las diferentes etapas de erosión por la que atraviesa una provincia relativamente joven, como corresponde al Eje Volcánico Transversal (Carlón et al., 2010).

Figura 11. Hidrología superficial y subterránea de la cuenca de Cuitzeo.



Fuente: elaborado a partir de los datos de INEGI, 2010.

8.2.3 Edafología

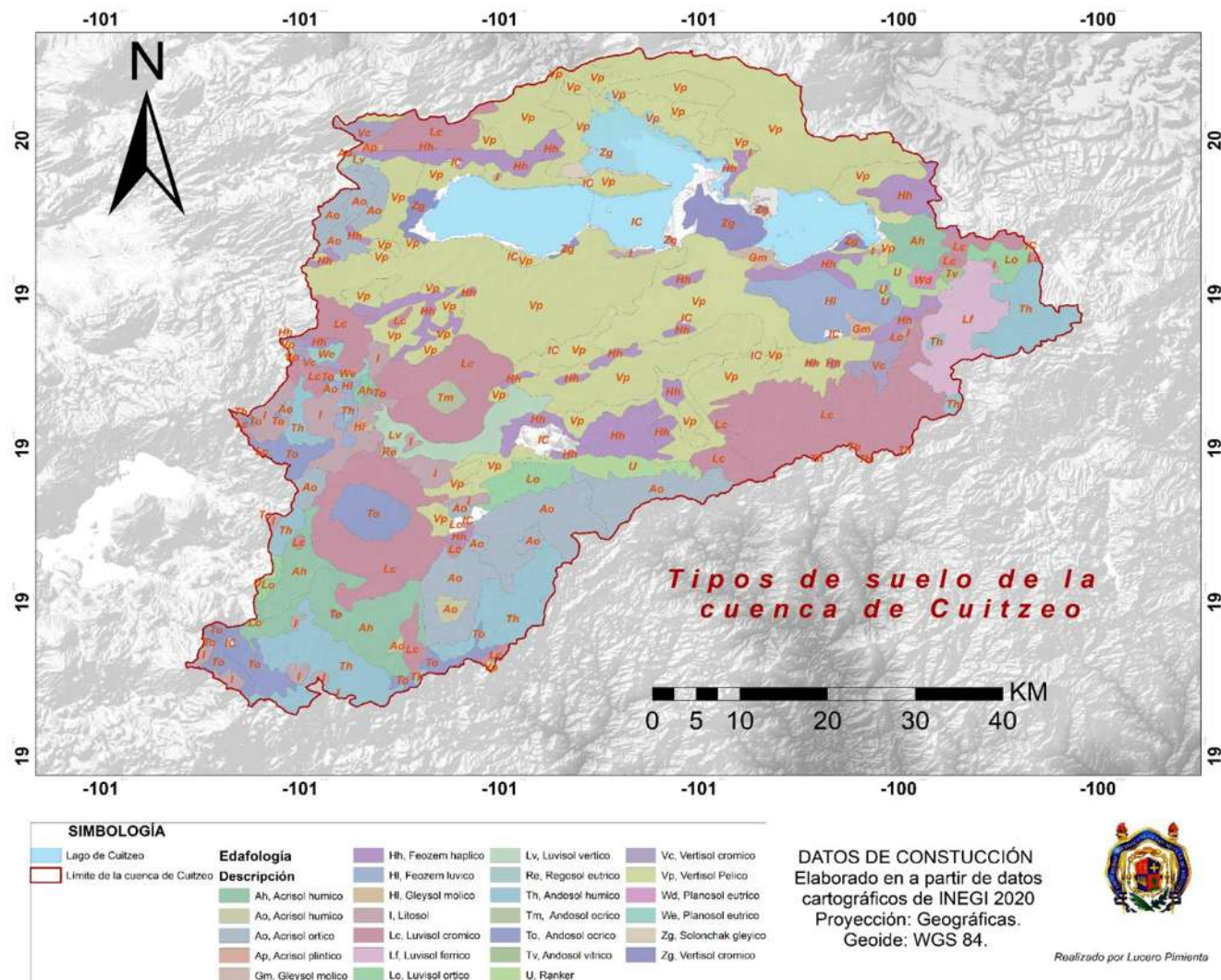
Los tipos de suelos que se presentan en la cuenca son doce, aunque dominan los siguientes: Vertisol, Luvisol, Andosol, Acrisol y Feozem, ocupando alrededor del 80% (Tabla 3). Los Vertisoles se presentan en las porciones más bajas de la cuenca, con pendientes suaves o planas, en donde los escurrimientos convergen y el movimiento del agua es lento, favoreciendo el depósito de partículas. Los Luvisoles, Andosoles y Acrisoles se presentan en la zona montañosa de la cuenca donde las pendientes son más fuertes y la erosión predomina sobre el depósito de partículas (Figura 12) (Cabrera et al., 2010).

Tabla. 3 Tipos de suelos que se encuentran en la cuenca de Cuitzeo.

No.	Unidad de suelo	Porcentaje de superficie ocupada
1	Regosol	0.03
2	Cambisol (B)	0.4
3	Gleysol (G)	0.6
4	Planosol (W)	0.9
5	Ranker (U)	1.5
6	Solonchak (Z)	2.1
7	Litosol (I)	3.4
8	Feozem (H)	10.0
9	Acrisol (A)	10.3
10	Andosol (T)	11.6
11	Luvisol (T)	17.3
12	Vertisol (V)	33.8
13	Cuerpos de agua	8.0

Fuente: (Cabrera et al., 2010).

Figura 12. Edafología en la cuenca de Cuitzeo.



Fuente: elaborado a partir de los datos de INEGI, (1983).

La cuenca de Cuitzeo se localiza en el Eje Volcánico Transversal, lo cual originó rocas ígneas extrusivas y sedimentarias. Las primeras se constituyen por derrames de lavas, escorias, aglomerados, tobas y flujos de tobas soldadas, con composiciones que varían de ácida a básica (ignimbritas, andesitas y basaltos). Las rocas de origen sedimentario continental se encuentran constituidas por sedimento lacustres (arenas, gravas y conglomerados) intercalados con tobas que cubren en las porciones bajas a las ignimbritas y tobas riolíticas, que a su vez son cubiertas por basaltos del Plioceno superior (Figura 13). También en la región existen rocas ígneas extrusivas del terciario superior. Mientras que los depósitos más recientes se constituyen de limos y arcillas (Garduño y Israde, 2010).

[illegible]

40

8.2.5 Vegetación

Rzedowski y Rzedowski, (1979), menciona que existen 8 tipos de vegetación dentro de la cuenca de Cuitzeo como son: bosque de coníferas, bosque de encinos, bosque de oyamel, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, matorral subtropical, pastizal y de galería (Figura 14).

Bosque de coníferas o de pino: se distribuye desde los 2,100 hasta los 2,700 m.s.n.m. a lo largo de la porción montañosa que va desde los azufres hasta el sureste de la Cuenca, donde se encuentran los Cerros el Burro, El Frijol y Las Nieves. Se desarrolla sobre andosoles, luvisoles y acrisoles. Este bosque es siempre verde con alturas que varían entre 8 y 25 m, si bien en ocasiones pueden llegar hasta los 30 m. Las especies de pinos que predominan en esta área son: *Pinus leiophylla*, *P. pseudostrobus* y *P. michoacana*, seguidos de *P. lawsonii* y *P. teocote*.

Bosque de encino: se localiza en las zonas montañosas junto con los pinares, por lo que es frecuente encontrar bosques mixtos; también suele encontrarse con bosques de abies y con el bosque mesófilo de montaña. Esta comunidad vegetal se encuentra en los cerros de: el Quinceo, Tetillas del Quinceo y Cerro Prieto, y en la microcuenca del Río Chiquito. El bosque de encino se localiza en altitudes de 2,000 a 2,300 m.s.n.m, aunque se ha reportado hasta los 2,500 m.s.n.m. en la cuenca. Los árboles pueden alcanzar de 2 a 8 m de altura en lugares con escasa perturbación y en sitios conservados llegan a alcanzar alturas de hasta 15 m.

De esta comunidad vegetal se han descrito tres variantes, según su composición y estructura: comunidades xerófilas: se desarrollan en altitudes que van de los 2,000 a los 2,006 m.s.n.m. Predominan *Quercus sideroxyla*, *Q. laeta*, *Q. gentryi* y *Q. desertícola*. Comunidades mesófilas: se desarrollan entre los 2,000-2,500 m.s.n.m. Las especies dominantes son *Q. castanea*, *Q. obtusata*, *Q. martinezii*, *Q. crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*. Comunidades termomesófila: 1,000 y los 2,000 m.s.n.m. Las especies más importantes son: *Q. magnoliifolia*, *Q. resinosa*, *Q. scytophylla* y *Q. conspersa* (Bello y Labat, 1987).

Bosque de oyamel: se localiza entre los 3,000 y 3,300 m.s.n.m. y crece sobre suelos arenosos profundos con abundante materia orgánica, en laderas de pendiente pronunciada y clima templado húmedo.

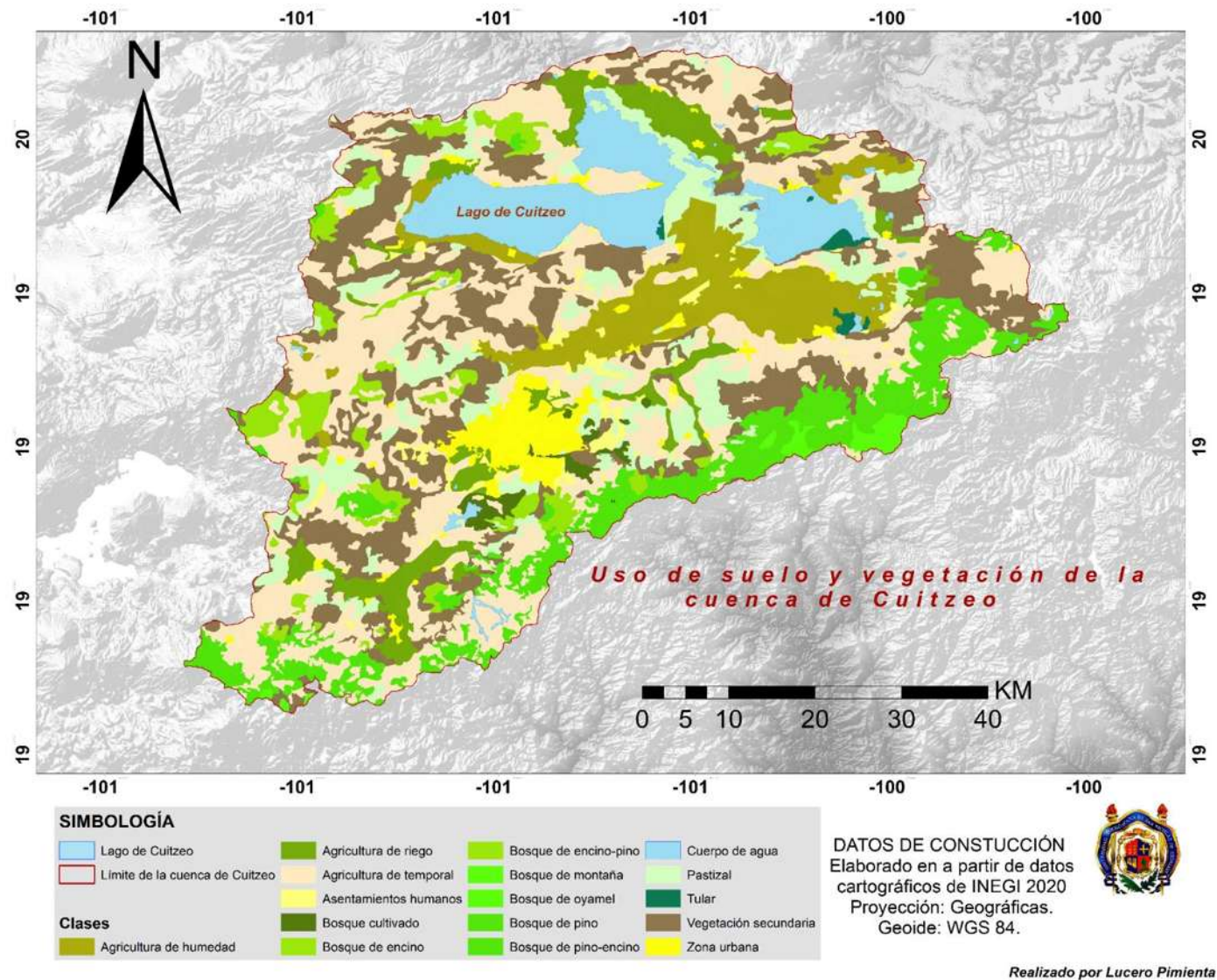
Matorral subtropical: esta vegetación se distribuye entre los 1,900 a los 2,300 m.s.n.m. y crece sobre suelos someros y pedregosos, entre los principales componentes arbóreos destacan *Acacia angustissima*, *A. farnesiana*, *Bursera cuneata*, *B. fagaroides*, *Casimiroa edulis*, *Cedrela dugesii*.

Bosque tropical caducifolio: es una comunidad arbórea, se distribuye entre los 1,900 y 2,000 m.s.n.m. Las especies que lo conforman tenemos a *Bursera bipinnata*, *B. fagaroides*, *B. cuneata*, *Pithecellobium lephthophyllum*, *Ceiba aesculifolia* en el estrato arbóreo, mientras que en el arbustivo es común encontrar *Calliandra spp* y *Acacia farnesiana*.

Pastizal: aquellos que prosperan en bosques de pino y encino, los cuales están sujetos a incendios ocasionales o pastoreo, se encuentra *Bouteloua curtipendula*, *Hilaria cenchroides*, *Muhlenbergia macroura*, *M. robusta*, *Paspalum lividum*, *Digitaria ternata*, *Panicum bulbosum*, *Setaria geniculata* y *Sporobolus indicus*.

Bosque de galería: se caracteriza por desarrollarse a lo largo de corrientes de agua donde se encuentran a *Alnus acuminata*, *Arguta ssp.*, *Fraxinus uhdei*, *Salix bonplandiana* y *Taxodium mucronatum* (López et al., 2010).

Figura 14. Usos del suelo y vegetación.



Fuente: elaborado a partir de los datos de INEGI (2001).

8.2.6 Fisiografía

La cuenca de Cuitzeo pertenece al Eje Volcánico Transversal y contiene partes de las subprovincias de las Sierras y Bajíos Michoacanos al norte y la de Mil Cumbres, al sur. A su vez está limitada en su parte oeste y sur oeste por las Sierras de Zirate y del Tigre y por el sur con la Sierra de Oztumatlán (Mil Cumbres) (Figura 16). Contiene a los Valles de Morelia, al centro y sur suroeste, así como los de Queréndaro y Zinapécuaro en la porción noroeste. La altimetría de la Cuenca abarca desde los 1,800 hasta los 2,400 m.s.n.m. (López, 2006).

8.3. Factores sociodemográficos de la cuenca de Cuitzeo

8.3.1 Municipios que conforman la cuenca de Cuitzeo

La cuenca de Cuitzeo se conforma por 28 municipios de los cuales 23 corresponden a la parte norte de Michoacán (92.8%) y 5 al sur del Estado de Guanajuato (7.2%) (Tabla 4), (Figura 15) (López-Granados, 2006). En el año 1970 existían 392 asentamientos humanos y en el año 2000 eran 687 localidades. La población de la cuenca en 1979, se registró de 380,787 habitantes (16.4% de la población estatal), y en el año 2000, fue de 837, 773 habitantes (21. 6% de la población estatal), actualmente es de 1, 197,256 habitantes (INEGI, 2000b).

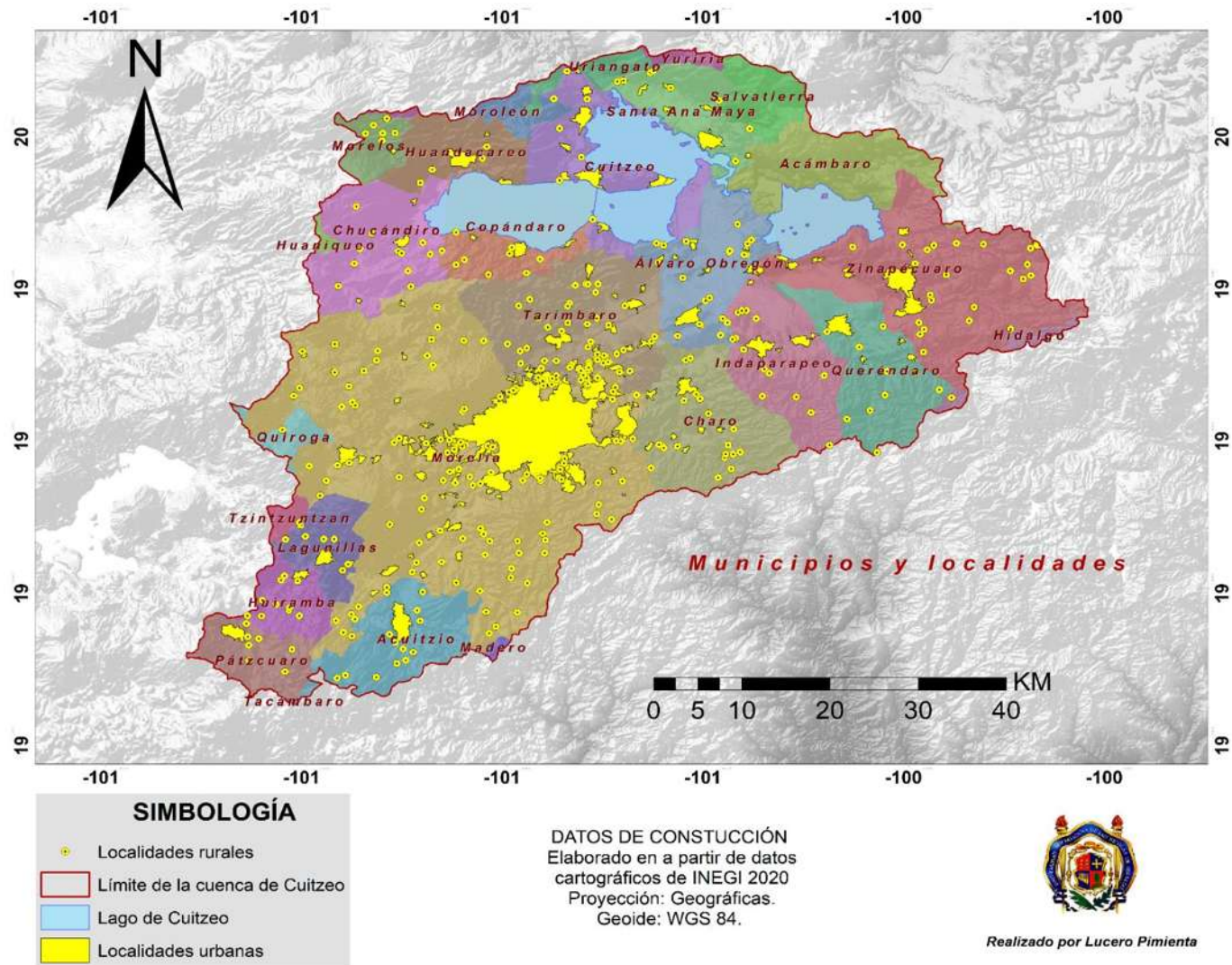
Tabla 4. Municipios que conforman la cuenca de Cuitzeo.

	MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL (HA)	SUPERFICIEEN LA CUENCA (HA)	(%) PORCENTAJE DEL TOTAL MUNICIPAL
M I C H O A C Á N	ACUITZIO	18,041.1	14057.1	77.9
	ALVARO OBREGON	15,694.9	15694.9	100.0
	COPANDARO	17,552.3	17552.3	100.0
	CUITZEO	25,641.9	25591.2	99.8
	CHARO	32,454.8	20005.0	61.6
	CHUCANDIRO	19,184.1	18313.2	95.5
	HIDALGO	11,5459.0	1628.2	1.4
	HUANDACAREO	91,07.3	9077.2	99.7
	HUANIQUEO	20,442.3	745.9	3.7
	HUIRAMBA	81,47.6	6526.7	80.1
	INDAPARAPEO	17,723.5	16781.0	94.7
	LAGUNILLAS	81,30.5	7829.9	96.3
	MADERO	10,1981.0	306.0	0.3
	MORELIA	11,9522.1	105743.0	88.5
	MORELOS	18,172.7	4518.2	24.9
	PATZCUARO	43,470.2	8345.1	19.2
	QUERENDARO	23,067.6	15923.9	69.0
	QUIROGA	21,823.3	2942.2	13.5
	SANTA ANA MAYA	10,366.5	10366.5	100.0
	TACAMBARO	78,809.3	76.3	0.1
	TARIMBARO	26,237.4	26237.4	100.0

G U A N A J U A T O	TZINTZUNTZAN	16,891.0	260.5	1.5
	ZINAPÉCUARO	59,976.2	42836.9	71.4
	ACAMBARO	87,402.64	14634.016	16.7
	MOROLEON	15,821.09	3213.835	20.3
	SALVATIERRA	58,637.86	6420.260	11.0
	URIANGATO	11,470.01	2944.929	25.7
	YURIRIA	66,953.11	1755.743	2.6

Fuente: López-Granados (2006).

Figura 15. Municipios de la cuenca de Cuitzeo.



Fuente: elaborado a partir de los datos de INEGI, 2020.

9. Metodología

Esta investigación integra información producto de la teledetección y el análisis geoespacial con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se utilizaron imágenes de satélite Sentinel 2 de alta resolución (10 m) del año 2020 y mapas detallados de uso del terreno del año 1975 y 2000, realizados a escala 1:50,000 y 1:37,000 respectivamente (López, 2006). Estos insumos sirvieron como base para la evaluación precisa de los cambios en la cobertura vegetal y el uso del terreno a lo largo de dos décadas. Además, para identificar las fuerzas que impulsan los cambios observados en la zona de estudio, se emplearon datos socioeconómicos de población y vivienda del periodo 2000-2020 y datos estadísticos agropecuarios.

9.1 Obtención de la cobertura y uso del terreno del año 2020

9.1.1 Fuente de datos y procesamiento de la imagen satelital

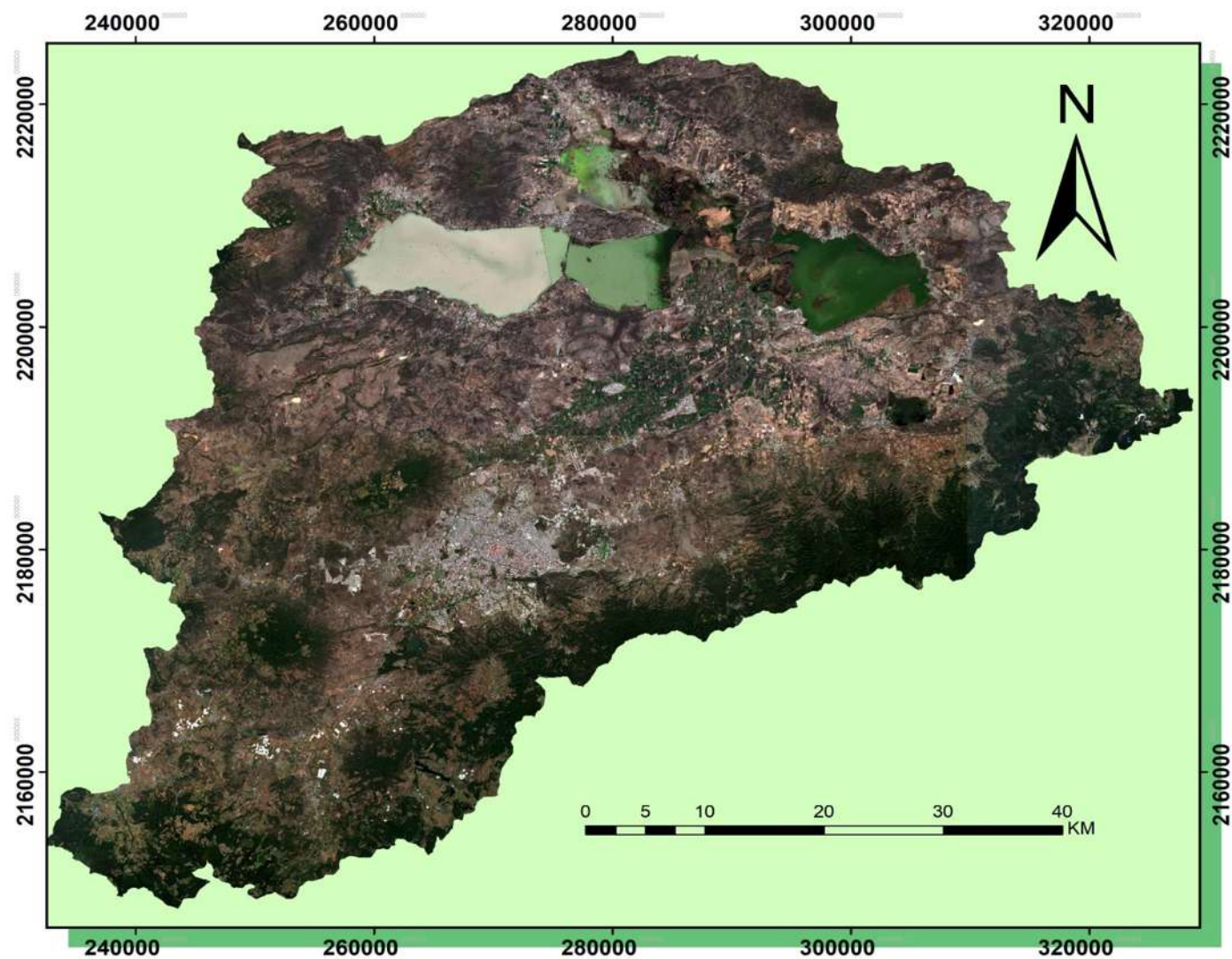
Los datos empleados en este estudio provinieron de una imagen capturada por el satélite Sentinel-2A en el año 2020. Las escenas se obtuvieron de la página oficial de la Agencia Espacial Europea, <https://dataspace.copernicus.eu/>. Las imágenes que se emplearon tienen una resolución espacial de 10 m, recomendadas para el análisis del cambio de cobertura y uso del terreno (Preidl et al., 2020; Waśniewski et al., 2023). Se llevó a cabo un proceso automatizado donde se combinaron tres bandas (B02 (azul), B03 (verde) y B04 (rojo) y se obtuvo una imagen en color natural (Figura 16), que sirvió para la interpretación de las coberturas y los usos del terreno (Tabla 5). Todas las imágenes fueron proyectadas al sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (UTM); Zona 14 N y Datum (WGS) 1984, sistema Geodésico Mundial. El procesamiento de la imagen se realizó en un Sistema de Información Geográfica (ArcMap versión 10.5 y Qgis ver. 3.16.11).

Tabla 5. Características de la imagen Sentinel-2A.

<u>Escena</u>	<u>Fecha</u>	<u>Nubosidad (%)</u>	<u>Sensor</u>	<u>Resolución espacial (m)</u>
T14QKH_20200209T171449_AOT_10m	<u>02/02/2020</u>	<u>0.01</u>	<u>Sentine-2A</u>	<u>10</u>
T14QLH_20200219T171339_AOT_10m	<u>02/02/2020</u>	<u>0.01</u>	<u>Sentine-2A</u>	<u>10</u>
T14QKG_20200209T171449_AOT_10m	<u>02/02/2020</u>	<u>0.01</u>	<u>Sentine-2A</u>	<u>10</u>
T14QLG_20200219T171339_AOT_10m	<u>02/02/2020</u>	<u>0.01</u>	<u>Sentine-2A</u>	<u>10</u>

Fuente: ESA (2015).

Figura 16. Imagen en color natural.

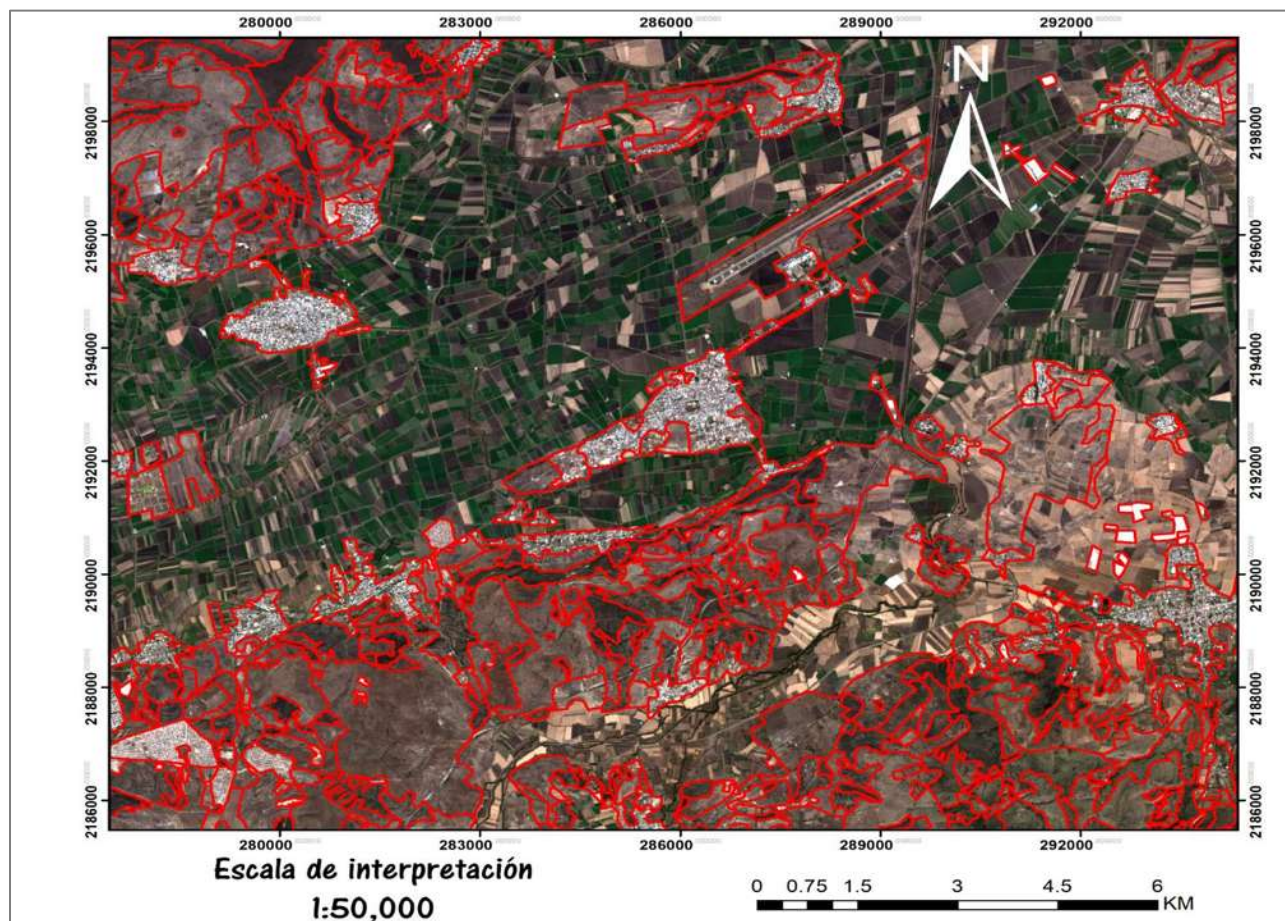


9.1.2 Digitalización e interpretación visual

La interpretación de la de imagen en color natural del año 2020 se realizó sobre computadora a una escala de 1:50,000; cada polígono observado en la imagen, fue digitalizado. Esta tarea se realizó utilizando las herramientas de edición disponibles en el software de ArcMap10.5.

El método de identificación de los objetos terrestres a partir de una interpretación visual consiste en actualizar las categorías de cobertura y uso del terreno que se basa en la agrupación de áreas similares en función de sus características visuales, como el color, textura, brillo, tamaño forma de los objetos y patrón (Mendoza et al., 2011). Además, es indispensable el apoyo de expertos en el área de estudio, trabajo de campo y otras herramientas como la interpretación de alta resolución almacenadas en la plataforma Google Earth. Las categorías de cobertura vegetal y usos del terreno, se interpretaron a la escala de 1: 50, 000 (1 cm en el mapa equivale a 50,000 cm en la realidad) (Figura 17). Esta técnica facilita la construcción de una serie temporal de mapas, el cual permite identificar los cambios ocurridos en tiempos determinados (FAO, 1996).

Figura 17. Escala de interpretación visual.

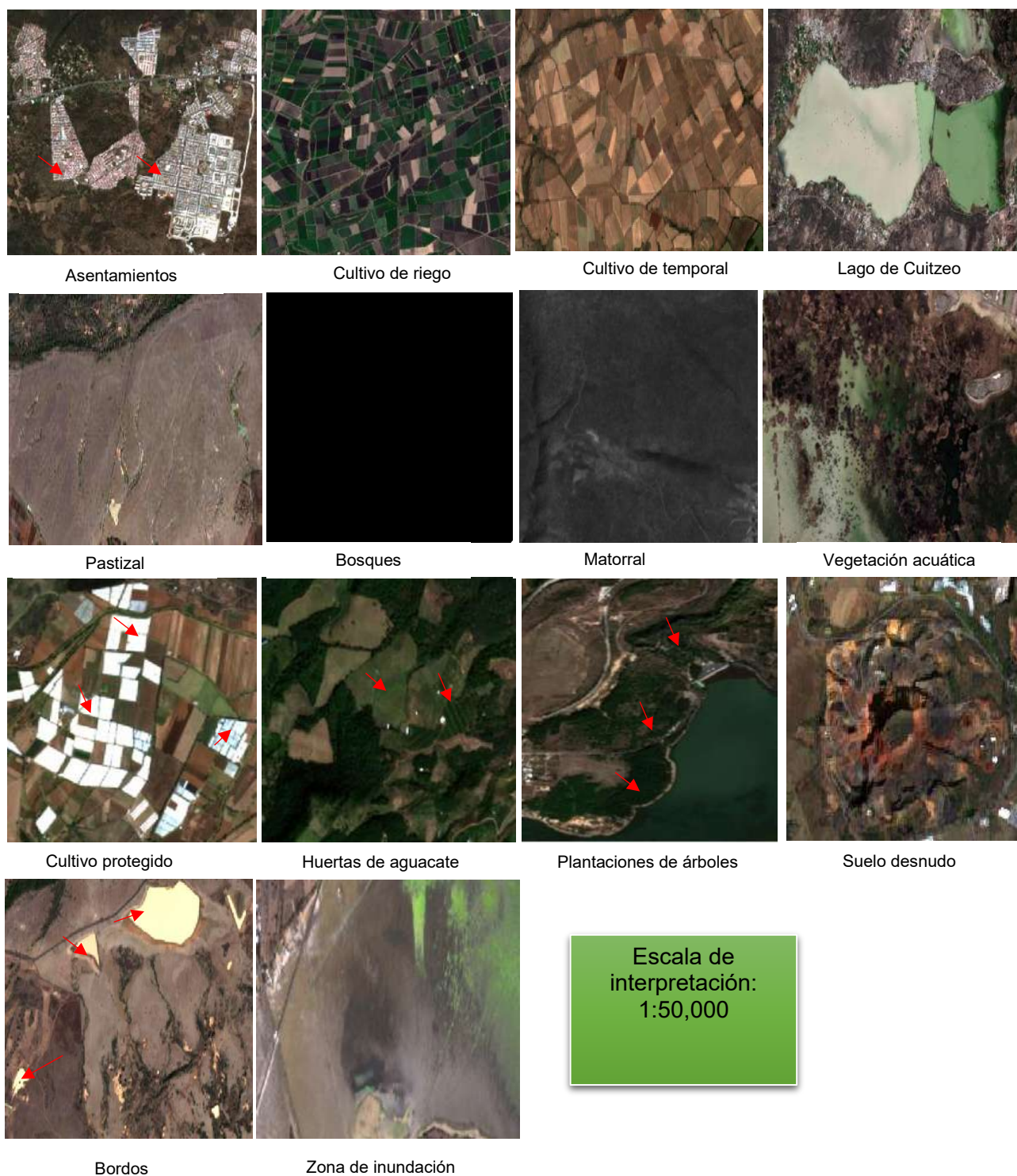


Fuente: elaborado a partir de la imagen Sentinel 2-A.

9.1.3 Categorización de los polígonos

La categorización es parte fundamental de la interpretación visual y análisis de datos geoespaciales. Categorizar implica asignar etiquetas o clasificaciones de categorías específicas a áreas geográficas representadas por polígonos en una imagen con diferentes tipos de cobertura y usos del terreno. En este estudio se categorizaron 12,386 polígonos, tomando como base lo reportado por López (2006). Se consideró una leyenda de 13 categorías, entre naturales (bosque, matorral, pastizal, lago de Cuitzeo y la vegetación acuática) y antrópicas (cultivo, cultivo protegido, huertas, plantaciones de árboles, asentamientos humanos, zona de inundación, bordos y suelo desnudo) (Tabla 6). En algunas categorías se realizó una subclasificación según su densidad; para las categorías de bosque y asentamientos humanos, se clasificaron como abierto aquellas áreas que cubren el 25% y menos del 50%, semiabierto cubren el 50% y menos del 75% y cerrado aquellas superficies que están cubiertas por 75% o más. En el caso del matorral, se consideró matorral cerrado (cobertura mayor al 75%) y matorral pastizal, donde predomina el matorral. En la figura 18 se muestran las categorías de cobertura y usos del terreno como se observaron en la imagen Sentinel 2-A.

Figura 18. Categorías de la cobertura y usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.



Fuente: elaborado a partir de la imagen Sentinel-2A del año 2020.

Tabla 6. Descripción de los tipos de cobertura y usos del terreno.

Número de categorías	Categorías generalizadas	Descripción	
1	Bosque	Asociación arbórea representados por pinos, encinos, abetos y bosques mixtos de coníferas y latifoliadas (pino-encino).	
2	Matorral	Tierra cubierta por árboles pequeños, arbustos, en algunos casos, tales tierras se mezclan con pastos; es menos denso que el bosque, vegetación antrópica, con ramificaciones desde la base del tallo, generalmente su altura es menor a 4 m. En la zona están representados principalmente por matorrales caducifolios subtropicales.	
3	Pastizal	Está formado por vegetación herbácea no leñosa considerada dominante en cuanto a porcentaje de cobertura (> al 75%). Es una vegetación natural predominantes. También incluye terrenos con parches de árboles dispersos y está cubierta terrestre se utiliza para pastoreo principalmente.	
4	Cultivo	Terreno dedicado a cultivos anuales en los que la humedad proviene de temporada lluvia y terrenos dedicado a cultivos de riegos por goteo, aspersión o canales, etc.	
5	Huertas	Zonas con elementos arbóreos plantados por el hombre, como árboles frutales, aguacate etc. Presentan una distribución espacial bien definida.	
6	Cultivo protegido	Se establecen en invernadero, casa de polietileno con ventilación natural, casa de red a prueba de insectos, casa de red de sombra, túnel de plástico, camas elevadas, espaldera y riego por goteo.	
7	Asentamientos humanos	Lugar donde se establece una persona o comunidad, abarca las construcciones de viviendas y servicios, así como los terrenos baldíos. Ciudades, pueblos, aldeas y otras concentraciones de poblaciones humanas que habitan en un segmento o área determinada del medio ambiente.	
8	Plantaciones de arboles	Están compuestos por árboles establecidos a través de la plantación o siembra por intervención humana, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Ejemplo, <i>Eucalyptus globulus</i> (Eucalipto), coníferas etc.	

9	Lago	Representa el lago de Cuitzeo.	
10	Vegetación acuática	Aquellas asociaciones vegetales ubicadas en o adyacentes a cuerpos de agua. Están representados principalmente por colonias de tule, juncos, lirios.	
11	Zona de inundación del Lago	Áreas con características de erosión hídrica severa (barrancos).	
12	Bordos	Pequeños embalses construidos por el hombre que se utilizan para riego o como abrevaderos.	
13	Suelo desnudo	Suelo erosionado es decir que no está protegido por plantas (incluidos líquenes y musgo), basura, vegetación muerta en pie, grava o rocas.	

Fuente: realizado a partir de López (2006).

9.1. 4 Evaluación de la precisión

La evaluación de la fiabilidad de la base de datos derivada de la digitalización y etiquetamiento de polígonos, se realizó mediante un procedimiento para determinar la precisión del mapa generado de la interpretación de la imagen satelital (Chebby et al., 2023). Este procedimiento evalúa que tan acertadamente se llevó a cabo la clasificación con el método empleado, mediante la comparación de polígonos de la interpretación en pantalla con datos de referencia confiables registrados en campo (Mas et al., 2003).

Entre las técnicas más utilizadas se encuentra la matriz de confusión que permite comparar las categorías asignadas por el método de clasificación empleado y las categorías de referencia reales. La matriz tiene un diseño $n \times n$ (indica el número de categorías), en las “filas” se compara las categorías reales observadas en campo (i) y las columnas comparan las categorías interpretadas en pantalla (j) (Tabla 7). La diagonal principal de esta matriz expresa el número de polígonos que coinciden del método de interpretación (fotointerpretación) y los polígonos en el terreno (obtenidos en campo) (P_{i1j}), cualquier valor que se encuentra fuera de la diagonal representan los errores de asignación (Mas et al., 2003).

Tabla. 7 Matriz de confusión.

Verdad del terreno (clases de referencia= i)	Verdad imagen (clases del mapa)							
	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5		j_q	Total
i_1	i_1j_1	i_1j_2	i_1j_3	i_1j_4	i_1j_5		i_1j_q	i_{1+}
i_2	i_2j_1	i_2j_2	i_2j_3	i_2j_4	i_2j_5		i_2j_q	i_{2+}
i_3	i_3j_1	i_3j_2	i_3j_3	i_3j_4	i_3j_5		i_3j_q	i_{3+}
i_4	i_4j_1	i_4j_2	i_4j_3	i_4j_4	i_4j_5		i_4j_q	i_{4+}
i_5	i_5j_1	i_5j_2	i_5j_3	i_5j_4	i_5j_5		i_5j_q	i_{5+}
.....								
i_q	i_qj_1	i_qj_2	i_qj_3	i_qj_4	i_qj_5		i_qj_q	i_{q+}
Total	$+j_1$	$+j_2$	$+j_3$	$+j_4$	$+j_5$		$+j_q$	$\Sigma i+ \Sigma + j$

Nota: ij = número de puntos correctamente clasificados de cada clase, i_{1+} = suma de los puntos correspondientes a las categorías de referencia i_1 , $+j_1$ = suma de los puntos de la clase del mapa j_1 y $\Sigma +j$ = total de la suma de los puntos de las clases de referencia ($\Sigma i+$). i_{1j} = la diagonal principal en color gris, representa el número de polígonos que coinciden en el mapa y en campo.

En esta investigación se verificó en campo el 10% de los polígonos que se digitalizaron en cada una de las categorías. Para la selección de estos polígonos, se realizó

un muestreo aleatorio simple en diversas zonas de la cuenca (Tabla 8). Además, para validar algunos polígonos de difícil acceso se empleó la herramienta del Google Earth y el mapa de la interpretación del año 2000. Una vez que se obtuvo esta matriz se calcularon algunos índices de confiabilidad, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla. 8 número de polígonos validados en campo.

No. Categoría	Nombre. categorías	No. Total de polígonos	No. polígonos validados (10%)
1	Bosque	2237	224
2	Matorral	4440	444
3	Pastizal	1559	160
4	Cultivos	2132	214
5	Huertas	370	37
6	Cultivo protegido	165	17
7	Asentamientos humanos	796	80
8	Plantaciones de arboles	148	15
9	Lagos	7	1
10	Vegetación acuática	34	4
11	Zona de inundación	15	2
12	Bordos	141	14
13	Suelo desnudo	338	34
		Total= 12,382	Total=1,246

Tabla 9. Índices de fiabilidad.

Indicador	Descripción
Error de comisión	Indica la proporción de sitios de verificación cartografiada en una cierta categoría j, pero que en realidad pertenecen a otra categoría. $E_c = (1 - (ij / P + j)) * 100$
Error de omisión	Representa la proporción de sitios de verificación correspondientes a una categoría j que fue cartografiada en otra. $(E_o) = (1 - (P_{ij} / P_{i+})) * 100$
La precisión del usuario	Se refiere a la probabilidad de que un valor predicho por el usuario realmente pertenezca a la misma categoría en la realidad. $Probabilidad\ del\ usuario = \frac{(número\ de\ la\ diagonal)}{numero\ total\ de\ la\ fila} * 100$ $C_u = (P_{ij} / P_{+j}) * 100$
La precisión del productor	Se refiere a la probabilidad de que un valor en una categoría específica sea clasificado correctamente. $Precisión\ de\ productor = \frac{(número\ de\ la\ diagonal)}{número\ de\ la\ columna} * 100$ $C_p = (P_{ij} / P_{i+}) * 100$
Precisión general	La precisión total se calcula a través de la ecuación (3). $Precisión\ general = \frac{(número\ de\ valores\ clasificados\ correctamente)}{número\ total\ de\ valores} * 100$

Fuente: (Pontius et al., 2004; Temesgen et al., 2022)

9.1.5 Detección del CCVUT para el periodo 2000-2020

Se llevó a cabo a través de los mapas de cobertura y uso del terreno preexistente, del año 2000 y 2020, a partir de un proceso automatizado donde se combinaron ambos insumos. El procedimiento se realizó con herramientas de “Data management Tools” en ArcMap 10.5. La matriz de transición o tabulación cruzada es una de las herramientas más importantes en el análisis del cambio de cobertura y uso del terreno, ya que desempeña un papel central en la identificación de cambios. Consiste en una tabla con arreglos simétricos, donde el número de filas es igual al número de columnas, en las filas se muestran las categorías del tiempo 1 (T1) y las columnas muestran las categorías del tiempo 2 (T2) (Mas et al., 2003).

Esta matriz permite conocer los cambios en cantidad, magnitud y las transiciones más importantes entre clases o categorías dentro de un intervalo de tiempo determinado, la ganancia, pérdida y persistencia entre las coberturas analizadas (Tabla 10). Además, está constituida por probabilidades de transición, esto es, la probabilidad que un componente *i* del sistema sea reemplazado por un componente *j* (Pontius et al., 2004). Los valores de la diagonal indican persistencia, los valores fuera de la diagonal indican la transición de la categoría *i* a una categoría *j* diferente. Con los datos que se obtuvieron de esta matriz se generaron algunos indicadores, como el porcentaje de cambios de cada categoría con respecto a la cuenca, pérdida, ganancia, persistencia, cambio total, cambio neto e intercambio (se refiere al proceso en que la pérdida de una categoría determinada está acompañada por la ganancia en otra área, por ejemplo la deforestación de un bosque en un sitio y la reforestación en otra) (Farfán et al., 2016)

Tabla 10. Matriz de transición.

Tiempo 2										
Tiempo 1	clase 1	clase 2	clase 3	clase 4	suma total t1 (p _{i+})	pérdidas (li)	cambio total (ct)	persistencia	cambio neto	intercambio
Clase 1	p ₁₁	p ₁₂	p ₁₃	p ₁₄	p ₁₊	p ₁₊ - p ₁₁	= l + g		ct-int	2*min(l,g)
Clase 2	p ₂₁	p ₂₂	p ₂₃	p ₂₄	p ₂₊	p ₂₊ - p ₂₂				
Clase 3	p ₃₁	p ₃₂	p ₃₃	p ₃₄	p ₃₊	p ₃₊ - p ₃₃				
Clase 4	p ₄₁	p ₄₂	p ₄₃	p ₄₄	p ₄₊	p ₄₊ - p ₄₄				
Suma total Tiempo 2 (p _{+j})	p ₊₁	p ₊₂	p ₊₃	p ₊₄	1					
Ganancia (gj)	p ₊₁₋ p ₁₁	p ₊₂₋ p ₂₂	p ₊₃₋ p ₂₃	p ₊₄₋ p ₂₄						

Nota: La ganancia (Gj), como la diferencia del área total de la categoría j en la fecha 2 (P+j) y la persistencia expresada en la diagonal de la matriz (Pjj), $G_j = (P+j) - (P_{jj})$. La pérdida (Lij) es la diferencia entre el área total de una categoría i en la fecha 1 (Pi+) y la persistencia (Pij), $L_{ij} = (P_{i+}) - (P_{ij})$.

9.2 Análisis de las fuerzas impulsoras del CCVUT

9.2.1. Dinámica demográfica

En este estudio se emplearon los datos estadísticos de población del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), correspondiente a los años 2000 (N0) (INEGI, 2000) y 2020 (Nt) (INEGI, 2020), también se analizaron datos de población de 1970 INEGI (1970). A partir de estos datos, se obtuvo la población total de la cuenca y de los municipios. Además, se calculó la tasa de crecimiento poblacional, utilizando la metodología propuesta por Maldonado (2005), como se indica en la ecuación 1. También se obtuvo el número de población y localidades rural, urbana, en toda la cuenca y por municipio. Estos análisis permiten obtener una comprensión más completa de la dinámica demográfica en el área de estudio.

$$r = \frac{1}{t} \cdot \frac{N_t - N_0}{N_0} \cdot 100 \quad (\text{Eq 1})$$

$$r = 1/10$$

r = Tasa de crecimiento

Nt = Población al final del periodo

N0 = Población al inicio del periodo

t = Tamaño del intervalo de tiempo

$$K = 100$$

9.2.2. Análisis de correlación entre la población total y los asentamientos humanos

En este estudio se evaluó la asociación del crecimiento de la población total (número de habitantes) y la categoría de asentamientos humanos (superficie en hectárea). Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar esta asociación durante el período de estudio. El coeficiente de correlación de Pearson mide la relación estadística o asociación entre dos variables continuas, es decir la fuerza y dirección de las relaciones lineales entre pares de variables continuas. El análisis se llevó a cabo utilizando el software estadístico Rstudio versión 4.2.2.

9.2.3 Número de viviendas en el periodo 2000-2020

Se registró el número de viviendas totales y habitadas en la cuenca de Cuitzeo y en cada municipio. Los datos utilizados se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, del año 2000 y 2020.

9.2.4 Dinámica de la producción ganadera en la cuenca de Cuitzeo

En algunas áreas la producción ganadera puede llevar a la expansión de áreas para el pastoreo como los pastizales. Para comprender esta relación en la zona de estudios, se recopilaron datos estadísticos del SIAP (2023b), sobre el número de animales sacrificados, la producción de carne y datos de producción económica del año 2006 (no hay información del año 2000) y del 2020.

9.2.5. Dinámica de la producción agrícola en la cuenca de Cuitzeo

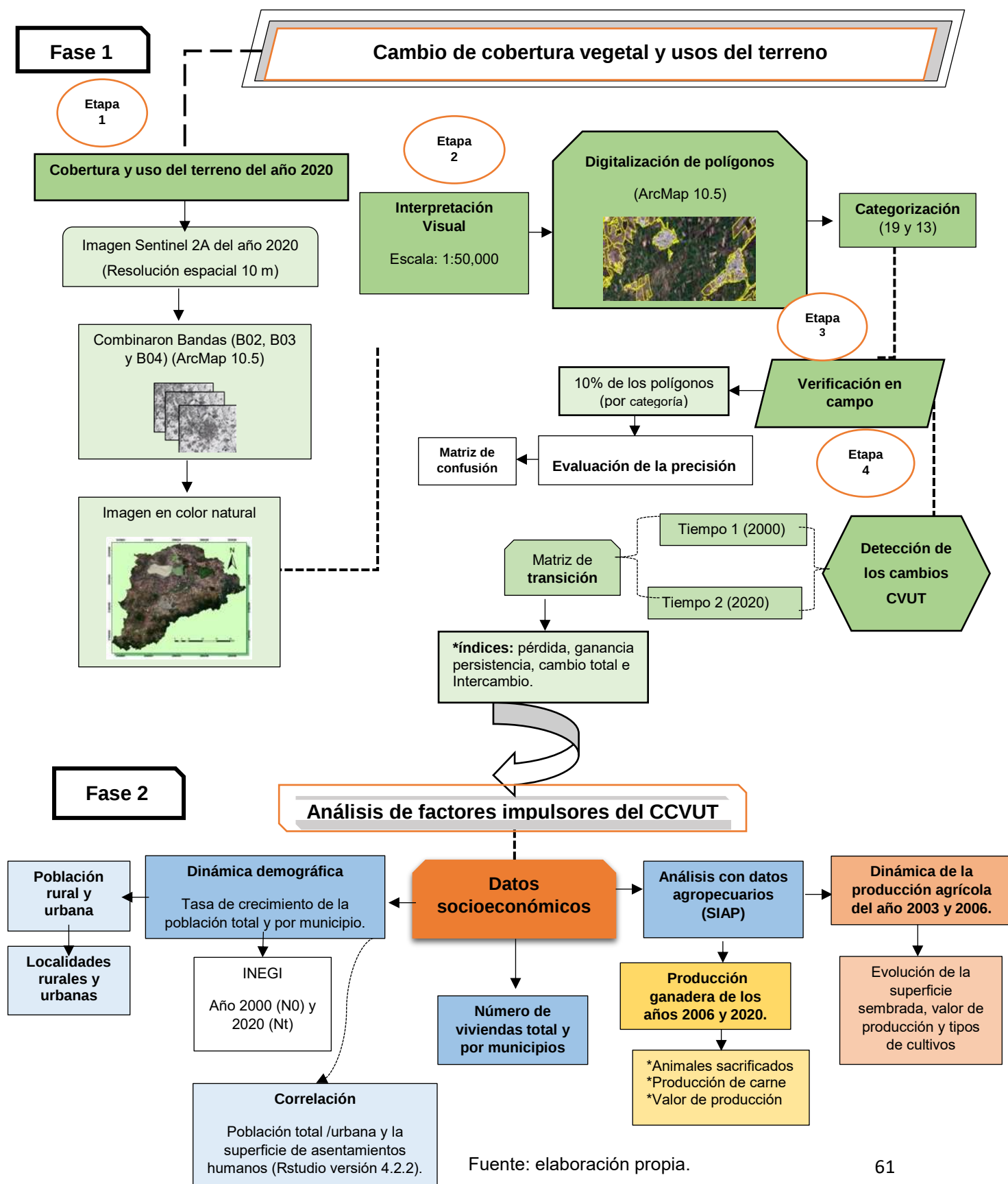
Las actividades de producción económica tienen una estrecha relación con el cambio de cobertura y uso del terreno (Nie et al., 2023). Para comprender esta relación a mayor profundidad, se realizó un análisis descriptivo de la evolución de la producción agrícola a lo largo del periodo de estudio, con datos estadísticos reportados por el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2023a). Este análisis se centró en el distrito de riego 20 de Morelia-Queréndaro, el cual incluye 14 municipios correspondientes a la cuenca de Cuitzeo, como se observa en la Tabla 11. Los datos que se utilizaron son del año 2003 representa (fecha inicial del periodo de estudio), es el registro más cercano al año inicial, debido a que no existe reporte para el año 2000 y para el 2020 (fecha final del periodo de estudio). Los datos que se analizaron corresponden a la superficie sembrada (hectáreas), producción económica (miles de pesos) y los tipos de cultivo (diversidad de cultivos).

Tabla 11. Distrito de riego-Morelia-Queréndaro.

No	Municipios	Porcentaje de ocupación en la cuenca de Cuitzeo (%)
1	Acuitzio	77.9
2	Álvaro Obregón	100
3	Copándaro	100
4	Cuitzeo	99.8
5	Charo	61.6
6	Chucándiro	95.5
7	Huandacareo	99.7
8	Indaparapeo	94.7
9	Madero	0.3
10	Morelia	88.5
11	Queréndaro	69.0
12	Santa Ana Maya	100
13	Tarímbaro	100
14	Zinapécuaro	71.4

Fuente: SIAP (2020).

9.3 Diagrama del enfoque metodológico



10. Resultados y discusiones

10.1 Evaluación de la precisión

Los resultados de la validación para determinar la confiabilidad temática, mostraron un valor de precisión por arriba del umbral mínimo aceptable por encima del 85% (Mas et al., 2003). Esta respuesta se observó en cada una de las 13 categorías y una precisión global del 94.4%, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Precisión de la clasificación de la imagen del año 2020.

Clases	Probabilidad del Usuario (%)	Predicción del productor (%)	Error de comisión	Error de omisión
Bosque	95.9	89.5	4.0	8.7
Matorral	95.2	96.1	4.6	4.0
Pastizal	88.7	90.3	6.8	9.6
Cultivo	88.7	94.5	11.2	5.4
Cultivo protegido	100	100	0.00	0.0
Huerta	91.8	100	8.1	0.0
Asentamientos humanos	100	100	0.0	0.0
Plantaciones de árboles	100	100	6.6	0.0
Lagos	100	100	0.0	0.0
Vegetación acuática	100	100	0.0	0.0
Zona de inundación	100	100	0.0	0.0
Bordos	100	100	0.0	0.0
Suelo desnudo	100	100		
Precisión global (%)	94.4			

10.2 Detección de los cambios de cobertura vegetal y usos del terreno

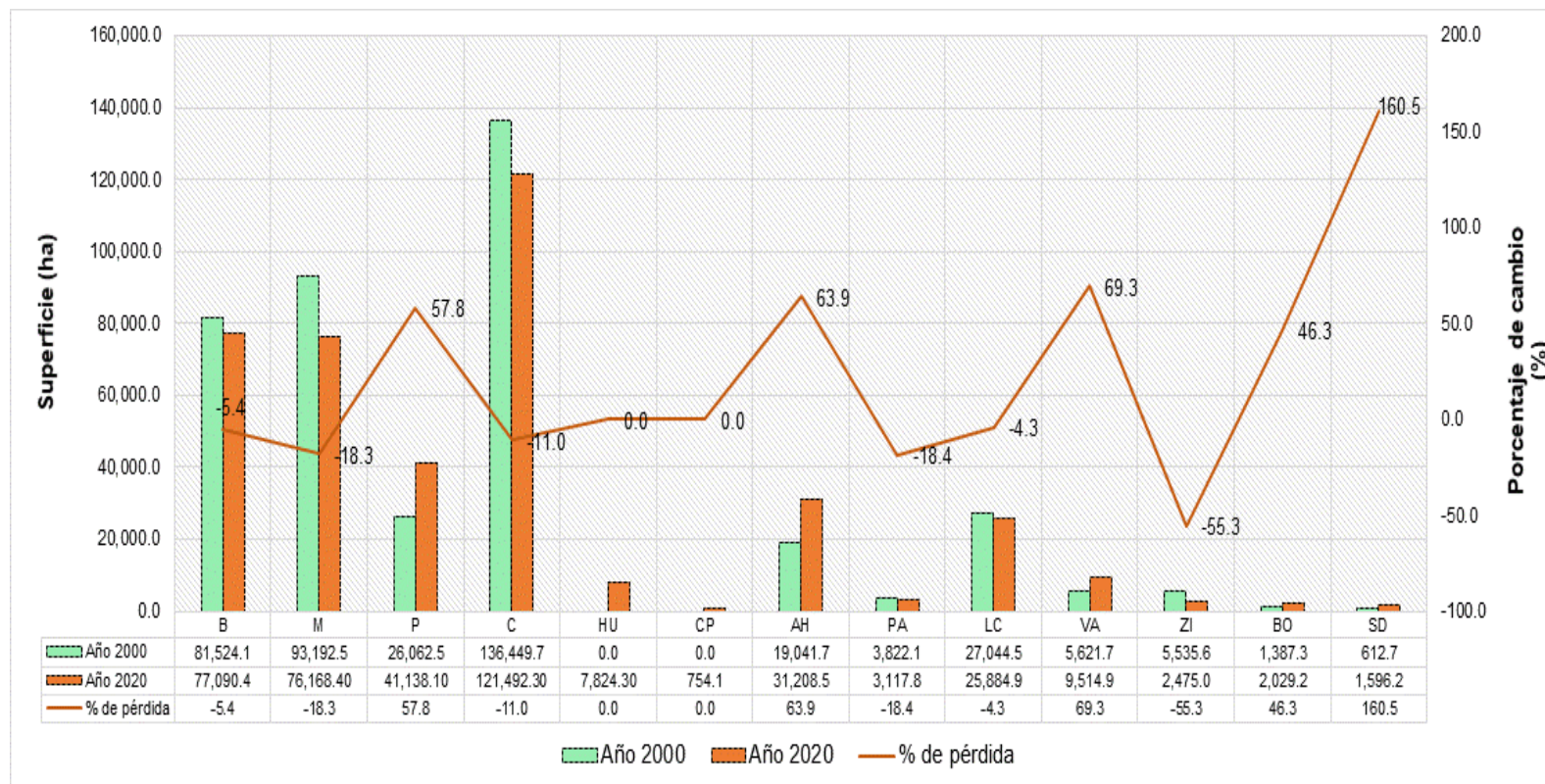
En el año 2020 en la cuenca del lago de Cuitzeo la superficie destinada a los cultivos ocupaba el 30.4 % de la superficie total, el bosque con 19.3%, matorral subtropical 19.0%, el pastizal ocupa el 10.3%, los asentamientos humanos 7,8% y el Lago 6.5%, en conjunto equivalen al 93.3% de la superficie total de la cuenca, siendo estas coberturas y usos del terreno las más representativas de la región, en función de la superficie de ocupación. En la Tabla 13 se puede observar la evolución de las superficies de cada una de las categorías desde 1975 hasta el año 2020.

Tabla 13. Superficies de las CUT de 1975 al 2020.

Categoría	Superficie (ha)	Ocupación en la cuenca (%)	Superficie (ha)	Ocupación en la cuenca (%)	Superficie (ha)	Ocupación en la cuenca (%)
	1975		2000		2020	
Bosque	67,485	16.7	81,524.1	20.4	77,090.4	19.3
Matorral	74,475	18.6	93,192.5	23.3	76,168.4	19.0
Pastizal	33,743	7.3	26,062.5	6.5	41,138.1	10.3
Cultivos	174,397	43.5	136,449.7	34.1	121,492.3	30.4
Huertas	0	0	0	0	7,824.3	2.0
Cultivo protegido	0	0	0	0	754.1	0.2
Asentamientos humanos	8,115	2.0	19,041.7	4.8	31,208.5	7.8
Plantaciones de árboles	897	0.2	3,822.1	1.0	3,117.8	0.8
Lago de Cuitzeo	37,685	9.4	27,044.5	6.8	25,884.9	6.5
Vegetación acuática	1,999	1.5	5,621.7	1.4	9,514.9	2.4
Zona de inundación	0	0	5,535.6	1.4	2,475.0	0.6
Bordos	1,225	0.3	1,387.3	0.3	2,029.5	0.5
Suelo desnudo	0	0	612.7	0.2	1,596.2	0.4

Los principales cambios ocurridos en el periodo de estudio en la cuenca del lago de Cuitzeo son de origen natural (Figura 19), entre los más importantes se encuentra la disminución de la superficie de matorral subtropical (18.3%), plantación de árboles (18.2%), terrenos destinados a la agricultura (11.0%), pérdida de bosques (5.5%) y el lago de Cuitzeo (4.3%). Mientras que las categorías de origen antrópico se cuantificó una expansión en la superficie de ocupación: el suelo desnudo (160%), zonas de vegetación acuática (69.3%), asentamientos humanos (63.9%), terrenos de pastizal (57.8%), y bordos (46.3%), también se registró 7,824.3 ha de superficie destinada a las plantaciones permanentes o huertas, y 754.1 ha de cultivo protegido, ambas categorías no se reportaron en los años anteriores.

Figura 19. Cambios en las coberturas y usos del terreno 2000-2020.



NOTA: B=bosque, M= matorral, P= pastizal, C=cultivo, CP= cultivo protegido, HU= huertas, AH= asentamientos humanos, PA= plantaciones de árboles, LC= lago de Cuitzeo, VA=vegetación acuática, ZI= zona de inundación, BO= bordos, SD= suelo desnudo. Se muestran los cambios de la superficie de ocupación en hectárea, en el período 2000-2020, y el porcentaje de cambio (%).

Al comparar los datos del año 2020 con los estudios previos realizados en la cuenca, se observó que entre los años de 1975 y 2000 los principales cambios se relacionaban con la ganancia de superficies en la cobertura natural, como el aumento de las plantaciones de árboles (326%), principalmente de eucalipto y pino, el incremento del matorral subtropical en un 25.1% que creció principalmente sobre agricultura de temporal en laderas inclinadas y aumento en la superficie de bosques (20.8%), en este caso bosques de encino. En ese mismo periodo de tiempo disminuyeron los pastizales (22.7%) y los cultivos de temporal (21.7%), con excepción de los asentamientos humanos que experimentaron un crecimiento de (134.6%). Esta situación indicó que la zona de estudio se encontraba mejor conservada, en función de la CUT (López et al., 2006). No obstante, los cambios en el período más reciente (2000-2020), indica una disminución de áreas naturales y un aumento intensivo de los usos antrópicos, patrón opuesto al periodo anterior, lo que sugiere una mayor presión sobre la cobertura vegetal en la zona de estudio.

En los mapas de distribución espacial se observa la ubicación geográfica de las coberturas y usos del terreno, en el año 2000, se observó una mayor abundancia de la vegetación natural, como los bosques y matorrales, predominante en la zona sur y norte de la cuenca (Figura 20). Sin embargo, para el año 2020, es evidente la pérdida de esta vegetación, la cual ha sido desplazada por actividades de origen antrópicos predominantes, como la expansión de pastizales y los asentamientos humanos, que ha ocasionado una disminución de la superficie destinada a los cultivos; mientras que la presencia de huertas y cultivos protegidos, ha reducido la superficie de cultivo y vegetación natural (Figura 21).

Figura 20. Distribución espacial de la cobertura vegetal y usos del terreno del año 2000.

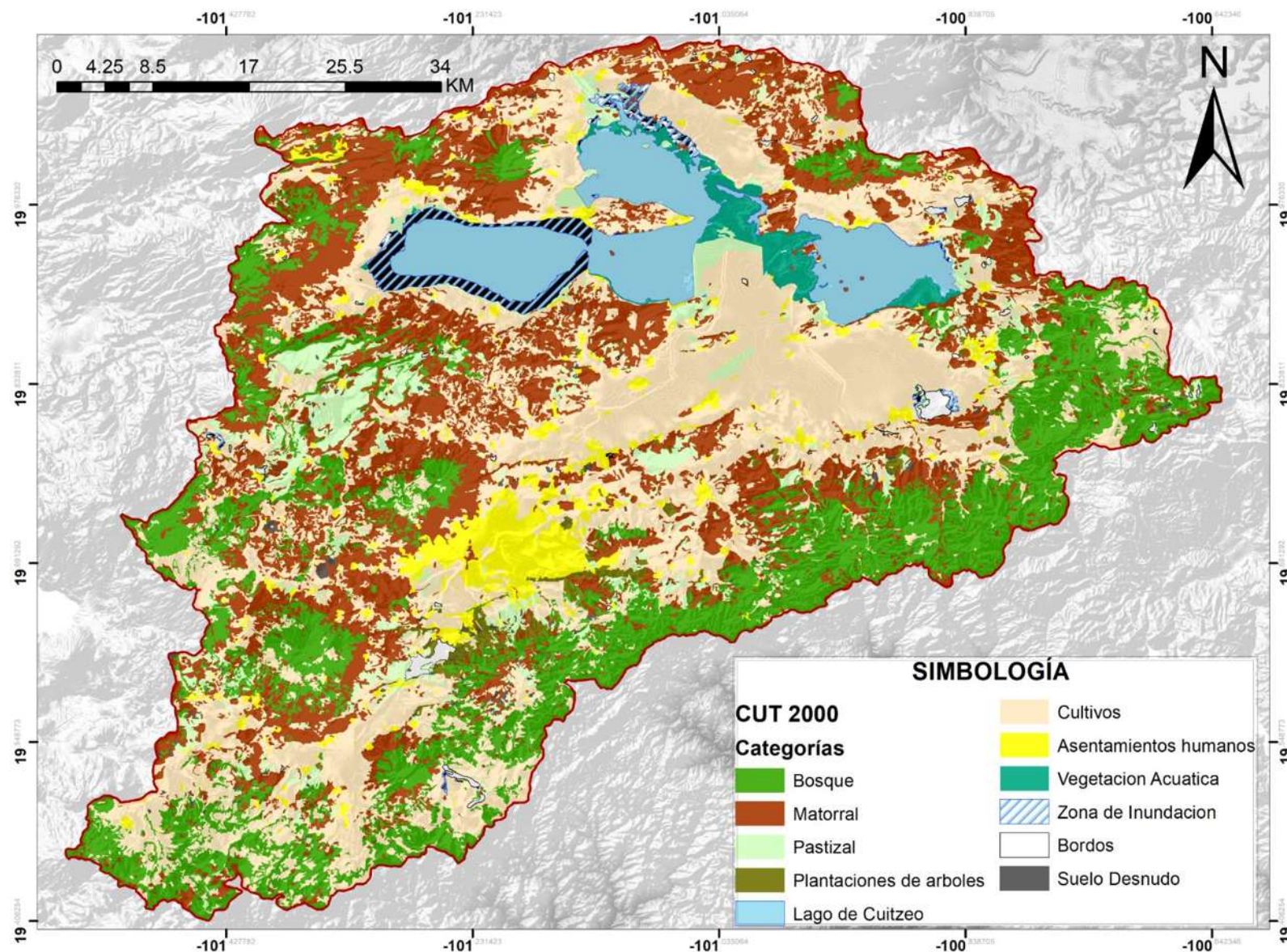
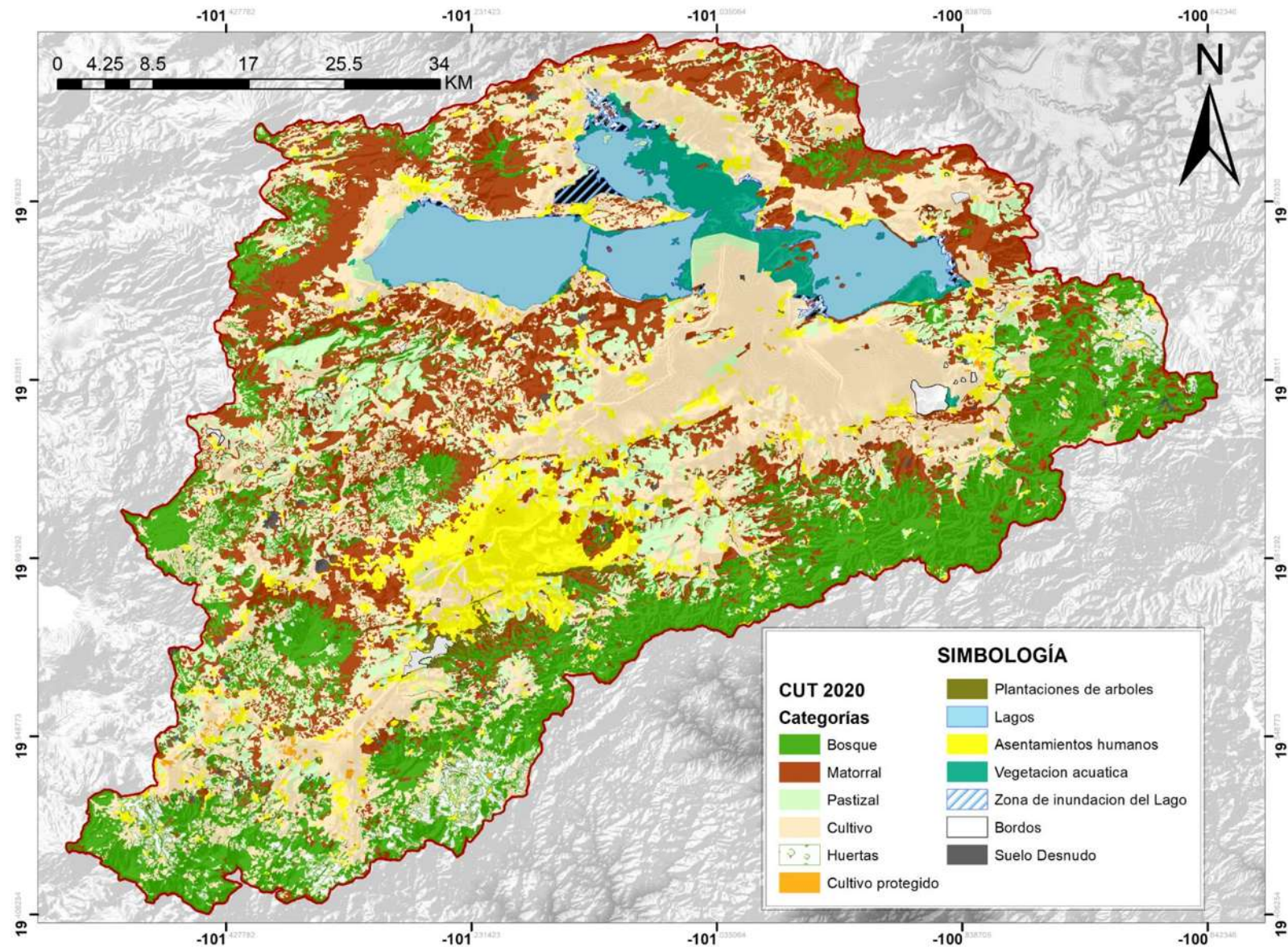


Figura 21. Distribución espacial de la cobertura vegetal y usos del terreno del año 2020.



La Tabla 14 muestra la matriz de transición de las últimas dos décadas en las 13 categorías analizadas, se observó que el 72.2% de la superficie en función de la cobertura y usos del terreno se ha mantenido sin cambios y el 27.8% ha sido modificado. Se destacan los cambios en las categorías de bosque el cual ha experimentado una transición hacia las categorías de matorral, cultivo y huerta. Al mismo tiempo, el matorral ha evolucionado hacia las categorías de pastizal, cultivo, bosque y asentamientos humanos. El pastizal ha transitado hacia el cultivo y matorral. Mientras que el cultivo hacia las categorías de pastizal, asentamientos humanos, huerta y matorral. Por su parte, el lago de Cuitzeo cambió hacia la vegetación acuática. Estos datos indican una dinámica importante en la configuración de la cobertura vegetal y el uso del terreno de los últimos 20 años, con implicaciones importantes para conservación del territorio.

Tabla 14. Matriz de transición de los CCUT, en el período 2000-2020.

	Categorías	Año 2020													Total
		B	M	P	C	HU	CP	AH	PA	LC	VA	ZI	BO	SD	
Año 2000	B	66,759.2	10,399.7	789.7	1,418.7	1,490.8	6.7	308.1	270.4	0.00	0.00	0.00	0.00	80.8	81,524.1
	M	6,739.7	56,235.4	15,705.0	11,095.0	110.4	7.3	1,995.4	635.5	0.00	74.1	46.9	6.8	541.0	93,192.5
	P	519.3	2,838.8	14,021.9	5,620.1	49.8	27.1	921.0	110.8	116.0	289.2	1,201.9	167.3	183.7	26,062.5
	C	2,403.2	5,793.0	9,945.0	102,254.7	6,113.2	713.0	8,429.8	66.3	13.4	170.1	142.2	77.5	328.3	136,449.7
	HU					0									0.0
	CP						0								0.0
	AH							19,041.7							19,041.7
	PA	657.9	570.1	143.6	36.9	37.7	0	340.7	2,024.6	0	0	0	0.00	10.60	3,822.1
	LC	0.00	84.2	106.9	6.8	0	0	11.1	0.00	22,045.0	3,720.8	579.5	490.2	0.00	27,044.5
	VA	0.00	128.5	71.2	116.3	0	0	0.00	0.00	159.8	4,910.0	203.5	0.00	0.00	5,621.7
	ZI	0.00	33.3	286.2	757.8	0	0	12.6	0.00	3,555.1	350.7	301.0	169.9	69.0	5,535.6
	BO	0.00	48.0	39.3	136.8	16.6	0	12.5	0.00	0.00	0.00	0	1,117.8	16.3	1,387.3
	SD	11.1	37.4	29.3	49.2	5.8	0	103.2	10.2	0.00	0.00	0.00	0.00	366.5	612.7
	Total	77,090.4	76,168.4	41,138.1	121,492.3	7,824.9	754.1	31,208.5	3,1117.8	25,884.9	9,514.9	2,475.0	2,029.5	1,596.2	400,294.4

NOTA: B=bosque, M= matorral, P= pastizal, C=cultivo, CP= cultivo protegido, HU= huertas, AH= asentamientos humanos, PA= plantaciones de árboles, LC= lago de Cuitzeo, VA=vegetación acuática, ZI= zona de inundación, BO= bordos, SD= suelo desnudo. Además, se muestra las superficies en hectáreas (ha) para el período de análisis (2000-2020), las filas señalan las categorías de CUT del año 2000 y las columnas del año 2020. Los valores de la diagonal representan la permanencia, los valores fuera de la diagonal son las superficies que cambiaron de una categoría a otra, y el total indica la sumatoria de las superficies de cada categoría.

10.2.1 Ganancias y pérdidas entre categorías

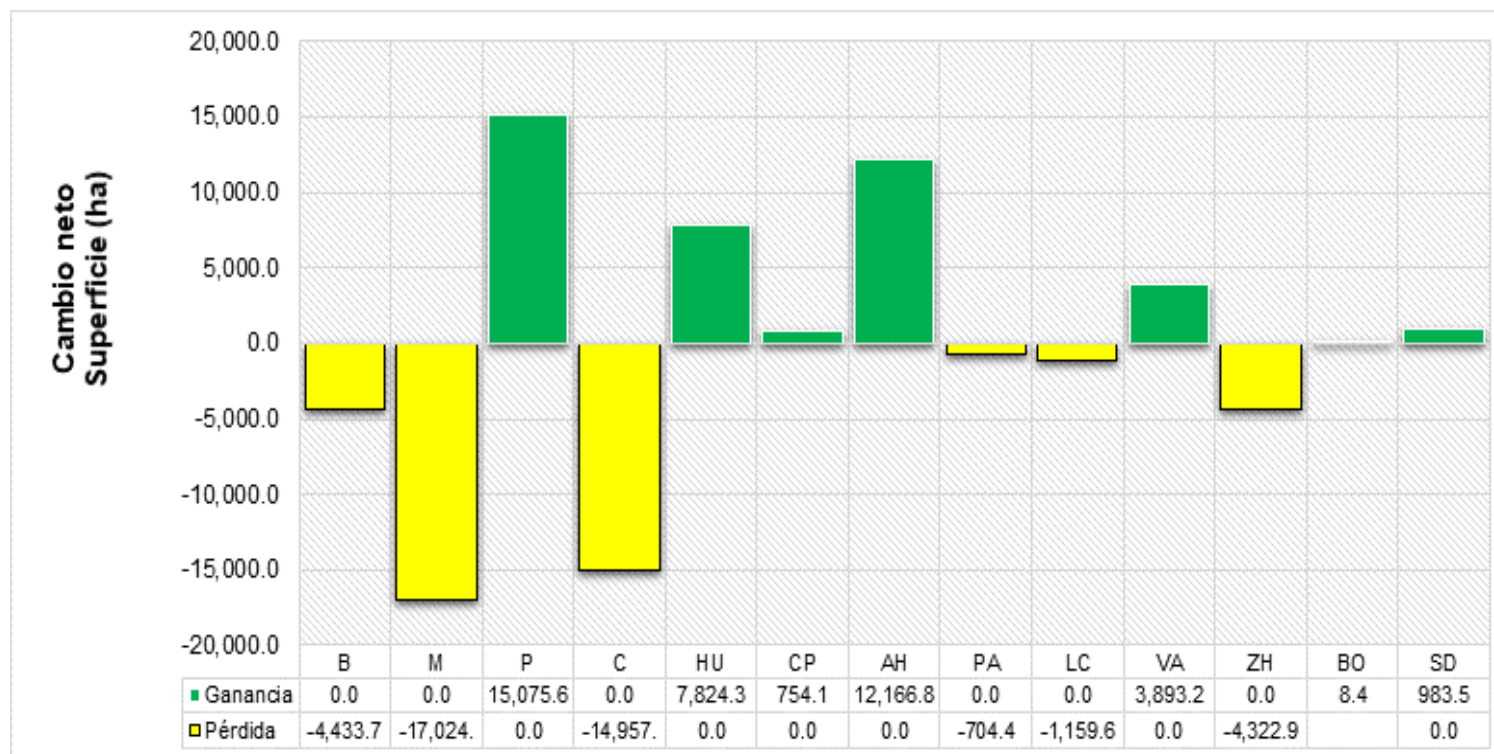
En la Tabla 15 se muestran los índices que se calcularon en función de la matriz de transición para el periodo 2000-2020, se estimó que la pérdida de superficie total fue de 111,216.6 ha, correspondiente al 27.8%. La cobertura vegetal sufrió la mayor pérdida de superficie, el matorral subtropical fue de 17,024.1 ha, le sigue el cultivo 14,957.4 ha, el bosque 4,433.7 ha y el lago de Cuitzeo con 1,159.6 ha. Los usos del terreno mostraron una ganancia, el pastizal fue de 15,075.6 ha, los asentamientos humanos 12,166.8 ha y la vegetación acuática de 3,893.2 ha (Figura 22). Por otra parte, el matorral y el cultivo fueron las categorías que mostraron la mayor superficie de intercambios (39,866.0 y 38,475. ha), respectivamente.

Tabla 15. Índices de cambio de la cobertura y uso del terreno 2000-2020.

Categorías	Superficie (2000)	Superficie (2020)	Permanencia	Pérdida	Ganancia	Cambio total (CT)	Cambio neto	Intercambio	Porcentaje de cambio (%)
B	81,524.1	77,109.4	66,759.2	14,764.9	10,331.2	25,096.1	4,433.7	20,662.4	-5.4
M	93,192.5	76,168.4	56,235.4	36,957.1	19,933.0	56,890.1	17,024.1	39,866.0	-18.3
P	26,062.5	41,138.1	14,021.9	12,040.6	27,116.2	39,156.8	15,075.6	24,081.2	57.8
C	136,449.7	121,492.3	102,254.7	34,195.0	19,237.6	53,432.6	14,957.4	38,475.2	-11.0
CP	0	7,541.1	0	0.0	754.1	754.1	754.1	0.0	100.0
HU	0	7,824.3	0	0.0	7,824.3	7,824.3	7,824.3	0.0	100.0
AH	19,041.7	31,208.5	19,041.7	0.0	12,166.8	12,166.8	12,166.8	0.0	63.9
PA	3,822.1	3,117.8	2,024.6	1,797.5	1,093.1	2,890.6	704.4	2,186.2 (0.01)	-18.2
L	27,044.5	25,884.2	22,045.0	4,999.5	3,839.9	8,839.4	1,159.6	7,679.8 (0.05)	-4.3
VA	5,621.7	9,514.9	4,910.00	711.7	4,604.9	5,316.6	3,893.2	1,423.4 (0.01)	69.3
ZI	5,535.6	2,475.0	301.0	5,234.6	2,174.0	6,146.3	4,322.9	1,823.4 (0.01)	-55.3
BO	1,387.3	1,596.2	1,117.8	269.5	911.7	530.6	8.4	522.2 (0.003)	46.3
SD	612.7	1,596.2	366.5	246.2	1,229.7	1,475.9	983.5	492.4 (0.003)	160.5

Nota: B=bosque, M= matorral, P= pastizal, C=cultivo, CP= cultivo protegido, HU= huertas, AH= asentamientos humanos, PA= plantaciones de árboles, LC= lago de Cuitzeo, VA=vegetación acuática, ZI= zona de inundación, BO= bordos, SD= suelo desnudo.

Figura 22. Pérdidas y ganancias de las CUT entre año 2000-2020.



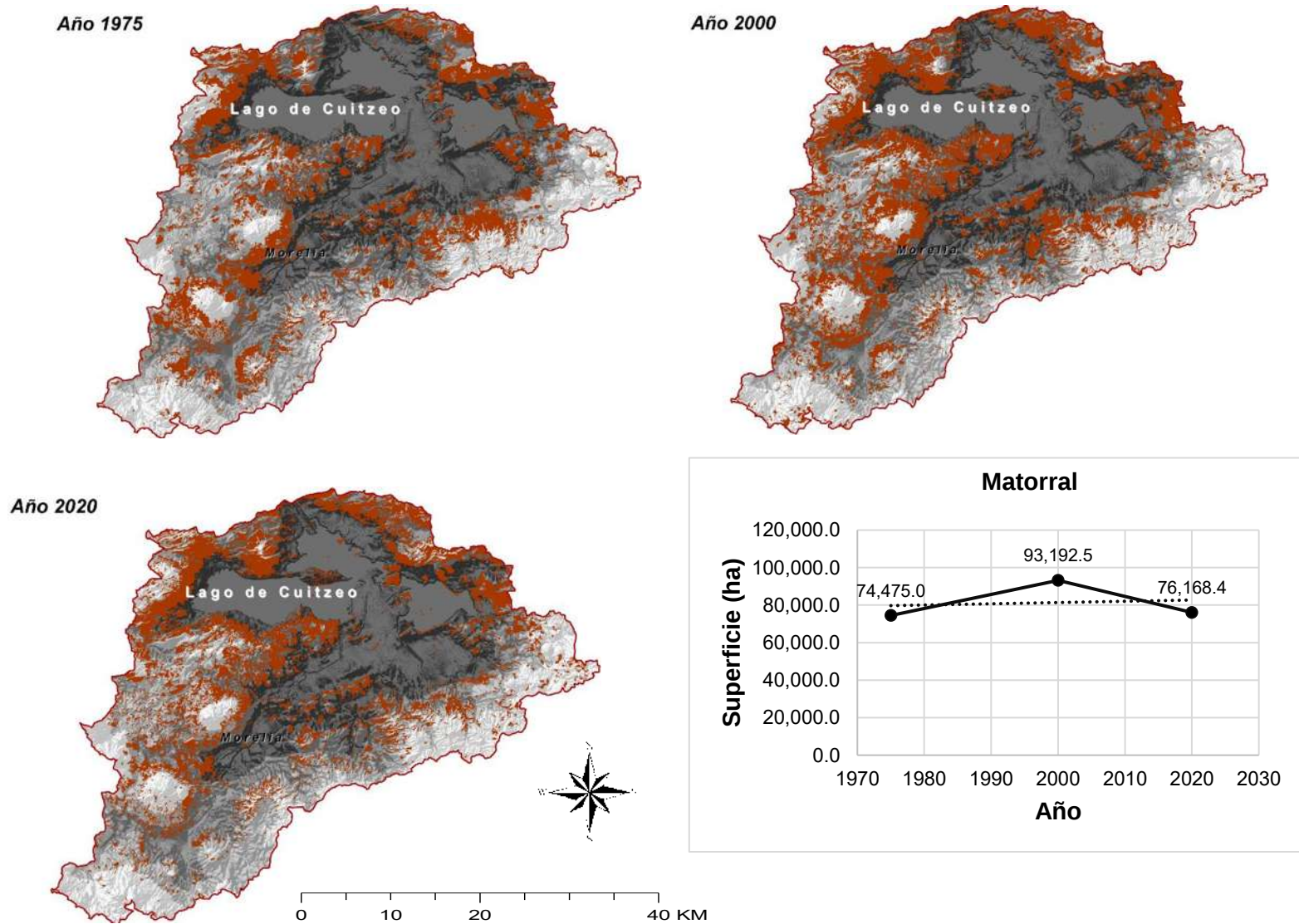
NOTA: B=bosque, M= matorral, P= pastizal, C=cultivo, CP= cultivo protegido, HU= huertas, AH= asentamientos humanos, PA= plantaciones de árboles, LC= lago de Cuitzeo, VA=vegetación acuática, ZI= zona de inundación, BO= bordos, SD= suelo desnudo. Se muestran las categorías que ganaron y perdieron superficie de ocupación para el 2000 y 2020.

El matorral es la tercera cobertura vegetal más extensa y ocupa el 19.0% del total de la cuenca, predomina al norte y noroeste de la misma. En este período fue la categoría que sufrió la mayor reducción en la superficie de ocupación, de 93,390.6 ha a 76,516.6 ha, se perdió el 18.3% (Tabla 13). De acuerdo a la matriz de transición (Tabla 14), indica que la disminución se relaciona con la ganancia en la superficie de pastizales con 15,814.1 ha (20.7%) y de cultivos, 11,159.3 ha (14.6%), siendo esta la categoría que mayor cambio sufrió en la cuenca de Cuitzeo.

En la figura 23, se observa que entre 1975 y 2000, existía una mayor predominancia de esta cobertura, la cual incrementó el 25.1%, de 74,475 ha a 93,192.5 ha, siendo esta la de mayor predominancia en toda la cuenca, tal como lo señala López et al. (2006) y Mendoza et al. (2011). Mientras que, en el mapa más reciente, es visible identificar una marcada disminución de esta categoría, por los procesos antrópicos anteriormente señalados. Estos hallazgos se asemejan con otros estudios que se han desarrollado en diversas áreas geográficas, donde se ha reportado esta tendencia en los matorrales por el incremento de cultivos, pastizales, y la expansión urbana (Daba y You, 2022; Rehman y Khan, 2022).

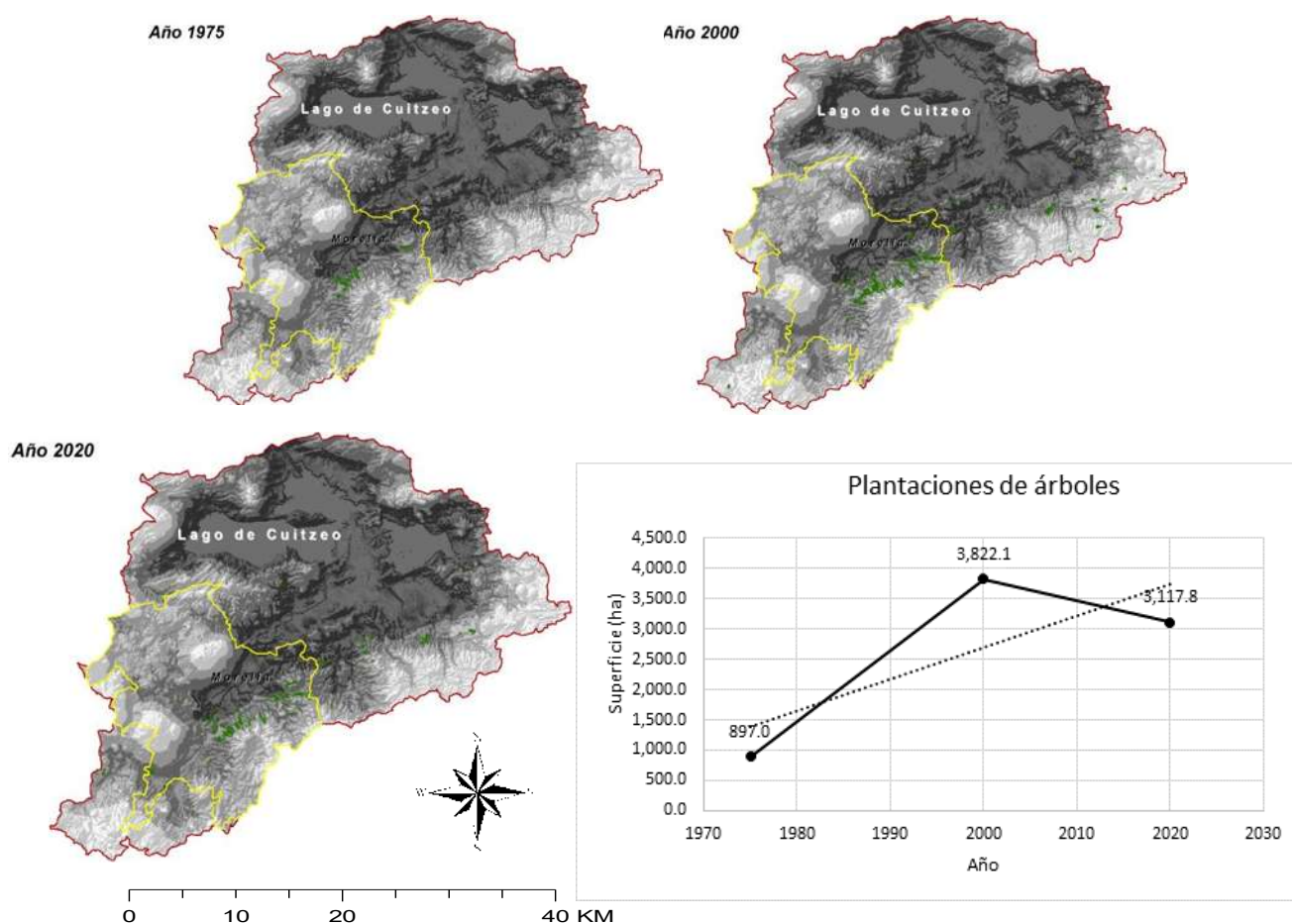
La pérdida de cobertura vegetal, como la disminución de los matorrales, conducen a la degradación del suelo y la disminución de la biodiversidad, el cual puede afectar directamente la capacidad de las comunidades pobres para obtener alimentos y recursos naturales esenciales como la madera para la construcción, entre otros (Rehman y Khan, 2022). Es importante destacar que el Ordenamiento Ecológico Territorial de la Cuenca del Lago de Cuitzeo realizado en 2008, señaló que los municipios con niveles de marginación más importantes se encuentran en la parte norte de la zona de estudio, con un índice de marginación medio para el caso de Chucándiro y Copándaro, fueron representativos de alta marginación. En el reporte del 2020 del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2020), señala que Chucándiro sigue teniendo un índice de marginación medio y se registró el municipio de Huaniqueo con este valor, el resto de los municipios se encuentra entre un rango bajo y muy bajo. Aunque la situación con respecto a la marginación de la población en la zona norte de la cuenca ha cambiado, la disminución del matorral podría tener un impacto importante en el entorno natural, esto debido a que desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de los ecosistemas locales (Misra y Balaji, 2015).

Figura 23. Distribución espacial del matorral en 1975, 2000 y 2020.



Las plantaciones de árboles como resultado de la intervención humana, principalmente de eucalipto, ocupan el 0.8% del total de la cuenca y se encuentran establecidos específicamente en una zona restringida al sur en el municipio de Morelia (Figura 24). En el año de 1975, había 897 ha, y para el año 2000 se incrementó a 3,180.2 ha, lo que corresponde al 254.7%. En este período se observó 3,117.8 ha efecto contrario al periodo anterior, debido a que disminuyó el 18.2%. De acuerdo a la matriz de transición (Tabla 14), estas áreas están siendo desplazadas por bosques, con 677 ha (21.7%), y por matorrales, 575 ha (18.4%), el patrón observado contrasta con lo reportado en el periodo anterior (López, 2006). Aunque las plantaciones representan un porcentaje menor en la cuenca, han sido plantadas con fines de restauración en áreas degradadas o para la protección del medio ambiente, por lo que esta reducción podría tener implicaciones negativas para la conservación del paisaje y el medio ambiente local.

Figura 24. Distribución espacial de las plantaciones de árboles en 1975, 2000 y 2020.



El bosque es la segunda categoría dominante en la cuenca, ocupa el 20.4% del total, se distribuyen en las partes más altas, las cuales se ubican al sur de la zona de estudio (Figura 25). Entre el año 2000 y 2020 se registró una disminución del 5.4%, de 81,524.1 ha pasaron a 77,090.4 ha, el cambio está obedeciendo a la expansión de matorrales con 10,438.0 ha (13.5%), huertas 1,510.9 ha (1.9%) y cultivos 1,419.4 ha (1.8%) (Tabla 14). La reducción de esta categoría ha sido más drástica en los bosques que se ubican en las partes bajas de la cuenca, como el bosque abierto que ocupaba 10,044.1 ha y se redujo a 5,942.5 ha, equivalente al 40.8%. Mientras que el bosque semiabierto disminuyó el 72%, es decir de 52,526.3 ha a 14,667.9 ha. El bosque cerrado mostró un comportamiento contrario debido a que incrementó 197.9%, de 18,953.7 ha pasó a 56,465.8 ha (Figura 26). Estos resultados son contrarios a lo reportado entre 1975 y 2000, donde se registró un aumento del 20.8%, de 67,485 ha, a 81, 524.1 ha (López, 2006; Mendoza et al., 2011).

La disminución de la cobertura forestal local se enmarca en un contexto global y nacional, ya que la FAO (2020), señala que entre 1990 al 2020, se han perdido el 30% de los bosques en todo el mundo, y la causa de esta pérdida, se debe principalmente, a la expansión de cultivos y a la urbanización. A nivel nacional, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2020), ha reportado que se registró una tasa anual de deforestación de 208 mil 850 hectáreas por año, entre 2001 y 2020, siendo la expansión de pastizales la causa del 76.61% de la reducción de los bosques, con 128 mil 552 hectáreas, y los cultivos el 20.30%, 34 mil 066 hectáreas. Sin embargo, otros estudios señalan que la causa de estos procesos a nivel local es compleja, debido a que intervienen factores subyacentes como la implementación de políticas que caracterizan una región en particular (Kleemann et al., 2017; Kusiima et al., 2022).

Lo observado en este estudio permite conocer que la interacción de factores locales y regionales como las dinámicas socioeconómicas y toma de decisiones, hasta las características geográficas de una región determinada, desempeñan un papel crucial en la degradación de la cobertura forestal y su conversión a otros usos. Por esta razón, comprender las dinámicas regionales a través de la actualización de estos cambios en los bosques locales resulta indispensable para una adecuada gestión y conservación de este valioso recurso.

Figura 25. Distribución espacial del bosque en 1975, 2000 y 2020.

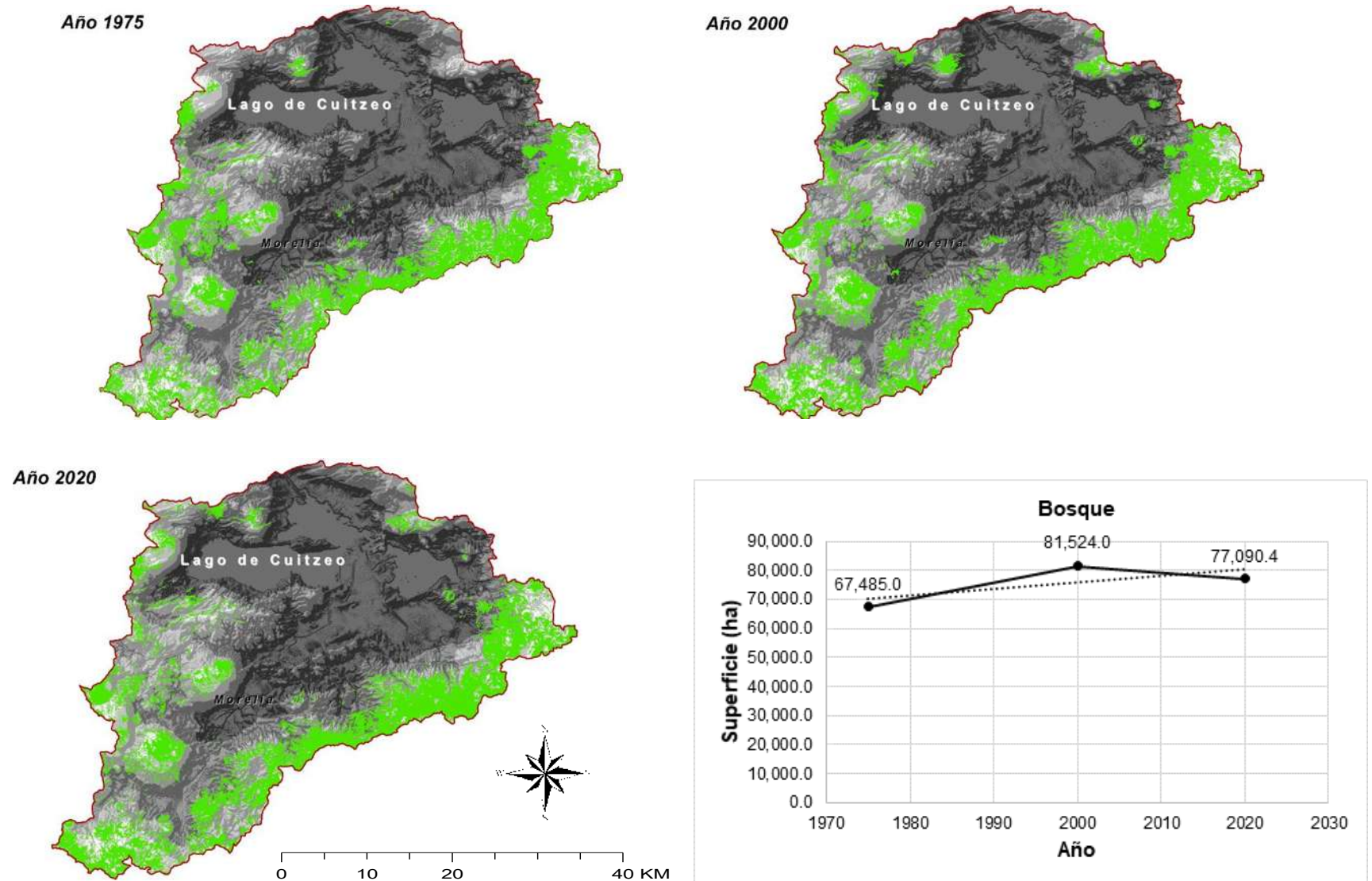
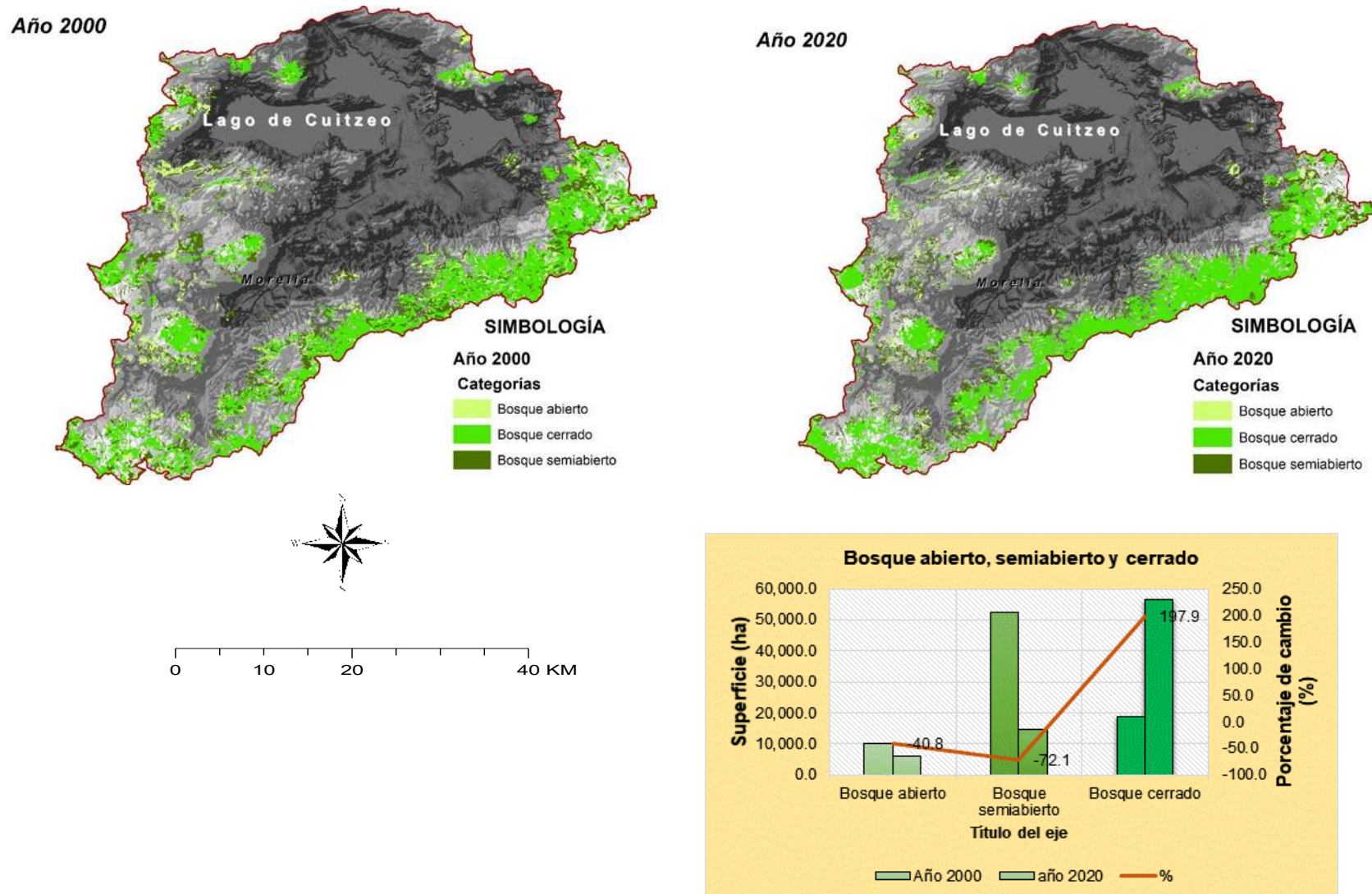


Figura 26. Distribución espacial del bosque cerrado, semiabierto y abierto del 2000 y 2020.



Los cultivos ocupan el primer lugar en términos de uso del terreno abarcan el 30.4% de la superficie total de la cuenca, se distribuyen en toda la región y predominan en el centro y norte (Figura 27). Es importante destacar que desde el periodo anterior se observó una disminución en esta categoría, en 1975 había 174,475 ha y en el año 2000 136,449.7 ha, debido a que se dio una ganancia de los matorrales, siendo esta la categoría que más cambio presentó en ese año, como fue señalado por López et al. (2006) y también ha sido reportado por Mendoza et al. (2011). Durante este último año se registró una pérdida considerable del 11.0%, es decir, de 136,449.7 ha, pasaron a 121,492 ha. La disminución de las tierras destinadas a cultivos actualmente obedece a la ganancia de pastizal con 9,945 ha (8.2%), asentamientos humanos 8,429.8 ha (7%), huertas 6,113.2 ha (5%) (Tabla 14). Por otra parte, en el Ordenamiento Ecológico de, 2008 se menciona que la disminución de esta superficie obedecía al abandono de las tierras por los campesinos, por tal razón habían evolucionado hacia matorrales.

La superficie destinada al cultivo de temporal entre 1975 y 2000 disminuyó el 36% y el de riego 10%. Sin embargo, para este periodo el cultivo de temporal solo se redujo en un 3.9%, mientras que el de riego fue de 19% (Figura 28). De acuerdo a lo reportado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), se pudo registrar que también ha ocurrido un cambio en los tipos de cultivos tradicional de la región, en 2003 se cosechaban aproximadamente 69 cultivos y para el año 2020 se encontró que solo se cultivaron 41 de ellos. En términos de superficie sembrada y valor económico, el maíz ocupa el lugar más importante. Mientras que el aguacate se ha posicionado en segundo lugar en superficie y producción económica, también han aparecido otros cultivos como el agave, fresa y tomate, económicamente más rentables y que en el 2003 no existían.

La producción agrícola es una actividad importante en la cuenca de Cuitzeo representa una contribución del 5% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal, como se menciona en el estudio realizado por Hernández et al. (2023). Además, se ha señalado que debido a la crisis ambiental que se ha venido presentando en la zona en las últimas décadas, las actividades económicas y productivas también se han modificado sobre todo este sector (Villafán et al., 2021). Por esta razón, los resultados de esta investigación muestran la importancia de monitorear los CCVUT a nivel local e identificar las causas que están originando estos procesos.

Figura 27. Distribución espacial de los cultivos en 1975, 2000 y 2020.

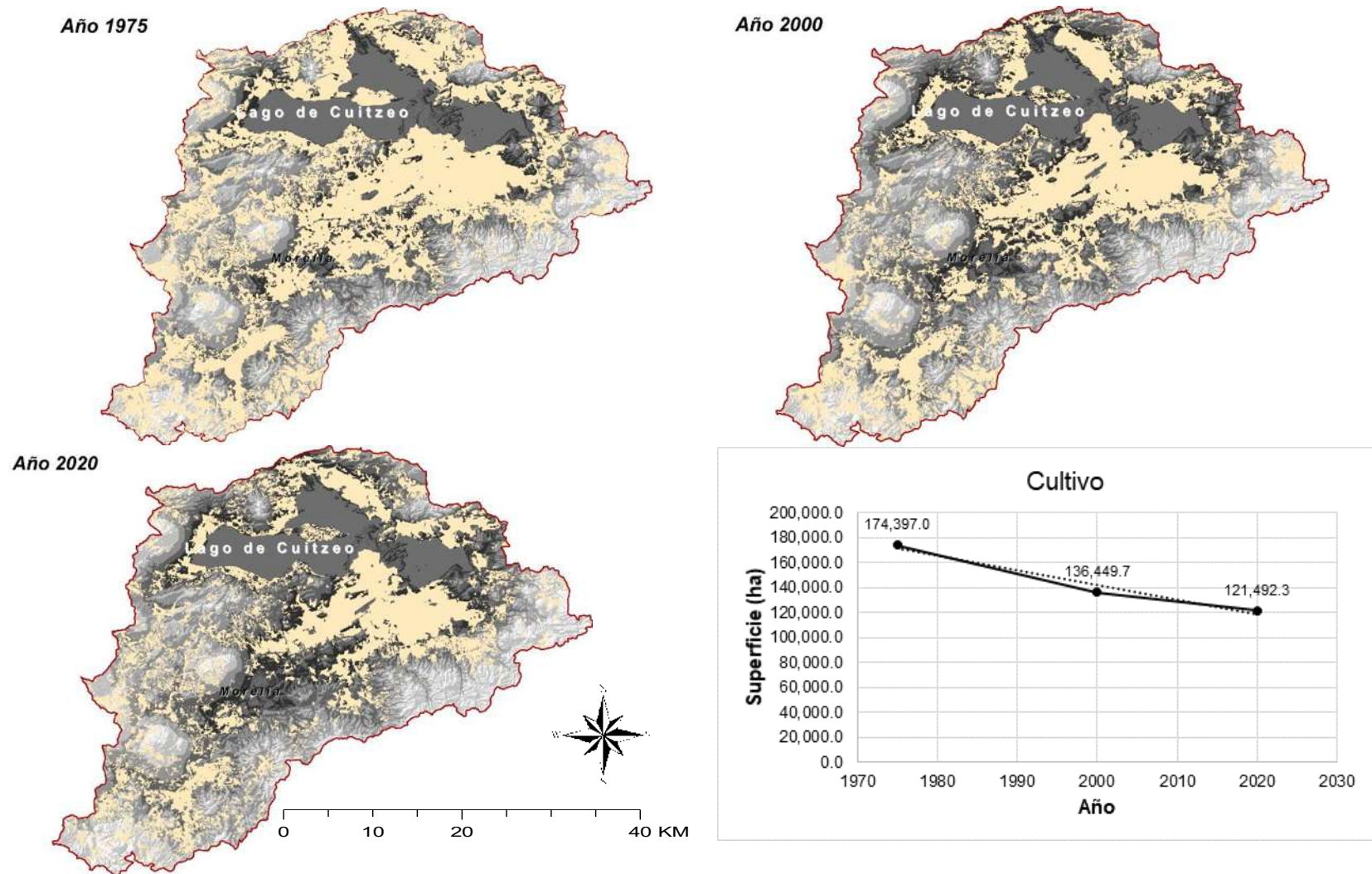
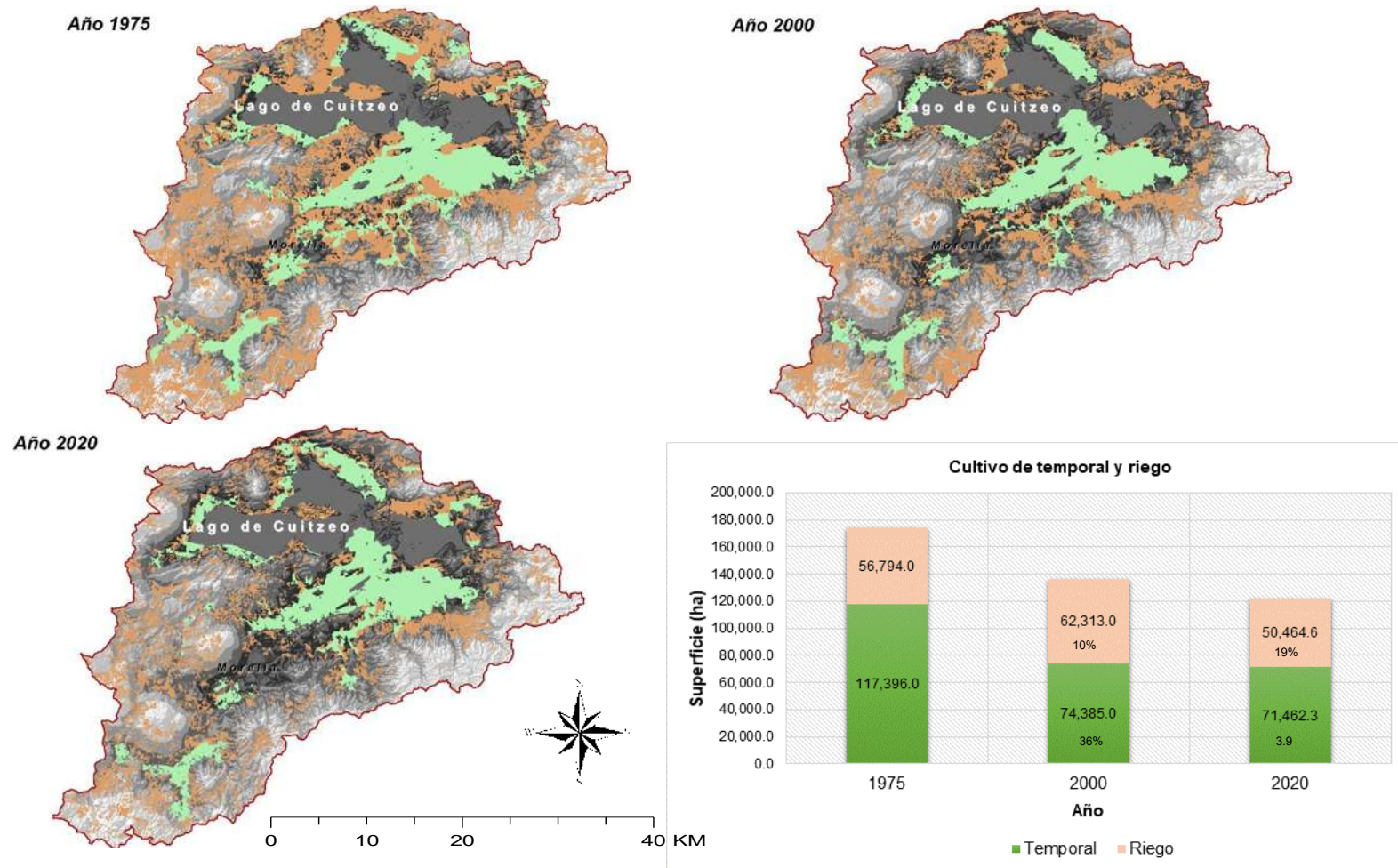
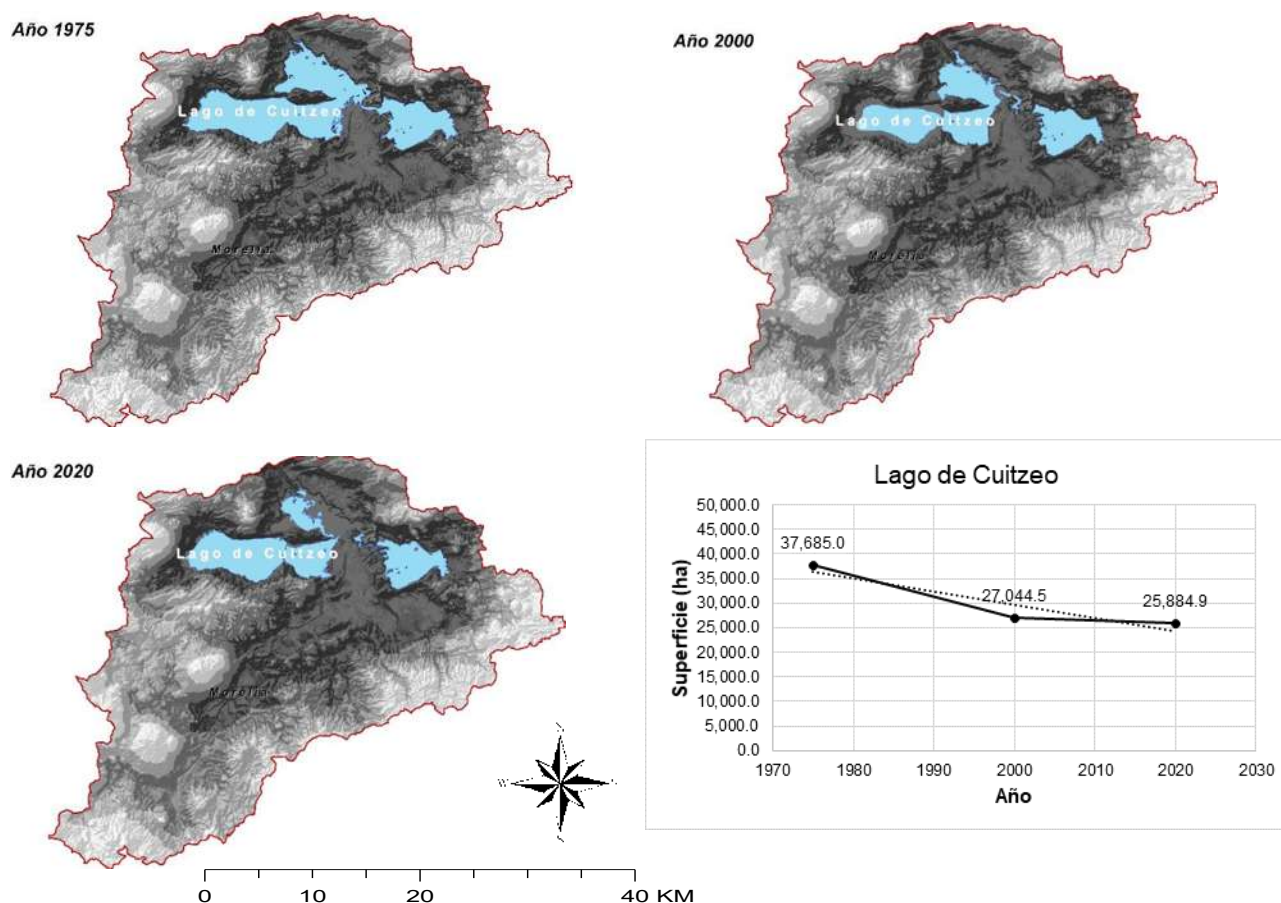


Figura 28. Distribución espacial de los cultivos de temporal y riego en 1975, 2000 y 2020.



El Lago de Cuitzeo ocupa el 6.5% de la superficie total de la cuenca y desde el periodo anterior (1975-2000), la extensión del lago ha venido disminuyendo de 37,685 ha, a 27,044.5, se perdió 28.2%. Entre el año 2000 y 2020 se registró que ocupaba una superficie de 25,884.9 ha, con una pérdida del 1.9%. La disminución se debe a la ganancia de la vegetación acuática con 3,720.8 ha (14.3%) y por la desecación del lago (Tabla 14). De acuerdo a López (2006), el lago se divide en tres zonas, en el lado oeste se pudo observar que se encuentra cubierto de agua, al centro se registró una mayor desecación debido a la expansión de la vegetación acuática y al este también se encuentra cubierto de agua (Figura 29). Es importante destacar que la extensión del lago, presenta variaciones anuales, estrechamente relacionadas con la cantidad de precipitación que recibe en cada periodo de lluvia. En relación con el CCVUT la disminución de los bosques, matorrales, la intensificación de la agricultura intensiva y la urbanización, así como los efectos del cambio climático contribuyen en la desecación de este cuerpo de agua.

Figura 29. Distribución espacial del lago de Cuiteo en 1975, 2000 y 2020.



Asentamientos humanos ocupan el 7.8% del total de la cuenca, desde 1975 al 2000 han experimentado un notable crecimiento de 8,115.5 ha a 19,041.7 ha y en el reciente año se registró 31,208.5 ha, lo que representa un aumento del 63.9% (Figura 30). La expansión en la superficie de esta categoría obedece a la reducción de 8,429.8 ha (27%) destinado al cultivo, 1,995.4 ha (6.4%) de matorrales y 921.0 ha (2.9%) de pastizales (Tabla 14). Además, se registró que en este último período las localidades urbanas se han incrementado el 50% en comparación a las localidades rurales que crecieron el 26.5%, siendo los municipios de Tarímbaro que incrementó de 4 a 12 localidades con habitantes por arriba de los 2,500, Morelia de 4 a 9 y con una localidad Zinapécuaro, Charo y Cuitzeo, respectivamente.

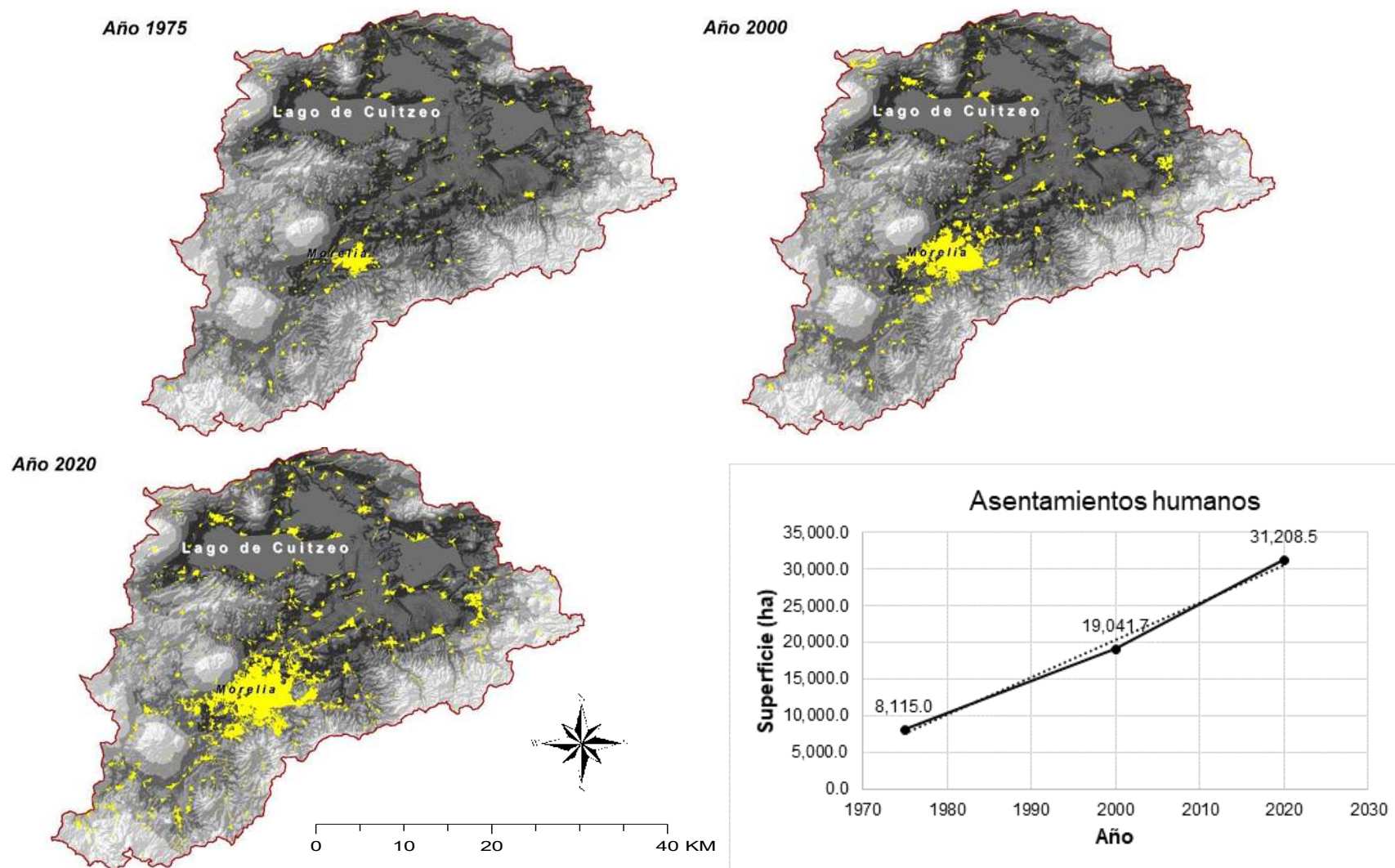
Estos cambios son evidentes en la periferia del Municipio de Morelia y la conurbación al norte con Tarímbaro, Charo y Álvaro Obregón, la cual conforman la Zona Metropolitana de la región y desde hace algunos años se ha venido reportando este patrón en el crecimiento de los asentamientos humanos y la expansión urbana (López et al., 2001; Ruiz et al., 2021). En el período de 1975-2000, el incremento de la población en la cuenca fue del 240%, principal causa del CCVUT y para el 2000-2020, se encontró un aumento del 42%, de los cuales el 79.6% de esta población se encuentran viviendo en centros urbanos y 31.6% vive en zonas rurales. Otros procesos también han sido señalados como causas de este fenómeno, como la migración (López, 2006) y el desarrollo económico (Bravo et al., 2008; Rodríguez et al., 2020), lo que ha llevado a la necesidad de un mayor número de viviendas que ha crecido en un 135% en este último periodo. Por otro lado, el desarrollo de infraestructura entre los que destaca, centros habitacionales y comerciales (Rodríguez et al., 2020). Otras investigaciones han demostrado que existe una relación causal entre la expansión del suelo urbano (Vasárus y Lennert, 2022), con el crecimiento económico y demográfico que conduce drásticamente al cambio de uso del terreno (Tian, 2015).

En el Plan Municipal de Desarrollo de Morelia 2021-2024, se destaca la importancia de la planificación de estos asentamientos en la cuenca y se reconoce que el crecimiento urbano de Morelia ha rebasado los límites de los municipios aledaños, debido a la integración de las actividades socioeconómicas que ofrece la ciudad. Sin embargo, es claro que no se ha logrado una adecuada gestión y planificación de esta categoría. Por lo que esta información, resulta fundamental para dar seguimiento puntual de la cantidad de cambios en la cobertura y usos del terreno local, que permita tomar decisiones informadas y sus impactos en otras categorías de importancia social, económica y ambiental.

Los resultados que se encontraron en esta investigación permiten inferir que el incremento de asentamientos humanos y la expansión urbana, es uno de los procesos más importantes del CVCUT que caracteriza la zona de estudio. El INEGI (2020), señala que actualmente el 79% de la población nacional habita en ciudades, debido al fenómeno de la migración que se da del campo a los centros urbanos, el número de habitantes de localidades urbanas ha ido en aumento en contraste con las rurales que ha experimentado una disminución. Estas tendencias son congruentes con lo reportado a nivel global, donde el 56% de la población mundial, con 4400 millones de personas viven en ciudades y se espera que en el 2050 se incremente.

El crecimiento no planificado de los asentamientos humanos en la cuenca está reduciendo las áreas que anteriormente eran destinados a la producción de alimentos (cultivo de riego y de temporal), zonas boscosas, matorrales y pastizales. También se ha intensificado el deterioro de áreas de importancia ambiental, como la reserva del río chiquito, el cerro del Punhuato y la Loma de Santa María. Estos procesos generan diversos impactos negativos en el entorno natural, el cual conduce a la pérdida del hábitat, disminución de la biodiversidad de flora y fauna local, disminución de la captación del agua y pérdida de prácticas de producción tradicional, entre otros.

Figura 30. Distribución espacial de los asentamientos humanos en 1975, 2000 y 2020.

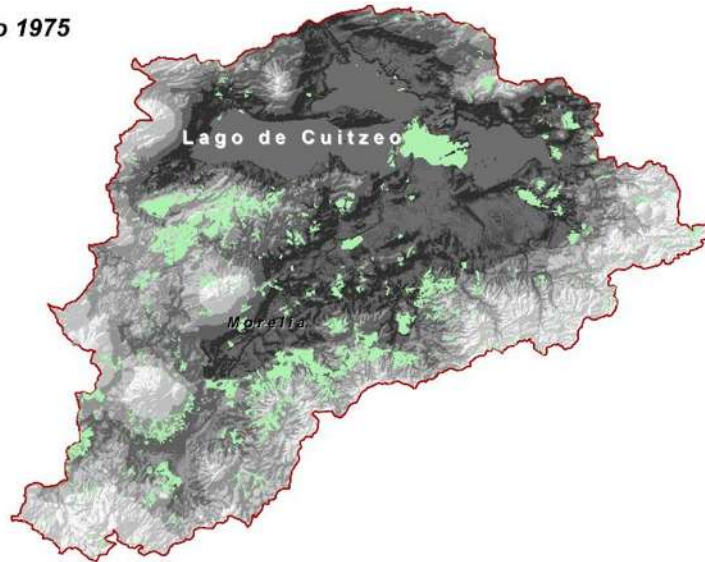


Los pastizales ocupan el 10.3% de la superficie total del área de estudio las cuales se distribuyen en toda la cuenca y con una mayor concentración al norte. En este último periodo se registró un aumento en su extensión del 57.8%, de 26,062.5 ha, pasaron a 41,138.1 ha. De acuerdo a la matriz de transición (Tabla 14), este incremento se debe a una ganancia hacia los cultivos de 5,620.1 ha (13.7%), matorrales 2,833.3 ha (6.9%) y asentamientos humanos con 921.0 ha (2.2%). Lo observado en esta investigación, muestra un efecto contrario a lo reportado en el periodo de 1975-2000, donde se registró una disminución del 21.9% debido al proceso de conversión hacia los matorrales y cultivos de temporal (Figura 31) (López et al., 2006).

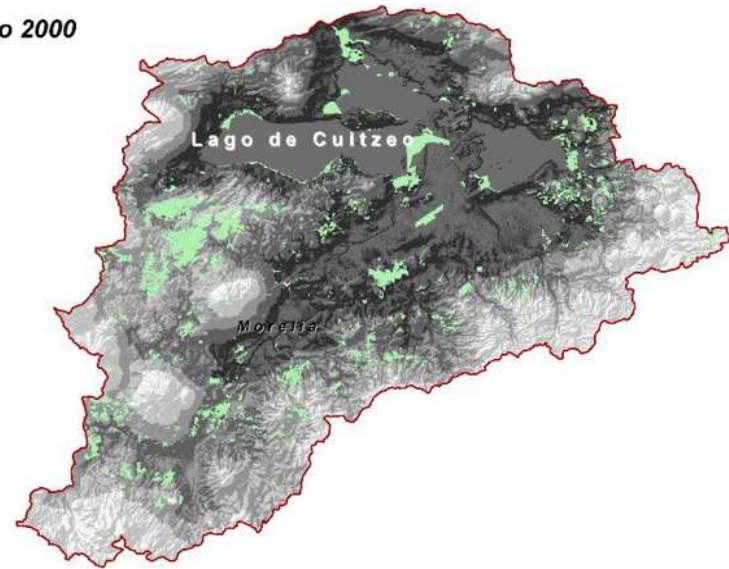
La expansión de los pastizales indica un cambio importante en el uso del terreno de la cuenca, posiblemente relacionado con las prácticas agrícolas y la expansión ganadera. Sin embargo, de acuerdo a los datos registrados por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023a), el número de animales sacrificados ha disminuido el 8% en comparación con el año inicial. Esta situación plantea la posibilidad de que la expansión de la actividad ganadera, no se encuentre directamente relacionada con el incremento de los pastizales, cabe señalar que en esta investigación no se consideró la población total ganadera, debido a la falta de datos, el cual podría estar sesgando los resultados observados. Sin embargo, se observó en el reciente reporte del SIAP (2022), cultivo de pastos y praderas, estos pastizales son esenciales para la alimentación de vacas, ovejas y caballos. Por otra parte, la disminución de la superficie destinada al cultivo y la expansión de los asentamientos humanos observada podrían estar influyendo en la tendencia registrada en este estudio.

Figura 31. Distribución espacial del pastizal en 1975, 2000 y 2020.

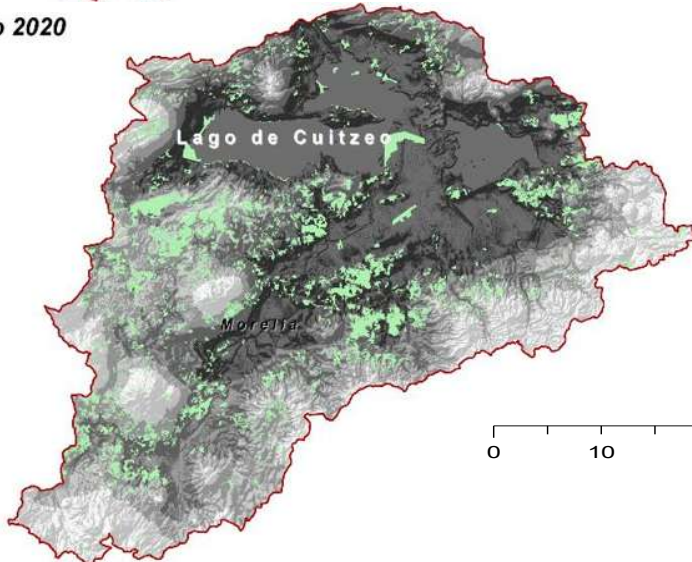
Año 1975



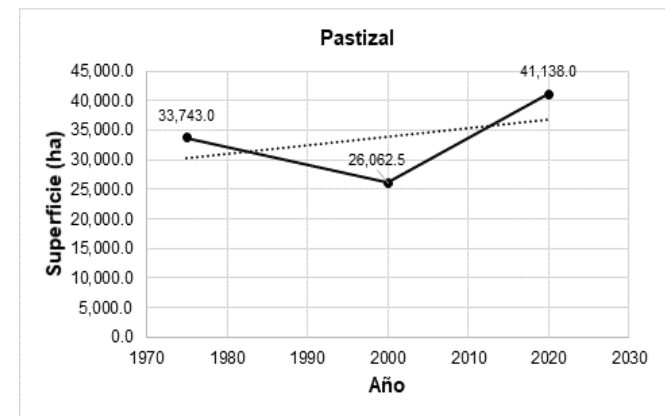
Año 2000



Año 2020



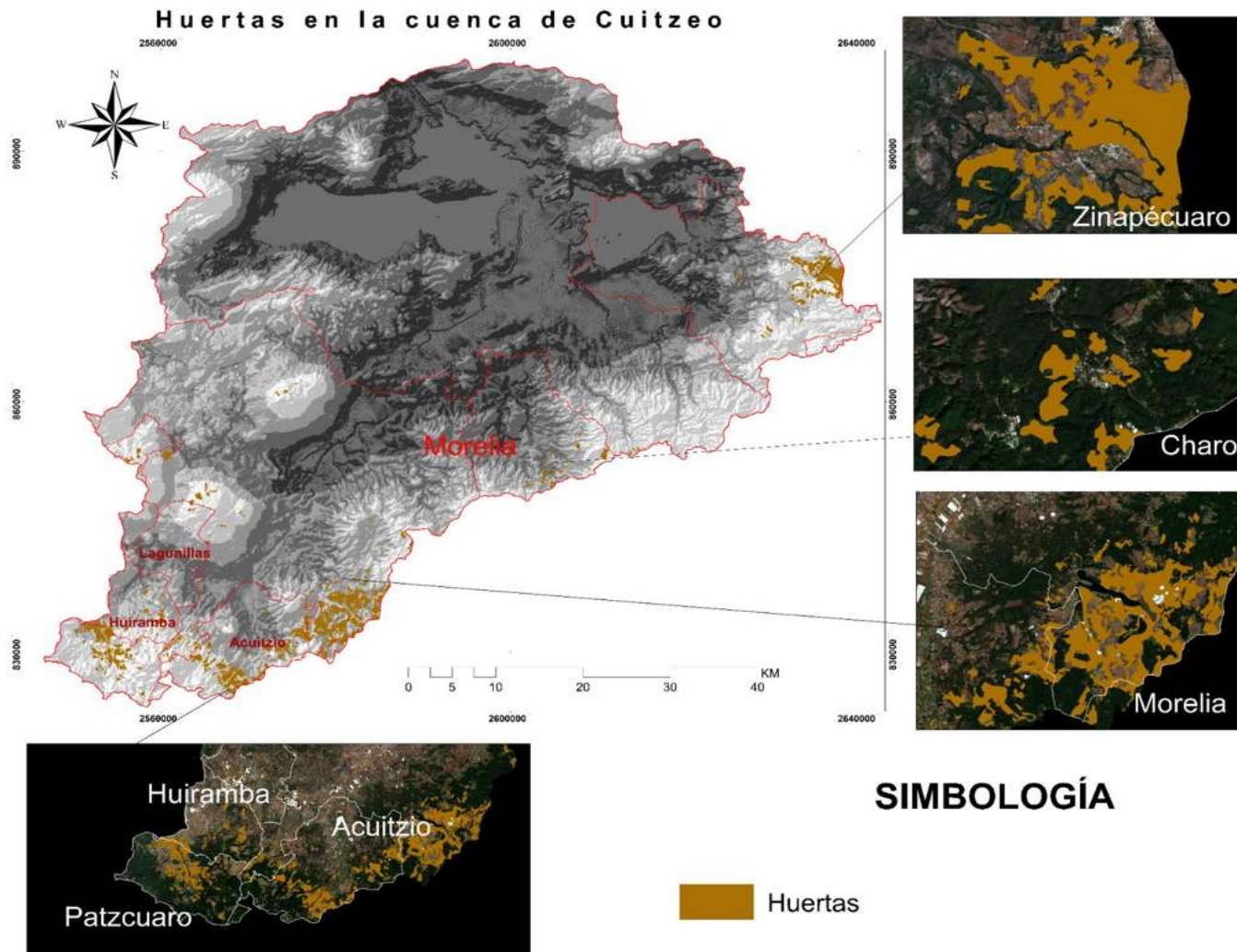
0 10 20 40 KM



Las huertas en este período ocupan el 2.0% del total de la cuenca con 7,856.9 ha, las cuales se ubican al sur, predominando en los municipios de Acuitzio, Huiramba, Lagunillas, Morelia, Madero, Charo, Pátzcuaro, Indaparapeo, y al noroeste del municipio de Zinapécuaro. Las zonas donde se han establecido anteriormente estaban ocupadas por bosques y cultivos, en los últimos años han comenzado a desarrollarse de manera intensiva (Figura 32).

De acuerdo a lo registrado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023a), este cultivo ocupa el segundo lugar en superficie y valor de producción económica en la región con \$848,871.48, solo 10 municipios de los 28 que conforman la zona de estudio, se dedican a esta actividad. Las huertas de aguacate, se han consolidado como uno de los cultivos económicamente más rentables con diversas implicaciones ambientales, como la pérdida de cobertura vegetal y la transformación de usos tradicionales del terreno. Uno de los efectos ambientales de esta actividad es la erosión del suelo, en el Ordenamiento Ecológico Territorial de la Cuenca del Lago de Cuitzeo del año 2008, señala que Huiramba, Indaparapeo, Morelia y Zinapécuaro, presentaban el mayor porcentaje de erosión (0.5-1%), lo cual se puede observar que no ha tenido una planificación adecuada en el desarrollo de esta actividad en dichos municipios con la presencia de huertas que se observaron.

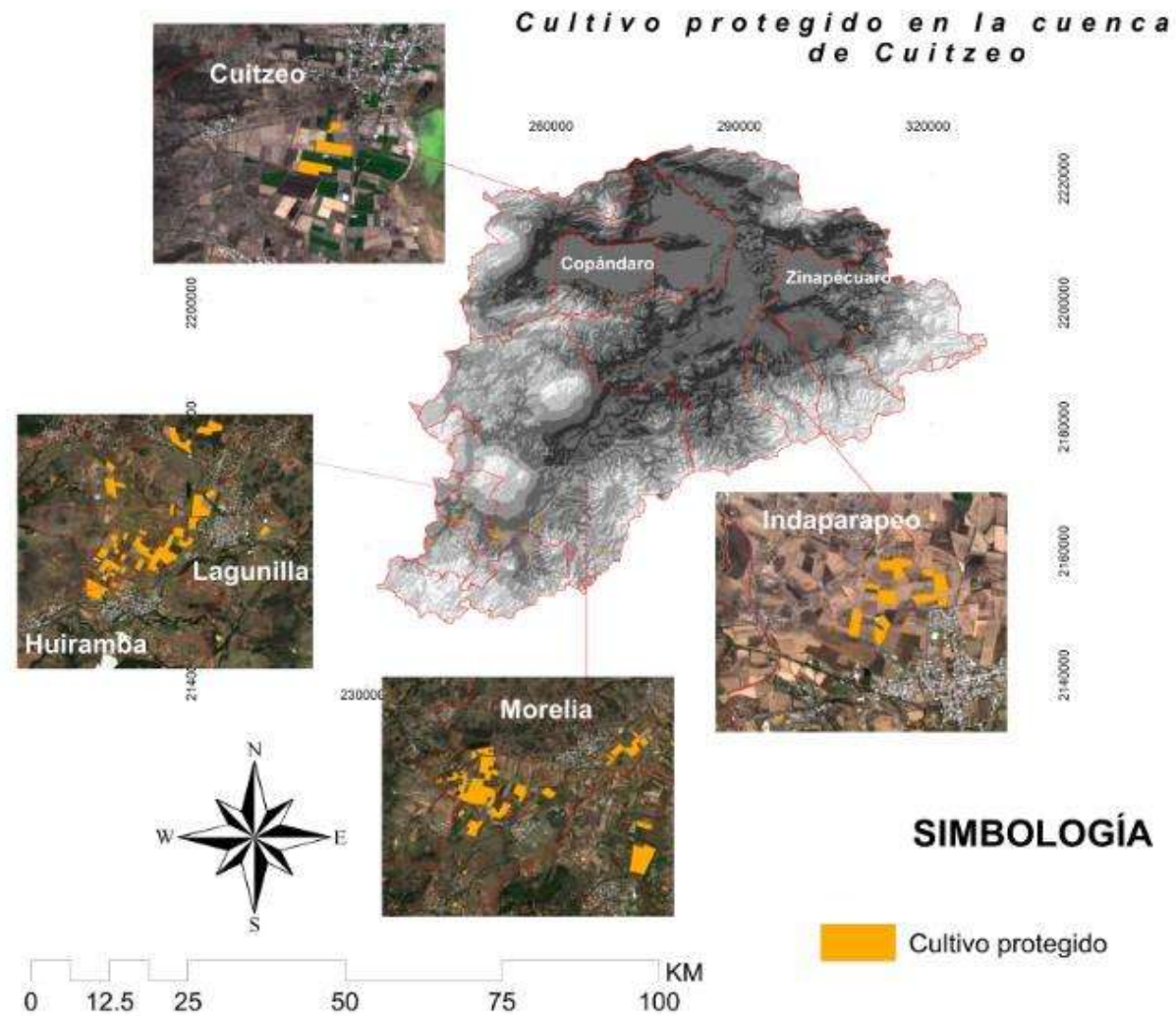
Figura 32. Distribución espacial de la superficie de huertas.



El cultivo protegido ocupa el 0.2% de la superficie total de la cuenca, se registraron 754.1 ha que predomina al sur de la región, en el corredor conocido como Lagunillas, compuesto por los municipios de Morelia, Huiramba, Lagunillas y al norte se observó en los municipios de Cuitzeo, Copándaro y Zinapécuaro. Es importante destacar, que este tipo de cultivo se ha establecido sobre la superficie que anteriormente se destinaba a los cultivos de riego y bosques, respectivamente (Figura 33). La agroindustria del cultivo protegido, ha emergido como un impulsor de la actividad agrícola en la región, siendo los frutos rojos (berries), el principal cultivo que se produce y se exporta a los mercados internacionales.

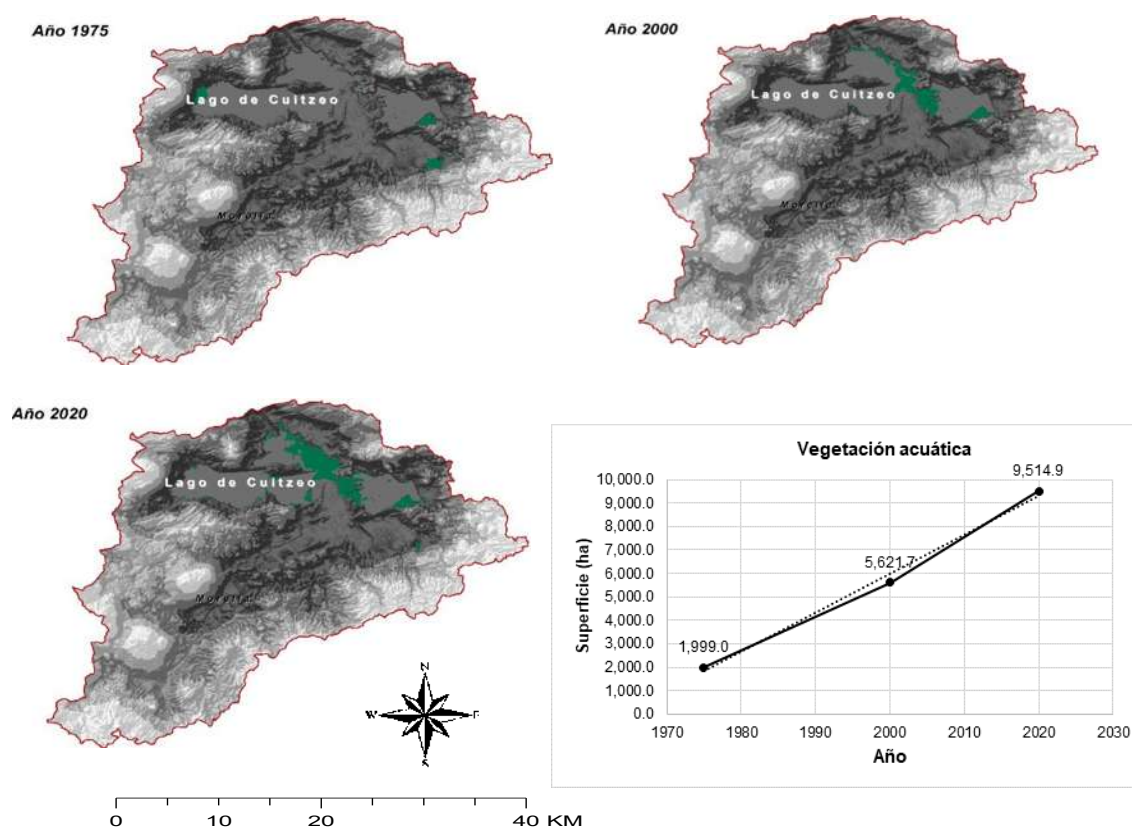
La intensificación de estas formas de producción tiene implicaciones ambientales y sociales, por ejemplo, la conversión de bosques a monocultivos, el abandono del campo rural y la producción tradicional como se ha señalado en estudios recientes (Betru et al., 2019; Bruno et al., 2021). Además, se ha reportado que, a nivel local, el impulso hacia esta forma de producción ha sido motivado por diversos factores, como la creciente demanda del mercado global (Lira et al., 2022; Ofori et al., 2022). La modificación de los precios de los cultivos locales, mecanización de la agricultura para incrementar la producción y las ganancias económicas (Yang et al., 2023), así como la implementación de políticas locales (Doe et al., 2022). Algunos de estos factores fue posible identificarlos en la cuenca, como la intensificación de los monocultivos, específicamente el aguacate, el agave y la fresa que tienen un valor económico mayor que los cultivos tradicionales.

Figura 33. Distribución espacial de la superficie de cultivo protegido.



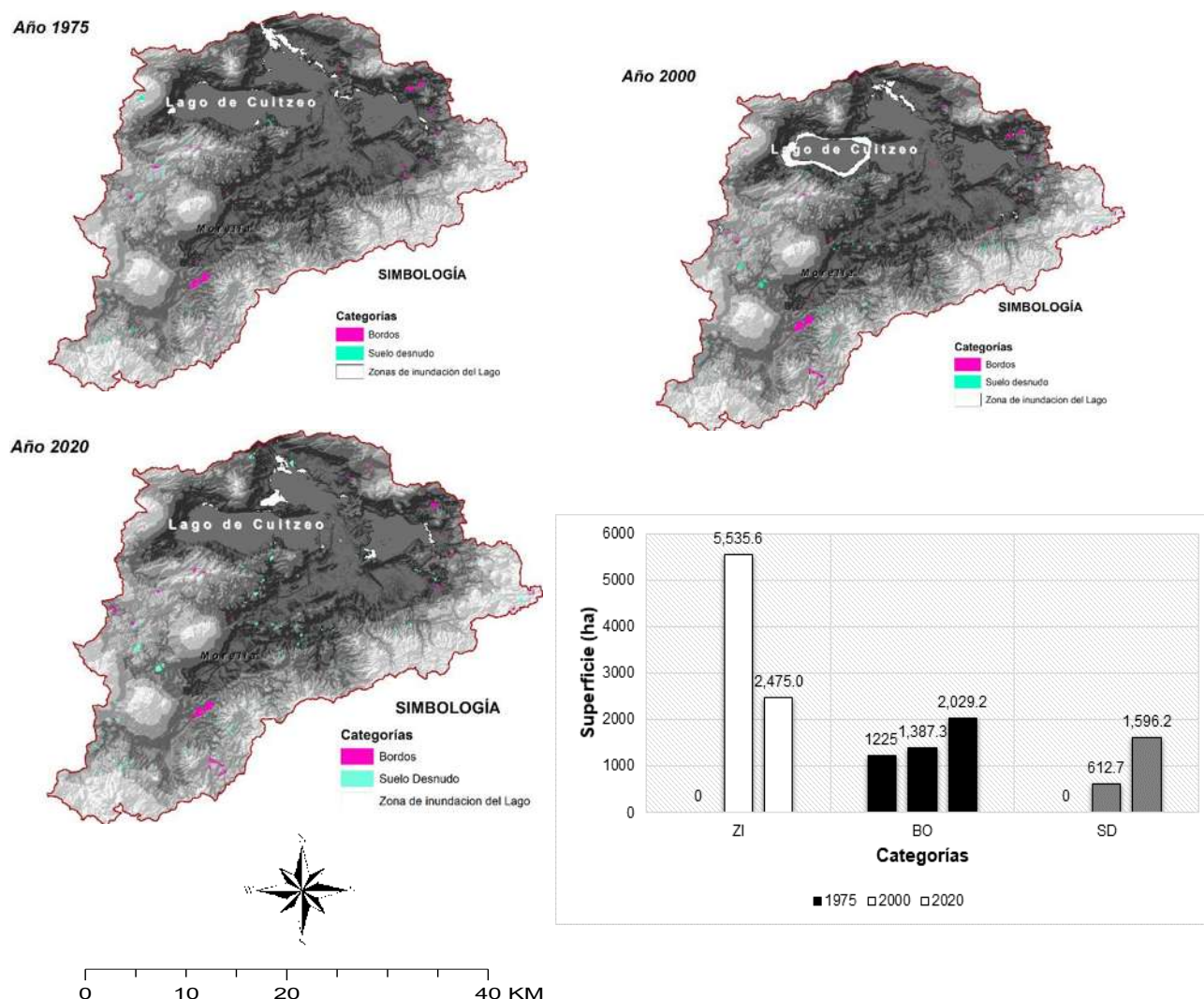
La vegetación acuática en la cuenca de Cuitzeo representa el 2.4% de la superficie total, se concentra en el centro del lago, al noreste del municipio de Cuitzeo y al sur de Álvaro Obregón y desde 1975-2000, incrementó 181% (López et al., 2001). En este último periodo experimentó un notable crecimiento del 69.9%, de 5,628.8 ha a 9,562.5 ha. La ganancia de superficie obedece a la disminución del lago que ha permitido la expansión de esta vegetación (Figura 34). El lago de Cuitzeo alberga una diversidad florística importante (Rojas y Novelo, 1995), dentro de las cuales se destaca el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), esta especie se caracteriza por su reproducción acelerada y rápido crecimiento, por lo cual se expande y ha sido considerada una planta invasora. Su importancia radica al daño que ocasiona en el ecosistema acuático ya que altera el equilibrio natural y desplaza a otras especies nativas. Además, el lirio puede afectar algunas actividades socioeconómicas como la pesca, el transporte y la recreación, ocasionando problemas para las comunidades locales que dependen del lago en su condición óptima. El monitoreo continuo de los cambios espaciales de la vegetación acuática en la cuenca es importante para desarrollar acciones de planificación y control para mitigar sus efectos negativos (Rodríguez et al., 2022).

Figura 34. Distribución espacial de la vegetación acuática en 1975, 2000 y 2020.



Las categorías que representan un porcentaje menor al 1% en la cuenca de Cuitzeo, son las **zonas de inundación** que ocupan 2,475 ha correspondiente al 0.6%, entre el 2000 y 2020 se redujo el 55.3% de su superficie y en el período anterior no se reportó superficie. Por otro lado, **los bordos** representan el 0.5% con 2,029.2 ha y en este último año ganaron 46.3%, se encuentran sobre superficie destinada a los cultivos de riego y de temporal, pastizales, matorrales y bosques. Mientras que **el suelo desnudo** ocupa 1,596.2 ha, equivalente al 0.4% del total de la cuenca, en el reciente año se expandió 160% (Figura 35).

Figura 35. Distribución espacial de los bordos, suelo desnudo y zona de inundación.



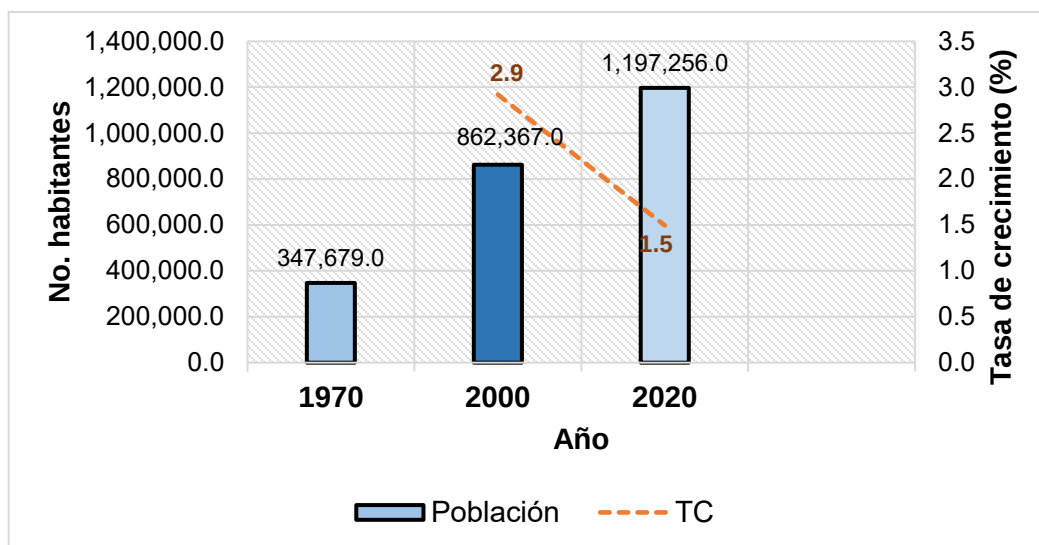
10.3 Fuerzas impulsores del CCVUT

10.3.1 Dinámica demográfica

En los últimos 50 años se han registrado cambios importantes en la población total de la cuenca de Cuitzeo (Figura 36). Los resultados indican que entre 1970 y 2000 se incrementó el 240% a una tasa de crecimiento del 2.9%. Esta tasa fue mayor que la media estatal de 1.2% y nacional de 1.9%. La población en 1970 era de 347,679 y para 2000 fue de 862,367, con una diferencia de 487,931.0 habitantes, siendo este período el más drástico en cuanto al crecimiento demográfico. En relación con el CCVUT, entre 1975 y 2000, se reportó que lo observado en la región había sido impulsado por esta fuerza motriz, tal como lo señaló López et al. (2001). Además, los cambios demográficos en la cuenca, en particular el municipio de Morelia y Zinapécuaro han sido impulsados por eventos importantes como la migración y el terremoto ocurrido en 1985, tal como lo señala Mendoza et al. (2011).

En el período 2000-2020 se registró un crecimiento del 42% a una tasa del 1.5%, la población era de 862,367 y se incrementó a 1,197,256 con una diferencia de 356,492 habitantes. Siendo mayor que la tasa media del estado de Michoacán con 0.9% que se ha mantenido con esta tendencia desde el año 2010 y nacional de 1.2%. Estos datos reflejan una tendencia similar con lo reportado a nivel global, donde se ha sostenido el crecimiento demográfico y la cuenca no ha sido la excepción. Se espera que de los 8,000 millones actuales de habitantes en el mundo pase a 9,700 millones en 2050 (ONU, 2023). Situación que plantea desafíos y oportunidades para la planificación y el desarrollo de la región en función del CCVUT ya que implica mayores demandas en áreas como la infraestructura, los servicios públicos, la vivienda y la preservación del entorno natural.

Figura 36. Población total de la cuenca de Cuitzeo de 1970, 2000 y 2020.

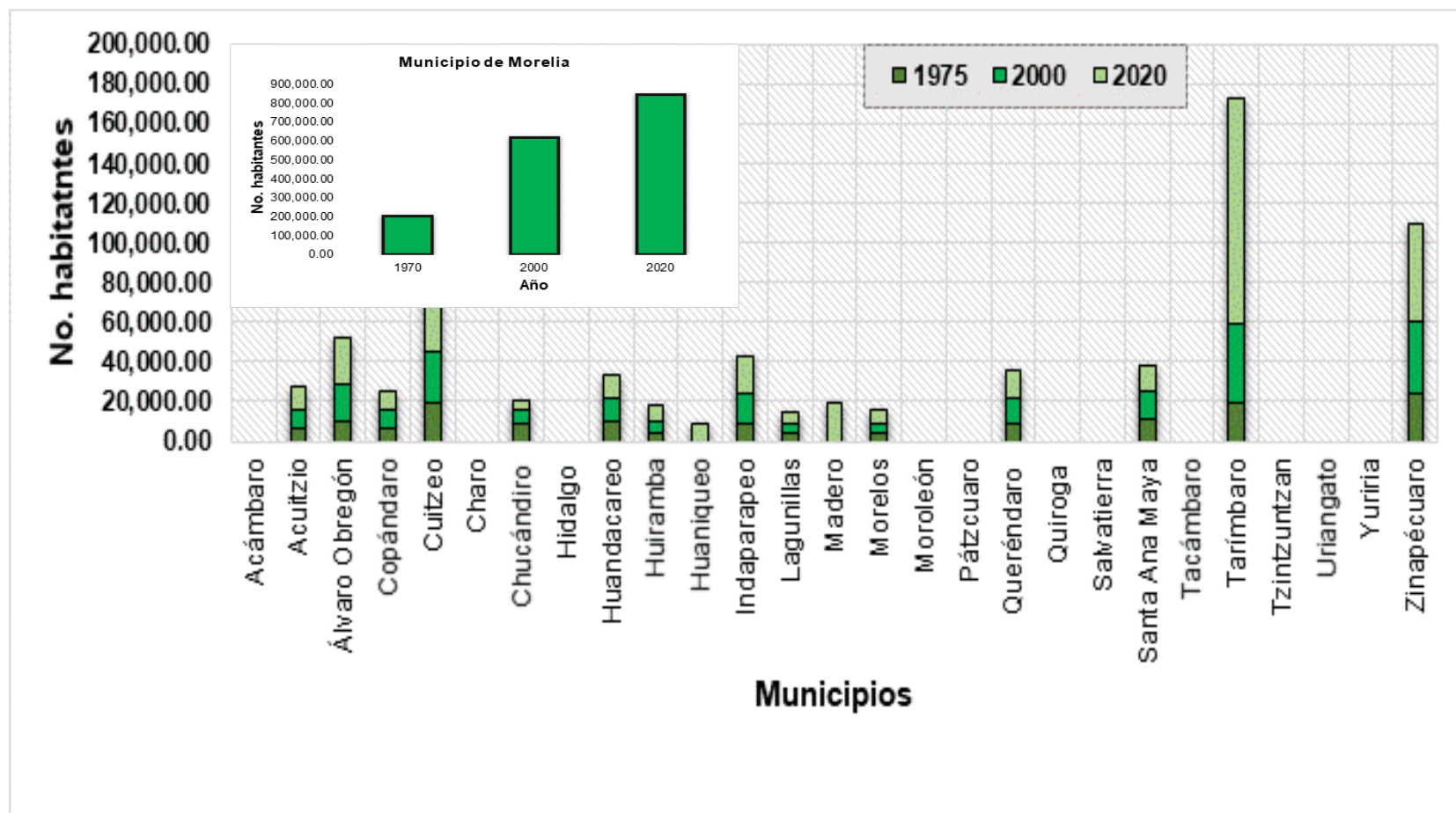


Fuente: elaborado a partir de los censos de INEGI (1970,2000 y 2020).

Un análisis más detallado destaca la evolución que ha tenido cada uno de los municipios de la cuenca a lo largo de estos años (Figura 37). Se identificó que, en el periodo 2000-2020, Tarímbaro un municipio periurbano de la capital del estado, ha experimentado el mayor crecimiento poblacional del 189% a una tasa de 9.5% y que pasó de 39,408 a 114,257, una diferencia de 74,849 habitantes. Además, se registró que Charo, segundo municipio periurbano creció en un 50.9% a una tasa del 2.5%, de 16,650 pasó a 25,138 y una diferencia de 8,488 habitantes. Morelia por su parte, es el tercer municipio con el mayor incremento a una tasa del 1.83%, creció 36.7%, de 616,948 a 843,583 habitantes (Tabla 16). Es importante destacar que la tendencia del crecimiento poblacional de los municipios de Tarímbaro y Morelia se ha venido registrando desde el período anterior (López, 2006).

En este estudio también se observó que otros municipios han tenido un crecimiento demográfico importante en la cuenca, es el caso de Huiramba que creció 34% a una tasa del 1.7% de 6,711 a 9,015, con una diferencia de 2,304 habitantes. Le sigue Zinapécuaro que experimentó un aumento del 32% con una tasa del 1.60%, de 37,020 a 48,907 habitantes. Asimismo, Acuitzio creció el 20% a una tasa del 1.0%, de 9,356 pasó a 11,301, con una diferencia de 1,944 habitantes. Por otro lado, existen municipios que disminuyeron su población y uno de ellos es Chucándiro, con una reducción del 33.7% a una tasa de -1.68%, de 7,463 a 4,944 y una diferencia de 2,525 habitantes. Huaniqueo disminuyó su población en un 27.7% a una tasa del -1.0%, al inicio del periodo contaba con 10,153.0 y en el año 2020 se registró 7,945, perdió 2,208 habitantes.

Figura 37. Población de los municipios de la cuenca de Cuitzeo en 1970, 2000 y 2020.



Nota: se muestra la población total de los municipios que ocupan una superficie del 70% en la cuenca de Cuitzeo, los municipios que presentan valores en 0 no cumplen con esta condición.

Tabla 16. Población total de los municipios de la cuenca de Cuitzeo.

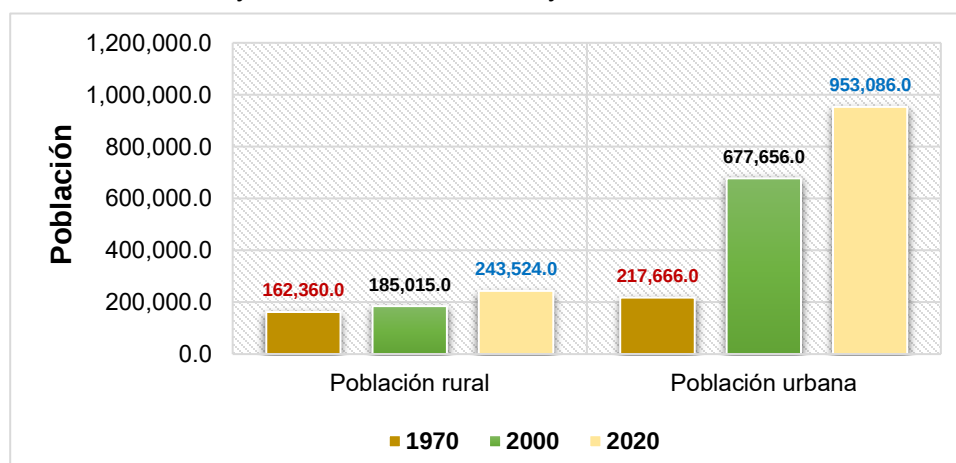
Nº.	Municipio	Población total					Tasa de crecimiento (%)
		1970	2000	2020	Diferencia (2000-2020)		
					No.	%	
1	Acámbaro	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	Acuitzio	6,640	9,356	11,301	1,945	20	1.03
3	Álvaro Obregón	9,528	19,502	23,000	3,481	17.8	0.89
4	Copándaro	6,758	9,151	9,484	692	7.5	0.37
5	Cuitzeo	19,016	26,254	29,910	3,653	13.9	0.48
6	Charo	-----	16,650	25,138	8,488	50.9	2.5
7	Chucándiro	8,702	7,463	4,944	2,525	-33.7	-1.68
8	Hidalgo	-----	-----	-----	-----	-----	-----
9	Huandacareo	9,813	11,808	11,644	-168	-1.82	-0.07
10	Huiramba	3,938	6,711	9,015	2,304	34	1.7
11	Huaniqueo	0	10,153	7,945	-2,208	-27.7	-1.08
12	Indaparapeo	8,291	16,341	18,385	2,193	13.5	0.67
13	Lagunillas	4,152	5,136	5,745	609	11.8	0.59
14	Madero	0	-----	-----	-----	-----	-----
15	Morelia	202,855	616,948	849,053	226,635	36.7	1.83
16	Morelos	4,421	3,876	7,983	4,098	105	-----
17	Moroleón	-----	-----	-----	-----	-----	-----
18	Pátzcuaro	-----	-----	-----	-----	-----	-----
19	Queréndaro	9,183	12,942	13,961	1,011	7.8	0.39
20	Quiroga	-----	-----	-----	-----	-----	-----
21	Salvatierra	-----	-----	-----	-----	-----	-----
22	Santa Ana Maya	11,147	13,952	12,812	-1140	-8.0	-0.40
23	Tacámbaro	-----	-----	-----	-----	-----	-----
24	Tarímbaro	19,430	39,408	114,513.0	74,849	189	9.49
25	Tzintzuntzan	-----	-----	-----	-----	-----	-----
26	Uriangato	-----	-----	-----	-----	-----	-----
27	Yuriria	-----	-----	-----	-----	-----	-----
28	Zinapécuaro	23,805	37,020	49,005	11,887	32.3	1.60
	Total	347,679.00	862,367.00	1,197,256.0	356,492	42	-----

Nota: se observa la tasa de crecimiento (%) del 2000 y 2020 de los municipios que ocupan una superficie del 70% en la cuenca de Cuitzeo. Un valor positivo indica que la población está aumentando en tamaño y una tasa de crecimiento negativa indica que la población está disminuyendo.

10.3.2 Población rural y urbana

Se encontró que actualmente la cuenca de Cuitzeo presenta una distribución poblacional diversa de 243,524 habitantes correspondiente al 20.3% viven en zonas rurales y 953,086 habitantes, equivalente al 79.6% se ubican en zonas urbanas (Tabla 17). Se observó un contraste interesante entre el año de 1970 y 2000, la población rural creció el 13.9% y del 2000-2020 se observó un aumento del 31.6%. Por otro lado, la población urbana mostró un notable crecimiento al inicio del periodo que fue del 211.3%, mientras que entre el 2000 y 2020 creció el 40% (Figura 38). Los municipios que aumentaron su población rural de manera importante, se destaca Tarímbaro con el 143.5% en contraste con su población urbana que creció el 262.1%. El municipio de Charo incrementó su población rural en un 36.2% y el 89.8% urbana. Cuitzeo disminuyó el 32.1% de la población rural y su población urbana creció el 48.1%. En el caso de Morelia se observó un incremento del 22.8% y su población urbana del 38.8%. Mientras que Indaparapeo la población rural creció el 64.6%, su población urbana disminuyó el 24,4% y Zinapécuaro incrementó su población rural hasta el 68.2%, no así para su población urbana que solo creció el 0,8%. Los cambios en la población (rural y urbana) son una fuerza subyacente que podrían estar explicando en parte la expansión de la superficie de los asentamientos humanos encontrado en esta investigación y se fundamenta con lo reportado por Ortiz et al. (2023), donde señalan que la dinámica del crecimiento poblacional se ha concentrado en la zona alta o sur de la cuenca, siendo esta el área ambientalmente más conservada de la zona de estudio y donde predominan los municipios urbanos (Morelia, Tarímbaro y Charo). Además, se ha señalado que la actividad urbana se destaca como la principal fuente de generación de riqueza en la cuenca.

Figura 38. Población rural y urbana en 1970-2000 y 2020.

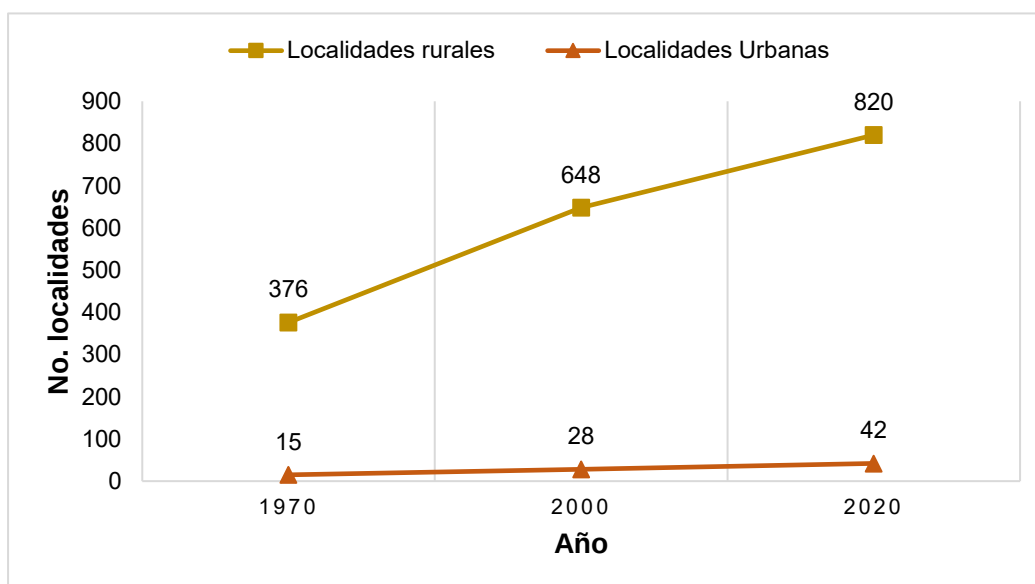


Fuente: elaborado a partir de datos del censo de INEGI (1970, 2000 y 2020).

10.3.3 Localidades rurales y urbanas

En relación con el número de localidades rurales y centros urbanos en la cuenca, se encontró que durante el período más reciente el número de localidades rurales aumentó en un 26.5% de 648 a 820 (Figura 39). En el caso de las localidades urbanas, el crecimiento fue más drástico con el 50% ya que al inicio del periodo se registraron 28 centros urbanos y pasaron a 44. Los municipios con el mayor número de localidades incorporados son: Zinapécuaro que incorporo 39 localidades rurales y 1 urbana, Charo 38 localidades rurales y 1 urbana, Tarímbaro 33 y 8 urbanas, siendo este el municipio con el mayor número de asentamientos urbanos, Morelia incorporo 31 localidades rurales y 5 urbanas, Huiramba de 7 a 18 localidades rurales (Tabla17). Esta dinámica en el crecimiento de las localidades en la cuenca es una fuerza proximal o directa que impulsa la expansión de los asentamientos humanos observada en este estudio.

Figura 39. Localidades rurales y urbanas en la cuenca 1970, 2000 y 2020.



Fuente: elaborado a partir de datos de censos del INEGI (1970, 2000 y 2020).

Tabla 17. Localidades rurales y urbanas en la cuenca de Cuitzeo (2000-2020).

Municipios	Población Rural		Población Urbana		Localidades rurales		Localidades urbanas	
	2000	2020	2000	2020	2000	2020	2000	2020
Acámbaro	0	0	0	0	13	0	1	1
Acuitzio	3,590	3,862	5,766	7,439	34	39	1	1
Álvaro Obregón	11,591	13,487	7,911	9,513	42	46	1	1
Copándaro	5,743	6,319	3,408	3,165	14	14	1	1
Cuitzeo	11,192	7,590	15,062	22,320	16	16	3	4
Charo	12,082	16,464	4,568	8,674	37	75	1	2
Chucándiro	7,463	3,543	0	1,401	20	20	1	1
Hidalgo	0	0	0	0	0	0	0	0
Huandacareo	5,108	4,955	6,700	6,689	7	11	1	1
Huaniqueo	7,432	5,350	2,721	2,595	0	25	1	1
Huiramba	4,081	5,764	2,630	3,251	7	18	1	1
Indaparapeo	6,776	11,157.0	9,565	7,228	34	39	2	2
Lagunillas	5,136	3,081	0	2,664	14	9	1	1
Madero	0	0	0	0	1	0	0	0
Morelia	48,350	59,412	568,598	789,641	216	247	4	9
Morelos	3,876	5,457	0	2,526	14	31	1	1
Moroleón	0	0	0	0	5	0	0	0
Pátzcuaro	0	0	0	0	9	0	1	0
Queréndaro	4,398	4,488	8,544	9,473	15	30	1	1
Quiroga	0	0	0	0	1	0	0	0
Salvatierra	0	0	0	0	8	0	0	0
Santa Ana Maya	7,117	5,592	6,835	7,220	17	20	1	1
Tacámbaro	0	0	0	0	0	0	0	0
Tarímbaro	23,765	57,868	15,643	56,645	61	94	4	12
Tzintzuntzan	0	0	0	0	0	0	0	0
Uriangato	0	0	0	0	12	0	0	0
Yuriria	0	0	0	0	4	0	0	0
Zinapécuaro	17,315	29,135	19,705	19,870	47	86	1	2
Total	185,015.0	243,524.0	677,656.0	953,086.0	648.0	820.0	28.0	44.0

Nota: se muestra la población rural, urbana y el número de localidades de los municipios que ocupan una superficie del 70% en la cuenca de Cuitzeo.

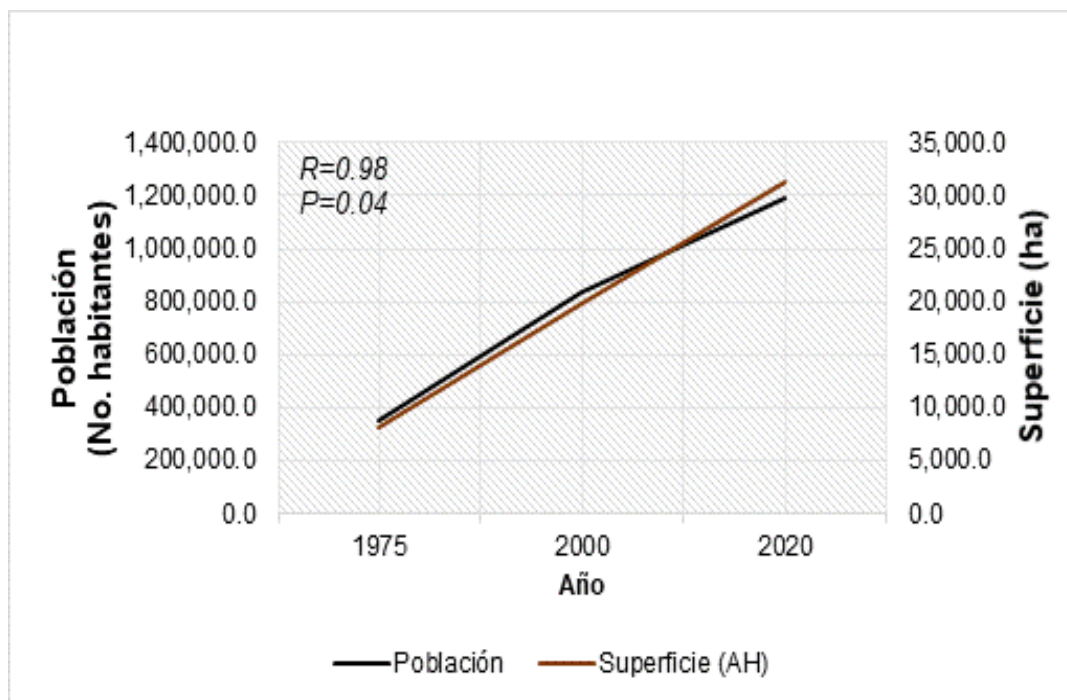
Por otro lado, los resultados que se han destacado en este estudio, permiten conocer la dinámica demográfica que ha experimentado la cuenca de Cuitzeo a lo largo de estas cinco décadas. El crecimiento acelerado entre 1970 y 2000, puede deberse a varios factores, como migraciones internas, señalado por López et al. (2006) y otros factores socioeconómicos. Además, las variaciones en las tasas de crecimiento y decrecimiento poblacional en diferentes municipios, resaltan la complejidad demográfica de la zona de estudio. El análisis demográfico es fundamental para entender la evolución que ha tenido esta variable en la región y como se relaciona con el CCVUT, su importancia e implicaciones como el cambio hacia la urbanización que afecta la dinámica social, económica y ambiental, importante para la planificación en el uso sostenible del territorio.

10.3.4. Análisis de correlación (población total y asentamientos humanos)

Se analizó la población total y la superficie de los asentamientos humanos de los años de 1970, 2000 y 2020 en la cuenca, debido a que por lo general se asocia una relación causal entre ambas variables. Se encontró que existe una relación positiva con un valor de correlación $R= 0.98$ y un valor de significancia $P= 0.04$ (Figura 40). De acuerdo al IMPLAN (2022), Morelia es el área urbana de mayor extensión de Michoacán y se ha reportado que entre 1980 y 2020 creció el 501% y actualmente cuenta con una extensión de 15,760 ha.

En este periodo de estudio el crecimiento natural de la población no fue tan drástica como el periodo anterior, aunque estaría indicando que el incremento de esta variable supone una mayor demanda de espacios para el desarrollo de viviendas y como consecuencia una expansión cada vez mayor en la superficie destinada a los asentamientos humanos en la región, sobre todo de los municipios periurbanos más importantes, como Tarímbaro, Morelia, y Charo. En estas zonas predomina el sector inmobiliario para la construcción de fraccionamientos de grandes dimensiones, destinado a las clases medias y desarrollos de alto poder adquisitivo, señalado por Rodríguez et al. (2020) y Ruiz et al. (2021).

Figura 40. Población total y la superficie de asentamientos humanos.

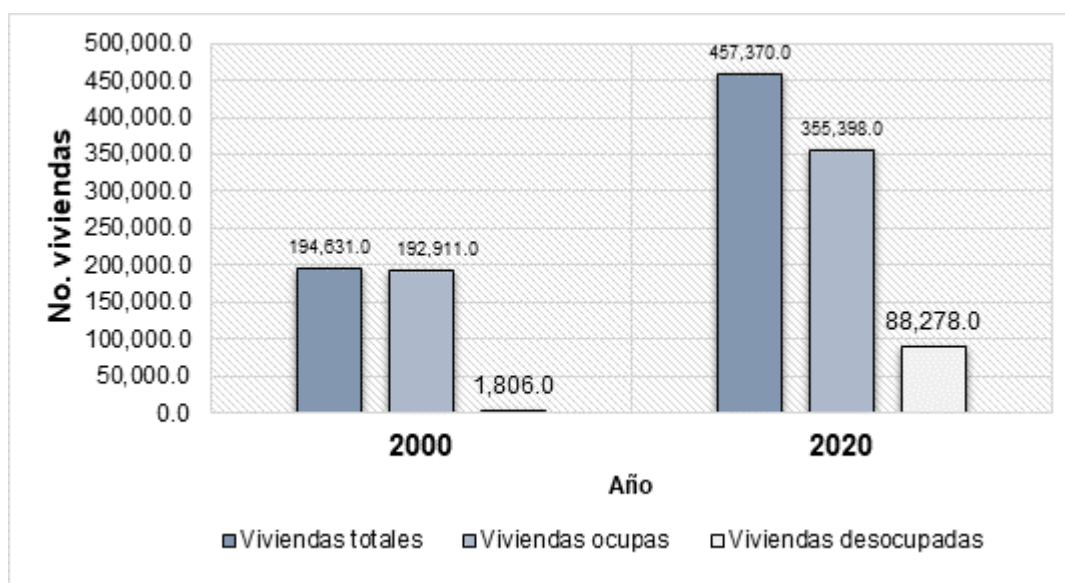


10.3.5. Número de viviendas en el periodo 2000-2020

Uno de los procesos más importantes del CCVUT que se registró en este periodo es la drástica expansión del 63.9% de los asentamientos humanos. Por esta razón, es importante comprender los factores subyacentes que han impulsado dicho proceso. Se analizó el número de viviendas entre el 2000 y 2020 a partir de los datos reportados por el INEGI. Se encontró que en este periodo en la cuenca el número de viviendas experimentó un crecimiento del 135% de las cuales el 77.7% del total se encuentran ocupadas. Sin embargo, se observó que en el año 2000 del total de viviendas solo 1,806 se encontraban deshabitadas correspondientes al 0.9% del total, no así para el año 2020 donde se registró que 88,278 se encuentran desocupadas lo que representa el 19.3% del total (Tabla 18). Se destaca que el municipio de Tarímbaro experimentó un aumento del 449%, le sigue Morelia con 133%, Huiramba 118.7%, Charo con 112.9% y Santa Ana Maya con 103%. Los municipios con el mayor número sin ocupar son Morelia con 81,911 y Tarímbaro 13,056, (Figura 41).

Autores como Rodríguez et al. (2020) y (Ruiz et al., 2021), han señalado que la expansión urbana del municipio de Morelia y Tarímbaro no coincide con el crecimiento de la población que ha venido decaendo en las últimas décadas, sino que es debido al desarrollo del sector inmobiliario y las políticas neoliberales que han originado la construcción de fraccionamientos de clases medias como Villas del Pedregal. Estos datos no solo reflejan un cambio en la dinámica de la ocupación de viviendas en la cuenca de Cuitzeo, sino que muestra una relación entre el cambio de uso del terreno. En el año 2000 estas áreas que ahora se encuentran asentamientos humanos estaban ocupadas por actividades agrícolas, ganaderas y vegetación natural y actualmente han sido desplazados por este uso antrópico intensivo que se ha desarrollado.

Figura 41. Número de viviendas en la cuenca de Cuitzeo en el periodo 2000 y 2020.



Fuente: elaborado a partir de datos del INEGI (2000 y 2020).

Tabla 18. Número de viviendas en la cuenca de Cuitzeo.

M i c h o a c á n	Municipio	Número de viviendas					
		Año 2000			Año 2020		
		Totales	Habitadas	Deshabitadas	Totales	Habitadas	Deshabitadas
	Acuitzio	2,129	2,108	25	4,013	2,927	743
	Álvaro obregón	4,146	4,101	61	7,844	5,817	1,576
	Copándaro	1,874	1,857	17	3,572	2,408	862
	Cuitzeo	5,265	5,193	82	10,299	7,363	2,023
	Charo	3,614	3,558	56	7,695	5,626	1,080
	Chucándiro	1,663	1,646	17	2,850	1,463	724
	Hidalgo	0	0	0	0	0	0
	Huandacareo	2,833	2,797	41	5,438	3,417	1,277
	Huaniqueo	0	0	0	0	0	0
	Huiramba	1,278	1,265	17	2,795	2,237	429
	Indaparapeo	3,330	3,278	58	6,087	4,651	1,042
	Lagunillas	4,161	4,095	21	2,166	1,501	466
	Madero	0	0	0	0	0	0
	Morelia	139,814	138,730	1,155	326,420	244,509	60,972
	Morelos	0	0	0	0	0	0
	Pátzcuaro	0	0	0	0	0	0
	Queréndaro	2,682	2,656	29	5,294	3,664	1,288
	Quiroga	0	0	0	0	0	0
	Santa Ana Maya	2,923	2,890	33	5,945	3,453	1,266
	Tacámbaro	0	0	0	0	0	0
	Tarímbaro	8,408	8,355	70	46,207	3,3151	11,229
	Tzintzuntzan	0	0	0	0	0	0
	Zinapécuaro	10,511	10,382	112	20,745	13,211	3,301
G u a n a j u a t o							
	Acámbaro	0	0		0	0	0
	Moroleón	0	0		0	0	0
	Salvatierra	0	0		0	0	0
	Uriangato	0	0		0	0	0
	Yuriria	0	0		0	0	
	Total	194,631	192,911	1,806	457,370	355,398	88,278
	Media	8,846.9	8,768.7	72.2	19,885.6	14,582.5	3,531.1
	Desvest	29,382.4	29,155.9	227.6	67,563.6	50,618.6	12,177.1

Nota: se muestra el número viviendas de los municipios que ocupan el 70% de su superficie total en la cuenca de Cuitzeo.

10.3.6 Dinámica de la producción ganadera en la cuenca de Cuitzeo

El cambio en el uso del terreno tiene una relación directa con la producción pecuaria como ha sido señalado en otros estudios (Chouvardas et al., 2022). En esta investigación, el tercer proceso más importante producto del CCVUT registrado fue la expansión del pastizal del 57.8%. Para una mayor comprensión de las causas directas que podrían estar dirigiendo este cambio, se analizó el número total de animales sacrificados, la producción en toneladas y el valor de producción del año 2006 (año más cercano al inicio del periodo) y 2020 (Figura 42), con datos estadísticos del SIAP, que incluye en ganado bovino, porcino, ovino, caprino, ave y guajolote. Se encontró que el número de animales sacrificados totales fue mayor en el año 2006. La producción de carne en el año 2020 se incrementó el 12% (Figura 43) y se destaca el crecimiento exponencial de la producción económica de \$739,612.2 a \$1,117,340.1, aumentó el 51% (Tabla 19).

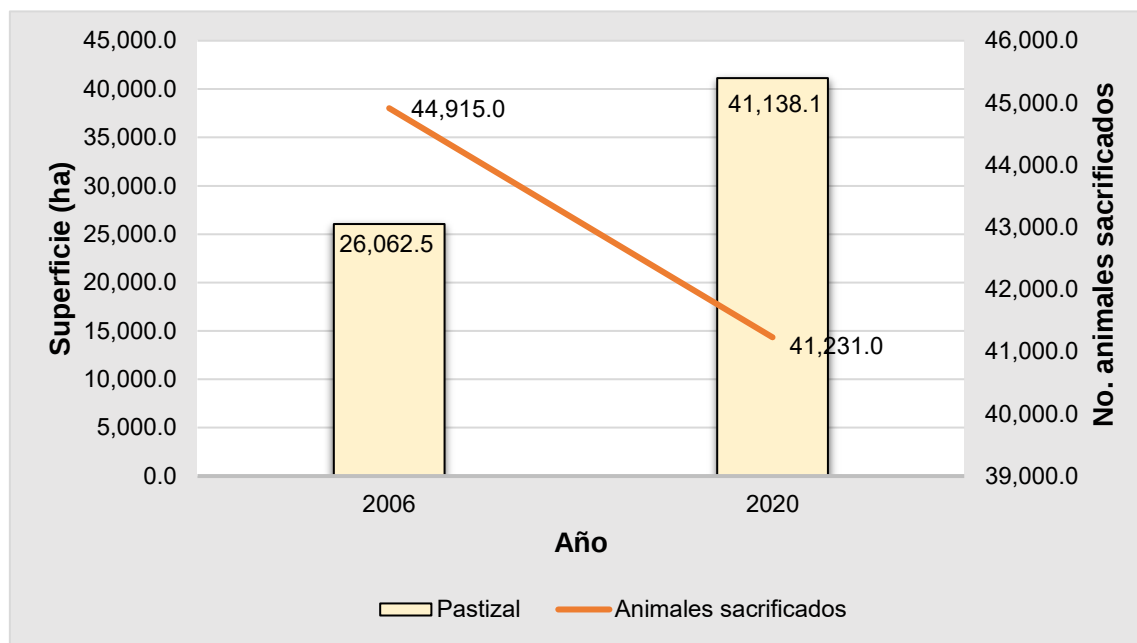
Con relación a los cambios espaciales del pastizal se esperaría un incremento importante en el número de animales sacrificados y que este fuera una fuerza directa que podría estar ocasionando lo observado en esta categoría. Importante mencionar que debido a la falta de información no se analizó el número total de cabezas de ganado, la cual podría estar generando un sesgo de los resultados observados. Por ello, se recomienda que en futuras investigaciones será necesario considerar múltiples variables como la población total ganadera, encuestas o entrevistas con la población local para comprender completamente esta transformación.

Tabla 19. Producción ganadera entre el 2006 y 2020.

Año 2006			
Variables	Total	Media	Desvest
Animales sacrificados	44,9155	332.7	686.0
Producción de carne (toneladas)	38,302.2	430.4	1,659.2
Valor de producción (miles de pesos)	739, 612.2	8,218.0	26,959.2
Año 2020			
Animales sacrificados	41,231.0	340.7	592.7
Producción de carne (toneladas)	43,074.9	478.6	1,955.1
Valor de producción (miles de pesos)	1,117,340.1	12,414.9	42,692.6

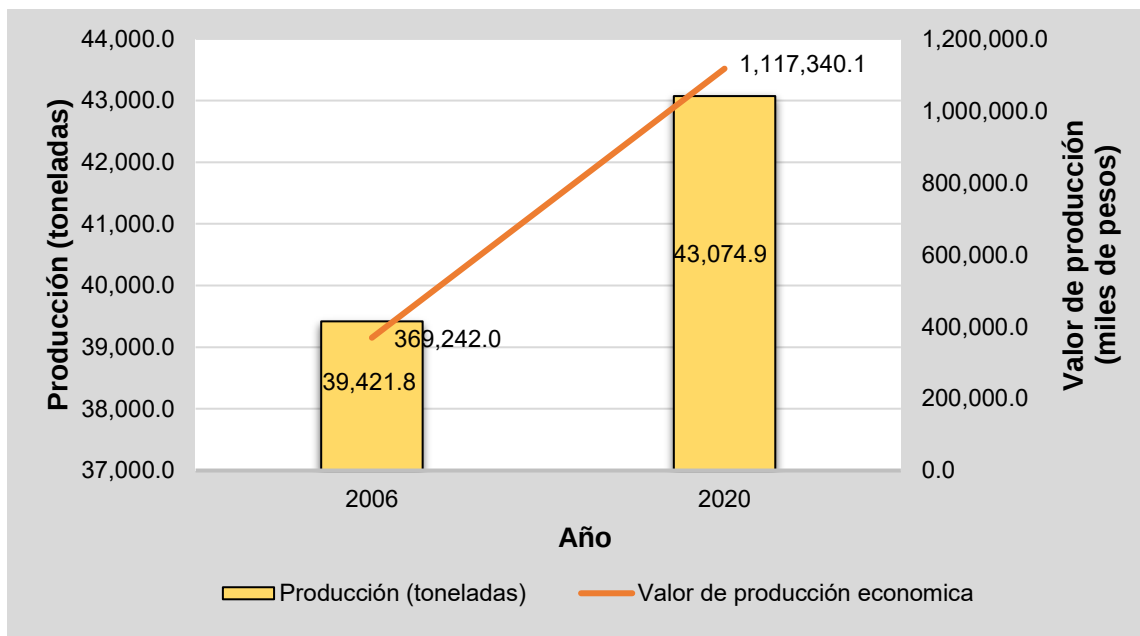
Fuente: Realizado a partir de datos del SIAP, (2000 y 2020).

Figura 42. Superficie de pastizal y animales sacrificados.



Fuente: elaborado a partir de datos del SIAP (2006 y 2020).

Figura 43. Producción de carne y valor económico.



Fuente: elaborado a partir de datos del SIAP (2006 y 2020).

10.3.7 Dinámica de la producción agrícola en la cuenca de Cuitzeo

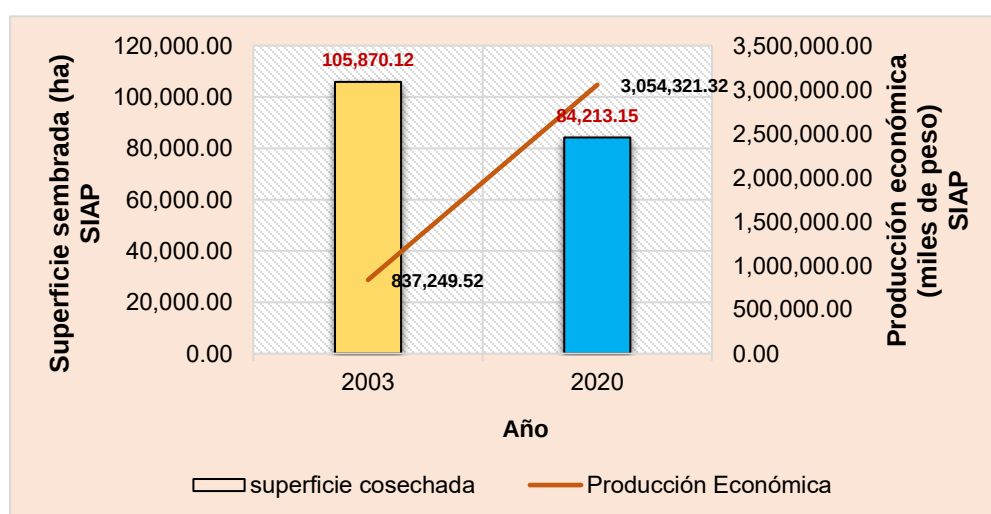
10.3.7.1 Superficie cosechada y producción económica

La superficie con vocación agrícola en la cuenca ocupa el 30.4% de la superficie total y durante este periodo disminuyó 11%, siendo una de las actividades económicas más importantes en la región, debido a que aporta el 5% del producto interno bruto en el estado (Ortiz et al., 2023).

Para poder comprender las causas que pueden estar detrás de esta reducción se llevó a cabo un análisis descriptivo con datos estadísticos de la superficie sembrada, producción económica y los tipos de cultivos, reportado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Los datos analizados correspondieron al distrito de riego 20 que pertenece a Morelia-Queréndaro, como fecha inicial del periodo se consideró el año 2003 (en el año 2000 no hay datos) y el año 2020 (final del periodo). Se registró que la superficie cosechada en este periodo se redujo el 21.4%, de 109,092.05 ha a 85,699.15 ha. Estos datos coinciden con lo registrado en este estudio, donde la superficie total destinada a los cultivos también presenta la misma tendencia.

Es importante destacar que, a pesar de la disminución en la superficie cosechada, se observó un evidente aumento en el valor de producción económica de la región, el cual experimentó un aumento de \$837,249.52 a \$3,054,321.32 miles de pesos, es decir que lo observado no coincide con la disminución de la superficie agrícola (Figura 44).

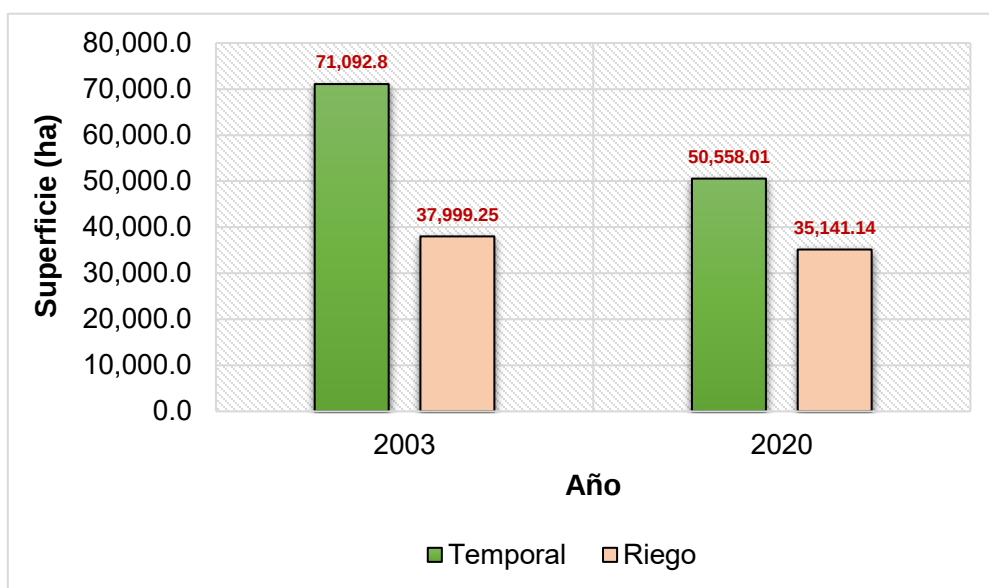
Figura 44. Superficie y producción total de los cultivos en la cuenca.



Fuente: elaborado a partir de datos del SIAP (2003 y 2020).

Se registró que durante el periodo 2003-2020 el cultivo de temporal disminuyó el 28% de la superficie sembrada, su producción económica fue de \$289,164.58 y pasó a \$1,018,072.88 miles de pesos y el cultivo de riego disminuyó el 7% (Figura 45). Esta reducción en el cultivo de riego no afectó en su producción económica ya que el SIAP reportó que en el año 2003 la producción fue de \$548,084.95 y ascendió a \$2,036,248.43 miles de pesos en 2020. Además, se observó que al inicio del periodo no se producía aguacate, este cultivo ha experimentado un incremento sustancial en su rentabilidad económica y en la extensión de terreno dedicado a su producción en el reciente año, posicionándose como el segundo cultivo más rentable en la cuenca, solo después del maíz y desplazando al sorgo. También se pudo observar que aparece el cultivo de agave y la fresa que han emergido como una fuerza de producción agrícola importante en los recientes años. Los resultados sugieren que el incremento en el valor de producción está relacionado con los tipos de cultivos económicamente más rentables que se han establecido en la región en las últimas décadas. Los cambios en la dinámica de producción agrícola de la región se relacionan con la expansión en la superficie de huertas y de cultivo protegido, siendo una fuerza subyacente que induce el CCVUT en la cuenca. Por otra parte, la disminución de la diversidad de cultivo de riego que tradicionalmente se producía en la cuenca está disminuyendo, posiblemente se deba a la escasez de agua del lago de Cuitzeo que es utilizada en esta práctica agrícola y debido al acaparamiento del recurso hídrico para la producción de la agricultura comercial.

Figura 45. Cultivo de riego y temporal.



Fuente: realizado a partir de datos del SIAP (2003 y 2020).

10.3 7.2 Tipos de cultivos

Se realizó un análisis sobre la evolución de los tipos de cultivo que se producen en la cuenca de Cuitzeo entre el año 2003 y 2020 (Tabla 20). Se identificaron que para el primer año se sembraron un total de 69 cultivos de los cuales en la figura 46 se muestran los 10 principales que ocupan la mayor superficie. En primer lugar, sobre sale el maíz con 77,724.2 ha que equivale al 73% de total de superficie destinado a la agricultura. En segundo se sitúa el sorgo de grano con 7,818 ha, le sigue la avena forrajera 3215.4 ha, el trigo de grano 2,508 ha y 2,450 ha destinado al cultivo de ciruela. Con respecto a la producción económica el maíz de grano ocupa el primer lugar con \$403,566.7, la alfalfa \$136,775.2, y el sorgo de grano \$50,312.5 miles de pesos (Figura 46).

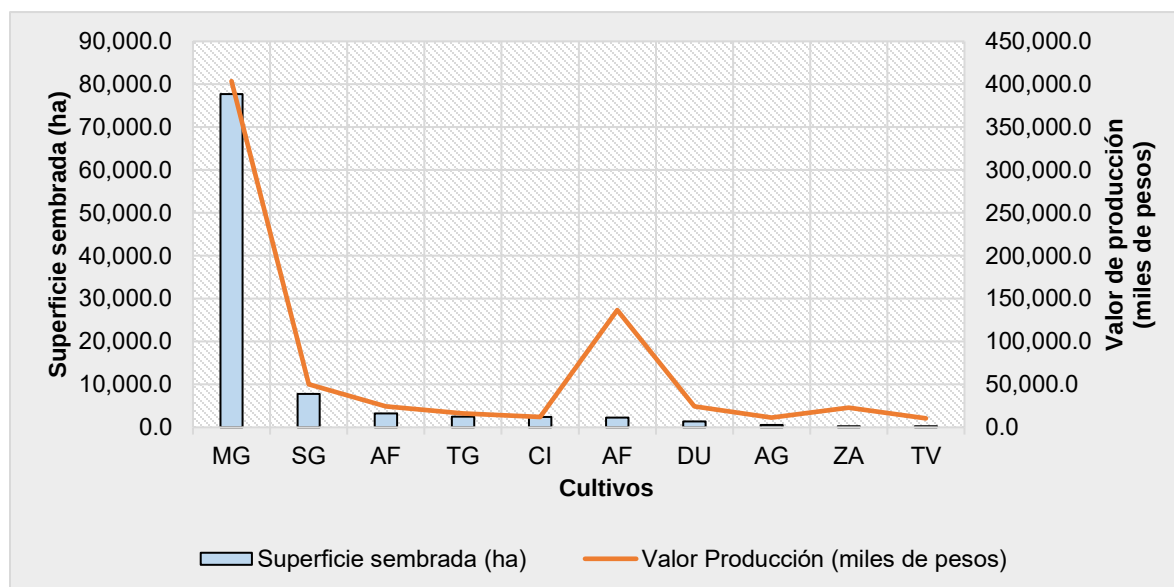
En el año 2020 se observó que solo 41 cultivos se sembraron, es decir hubo una disminución en la diversidad de los tipos de cultivos con respecto al año anterior. El maíz de grano sigue siendo el cultivo que lidera la mayor superficie de producción con 63,275.3 ha, el segundo lugar lo ocupa el aguacate con 5,322 ha (ambos cultivos se producen con mayor intensidad en un sistema de riego). En el año 2003 este cultivo no era tan intensivo ya que solo se reportó 562 ha de superficie cultivada, desplazando al trigo de grano que ocupaba esta posición y en el año más reciente se registró en el tercer lugar con 3,568 ha la alfalfa 2,519 ha, y la avena forrajera 1,918.4 ha. Es importante señalar que el agave de 26 ha que al inicio del periodo se cultivaba pasaron a 1,425 ha. En cuanto a la producción económica el maíz ocupa el primer lugar con \$1,092,892.4, el aguacate \$848,871.5, el agave \$126,010.6, la cebolla con \$121,384.33, resaltar que el cultivo de fresa no se reportó superficie de producción en el 2003. Sin embargo, en el año 2020 ocupa el lugar número cinco con un aporte económico del \$117,421.64 miles de pesos (Figura 47).

En el reporte más reciente del SIAP (2022), se registró una producción del maíz de grano de \$1,721,270.50 con una superficie sembrada de 61,620 ha y para el aguacate de \$1,283,317.33 con 5,567.0 ha, estos datos indican que la producción de estos cultivos va en aumento. Además, reportó cultivo de frambuesa, pastos y praderas, ambos cultivos no se habían observado en los años anteriores. Los cambios observados reflejan una notable transformación en el panorama agrícola de la región, el cual estaría indicando que los cambios en el valor económico y la demanda comercial de algunos productos agrícolas es una fuerza subyacente que impulsa el cambio de uso del terreno en la región.

La dinámica en el uso del terreno agrícola sugiere la necesidad de seguir monitoreando y comprendiendo los factores que impulsan estos cambios en la cuenca.

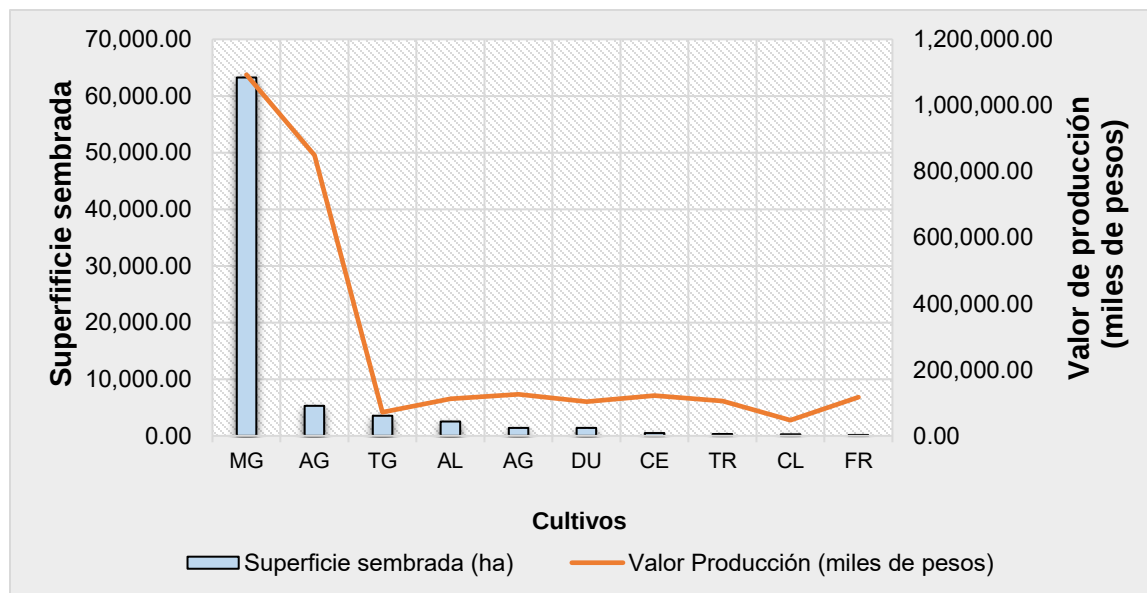
Asimismo, es esencial considerar las implicaciones que estos procesos pueden tener para la seguridad alimentaria, la pérdida de diversidad agrícola, prácticas de producción tradicional, el impacto en la transformación de la cobertura vegetal y usos del terreno.

Figura 46. Principales cultivos en la cuenca de Cuitzeo en el año 2003.



Nota: MG: maíz de grano, SG: sorgo de grano, AF: avena forrajera, TG: trigo de grano, CI: ciruela, AL=alfalfa, DU: durazno, AG: aguacate, ZA: zanahoria, TV: tomate verde. Además, se observa la superficie sembrada y la producción económica.

Figura 47. Principales cultivos en la cuenca de Cuitzeo en el año 2020.



Nota: MG: maíz de grano, AG: aguacate, TG: trigo grano, AL=alfalfa, AGA: agave, DU: durazno, CE: cebolla, TR: tomate rojo, CL: calabaza, FR: fresa. Además, se observa la superficie sembrada y la producción económica.

Tabla 20. Tipos de cultivo entre el 2003 y 2020.

Año 2003				Año 2020		
Número de cultivos	Cultivo	Superficie sembrada	Valor de producción (miles de pesos)	Cultivo	Superficie sembrada	Valor de producción (miles de pesos)
1	Maíz grano	77,724.15	403,566.7	Maíz grano	63,275.3	1,092,892.4
2	Sorgo grano	7,818	50,312.53	Aguacate	5,322	848,871.48
3	Avena forrajera en verde	3,215.35	24,385.79	Trigo grano	3,568	71,595.95
4	Trigo grano	2,508	16,142.25	Alfalfa	2,519	112,338.63
5	Ciruella	2,450	11,906	Avena forrajera	1,918.4	19,892.64
6	Alfalfa	2,304		Sorgo grano	1,460.34	26,780.8
7	Frijol	1,512.4		Agave	1,425	126,010.64
8	Durazno	1,378	24,417	Fresa	151.67	117,421.64
9	Pera	852	10,020	Durazno	1,397	102,964.48
10	Avena forrajera en verde	850.0	3,400.0	Pera	600	37,489.82
11	Cebada grano	660.0	3,397.22	Cebolla	512.31	121,384.33
12	Aguacate	562	11,190	Guayaba	393	11,900.29
13	Garbanzo grano	559.5	2,630.8	Nopalitos	369	44,208.18
14	Pastos y praderas	543.5	8,804.6	Tomate rojo	340.08	104,969.76
15	Garbanzo forrajero	282.45	4,065.6	Garbanzo grano	272	5,456.68
16	Zanahoria	264	22,866	Calabacita	253.56	47,291.38
17	Trébol	262	3,808.8	Frijol	229.94	2,768.27
18	Guayaba	251.5	5,071.5	Zanahoria	212	23,620.39
19	Tomate verde	239.75	10,450.5	Mango	196	4,892.55
20	Chile verde	215.25	6,522	Frijol	191	4,892.55
21	Mango	185	667.8	Lechuga	155.45	24,194.48
22	Tomate rojo (jitomate)	181	5,790	Fresa	4,892.55	117,421.64
23	Elote	160.0	1,920	Tomate verde	115.54	10,094.34
24	Cebolla	145	4,266	Chile verde	110	3,826.9
25	Calabacita	135	7,942	Coliflor	84.67	16,953.35
26	Lechuga	127	3,890	Caña de azúcar	75	3,838.8
27	Frijol	106.2	560.3	Manzana	70	2,448.65
28	Lenteja	80	196	Chile verde	53.22	5,343.82
30	Col (repollo)	68.0	2,882.5	Zempoalxochitl	52.28	8,869.02
31	Agave	67.5	8.0	Elote	51.15	3,754.4
32	Coliflor	54.4	3,544.5	Pepino	51.03	20,723.62
33	Ciruella	50	690	Chile verde	48.33	6,302.71
34	Cebolla	62.0	2,490	Brócoli	47	10,121.28
35	Tomate rojo	48	4,077	Mango	36	2,025
36	Haba grano	47.15	130.98	Cebada grano	35.25	475.01
37	Chícharo	43.0	1,920	Frijol	32.89	568.79
38	Zempoalxochitl	32.0	1,773.3	Agave	13	15,63.39
39	Pepino	31	495.0	Limón	10	794.61
40	Jamaica	30	435	Tuna	4	159.27
41	Ejote	29.0	1,470	Chile verde	2.07	159.27
42	Ebo	391.0	2,412.2			
43	Lima	26	390			
44	Agave	26	0.0			
45	Caña de azúcar otro uso	25.0	1,012.5			
46	Manzana	24	672			
47	Mango	22	81.0			
48	Pepino	19	1,653.0			
49	Zarzamora	17	66			
50	Cilantro	16	240			
51	Nube	13	676.65			

52	Acelga	12	93.6		
53	Jícama	10.0	875		
54	Mano de león	9	522		
55	Betabel	8	480		
56	Flores	6.0	720		
57	Inmortal	6.0	840		
58	Flores	6.0	840		
59	Espinaca	5	45		
60	Nopalitos	3.5	37		
61	Camote	3	129.6		
62	Cacahuete	3	112.5		
63	Tuna	3	60		
64	Gypsophilia	3	33.3		
65	Brócoli	2	100		
66	Fresa	2	96		
67	Naranja	2	30		
68	Rábano	1	30		
69	Haba verde	1	8.0		
Total		106,799.2	826,534.67	85,699.1	3,050,882.4
Media		1,547.8	11,978.8	2,090.2	74,411.8
Desvest		9,371.8	51,040.9	9,853.0	211,005.8

Nota: principales cultivos en la cuenca de Cuiteo entre el año 2000 y 2020 (SIAP, 2023a).

11. Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue analizar el cambio de la cobertura vegetal y el uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo, identificar y describir las directrices socioeconómicas, que han tenido un papel preponderante como las principales fuerzas impulsoras de dichos cambios en la región. Además, la evidencia empírica respalda la hipótesis planteada al inicio de la investigación que se cumplió en su totalidad con los siguientes hallazgos.

1. En el periodo 2000-2020 la cobertura de origen natural como el matorral, las plantaciones de árboles, el bosque y el lago han disminuido. Mientras que los usos antrópicos se expandieron, en primer lugar, se destacan los asentamientos humanos, los pastizales y el suelo desnudo. Con la excepción de que la superficie de cultivo ha disminuido, particularmente, el cultivo de riego. Estos resultados sugieren que la cuenca de Cuitzeo se encuentra en un menor estado de conservación en comparación con el periodo anterior en el cual se registró una recuperación de la cubierta vegetal.
2. Las fuerzas que actúan como impulsoras directas o proximales que están induciendo al CCVUT en la cuenca de Cuitzeo, son diversas y claves para comprender estos cambios. En primer lugar, el crecimiento en el número de las localidades urbanas, particularmente fue notable en los municipios de Tarímbaro y Morelia y así como el crecimiento de las localidades rurales, destacando los municipios de Zinapécuaro y Charo. En segundo lugar, el incremento en el número de viviendas totales y deshabitadas, es una fuerza que ha impulsado la expansión de la superficie de asentamientos humanos en este periodo. En tercer lugar, el crecimiento de la población urbana y por último la intensificación de la agricultura comercial está teniendo un aporte sustancial en la distribución y configuración de las coberturas y usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.
3. Se identificó como una fuerza subyacente o indirecta el incremento de la superficie de producción de algunos cultivos económicamente más rentables, como el aguacate, agave y fresa que han experimentado un crecimiento notable en la región, lo que ha contribuido a la transformación de las coberturas y los usos del terreno en la cuenca de Cuitzeo.
4. La situación ambiental en función de la cobertura y usos del terreno ha cambiado y la cuenca ahora exhibe una mayor degradación. Por ello, es fundamental tomar

medidas efectivas de conservación y manejo sostenible en el uso del terreno para las futuras generaciones.

12. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación se han delineado algunas recomendaciones para fomentar la gestión integral y sostenible de la cuenca de Cuitzeo, considerando los cambios en la cobertura vegetal y los usos del terreno.

1. Para contrarrestar la disminución de los matorrales y bosques se sugiere desarrollar programas de reforestación y restauración de áreas degradadas, especialmente en la zona norte de la cuenca, donde ha sido más evidente la reducción de la cobertura vegetal. Además, es crucial implementar las políticas que se han establecido a nivel federal, estatal y local, así como las regularizaciones que limiten la conversión de áreas boscosas en tierras agrícolas o urbanas.
2. Dar cumplimiento y seguimiento a los planes de ordenamiento territorial regional de la cuenca de Cuitzeo, y especialmente aquellos a nivel municipal, considerando el equilibrio entre el crecimiento natural de la población y las necesidades reales para el desarrollo de asentamientos humanos. En función de los CCVUT, solo se permita el crecimiento en áreas apropiadas para esta actividad y se limite en aquellas áreas que presentan un alto valor ecológico o zonas donde se desarrollen actividades agrícolas de manera tradicional para evitar su desplazamiento a otros usos antrópicos.
3. Promover prácticas agrícolas sostenibles a través de la implementación de medidas adecuadas que ayuden a equilibrar el desarrollo agrícola en aquellas zonas idóneas para la expansión de la agricultura comercial, que considere factores biofísicos (calidad del suelo, agua y vegetación) y las necesidades de la población local debido a la vocación agrícola que tiene la cuenca de Cuitzeo.
4. Se sugiere realizar un monitoreo continuo a través de investigaciones científicas en el área ambiental, social y económica de la cuenca de Cuitzeo, que evalúen los cambios espaciotemporales y las fuerzas impulsoras de estos cambios. Además, que sirva como base para el fortalecimiento de las políticas, normativas e instrumentos que regularizan el uso del terreno en la región.

13. Bibliografía

- Acheampong, M., Yu, Q., Enomah, L. D., Anchang, J., y Eduful, M. (2018). Land use/cover change in Ghana's oil city: Assessing the impact of neoliberal economic policies and implications for sustainable development goal number one – A remote sensing and GIS approach. *Land Use Policy*, 73, 373-384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.019>
- Acosta, V. M. A. (2002). *Cambios en los patrones de consumo de agua y cambio de uso de suelo. El acso de la cuenca del Lago de Cuicero (1975-2000)* Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo].
- Alijani, Z., Hosseinali, F., y Biswas, A. (2020). Spatio-temporal evolution of agricultural land use change drivers: A case study from Chalous region, Iran. *Journal of Environmental Management*, 262, 110326. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110326>
- Ango, T. G., Hylander, K., y Börjeson, L. (2020). Processes of Forest Cover Change since 1958 in the Coffee-Producing Areas of Southwest Ethiopia. *Land*, 9(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land9080278>
- Arellano, P. M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., y Mathis, A. G. (2021). Mezcal Production in Mexico: Between Tradition and Commercial Exploitation. *Frontiers Sustainable Food Systems*, 10.3389/fsufs.2022.832532(6), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.832532>
- Arima, E. Y., Denvir, A., Young, K. R., González-Rodríguez, A., y García-Oliva, F. (2022). Modelling avocado-driven deforestation in Michoacán, Mexico. *Environmental Research Letters*, 17(3), 034015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5419>
- Ávila, C. R., Rocha, V. L., González, T. A., González, A. R., y Ogaz, A. (2019). Reforma del artículo 27 constitucional en el salinismo. ¿sin efectos? estudio de caso: 2010 - 2018. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44, 222-231. <https://www.redalyc.org/journal/141/14161295009/14161295009.pdf>
- Ávila, G. P., y Campos, C. V. (2012). El papel del Estado en la gestión urbano-ambiental: el caso de la desregulación en la ciudad de Morelia, Michoacán. 5(9). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4170020>
- BANCO-MUNDIAL. (2017). *Desarrollo urbano*. Retrieved 23 de abril from <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20alrededor%20del,10%20personas%20vivir%C3%A1n%20en%20ciudades>.
- Baumann, M., Gasparri, I., Piquer-Rodríguez, M., Gavier Pizarro, G., Griffiths, P., Hostert, P., y Kuemmerle, T. (2017). Carbon emissions from agricultural expansion and intensification in the Chaco. *Global Change Biology*, 23(5), 1902-1916. <https://doi.org/10.1111/gcb.13521>
- Bautista, F., Aguilar, Y., y Gijón-Yescas, N. (2022). Las granjas porcinas en zonas de karst: ¿cómo pasamos de la contaminación a la sustentabilidad? *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(093), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.56369/tsaes.4154>
- Bello, G. M. A., y Labat, J. N. (1987). *Los encinos (Quercus) del estado de Michoacán, México*. México, D.F.
- Berget, C., Verschoor, G., García-Frapolli, E., Mondragón-Vázquez, E., y Bongers, F. (2021). Landscapes on the Move: Land-Use Change History in a Mexican Agroforest Frontier. *Land*, 10(10). <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/10/1066>
- Betru, T., Tolera, M., Sahle, K., y Kassa, H. (2019). Trends and drivers of land use/land cover change in Western Ethiopia. *Applied Geography*, 104, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.02.007>

- Bocco, G., Mendoza, M., y Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, 44, 18-39. <https://doi.org/10.14350/riq.59133>
- Bonilla, M. M., y Mitchell, A. T. (2020). Beyond deforestation: Land cover transitions in Mexico. *Agricultural Systems*, 178, 102734. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102734>
- Bravo, E. M., García, O. F., Eduardo, R.-P., Mendoza, C. M., Barrera, C. G., López, G. E., . . . Sáenz, R. T. (2008). *La cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, perspectivas y retos hacia su Desarrollo Sostenible* (10.22201/ciga.9789707035782p.2008). Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán, COECYT. <https://doi.org/10.22201/ciga.9789707035782p.2008>
- Bruno, J. E., Leisz, S. J., Bobula, J. S., y Fernández-Giménez, M. E. (2021). Conserving Working Rangelands: A Social–Ecological Case Study from Northeastern Colorado. *Land*, 10(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land10121399>
- Cabrera, G. A., Ejecatl, M. L., Orozco, M. A. D. J., Sánchez, E. J. F., y Ayala, G. J. M. (2010). Suelos. In I. d. Geografía-UNAM (Ed.), *tlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y entorno socioambiental* (<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/132/125/463-1> pp. 311). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Camacho, S. J. M., Juan, P. J. I., Pineda, J. N. B., Cadena, V. E. G., Bravo, P. L. C., y Marcela, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2015.211435>
- Camacho, S. R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., y Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23 (3), 39-60. <https://doi.org/doi:10.21829/myb.2017.2331516>
- Campos, M., Velázquez, A., Verdinelli, G. B., Skutsch, M., Juncà, M. B., y Priego-Santander, Á. G. (2012). An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico. *Applied Geography*, 32(2), 409-419. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.004>
- Carlón, A. T., Mendoza, M., y López, E. (2010). Hidrología y Regionalización Hidrogeográfica In I. d. Geografía-UNAM (Ed.), (<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/132/125/463-1> pp. 311). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Carlón, A. T., Mendoza, M. E., López-Granados, E. M., y Morales-Manilla, L. M. (2009). Hydrogeographical Regionalisation: An Approach for Evaluating the Effects of Land Cover Change in Watersheds. A Case Study in the Cuitzeo Lake Watershed, Central Mexico. *Water Resources Management*, 23(12), 2587-2603. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9398-6>
- Caro, B., Angela, Carmona-Jiménez, J., Rivera-Ramírez, K., y Bieber, K. (2021). The effects of urbanization on aquatic ecosystems in peri-urban protected areas of Mexico City: The contradictory discourse of conservation amid expansion of informal settlements. *Land Use Policy*, 102, 105226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105226>
- Carpio, A., Ponce-Lopez, R., y Lozano-García, D. F. (2021). Urban form, land use, and cover change and their impact on carbon emissions in the Monterrey Metropolitan area, Mexico. *Urban Climate*, 39, 100947. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100947>

- Carte, L., Hofflinger, Á., y Polk, M. H. (2021). Expanding Exotic Forest Plantations and Declining Rural Populations in La Araucanía, Chile. *10(3)*, 283. <https://doi.org/10.3390/land10030283>
- CEMDA, C. M. d. D. A. (2016). *Organizaciones recurren a la CIDH para que México proteja a las comunidades mayas afectadas por siembra de soya transgénica*. 8 agosto 2016. Retrieved octubre 2023 from <https://www.cemda.org.mx/organizaciones-recurren-a-la-cidh-para-que-mexico-proteja-a-las-comunidades-mayas-afectadas-por-siembra-de-soya-transgenica/>
- CEMDA, C. M. d. D. A. (2023). *Tren maya análisis de la deforestación y gestión forestal hasta junio de 2023*. Agosto 2023. <https://cartocritica.org.mx/wp-content/uploads/2023/08/CartoCritica-Analisis-deforestacion-TM.pdf>
- CEMDA, C. M. d. D. A., A.C. . (2018). *Denuncia CEMDA desmonte ilegal de vegetación para construir la refinería Dos Bocas en Tabasco*. 20 de noviembre. Retrieved Noviembre 2023 from <https://www.cemda.org.mx/denuncia-cemda-desmonte-ilegal-de-vegetacion-para-construir-la-refineria-dos-bocas-en-tabasco/>
- Chasia, S., Olang, L. O., y Sitoki, L. (2023). Modelling of land-use/cover change trajectories in a transboundary catchment of the Sio-Malaba-Malakisi Region in East Africa using the CLUE-s model. *Ecological Modelling*, *476*, 110256. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110256>
- Chebby, F., Mmbaga, N., y Ngongolo, K. (2023). Land use land cover change and socio-economic activities in the Burunge Wildlife Management Area ecosystem during COVID-19 *Heliyon*, *9*, 2-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14064>
- Chen, J., Li, Z., Xiao, H., Ning, K., y Tang, C. (2021). Effects of land use and land cover on soil erosion control in southern China: Implications from a systematic quantitative review. *Journal of Environmental Management*, *282*, 111924. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111924>
- Chouvardas, D., Karatassiou, M., Tsioras, P., Tsivdis, I., y Palaiochorinos, S. (2022). Spatiotemporal Changes (1945–2020) in a Grazed Landscape of Northern Greece, in Relation to Socioeconomic Changes. *11(11)*, 1987. <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/11/1987>
- Chuvieco, E. S. (2008). *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. (3 ed.). Barcelona.
- Cissell, J. R., Delgado, A. M., Sweetman, B. M., y Steinberg, M. K. (2018). Monitoring mangrove forest dynamics in Campeche, Mexico, using Landsat satellite data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *9*, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.12.001>
- CONAFOR. (2020). *Estimación de la tasa de deforestación bruta en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo*. (Documento Técnico. , Issue. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/estimacion-de-la-tasa-dedeforestacion-bruta-en-mexico-para-el-periodo-2001-2018-mediante-el-metodo-demuestreo?idiom=es>
- CONAPO. (2020). *Índice de marginación (carencias poblacionales) por localidad, municipio y entidad*. Retrieved 04 de noviembre from https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad/resource/26802af3-0467-4917-a0a0-a39544a23429?inner_span=True
- Correa, A. C. A., Mendoza, M. E., y López, G. E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, *10.4067/S0718-*

- 34022014000300002(59), 7-23. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002>
- Costanza, R. (1999). *Introducción a la economía ecológica* (<https://books.google.com.mx/books?id=qcR4PQAACAAJ>). AENOR.
- Cruz, R. B., Téllez, L. J., y Carrillo, G. F. M. (2020). Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 67(1), 33-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.5565/rev/dag.554>
- Daba, M. H., y You, S. (2022). Quantitatively Assessing the Future Land-Use/Land-Cover Changes and Their Driving Factors in the Upper Stream of the Awash River Based on the CA–Markov Model and Their Implications for Water Resources Management. *Sustainability*, 14(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14031538>
- Damtew, A., Teferi, E., y Ongoma, V. (2022). Farmers' perceptions and spatial statistical modeling of most systematic LULC transitions: Drivers and livelihood implications in Awash Basin, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100661. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100661>
- Debebe, B., Senbeta, F., Teferi, E., Diriba, D., y Teketay, D. (2023). Analysis of Forest Cover Change and Its Drivers in Biodiversity Hotspot Areas of the Semien Mountains National Park, Northwest Ethiopia. *Sustainability*, 15(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15043001>
- Degife, A., Worku, H., Gizaw, S., y Legesse, A. (2019). Land use land cover dynamics, its drivers and environmental implications in Lake Hawassa Watershed of Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 178-190. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.rsase.2019.03.005>
- Devine, J. A., Wrathall, D., Aguilar-González, B., Benessaiah, K., Tellman, B., Ghaffari, Z., y Ponstingel, D. (2021). Narco-degradation: Cocaine trafficking's environmental impacts in Central America's protected areas. *World Development*, 144, 105474. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105474>
- Dibaba, W. T., Demissie, T. A., y Miegel, K. (2020). Drivers and Implications of Land Use/Land Cover Dynamics in Finchaa Catchment, Northwestern Ethiopia. 9(4), 113. <https://doi.org/10.3390/land9040113>
- Dimopoulos, T., y Kizos, T. (2020). Mapping change in the agricultural landscape of Lemnos. *Landscape and Urban Planning*, 203, 103894. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103894>
- Doe, B., Amoako, C., y Adamtey, R. (2022). Spatial expansion and patterns of land use/land cover changes around Accra, Ghana – Emerging insights from Awutu Senya East Municipal Area. *Land Use Policy*, 112, 105796. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105796>
- DOF. (2022). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Retrieved 9 agosto from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/leyes.php#gsc.tab=0>
- Domingo, D., van Vliet, J., y Hersperger, A. M. (2023). Long-term changes in 3D urban form in four Spanish cities. *Landscape and Urban Planning*, 230, 104624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104624>
- Echánove, H. F. (2020). Expansión de la soja en México y exclusión productiva de los pequeños agricultores de la península de Yucatán. *Papeles de Geografía*, 10.6018/geografia.432921(66), 68-84. <https://doi.org/10.6018/geografia.432921>
- Ellis, E. A., Gomez, U. H., y Romero-Montero, J. A. (2017). Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península Yucatán, México. *Ecosistemas*, 26(1), 101-111. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.16>
- Ellis, E. A., Navarro Martínez, A., García Ortega, M., Hernández Gómez, I. U., y Chacón Castillo, D. (2020). Forest cover dynamics in the Selva Maya of Central and Southern

- Quintana Roo, Mexico: deforestation or degradation? *Journal of Land Use Science*, 15(1), 25-51. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1732489>
- ESA. (2015). *Sentinel 2*. Retrieved 10 de octubre from https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2
- Escandón, C. J., Ordóñez Díaz, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, C. d. C., y Ordóñez Díaz, M. d. J. (2018). Change in vegetation cover and land use in Morelos, Mexico, from 2000 to 2009. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(46), 27-53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>.
- Escobar, F. R. E. (2016). *Análisis del cambio del uso del suelo y cobertura en el Soconusco, Chiapas El Colegio de la Frontera Sur*. Chiapas México. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1817/1/10000005436_5_documento.pdf
- Esgalhado, C., Guimarães, M. H., Lardon, S., Debolini, M., Balzan, M. V., Gennai-Schott, S. C., . . . Bouchemal, S. (2021). Mediterranean land system dynamics and their underlying drivers: Stakeholder perception from multiple case studies. *Landscape and Urban Planning*, 213, 104134. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104134>
- Ewunetu, A., Simane, B., Teferi, E., y Zaitchik, B. F. (2021). Land Cover Change in the Blue Nile River Headwaters: Farmers' Perceptions, Pressures, and Satellite-Based Mapping. *Land*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/land10010068>
- FAO. (1996). Forest resources assessment 1990. *Survey of Tropical forest cover and study of change processes.*, <https://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>.
- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales* <https://www.fao.org/3/i1757s/i1757s.pdf?v=>
- FAO. (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales Principales resultados.* . <https://www.fao.org/3/ca8753es/ca8753es.pdf>
- Farfán, G. M., Rodríguez Tapia, G., y Mas, J.-F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones geográficas*, 0(90). <https://doi.org/10.14350/riq.48600>
- Farley, K. A., Ojeda-Revah, L., Atkinson, E. E., y Eaton-González, B. R. (2012). Changes in land use, land tenure, and landscape fragmentation in the Tijuana River Watershed following reform of the ejido sector. *Land Use Policy*, 29(1), 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.06.006>
- Fikadu, G., y Olika, G. (2023). Impact of land use land cover change using remote sensing with integration of socio-economic data on Rural Livelihoods in the Nashe watershed, Ethiopia. *Heliyon*, 9(3), e13746. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13746>
- Foladori, G., y Pierri, N. (2005). *¿Sustentabilidad? desacuerdos para el desarrollo sustentable* (M. M. Á. Porrúa, Ed.). Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., . . . Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Friedmann, J. (1990). *Urbanization, Planning, and National Development* (<https://books.google.com.mx/books?id=uPMvygEACAAJ>). UMI.
- Frija, A., Sghaier, M., Fetoui, M., Dhehibi, B., y Sghaier, M. (2023). Pathways for improving rangeland governance under constraining land tenure systems: Application of a participatory Bayesian Belief approach. *Land Use Policy*, 126, 106519. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106519>
- Gao, M., Chen, B., Xu, Y., y Li, D. (2023). Heterogeneous impacts of global land urbanization on land-use structure from economic and technological perspectives. *Ecological*

- Indicators*, 147, 109955.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109955>
- Garduño, M., Víctor Hugo, y Israde, A. I. (2010). Geología. In I. d. G.-U. U. M. d. S. N. d. Hidalgo (Ed.), *Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y entorno socioambiental* (<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/132/125/463-1> pp. 311). México.
- Gaudig, A., Ebersberger, B., y Kuckertz, A. (2021). Sustainability-Oriented Macro Trends and Innovation Types—Exploring Different Organization Types Tackling the Global Sustainability Megatrend. *Sustainability*, 13(21). <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11583>
- Gebeyehu, A. K., Snelder, D., y Sonneveld, B. (2023). Land use-land cover dynamics, and local perceptions of change drivers among Nyangatom agro-pastoralists, Southwest Ethiopia. *Land Use Policy*, 131, 106745. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106745>
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*, 52(2), 143-150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDE]2.0.CO;2) %J BioScience
- Gitima, G., Teshome, M., Kassie, M., y, J., Monika (2022). Spatiotemporal land use and cover changes across agroecologies and slope gradients using geospatial technologies in Zoa watershed, Southwest Ethiopia. *Heliyon*, 8-15, 2-. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10696>
- Gómez, R., Lacher, J., Moreno, T., y Maldonado, F. (2021). Impactos del cambio de cobertura terrestre sobre los recursos vegetales de un polinizador en peligro de extinción *PeerJ*, 9 <https://doi.org/https://doi.org/10.7717/peerj.11990>
- Gong, L., Zhang, X., Pan, G., Zhao, J., y Zhao, Y. (2023). Hydrological responses to co-impacts of climate change and land use/cover change based on CMIP6 in the Ganjiang River, Poyang Lake basin. *Anthropocene*, 41, 100368. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ancene.2023.100368>
- Gutman, G., Janetos, A. C., Justice, C. O., Moran, E., Mustard, J., Rindfuss, R., . . . Cochrane, M. A. (2007). *Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface* (Springer, Ed.).
- Hernández, R. D., López-Barrera, F., y Bonilla-Moheno, M. (2018). Análisis preliminar de la dinámica de uso del suelo asociada al cultivo palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en México. *Agrociencia*, 52(6), 875-893. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000600875
- Hernández, S., Agustín, Ortiz-Paniagua, C. F., y Vera, J. V. A. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta Universitaria*, 33, 1-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2023.3763>
- Hernandez, Y. E. (2022). *Perceived Social and Environmental Impacts of the Mayan Train Project on the Yucatan Peninsula of Mexico: A Case Study of Puerto Morelos* (Publication Number 7109) NORTHERN ILLINOIS UNIVERSITY DE KALB]. ILLINOIS. <https://huskiecommons.lib.niu.edu/allgraduate-thesesdissertations/7109>
- IMPLAN. (2022). Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) de Morelia 2022 - 2041. Retrieved 18 de abril from <https://implanmorelia.org/pmdu/page3.html>

- IMTA. (2023). *La expansión de la soya y la conservación de agua y ambiente en Campeche*. <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-expansion-de-la-soya-y-la-conservacion-de-agua-y-ambiente-en-campeche>
- INEGI. (1970). *IX Censo General de Población 1970*. Retrieved 15 de marzo from <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1970/>
- INEGI. (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Retrieved 15 de marzo from
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Retrieved 25 de marzo from <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Islam, H., Abbasi, H., Karam, A., Chughtai, A. H., y Ahmed Jiskani, M. (2021). Geospatial analysis of wetlands based on land use/land cover dynamics using remote sensing and GIS in Sindh, Pakistan. *Sci Prog*, 104(2). <https://doi.org/10.1177/00368504211026143>
- Kafy, A. A., Faisal, A.-A., Al Rakib, A., Roy, S., Ferdousi, J., Raikwar, V., . . . Fatin, S. M. A. (2021). Predicting changes in land use/land cover and seasonal land surface temperature using multi-temporal landsat images in the northwest region of Bangladesh. *Heliyon*, 7(7), e07623. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07623>
- Kamran, Khan, J. A., Khayyam, U., Waheed, A., y Khokhar, M. F. (2023). Exploring the nexus between land use land cover (LULC) changes and population growth in a planned city of islamabad and unplanned city of Rawalpindi, Pakistan. *Heliyon*, 9(2), e13297. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13297>
- Katusiime, J., Schütt, B., y Mutai, N. (2023). The relationship of land tenure, land use and land cover changes in Lake Victoria basin. *Land Use Policy*, 126, 106542. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106542>
- Kayitesi, N. M., Guzha, A. C., y Mariethoz, G. (2022). Impacts of land use land cover change and climate change on river hydro-morphology- a review of research studies in tropical regions. *Journal of Hydrology*, 615, 128702. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128702>
- Kleemann, J., Inkoom, J. N., Thiel, M., Shankar, S., Lautenbach, S., y Fürst, C. (2017). Peri-urban land use pattern and its relation to land use planning in Ghana, West Africa. *Landscape and Urban Planning*, 165, 280-294. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.004>
- Kusiima, S. K., Egeru, A., Namaalwa, J., Byakagaba, P., Mfitumukiza, D., Mukwaya, P., . . . Asiimwe, R. (2022). Interconnectedness of Ecosystem Services Potential with Land Use/Land Cover Change Dynamics in Western Uganda. *Land*, 11(11). [https://doi.org/ https://doi.org/10.3390/land11112056](https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land11112056)
- Lambin, E. F., y Geist, H. J. (2008). *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts* (<https://books.google.com.mx/books?id=XgVbsIMm8j8C>). Springer Berlin Heidelberg.
- Lambin, E. F., y Geist, H. J. (2010). Land-use and land-cover change : local processes and global impacts.
- Lambin, E. F., y Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *PNAS*, 108(9), 3465-3472. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.1100480108>
- Larbi, I. (2023). Land use-land cover change in the Tano basin, Ghana and the implications on sustainable development goals. *Heliyon*, 9(4), e14859. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14859>
- Liao, C., Jung, S., Brown, D. G., y Agrawal, A. (2023). Does land tenure change accelerate deforestation? A matching-based four-country comparison. *Ecological Economics*, 215, 108011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108011>

- Lidzhegu, Z., y Kabanda, T. (2022). Declining land for subsistence and small-scale farming in South Africa: A case study of Thulamela local municipality. *Land Use Policy*, 119, 106170. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106170>
- Lindenmayer, D., Scheele, B. C., Lavery, T., y Likens, G. E. (2023). Biodiversity response to rapid successive land cover conversions in human-dominated landscapes. *Global Ecology and Conservation*, 45, e02510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02510>
- Lira, M. G., Davidson-Hunt, I. J., y Robson, J. P. (2022). Artisanal Products and Land-Use Land-Cover Change in Indigenous Communities: The Case of Mezcal Production in Oaxaca, Mexico. *Land*, 11(3). <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/3/387>
- Liu, C., Cheng, L., Li, J., Lu, X., Xu, Y., y Yang, Q. (2023). Trade-offs analysis of land use functions in a hilly-mountainous city of northwest Hubei Province: The interactive effects of urbanization and ecological construction. *Habitat International*, 131, 102705. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102705>
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Velázquez, A., y Rogelio Aguirre-Rivera, J. (2006). Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 90(1), 62-78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.001>
- López, E., Mendoza, M., y Bocco, G. (2010). Cobertura vegetal y usos del terreno. In *Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y entorno socioambiental* (<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/132/125/463-1> pp. 314). Universidad Nacional Autónoma de México.
- López, G., Ema Martha, Mendoza, M. E., y Acosta, A. (2002). Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906403.pdf> (64), 19-34.
- López, G., Erna Martha. (2006). *Patrones de cambio de uso del terreno en la Cuenca de Cuitzeo* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Morelia, Michoacán.
- López, G. A., Andrade, J. L. A., Barrios, A. I., y Gutiérrez, J. D. A. (2020). El Tren Maya: un escenario de conflictividad socioambiental en el posneoliberalismo mexicano. *Ecología Política*, 60 94-100. https://www.ecologiapolitica.info/wp-content/uploads/2021/02/060_Alfaro-et-al_2020klhn.pdf
- López, G. E., Bocco, G., Mendoza, M., y Duhau, E. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55(4), 271-285. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00160-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00160-8)
- López, G. E., Mendoza, M. E., Gerardo, B. G., y Bravo, M. (2007). Patrones de degradación ambiental en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán. Una perspectiva espacial. In *Avances de investigación en agricultura sostenible IV: Bases metodológicas para el manejo integral de cuencas hidrológicas* (pp. 97-125). INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. C.E.
- Maldonado, C. P. (2005). *Demografía / Demography: conceptos y técnicas fundamentales*. (P. y Valdéz, Ed.).
- Manley, E., Ogneva-Himmelberger, Y., Ruelle, M., Hanumantha, R., Mazari-Hiriart, M., y Downs, T. J. (2022). Land-cover change and urban growth in the Mexico-Lerma-Cutzamala Hydrological Region, 1993–2018. *Applied Geography*, 147, 102785. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102785>
- Mariye, M., Li, J., y Maryo, M. (2022). Land use and land cover change, and analysis of its drivers in Ojoje watershed, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 8, 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09267>
- Márquez, I. R., Bojórquez, G. E. S., y Arcipreste, M. E. A. (2021). Palma de aceite, reconversión productiva y respuestas campesinas en el uso del suelo *Tropical and*

- Subtropical Agroecosystems*, 24(51).
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3505/1587>
- Mas, Díaz, G. J., y Pérez, V. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n51/n51a5.pdf> (51), 53-72.
- Mas, F. J., Velázquez, A., y Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental*, 1(1), 23-39.
[https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/La evaluación de los cambios de cobertura- uso de suelo en la Republica Mexicana.pdf](https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/La%20evaluacion%20de%20los%20cambios%20de%20cobertura-%20uso%20de%20suelo%20en%20la%20Republica%20Mexicana.pdf)
- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz, G., José Reyes, Mayorga, S., Rafael, Alcántara, C., Bocco, G., . . . Pérez, V., Azucena. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.002>
- Mendoza, M., Bocco, G., López, G. E., y Bravo, M. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigaciones geográficas*, https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112002000300007&script=sci_arttext (49), 92-117.
- Mendoza, M. E., Granados, E. L., Geneletti, D., Pérez-Salicrup, D. R., y Salinas, V. (2011). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). *Applied Geography*, 31(1), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>
- Misra, A., y Balaji, R. (2015). A Study on the Shoreline Changes and LAND-use/ Land-cover along the South Gujarat Coastline. *Procedia Engineering*, 116, 381-389.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.311>
- Morales, L. M., Vidal, Z., Rosalía, Garduño, V. H., Manuel, H. V., Cabrera, G., A, Mendoza, M., . . . Carlón Allende, T. (2010). Área de estudio. In I. d. G. Universidad Nacional Atonoma de México (Ed.), *Atlas de la cuenca del lago de Cuitzeo: Analisis de su Geografía y entorno Socioamabiental* (<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/132/125/463-1> pp. 311). Instituto de Geografía-UNAM/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Mwabumba, M., Yadav, B. K., Rwiza, M. J., Larbi, I., y Twisa, S. (2022). Analysis of land use and land-cover pattern to monitor dynamics of Ngorongoro world heritage site (Tanzania) using hybrid cellular automata-Markov model. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100126.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100126>
- Nadal, R., Estela, Khorchani, M., Gaspar, L., Arnáez, J., Cammeraat, E., Navas, A., y Lasanta, T. (2023). How do land use and land cover changes after farmland abandonment affect soil properties and soil nutrients in Mediterranean mountain agroecosystems? *CATENA*, 226, 107062.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107062>
- Nie, Y., Zhang, X., Yang, Y., Liu, Z., He, C., Chen, X., y Lu, T. (2023). Assessing the impacts of historical and future land-use/cover change on habitat quality in the urbanizing Lhasa River Basin on the Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 148, 110147.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110147>
- Ofori, A., Joseph, Morgan Attua, E., Mensah, M., Fosu-Mensah, B. Y., Akuka Apambilla, R., y Kofi Doe, E. (2022). Livelihood, carbon and spatiotemporal land-use land-cover

- change in the Yenku forest reserve of Ghana, 2000–2020. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102938>
- Olivera, M., Laís, C. M., Costa, G., Costa, A., Cristina, R., Camargo, L. d., . . . Tarlé, T. C. (2023). Impacts of urban sprawl in the Administrative Region of Ribeirão Preto (Brazil) and measures to restore improved landscapes. *Land Use Policy*, 124, 106439. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106439>
- ONU-HABITAT. (2016). *La nueva Agenda Urbana* Retrieved 18 de junio from <https://onuhabitat.org.mx/index.php/respondiendo-a-las-principales-tendencias-urbanas>
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- ONU. (2023). *Una población en crecimiento*. Retrieved 17 de septiembre from <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Una%20poblaci%C3%B3n%20en%20crecimiento&text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20alcanz%C3%B3%20los.y%202000%20millones%20desde%201998>
- Ortiz, P., Carlos Francisco, Alcaraz Vera, J. V., y Hernández Santoyo, A. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta Universitaria*, 33, 1-19. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3763>
- Osumanu, I. K., y Ayamdoo, E. A. (2022). Has the growth of cities in Ghana anything to do with reduction in farm size and food production in peri-urban areas? A study of Bolgatanga Municipality. *Land Use Policy*, 112, 105843. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105843>
- Parveen, S., Basheer, J., y Praveen, B. (2018). A literature review on land use land cover changes. *International Journal of Advanced Research*, 6(7), 1-7. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/7327>
- Pérez, S. A., Vaca, S. M. S., Maldonado, L. Y., De Faria, M. L., Borges, M. A. Z., Fagundes, M., . . . Cuevas, R. P. (2023). Changes in land use of temperate forests associated to avocado production in Mexico: Impacts on soil properties, plant traits and insect-plant interactions. *Agricultural Systems*, 204, 103556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103556>
- Phillips, P. M., y João, E. (2017). Land use planning and the ecosystem approach: An evaluation of case study planning frameworks against the Malawi Principles. *Land Use Policy*, 68, 460-480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.006>
- Pimienta, R., L, y López, G., E. M. (2023). El cambio de cobertura y uso del terreo desde el enfoque de la metodología mixta: una revisión de la literatura. . *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4 (2). <https://doi.org/https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.915>
- Pontius, R. G., Shusas, E., y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Preidl, S., Lange, M., y Doktor, D. (2020). Introducing APiC for regionalised land cover mapping on the national scale using Sentinel-2A imagery. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111673>
- Prestele, R., Arneth, A., Bondeau, A., de Noblet-Ducoudré, N., Pugh, T. A. M., Sitch, S., . . . Verburg, P. H. (2017). Current challenges of implementing anthropogenic land-use

- and land-cover change in models contributing to climate change assessments. *Earth Syst. Dynam.*, 8(2), 369-386. <https://doi.org/10.5194/esd-8-369-2017>
- Qasim, M., Hubacek, K., y Termansen, M. (2013). Underlying and proximate driving causes of land use change in district Swat, Pakistan. *Land Use Policy*, 34, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.02.008>
- Raja, S. P., y Mathew, A. (2023). Detection of land use/land cover changes in a watershed: A case study of the Murredu watershed in Telangana state, India. *Watershed Ecology and the Environment*, 5, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.12.003>
- Rehman, F., y Khan, A. (2022). Environmental Impacts of Urbanization Encroachment in the Lowlands of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sustainability*, 14(19). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su141911959>
- Rodríguez, L. J. W., Cervantes, O. F., Arámbula, V. G., Mariscal, A. L. A., Aguirre, M. C. L., y Andrio, E. E. (2022). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. *Agronomía Mesoamericana*, 33 (1), 1-12 <https://www.redalyc.org/journal/437/43768481006/html/>
- Rodríguez, N., Vieyra, A., Méndez-Lemus, Y., Hidalgo Dattwyler, R., Alvarado Peterson, V., y Rodríguez, J. (2020). Trayectorias de la periurbanización en Morelia, México: segregación espacial desde un enfoque relacional. *Revista de Urbanismo*, 0(42), 88-104. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.54924>
- Rojas, M. J., y Novelo, R. A. (1995). Flora y vegetación acuáticas del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, (31), 1-17. <https://www.redalyc.org/pdf/574/57403101.pdf>
- Ruiz, L., Cinthia, Vieyra, A., y Méndez-Lemus, Y. (2021). Segregación espacial en Tarímbaro, municipio periurbano de la zona metropolitana de Morelia, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 78, 237-257. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000100237>
- Schirpke, U., Tasser, E., Borsky, S., Braun, M., Eitzinger, J., Gaube, V., . . . Thaler, T. (2023). Past and future impacts of land-use changes on ecosystem services in Austria. *Journal of Environmental Management*, 345, 118728. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118728>
- Schulte, B., y Pettorelli, N. (2023). Perspectives: Predicting the effects of climate change on ancient woodlands when it interacts with pressures from surrounding land use/land cover. *Forest Ecology and Management*, 544, 121236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121236>
- Sena, V. M., Gomez-Valenzuela, V., y Ramirez, K. (2023). Social perceptions and conservation in protected areas: Taking stock of the literature. *Land Use Policy*, 131, 106696. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106696>
- Shackleton, C. M., Mograbi, P. J., Drimie, S., Fay, D., Hebinck, P., Hoffman, M. T., . . . Twine, W. (2019). Deactivation of field cultivation in communal areas of South Africa: Patterns, drivers and socio-economic and ecological consequences. *Land Use Policy*, 82, 686-699. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.009>
- SIAP. (2017). *Agricultura protegida: presente en 30 estados del país*. Retrieved 22 abril from <https://www.gob.mx/siap/articulos/agricultura-protegida-presente-en-30-estados-del-pais?idiom=es>
- SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Retrieved 12 de noviembre from <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2023a). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Retrieved 7 de agosto from <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2023b). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera* Retrieved 15 de agosto from <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>

- Soto, M.-d.-O., Gloria, Cruz-Bello, G. M., y Bark, R. H. (2023). Enhancing megacities' resilience to flood hazard through peri-urban nature-based solutions: Evidence from Mexico City. *Cities*, 143, 104571. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104571>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., . . . Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Tauro, R., Manrique, S., Franch-Pardo, I., Charre-Medellin, J. F., Ortega-Riascos, C. E., Soria-González, J. A., y Armendáriz-Arnez, C. (2023). Spatial expansion of avocado in Mexico: Could the energy use of pruning residues offset orchard GHG emissions? *Environment, Development and Sustainability*, 10.1007/s10668-023-03762-4. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03762-4>
- Tellman, B., Eakin, H., Janssen, M. A., de Alba, F., y Turner li, B. L. (2021). The role of institutional entrepreneurs and informal land transactions in Mexico City's urban expansion. *World Development*, 140, 105374. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105374>
- Temesgen, F., Warkineh, B., y Hailemichael, A. (2022). Seasonal land use/land cover change and the drivers in Kafta Sheraro national park, Tigray, Ethiopia. *Heliyon*, 8(12), e12298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12298>
- Temesgen, H., Wu, W., Legesse, A., Yirsaw, E., y Bekele, B. (2018). Landscape-based upstream-downstream prevalence of land-use/cover change drivers in southeastern rift escarpment of Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3), 166. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6479-8>
- Teshome, D. S., Taddese, H., Tolessa, T., Kidane, M., y You, S. (2022). Drivers and Implications of Land Cover Dynamics in Muger Sub-Basin, Abay Basin, Ethiopia. 14(18), 11241. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su141811241>
- Tian, L. (2015). Land use dynamics driven by rural industrialization and land finance in the peri-urban areas of China: "The examples of Jiangyin and Shunde". *Land Use Policy*, 45, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.006>
- Tommasi, N., Biella, P., Guzzetti, L., Lasway, J. V., Njovu, H. K., Tapparo, A., . . . Galimberti, A. (2021). Impact of land use intensification and local features on plants and pollinators in Sub-Saharan smallholder farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107560. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107560>
- Tuffour, M., Derrick, Antwi-Agyei, P., y Addo-Fordjour, P. (2020). Trends and drivers of land cover changes in a tropical urban forest in Ghana. *Trees, Forests and People*, 2, 100040. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100040>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., y Verburg, P. H. (2021). From land-use/land-cover to land system science. *Ambio*, 50(7), 1291-1294. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01510-4>
- Turner, B. L., Meyer, W. B., y Skole, D. L. (1994). Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. . *Ambio. Stockholm*, 23(1), 91-95.
- Uisso, A. M., y Tanrıvermiş, H. (2021). Driving factors and assessment of changes in the use of arable land in Tanzania. *Land Use Policy*, 104, 105359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105359>
- VanderWilde, C. P., Newell, J. P., Gounaridis, D., y Goldstein, B. P. (2023). Deforestation, certification, and transnational palm oil supply chains: Linking Guatemala to global consumer markets. *Journal of Environmental Management*, 344, 118505. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118505>
- Vasárus, G. L., y Lennert, J. (2022). Suburbanization within City Limits in Hungary—A Challenge for Environmental and Social Sustainability. *Sustainability*, 14(14).

- Vidal, Z. R. (2010). Clima. In I. d. Geografía-UNAM (Ed.), *Atlas de la cuenca del lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y su entorno socioambiental* (<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/132/125/463-1> pp. 311). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Villafán, V. K., Arellanes, C. Y., López, P. R., y Ayala, O. D. (2021). Situación socioambiental en el lago de Cuitzeo, Michoacán (México), desde la responsabilidad social. *Economía, Sociedad y Territorio*, xxi (66), 599-629. <https://doi.org/https://doi.org/10.22136/est20211694>
- Waleed, M., Sajjad, M., Acheampong, A. O., y Alam, M. T. (2023). Towards Sustainable and Livable Cities: Leveraging Remote Sensing, Machine Learning, and Geo-Information Modelling to Explore and Predict Thermal Field Variance in Response to Urban Growth. 15(2), 1416. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/1416>
- Wang, H., Liu, Y., Wang, Y., Yao, Y., y Wang, C. (2023). Land cover change in global drylands: A review. *Science of The Total Environment*, 863, 160943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160943>
- Wang, H., Wang, W. J., Wang, L., Ma, S., Liu, Z., Zhang, W., . . . Jiang, M. (2022). Impacts of Future Climate and Land Use/Cover Changes on Water-Related Ecosystem Services in Changbai Mountains, Northeast China [Original Research]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.854497>
- Waśniewski, A., Hościło, A., y Aune-Lundberg, L. (2023). The impact of selection of reference samples and DEM on the accuracy of land cover classification based on Sentinel-2 data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101035. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101035>
- Xian, X., Zhao, H., Wang, R., Huang, H., Chen, B., Zhang, G., . . . Wan, F. (2023). Climate change has increased the global threats posed by three ragweeds (*Ambrosia* L.) in the Anthropocene. *Science of The Total Environment*, 859, 160252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160252>
- Yang, J., Liu, C., y Liu, K. (2023). Land marketization and industrial restructuring in China. *Land Use Policy*, 131, 106737. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106737>
- Zubicaray, G. D., Moreno, M. B., y Brito, L. R. R. (2021). *Las ciudades mexicanas: tendencias de expansión y sus impactos*. DC. Disponible en: <https://urbantransitions.global/publications/>.