Cambios de uso del suelo en la región sur del Estado de México. *Aptitud agrícola y transición hacia una agricultura sustentable.*

Tomo 4

Colección: Procesos socioambientales y transformación del paisaje en México

Tomo 4

Ernesto Medrano Aramís | Irma Eugenia García López
María del Carmen Magallanes Méndez | José Isabel Juan Pérez

Cambios de uso del suelo en la región sur del Estado de México. Aptitud agrícola y transición hacia una agricultura sustentable
Tomo 4

Ernesto Medrano Aramís
Irma Eugenia García López
María del Carmen Magallanes Méndez
José Isabel Juan Pérez

Colección:
Procesos socioambientales y transformación del paisaje en México

2025

Sociedad Hijos de Calimaya, A.C.
Registro Federal de las Organizaciones de la Sociedad Civil. Clave Única de Inscripción (CLUNI): HCA1305271501E
CONAHCYT-Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas: 1900693

José Isabel Juan Pérez
Imagen de portada

José Trinidad Solares Hernández
Diseño de portada y contra portada

Juan Fernando Becerril Hernández
Corrección de estilo

Armando Arriaga Rivera
Diseño, producción editorial y formación

D.R. © Sociedad Hijos de Calimaya A. C., Calimaya de Díaz González, Calimaya, Estado de México.
Primera edición: agosto de 2025
ISBN: 978-607-98906-1-2 (Colección digital)
ISBN: 978-607-26949-1-0 (Tomo 4 digital)

Colección: Procesos socioambientales y transformación del paisaje en México
Cambios de uso del suelo en la región sur del Estado de México.
Aptitud agrícola y transición hacia una agricultura sustentable. Tomo 4
Ernesto Medrano Aramís
Irma Eugenia García López
María del Carmen Magallanes Méndez
José Isabel Juan Pérez

Las opiniones y puntos de vista expresados en la presente obra son responsabilidad única y exclusiva de los autores y no necesariamente representan las opiniones o posiciones de la editorial, y las de sus integrantes.

Esta obra ha sido evaluada por pares académicos ciegos. Esta publicación no podrá ser reproducida total o parcialmente, incluyendo el diseño de portada; tampoco podrá ser trasmitida ni utilizada de ninguna manera por algún medio, ya sea electrónico, mecánico, electromecánico o de otro tipo sin autorización por escrito de los autores o editores.

Impreso y hecho en México.

Contenido

Agradecimientos 7

Introducción 9

Capítulo 1. Relación: Transformación de uso del suelo y agricultura. Una aproximación teórica 15

1.1 La geografía como perspectiva de estudio 15
1.1.2 La geografía ambiental 17
1.2 Cambio de cobertura y uso del suelo 18
1.2.1 Cobertura y uso del suelo 18
1.2.2 Cambios de cobertura y uso del suelo 19
1.2.3 Factores de cambio 21
1.2.4 Determinantes sobre los cambios de uso del suelo 21
1.2.5 Perspectivas espaciales nacionales y regionales 22
1.2.6 Relevancia de los estudios de cambio de uso del suelo 24
1.2.7 Cambios de uso del suelo en el contexto agrícola 25
1.2.8 Factores de cambio de uso del suelo y problemática ambiental 27
1.3 Contexto Histórico 29
1.3.1 Revolución verde 29
1.3.2 Agricultura sustentable 31
1.3.3 Sistema Agrícola 34

Capítulo 2. Caracterización física de la región sur del Estado de México 37

2.1 Ubicación de la región sur del Estado de México 37
2.2 Municipios de la región sur del Estado de México 38
2.3 Subprovincias Fisiográficas 39
2.4 Condiciones climáticas 39
2.5 Condiciones geomorfológicas 43
2.6 Altimetría 45
2.7 Características edafológicas 45

Capítulo 3. Cambio de cobertura y uso del suelo: relación con la agricultura 49

3.1 Consideraciones metodológicas 49
3.2 Metodología aplicada en la región sur del Estado de México 50
3.3 Resultados del análisis 54

3.3.1 Cambios de uso del suelo y vegetación: período general (2005-2021) 54
3.3.1.1 Pérdidas, ganancias y cambio neto 55
3.3.1.2 Cambios entre clases 58
3.3.2 Cambios de uso del suelo y vegetación: primer período (2005-2013) 58
3.3.2.1 Pérdidas, ganancias y cambio neto 61
3.3.2.2 Cambios entre clases 62
3.3.2.3 Análisis de la agricultura 62
3.3.3 Cambios de uso del suelo y vegetación: segundo período (2013-2021) 70
3.3.3.1 Pérdidas, ganancias y cambio neto 70
3.3.3.2 Cambios entre clases 72
3.3.3.3 Análisis de la agricultura 73

Capítulo 4. Dinámica de la producción agrícola en la región sur del Estado de México 81

4.1 Relevancia de la actividad agrícola 81
4.2 Panorama general de la producción agrícola de alimentos y floricultura, 2023 82
4.3 Producción agrícola de alimentos: 2005, 2013 y 2021 86
4.4 Producción de maíz, frijol y aguacate: 2005, 2013 y 2025 90
4.4.1 Producción agrícola del maíz grano 92
4.4.2 Producción agrícola del frijol 97
4.4.3 Producción agrícola del aguacate 100
4.5 Relación: superficie agrícola sembrada y cambios de uso del suelo y vegetación 106

Capítulo 5. Aptitud agrícola de la región sur del Estado de México 111

5.1 Análisis Estructural 111
5.1.1 Desarrollo Metodológico 115
5.1.1.1 Listado de Variables 115
5.1.1.2 Descripción de las relaciones entre variables 116
5.1.1.3 Identificación de variables 117
5.2 Evaluación Multicriterio 120
5.2.1 Componentes de la Evaluación Multicriterio 121
5.2.2 Desarrollo de la Evaluación Multicriterio 125
5.2.2.1 Objetivos y criterios 125
5.2.2.2 Reglas de decisión 127
5.2.2.3 Evaluación 134
5.2.3 Resultados de la Evaluación Multicriterio 135
5.2.3.1 Aptitud agrícola en la región sur del Estado de México 135
5.2.3.2 Aptitud agrícola para cultivo de maíz en la región sur del Estado de México 137

5.2.3.3 Aptitud agrícola para el cultivo frijol en la región sur del Estado de México 140
5.2.3.4 Aptitud agrícola para aguacate en la región sur del Estado de México 142

Capítulo 6. Gestión de uso del suelo agrícola y recuperación de espacios 145

6.1 Cambios de uso del suelo con vocación agrícola 145
6.2 Propuesta: mitigación de cambios y recuperación de suelos 146
6.3 Fundamentos metodológicos: superposición 148
6.4 Resultados de la superposición 148
6.5 Recuperación de suelos con vocación agrícola 149
6.5.1 Degradación del suelo en la región sur del Estado de México 150
6.5.2 Recuperación de suelos en la región sur del Estado de México 153

Capítulo 7. Transición hacia sistemas agrícolas sustentables 159

7.1 Enfoque de la agricultura sustentable 159
7.1.1 Sistemas agrícolas 160
7.1.2 Agroecología 161
7.2 Establecimiento y manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región sur del Estado de México 162
7.2.1 Estrategias para la diversificación de cultivos 163
7.2.2 Estrategias para la fertilidad del suelo 167
7.2.3 Aprovechamiento y reutilización de nutrientes en agroecosistemas 168
7.2.4 Manejo de plagas y enfermedades 170
7.2.5 Aspectos esenciales para transitar a sistemas agrícolas sustentables 172

Reflexiones finales 177

Bibliografía 181

Agradecimientos

La integración de este libro es posible gracias al apoyo de diversas instituciones y personas a las que expreso mi más sincero agradecimiento.

Externo mi gratitud al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología del Estado de México por conceder el apoyo económico y brindarme la oportunidad de participar en el Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT, 2024 en la modalidad estancia de investigación. La estancia referida permitió realizar el proyecto de investigación titulado "Procesos de cambio de uso del suelo y su impacto en la agricultura y alimentación: región sur del Estado de México, el cual fue relevante para obtener información e integrar este libro.

Agradezco al Centro de Investigación Multidisciplinaria en Educación (CIME) de la Universidad Autónoma del Estado de México, por aceptar la realización de la estancia de investigación y ofrecer un espacio y equipo para el desarrollo de las actividades. En particular, hago patente mi agradecimiento a la doctora en Ciencias Sociales Ana María Reyes Fabela, Coordinadora del CIME, por su apoyo, atenciones y facilidades brindadas.

Manifiesto mi reconocimiento al doctor en antropología social, José Isabel Juan Pérez (coautor), por el asesoramiento en las actividades de gabinete y de campo, así mismo, por la revisión de la información teórica y metodológica de cada una de las etapas de la investigación que favorecieron la conformación de los capítulos de este libro.

A la doctora Irma Eugenia García López y doctora María del Carmen Magallanes Méndez (coautoras), reconozco y valoro profundamente el apoyo por las sugerencias en la secuencia teórica y metodológica para la integración de los temas, lo cual favoreció la calidad científica en cada uno de los capítulos.

Reconozco con aprecio al grupo de consultores y asesores del Colegio de Ciencias Geográficas del Estado de México, A. C. por las facilidades otorgadas en la realización de actividades de trabajo de campo y el apoyo para complementar la publicación de este libro.

Ernesto Medrano Aramís

Introducción

En las últimas décadas, el cambio de uso del suelo y vegetación ha sido uno de los fenómenos espaciales más relevantes en la investigación ambiental, debido a que estos procesos generan transformaciones que comprometen la estabilidad y conservación ecológica, conllevando a una continua degradación, siendo una de las causas principales las actividades humanas no sustentables, impulsadas por diversos factores, pero con un mismo propósito, satisfacer las necesidades de la población mundial, esto mediante el uso de bienes y servicios que provee la naturaleza. Eventualmente los procesos de transformación de uso de suelo y vegetación son precedidos por múltiples interacciones antrópicas que interactúan entre sí y suelen configurar el espacio, por ejemplo, las actividades socioeconómicas, las decisiones políticas y las transformaciones del ambiente.

Desde épocas antiguas la agricultura ha constituido una de las actividades humanas indispensables para la subsistencia de las personas, la cual ha tomado mayor relevancia con el paso del tiempo, debido a las exigencias de la población mundial que demanda mayor disponibilidad de productos agroalimentarios debido al acelerado crecimiento demográfico y por consiguiente, esta situación ha requerido la expansión de esta actividad sobre grandes superficies, originando mecanismos de conversión de uso y cobertura del suelo, eliminando la vegetación nativa para dar apertura al establecimiento de tierras agrícolas (Lanz *et al.*, 2018). Las modificaciones originadas por el continuo incremento de superficies cultivadas han provocado impactos en diversos ámbitos, posicionando al ambiente como el más afectado, pues se han evidenciado varios problemas, como la disminución y pérdida de la biodiversidad, degradación del suelo y contaminación que incide en el calentamiento global (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015a).

La agricultura como principal fuente de producción de alimentos en el mundo ha tenido que establecer iniciativas para mejorar su productividad, ya que debe responder a la creciente demanda alimentaria de la población y para cumplir este propósito han existido modelos agrícolas destinados a plantear soluciones eficientes a los requerimientos alimenticios de la población. En el contexto de México, un modelo con reconocimiento relevante fue la Revolución Verde, mismo que condujo a una transformación en las prácticas y modos agrícolas convencionales, estableciendo innovaciones técnicas al incorporar el denominado paquete tecnológico compuesto de semillas mejoradas

y el uso de agroquímicos, desde luego, su implementación generó múltiples beneficios vinculados con la obtención de mayor producción, mejorando el rendimiento y resistencia de los cultivos, consiguiendo reducir la hambruna y la malnutrición de la población. La visión productiva de este modelo no consideró las implicaciones futuras que podría traer consigo, pues se priorizó la producción, mientras que el cuidado ambiental paso a segundo plano, provocando que los suelos fueran explotados, deteriorados y disminuyeran su fertilidad (Chilón, 2017).

Ante los impactos y consecuencias generadas por la Revolución Verde, fue necesario trascender hacia un nuevo modelo agrícola con el propósito de atender el consumo alimentario básico para la población, donde el cuidado y preservación de los elementos ambientales fuera el eje central. Con base en estos argumentos surgió la agricultura sustentable, como una opción viable para atender y mejorar las condiciones ecológicas que provocó el modelo productivo anterior (de Gortari, 2020). En este sentido, la agricultura sustentable, se instituyó como una perspectiva integral que busca mejorar la productividad agrícola y hacer que ésta sea sostenible a largo plazo, priorizando una relación de respeto ambiental, ya que se fundamenta en prácticas ecológicas y la cultura local de la población, favoreciendo el mejoramiento del manejo de los cultivos y garantizando al mismo tiempo, su producción actual y futura (Gerritsen *et al.*, 2012).

Considerando como referencia lo expuesto en párrafos anteriores y ante la urgencia de la situación vinculada con la seguridad y soberanía alimentarias en el territorio mexicano, se realizó el proyecto de investigación titulado "Procesos de cambio de uso del suelo y su impacto en la agricultura y alimentación: región sur del Estado de México", desarrollado entre agosto de 2024 y julio de 2025. Esta investigación se realizó en el marco del programa Investigadoras e Investigadores del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) del Estado de México, promoción 2024, teniendo como objetivo principal analizar las dinámicas de transformación ocurridas en los usos del suelo y la vegetación en la región sur del Estado de México (RSEM), delimitada por la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, que comprende jurisdicciones completas y parciales de 26 municipios, cuyo propósito final fue comprender los impactos que la actividad agrícola ha generado en la dinámica de transformación del uso del suelo y la vegetación natural, así como en su evolución productiva, reconociendo los retos que enfrenta actualmente este territorio del sur del Estado de México.

Durante la investigación se realizaron múltiples actividades de gabinete y de campo, analizando su vinculación directa con la actividad agrícola, identificando las zonas más adecuadas para ésta, por supuesto, desde una dimensión ambientalmente responsable, la cual fue complementada con la propuesta de acciones estratégicas orientadas al mejoramiento de los sistemas

agrícolas, desde un enfoque agroecológico y en concordancia con los principios de la agricultura sustentable. La información utilizada en este proyecto se obtuvo de varias fuentes, principalmente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la cual fue procesada mediante softwares especializados en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El contenido de este libro representa un referente metodológico y estadístico para las dependencias gubernamentales, instituciones universitarias y productores agrícolas para conocer la situación ambiental y agrícola de la RSEM, al presentar evidencias sobre la evolución espacial y temporal de los procesos de cambio de uso del suelo, proponiendo zonas prioritarias para la conservación y restauración agrícola. La secuencia metodológica aplicada en la investigación, en especial las técnicas, métodos y herramientas pueden ser adaptadas en otros entornos del territorio mexicano para proseguir en estudios de transformación del paisaje. La información representa un eje rector para la toma de decisiones y apoyo a las políticas agrícolas en la RSEM, toda vez que, puede coadyuvar a orientar la planificación de los sistemas agrícolas hacia un modelo sostenible y resiliente en consonancia con la agroecología, contribuyendo a la sustentabilidad ambiental y la seguridad alimentaria de la región.

El libro se encuentra estructurado por siete capítulos relacionados y complementarios entre sí, donde cada uno de éstos corresponde a una parte sustancial del análisis y estudio a través del seguimiento teórico y metodológico que sustentó la investigación. Los resultados obtenidos son acompañados por cuadros, gráficas y cartografía para una mejor interpretación y comprensión de la información expuesta. Con base en el análisis de los resultados fue posible presentar un panorama general con perspectiva integral que permitió conocer la peculiaridad de la dinámica agrícola en la región sur del Estado de México.

El capítulo uno, denominado "Relación: Transformación de uso del suelo y agricultura. Una aproximación teórica" contiene algunas consideraciones teóricas que sustentan la investigación, donde se parte de la visión geográfica como disciplina científica que permite abordar de manera integral la complejidad de los hechos, fenómenos y procesos que ocurren en el espacio, centrando su atención en la interacción hombre-naturaleza desde una dimensión ambiental. Se comparte una perspectiva acerca de los procesos de transformación del uso del suelo y la vegetación, abordando conceptos, causas, factores y escalas de análisis. En este capítulo también se contextualiza la importancia de los estudios bajo el contexto agrícola, exponiendo sus principales problemáticas. Finalmente se presenta una visión histórica donde se expone la evolución de los modelos agrícolas en el territorio mexicano, iniciando con la Re-

volución Verde hasta la visión sustentable, misma que ha cobrado relevancia en las últimas décadas.

El capítulo dos titulado "Caracterización física de la región sur del Estado de México" presenta la contextualización y descripción de la zona de estudio, es decir, se presenta un esbozo de los componentes fisiográficos más relevantes de los municipios que conforman la porción del territorio sur de la entidad, exclusivamente en el contexto de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur. Se incluye la ubicación geográfica, la delimitación territorial, colindancias y una descripción general de los elementos físicos más relevantes.

El análisis de las modificaciones en el uso del suelo y la vegetación se presenta en el capítulo tres, cuyo título es "Cambio de cobertura y uso del suelo: relación con la agricultura". Aquí se identifican las transformaciones paisajísticas que han tenido lugar en la región, destacando especialmente aquellas modificaciones vinculadas con la actividad agrícola, lo cual permitió observar la evolución histórica de transición que ha estado asociada con esta actividad, en particular, las modificaciones positivas y negativas que han ocurrido en las dimensiones temporal y espacial. El análisis comprendió del año 2005 al año 2021, dividiéndose en tres períodos: a) primer período de 2005 a 2013, b) segundo período de 2013 a 2021 y, c) tercer período que corresponde a un análisis general de 2005 a 2021. Este análisis temporal permitió observar de forma específica las configuraciones superficiales que se han suscitado en ese territorio y comprender la dinámica de los procesos de sustitución de coberturas y usos del suelo.

El cuarto capítulo "Dinámica de la producción agrícola en la región sur del Estado de México" está estrechamente relacionado con el capítulo anterior, ya que constituye un estudio regional sobre la producción agrícola. Se incluyen tres rubros relacionados con la superficie sembrada, el volumen de producción y el valor de producción, los cuales son analizados en cuatro momentos: año 2005, año 2013, año 2021 y año 2023. En el capítulo se exponen datos relacionados con los cultivos destinados a la producción de alimentos (maíz y frijol) y de un cultivo con fines comerciales (aguacate).

El capítulo quinto "Aptitud agrícola de la región sur del Estado de México" incorpora vínculos directos con la información de los capítulos anteriores, ya que presenta un estudio en el que se determina la aptitud agrícola de ese territorio, fundamentado bajo la utilización de dos metodologías complementarias. La primera consiste en un análisis estructural, cuyo propósito fue identificar las variables más relevantes que deben ser consideradas en el desarrollo consecuente, respaldando que su elección no fue arbitraria, ni basada en la subjetividad. Posteriormente, se realizó la evaluación multicriterio (EMC), mediante la integración de las variables identificadas en el análisis estructural, la cual permitió localizar las zonas que presentan las condiciones

más aptas para la actividad agrícola en general y de manera particular para los cultivos de maíz, frijol y aguacate.

El capítulo sexto "Gestión de uso del suelo agrícola y recuperación de espacios" está incluida una propuesta para determinar áreas estratégicas que contribuyan a disminuir los cambios de usos del suelo relacionados con la expansión agrícola, al mismo tiempo, se identifican zonas prioritarias para la reconversión agrícola. Ambos aspectos son complementarios, ya que, mediante un análisis crítico y metodológico, se reconocieron superficies de uso agrícola que cambiaron a la categoría de vegetación secundaria, consideradas como las más convenientes para zonas potencialmente agrícolas. No obstante, existe evidencia de que alguna de estas superficies ha presentado algún tipo de degradación, por lo que, se proponen acciones estratégicas que contribuyan a su regeneración para el desarrollo agrícola en la RSEM. La iniciativa planteada representa la base de la agricultura sustentable.

El séptimo capítulo "Transición hacia sistemas agrícolas sustentables" comprende la propuesta enfocada a contribuir en la transición para el establecimiento de cultivos orientados hacia la sustentabilidad, esto a través de la integración de estrategias fundamentadas en la agroecología, disciplina que permite atender las problemáticas ambientales y sociales que han sido causadas por la agricultura y plantea alternativas ambientalmente responsables. Mediante este enfoque, se pretende fomentar que los agroecosistemas de la región sur del Estado de México tengan la capacidad de producción sostenible para satisfacer las necesidades alimenticias, contribuyendo de esta forma, al mejoramiento de sus componentes y aportar avances significativos para la seguridad y soberanía alimentarias de las comunidades de este territorio.

Finalmente, se presenta el apartado de reflexiones finales, el cual abarca un análisis crítico desde una perspectiva integral de los resultados obtenidos en el proceso de la investigación. Asimismo, se hace énfasis en los desafíos y oportunidades presentes en la región sur del Estado de México, y que por supuesto, pueden ser atendidos para mejorar la situación agrícola de los municipios que conforman esa porción del territorio mexicano.

Capítulo 1. Relación: transformación de uso del suelo y agricultura. Una aproximación teórica

1.1 La geografía como perspectiva de estudio

La geografía es una ciencia conformada por un amplio campo de estudio, razón por la cual, se estructura por diversas ramas y disciplinas que son determinadas por escuelas de pensamiento, corrientes y perspectivas teóricas que han evolucionado en el tiempo. Sin embargo, en la actualidad sus enfoques han sido condicionados por una fuerte tendencia hacia las innovaciones tecnológicas, y a su vez, se han consolidado nuevos paradigmas de pensamiento y métodos de estudio (González y De León, 2019), así como, de participación-acción. Aché (2010) expresa que la geografía ha experimentado diversos marcos y perspectivas de análisis, no obstante, ha prevalecido un enfoque metodológico constituido por diversas posturas en este campo científico. Éste se estructura de manera integral, considerando elementos naturales, biológicos, sociales y fisicoquímicos, permitiendo comprender el espacio geográfico y sus complejidades.

La geografía al ser concebida como ciencia es instituida por diversos abordajes y temáticas que refuerzan su estudio, prestando un interés particular en las problemáticas y procesos actuales del mundo. Para lograr esto, se realiza la combinación de múltiples disciplinas de conocimiento, especialmente de las áreas sociales y culturales. Esto conforma un enfoque robusto y complementario, sirviendo como base para la cimentación de nuevas formas de interpretar, comprender y analizar el espacio (Cuadra, 2013) y por supuesto, en la aplicación para la solución de problemas ambientales y sociales.

Ante las consideraciones anteriores, se puede definir a la geografía como la ciencia que se encarga del estudio de hechos y fenómenos de carácter físico, biológico y humano, que acontecen sobre la superficie terrestre, comprendiendo su origen y vinculación con otros procesos que configuran las dinámicas físicas y humanas (socioculturales) que ocurren en la Tierra. De este modo, el estudio de los hechos y fenómenos se fundamentan mediante la aplicación de los principios geográficos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], s.f).

Los principios geográficos instituyen la guía fundamental que orienta al estudio geográfico. Diversos autores difieren en la cantidad de principios, pero no es su finalidad. De acuerdo con Emmanuel de Martonne, éstos son: la localización, la extensión, la relación, la generalidad y la evolución. Además, estos elementos que forjan la investigación geográfica se vinculan entre sí y tienen conexión directa con el concepto de espacio geográfico, entendido como el medio físico donde existe la interacción humano-naturaleza (Rodríguez, 2010). De modo que, la geografía estudia el espacio geográfico a partir de las conexiones que ocurren entre la actividad humana y los aspectos naturales. Es aquí donde surge el interés por los problemas asociados con la población y su relación con fenómenos naturales (Bassols, 1980, como se citó en Juan, 2021).

Vargas (2012) expone que las perspectivas geográficas donde se analiza el espacio geográfico se constituyen por dos principales elementos, el medio físico y la sociedad. Estos elementos al ser estudiados de manera conjunta e interrelacionada son relevantes, ya que consolidan una postura reflexiva donde se indagan las transformaciones que provoca la sociedad a la naturaleza. El autor enfatiza que el elemento social, es dinámico en el espacio, generando relaciones y estructuras espaciales que se han convertido en el objeto de estudio de la geografía.

Asimismo, el espacio geográfico se concibe como la unidad de análisis para el estudio de las relaciones sociales y su dinámica con las condiciones ambientales, es decir, es la unidad de análisis de la geografía. En este sentido, la geografía como ciencia complementaria ofrece un enfoque transcendental, al reconocer en conjunto e interacción la dimensión social y el factor ambiental, ya que desde sus inicios ha prestado atención al estudio de los componentes del ambiente. Situación que hace destacar a la geografía en contraste con otras ciencias, gracias a su enfoque ambiental tradicionista (Juan, 2021).

Bocco y Urquijo (2013) exponen que la geografía tiene que reconsiderar sus objetivos y contenidos de estudio, centrando éstos en los conflictos espaciales actuales, así como sus repercusiones a nivel local, regional y nacional. Ejemplos de algunos de estos conflictos son: riesgos, impactos, vulnerabilidad, distribución territorial y su planificación, uso del suelo y coberturas, manejo de recursos, entre otros. Este reconocimiento contribuye a la tendencia de que la ciencia geográfica, determine como uno de sus ejes centrales a la cuestión ambiental, estableciendo así la denominada geografía ambiental, afirmando que ésta ha adquirido una alta importancia, a causa de múltiples estudios ambientales que evidencian su relevancia.

La geografía ambiental establece uno de los campos geográficos más relevantes dentro de las ciencias ambientales, a consecuencia de reforzar una disciplina científica, en la que se integran fenómenos físicos, su relación con el ser humano (la sociedad) y su entorno. En este marco, los estudios que analizan

las transformaciones en el uso del suelo comprenden uno de los principales enfoques de este campo, al plantear las repercusiones causadas en los ecosistemas a partir de las actividades humanas -no sustentables- que desencadenan dichas modificaciones (Bocco y Urquijo, 2010).

1.1.2 La geografía ambiental

Para comprender a la geografía ambiental, primero se debe de comprender su objeto de análisis, siendo éste el ambiente, el cual es considerado como el conjunto de interacciones entre el medio natural y el medio social (Aguilar y Contreras, 2009). En este sentido, el ambiente se refiere a la naturaleza que ha sido transformada por la actividad humana, resultado de múltiples procesos e intercambios (Bocco y Urquijo, 2010, 2013). En una visión más amplia, se reconoce a la geografía ambiental como la interacción compleja creada entre la sociedad y el entorno natural, donde se llevan a cabo procesos con efectos recíprocos que deben ser atendidos para su adaptabilidad o eliminación, con el objetivo de dar lugar al desarrollo social y económico de manera sustentable a largo plazo (Reboratí, 2011).

Considerando lo referido anteriormente, la geografía como ciencia al emplear sus principios al estudio del ambiente, establece el desarrollo de la geografía ambiental, considerada como un campo de conocimiento, el cual se sustenta en los principios teóricos para el análisis de la relación hombre-naturaleza, identificando sus componentes, comprendiendo su evolución y detectando sus negatividades (Bocco y Urquijo, 2010). El estudio de la relación sociedad-naturaleza es el principal objeto de estudio de la geografía ambiental.

La geografía ambiental, plantea la preservación del medio natural a través de la minimización de las causas que provocan su degradación. Para esto, busca realizar ajustes en los sectores políticos, económicos y jurídicos. Esta postura de cuidado ambiental parte de la reflexión y concientización de las problemáticas que inciden en los componentes del ambiente. Bajo este enfoque, la geografía ambiental en integración con otras disciplinas científicas incorpora un marco científico de investigación, el cual busca solucionar los desequilibrios ambientales (Cuadra, 2014).

El planteamiento de la geografía ambiental, consolida métodos y técnicas -incluye las herramientas- que permiten dar respuesta a la complejidad de las problemáticas ambientales. Así, constituye un enfoque transdisciplinario que posibilita el estudio de la dinámica ambiental, comprendiendo su evolución, detectando asociaciones entre la sociedad y el espacio natural antropizado. En cuanto al estudio de estas asociaciones, se pone en manifiesto la importancia de identificar el cambio ambiental a través de evidencias en los ámbitos espacial y territorial. Entre los más relevantes, sobresale el impacto producido por

las conversiones en los usos del suelo y sus implicaciones en la degradación del medio natural (Aguilar y Contreras, 2009).

Reforzando la postura anterior, Juan (2021) sostiene que, en la actualidad, la geografía ambiental es una disciplina clave para estudios e investigaciones, que buscan comprender las causas y consecuencias de las problemáticas ambientales en interacción con las sociedades. Esto a partir de su enfoque dual entre el ambiente y la sociedad, lo que facilita abordar distintas situaciones contemporáneas como es el caso de los procesos de modificación de uso del suelo y su incidencia en la transformación del paisaje y el bienestar social.

Bajo las consideraciones expuestas en los párrafos anteriores, la geografía ambiental representa una disciplina teórica y metodológica que hace posible el estudio de la dinámica y evolución del espacio natural ante la interacción humana. Razón por la cual se determinó como base esencial de la investigación realizada en la región sur del Estado de México, debido a que permite una visión complementaria de los procesos evolutivos de uso del suelo, al identificar la modificación física del medio natural en vinculación con la intervención humana, asimilando sus repercusiones y vislumbrando soluciones.

1.2 Cambio de cobertura y uso del suelo

1.2.1 Cobertura y uso del suelo

El concepto de uso del suelo se establece con base en las decisiones y prácticas que son desarrolladas por la actividad humana en una porción territorial específica, estableciendo así su determinación de uso. Esto se diferencia de la cobertura del suelo, que se refiere a la descripción y caracterización de los elementos superficiales que se encuentran en este, principalmente nativos de la zona. Ambos términos son fundamentales para la representación cartográfica y estudios ambientales, ya que permiten combinar los usos y las coberturas del suelo. Desde luego, se debe diferenciar de manera clara y precisa sus características y distinciones evitando confusiones (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2020).

Respecto al uso del suelo y cobertura, Juan (2021) señala que de forma regular ocurre ambigüedad al diferenciar estos términos, situación debida al implemento obviado entre éstos. En este entorno conceptual, describe que el uso del suelo está directamente asociado a las actividades humanas que se realizan en la superficie del suelo, en contraparte, la cobertura se refiere al estrato terrestre y capa vegetal que está presente en la superficie del suelo, y está intrínsecamente relacionado con las características vegetativas.

Meyer y Torner (1992) indican que el uso del suelo está determinado por las actividades antrópicas que se desarrollan en el entorno físico. En este contexto, la actividad humana induce alteraciones directas en la estructura natu-

ral del medio ambiente, sustituyendo la cobertura original por un uso específico. De esta forma, el aprovechamiento de los recursos se convierte en una parte esencial para su transformación. Por otra parte, la cobertura del suelo se encuentra relacionada con las condiciones físicas y biológicas autóctonas (naturales) que se encuentran en la superficie, donde la presencia humana es particularmente nula.

Lambin y Geist (2008) especifican que el uso del suelo alude a los propósitos que son establecidos para llevar a cabo diversas actividades de carácter social sobre la superficie terrestre. Mientras que, la cobertura es determinada por las capas superficiales y el subsuelo inmediato, así como los materiales y la vegetación natural. De igual manera, los autores enfatizan que ambos términos son de considerable relevancia en los estudios ambientales, debido a su conexión y aplicabilidad en investigaciones sobre uso y cobertura del suelo, es decir, entre ambos conceptos existen interacciones relevantes.

En términos simples, el uso del suelo se encuentra vinculado a las actividades antrópicas que son efectuadas sobre una superficie que, en la mayoría de los casos, no ha sido perturbada y está compuesta esencialmente por vegetación. No obstante, en situaciones específicas, ocurren eventos que transforman esta superficie natural, siendo el factor principal las actividades humanas que son desarrolladas sobre ésta. Además, la cobertura se encuentra relacionada con toda la vegetación natural que se desarrolla en un espacio determinado, la cual es ajena a la perturbación humana (Lambin *et al.* 2003).

Con base en la amplia diversidad de aspectos relacionados con el uso del suelo y la cobertura, y por supuesto, tratando de comprenderlos desde una perspectiva general, el uso del suelo es resultado de la presencia -influencia- de la sociedad que incide de forma directa e indirecta sobre las coberturas nativas de un terreno y las condiciona para un aprovechamiento en específico, constituyendo así el proceso denominado cambio de uso del suelo.

1.2.2 Cambios de cobertura y uso del suelo

El proceso de cambio en el uso del suelo surge de las modificaciones que ocurren en el terreno (espacio geográfico), lo cual implica la presencia de un uso diferente al anterior, incluyendo áreas preservadas con presencia de una vegetación nativa densa, donde la erradicación de ésta puede ser en partes o de manera completa en la superficie contemplada (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2008).

Linares *et al*. (2022) señalan que las modificaciones en las coberturas y usos del suelo son el resultado de una amplia variedad de procesos dinámicos, influenciados por determinantes que se encuentran relacionadas con su uso y por diversos factores provenientes de distintos niveles de escala. Las condiciones naturales presentes en el espacio geográfico incentivan la presencia de

la sociedad, desencadenando procesos de antropización en estas zonas con la finalidad de satisfacer las necesidades sociales.

Juan (2021) argumenta que la sustitución de la vegetación nativa influye en la conversión de uso del suelo, lo que, a su vez, conlleva a un uso diferente al que predominaba anteriormente. En este sentido, menciona que algunos de los impulsores que favorecen la modificación de uso del suelo están asociados con las actividades agrícolas, la expansión de los asentamientos humanos y la amplia diversidad de actividades del sector industrial y comercial. Estas transformaciones de la vegetación natural son una de las principales causas del impulso de problemáticas ambientales en la actualidad.

Múltiples dimensiones y percepciones existen respecto al estudio de la dinámica en la ocupación del suelo, al respecto, Pineda *et al.* (2013) expresa que la modificación de uso del suelo se origina por la conjunción de varios procesos que transforman la composición física del suelo y están directamente condicionados a la actividad humana. De esta manera, el cambio de uso del suelo es un proceso asociado en gran medida a perturbaciones humanas, en especial para atender las demandas en el ámbito social y económico.

En un análisis y compresión más detallada, referida puntualmente hacia el cambio en las coberturas del suelo, es posible determinar dos posturas. La primera, se refiere a la conversión, donde realiza la transformación parcial o completa de un tipo de cobertura hacia otro tipo diferente o para un uso en particular. De este modo, se asigna una nueva clasificación a la zona, resaltando que, es más fácil evaluar partiendo de cartografía elaborada y recopilación de información en campo. La segunda, corresponde a la modificación de cobertura, que aborda intervenciones menos significativas en la cobertura, sin alterar completamente su composición, por lo que, no implica una reclasificación. En este sentido, el estudio de las modificaciones requiere de un análisis más profundo para ser detectado. Por lo tanto, las evaluaciones de cambio en la cobertura del suelo aluden a las conversiones, incentivadas por la necesidad de establecer un uso del suelo en específico, escenario que conlleva a sustituciones en el uso del suelo (Lambin *et al.*, 2003; Lambin y Geist, 2008).

En los estudios y evaluaciones de cambio de uso de suelo y cobertura intervienen diversos procesos y factores, que interactúan entre sí, es decir, son complementarios. Giri (2012) enuncia que los procesos de conversión son más viables para evaluar, mientras que la modificación, requiere de información más específica. En este sentido, los procesos de conversión son los más convenientes para poder identificar las transformaciones que han tenido lugar sobre las coberturas terrestres. Sumado a esto, el autor enuncia que las alteraciones en el uso del suelo y coberturas son procesos desencadenados por la acción humana.

1.2.3 Factores de cambio

El estudio de los procesos de conversión de uso del suelo requiere una amplia labor que involucra diversidad de perspectivas y enfoques de análisis, conformando así un abordaje integral (holístico) (Juan, 2021), donde es necesario reconocer la diversidad de factores que interactúan y provocan transformaciones en los usos del suelo. Estos factores, son definidos como impulsores determinantes o fuerzas impulsoras, sin embargo, su conceptualización es variada dependiendo de la percepción del autor, las condiciones de la región o el enfoque aplicado.

Briassoulis (2020) establece dos categorías para distinguir a los factores impulsores de cambio: a) factores biofísicos y b) factores socioeconómicos. Los factores biofísicos, hacen referencia a los elementos del entorno natural que tienen interacción directa con el suelo, algunos de éstos son las condiciones climáticas, los procesos geomorfológicos y la configuración geográfica del paisaje, mismos que no afectan directamente al uso del suelo, pero si influyen en el uso que se les designe. Por otra parte, los factores socioeconómicos, conciernen a los aspectos y dinámicas vinculadas a la población, donde los contextos sociales, las condiciones económicas y las estructuras institucionales son una de las principales intervenciones.

Se ha hecho énfasis, que el implemento de la geografía como disciplina científica permite comprender las relaciones existentes entre los factores y efectos producidos por las transformaciones en el uso del suelo, partiendo del análisis de sus determinantes sociales, económicas y culturales. Además, se ha identificado que algunos de los factores socioeconómicos más relevantes que inciden en estas transformaciones son: la demografía, la economía, la innovación técnica agropecuaria, la política y la cultura (Galicia, *et al*. 2007).

1.2.4 Determinantes sobre los cambios de uso del suelo

El aprovechamiento de los recursos naturales es una de las actividades fundamentales para la satisfacción de las necesidades de la población, pero diversos procesos han causado graves problemáticas en el medio ambiente y los recursos. La intensiva explotación de los recursos ha generado impactos en el ambiente y al mismo tiempo ha provocado alteraciones en los ciclos biogeoquímicos del planeta. En general, las actividades de aprovechamiento se encuentran sujetas a la antropización de los ambientes naturales, donde la sociedad a través de actividades y acciones que le benefician ha provocado transformaciones en las coberturas y usos del suelo (Lambin *et al.*, 1999, como se citó en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003). El aprovechamiento de los recursos naturales se encuentra ligado a la antropización de los ambientes naturales, destacando que la inter-

vención humana ha originado cruciales transformaciones en el ambiente y degradación ambiental.

Se ha evidenciado que el crecimiento demográfico, se sitúa como una de las principales causas que ha inducido la demanda de bienes y servicios, ocasionando grandes repercusiones, en donde destacan las afectaciones hacia las coberturas naturales del suelo y la eliminación de grandes superficies forestales para el incremento de la frontera agrícola y el desarrollo de zonas urbanas (Lambin *et al*. 2001; Pineda y Santana 2019). Asimismo, el continuo avance de los procesos socioeconómicos ha influido en la explotación de los recursos naturales, generando la necesidad de realizar modificaciones en el medio natural a favor de la satisfacción de las necesidades humanas (Guevara y Montalvo, 2015).

1.2.5 Perspectivas espaciales nacionales y regionales

En México la deforestación, ha sido uno de los principales procesos que incentivan la alteración de uso del suelo, debido a que involucran la eliminación de zonas forestales hacia otro tipo de cobertura y en ciertas condiciones se destinan para un uso en específico. De igual manera, la alteración y degradación causada por la perturbación humana, ha originado pérdidas de vegetación nativa en considerables superficies, determinando a la influencia antrópica, como un factor importante en estos cambios en el territorio mexicano (SEMARNAT, 2018).

Según la Comisión Nacional Forestal [CONAFOR] (2022) se estima que, en México, el promedio de deforestación anual es de 208,850 hectáreas. Datos anuales expresan que existen variaciones considerables, ya que, en el año 2019, se detectó una tasa de deforestación de 226,581 hectáreas, la cual manifestó decrementos para los años posteriores, registrando un total de 174,190 hectáreas para el año 2020 y, 167,811 hectáreas para el año 2021. Respecto al año 2021, se identificó que la transformación de bosques a praderas registró un 76 % de la pérdida forestal total, equivalente a 128,552 hectáreas. Además, la conversión de bosque a tierras agrícolas contribuyó con 20 % equivalente a 34,066 hectáreas forestales pérdidas.

De acuerdo con datos históricos, se menciona que en el territorio mexicano cerca de 248 mil hectáreas de vegetación natural fueron reducidas anualmente entre el período comprendido de 2007 a 2011, lo que resultó en una pérdida neta aproximada de 992 mil hectáreas de vegetación natural durante este lapso (SEMARNAT, 2018).

Durante 2001, se identificó que los bosques, los matorrales, los pastizales, la vegetación hidrófila y las selvas fueron las coberturas naturales que experimentaron mayores pérdidas superficiales, situación debida a procesos de modificación de uso del suelo. Respecto a los cultivos y pastizales inducidos, abarcaron cerca de 41 millones de hectáreas equivalentes a 21 % del territorio

mexicano. Con base en estas cifras, expresaron los especialistas que se esperaba que estas áreas registrarán mayores aumentos a futuro, desde luego, datos actuales demuestran que la tendencia fue contraria (Velázquez *et al*., 2002).

Diversos casos de estudio indican que, en México, las tasas de cambio de uso del suelo no han sido regulares, lo cual se manifiesta en datos de evaluaciones realizadas desde un análisis espacial y temporal. Además, se determina que la principal causa de estas diferencias radica en la amplia diversidad geográfica del país, donde influyen sus características físicas, políticas, sociales, culturales entre otras, las cuales condicionan la poca probabilidad de que exista un patrón espacial de modificación en los usos y coberturas (Galicia, *et al*. 2007).

Es evidente que México ha sido afectado por un gran avance en los procesos de conversión a lo largo de su territorio nacional. Esto ha sido resultado del continuo avance de la expansión agrícola, la transformación de praderas y la impasible urbanización, ocasionado un aumento en la degradación y pérdida de ecosistemas. No obstante, se reitera la necesidad de prestar atención a aquellas zonas naturales que no han sido afectadas, ya que se encuentran en un punto crítico entre la transformación y la persistencia (SEMARNAT, 2018).

A escala regional y de modo particular en el territorio del Estado de México, entre la temporalidad 2002-2014, ocurrieron modificaciones en el uso del suelo en 597,237 hectáreas, equivalente al 26.85 % de la superficie total del territorio. Al analizar los patrones de cambio, se observó que la porción sur del estado registró las mayores transformaciones. Se registró que el proceso de urbanización tuvo su crecimiento principalmente a expensas de las superficies agrícolas, determinando que un total de 57,441 hectáreas de cultivos fueron convertidos hacia asentamientos humanos, de igual manera, la contribución de 4,802 hectáreas de pastizales, favorecieron a esta categoría. En cuanto a la superficie destinada a cultivos, se observó una disminución superficial de aproximadamente 73 mil hectáreas en este período de tiempo (Pineda y Santana, 2019). En el territorio del Estado de México se ha identificado que las principales modificaciones en los usos del suelo se sitúan en las categorías de agricultura, bosque mesófilo de montaña, pastizales y asentamientos humanos (Pineda *et al.*, 2009; Pineda y Santana 2019).

Los factores impulsores que inciden de forma directa en los cambios de uso del suelo son los denominados procesos socioeconómicos y en menor dimensión los biofísicos (Briassoulis, 2019). En el contexto de las regiones del Estado de México se ha identificado que esta situación tiene relación directa con las actividades humanas -no sustentables-, debido a que han sido las principales causas en la pérdida de cobertura natural (Pineda y Santana, 2019).

1.2.6 Relevancia de los estudios de cambio de uso del suelo

Los estudios ambientales, precisando investigaciones que abordan la temática de evolución de uso del suelo, permiten comprender las dinámicas y procesos que impulsan e influyen en estas transformaciones. Esto se debe a que, centran sus finalidades o propósitos en identificar las causas que incentivan estas alteraciones y después, analizar sus repercusiones en el medio natural, con especial atención en las afectaciones hacia la biodiversidad (Lambin *et al*. 2001) y la producción de alimentos.

Se específica, que el estudio de la degradación y pérdida ambiental es una labor muy complicada debido a diversos factores que inciden en su evaluación, y por supuesto, considerando que las actividades de la sociedad representan el principal factor que contribuye a estas problemáticas, toda vez que provocan procesos de modificación de uso del suelo. Planteando que este fenómeno, no es un proceso completamente homogéneo, ya que en éste inciden las características físicas, las condiciones socioeconómicas y el ámbito político, mismas que son diferentes en cada espacio de análisis, limitando así su temporalidad y escala de análisis (Galicia, *et al*. 2007). Al respecto, Pineda y Santana (2019) explican que la forma en la que se emplean diferentes escalas espaciales de estudio condiciona la manipulación de los factores impulsores de cambio que se analizan (variables), ya que éstas no son universales a diversos niveles de agregación, es decir, diversos factores no son replicables a distintas zonas geográficas y esto a su vez, está sujeto a emplear un análisis más robusto, apoyado en distintas disciplinas y enfoques teóricos.

En el mismo sentido, Velázquez *et al*. (2002) señalan que el análisis de transformación de uso del suelo se cataloga como una actividad compleja, ya que han existido diversos enfoques y métodos aplicados para su estudio, donde intervienen distintas escalas de análisis y diversas variables de estudio, teniendo presente que la dependencia a las fuentes de datos, la calidad y vigorosidad influyen en los resultados del estudio. Los autores refieren que el implemento de diversos insumos no limita los resultados, sino que contribuye a un estudio más riguroso, destacan que los estudios de modificación de uso del suelo son indispensables para comprender y analizar actividades de gestión ambiental, ya que, éstos hacen posible la adquisición de conocimientos integrales y cuantitativos sobre el estado de los recursos naturales, basados en la comprensión de su evolución y dinámica espacial y temporal.

Desde la perspectiva descrita, diversos investigadores que realizan estudios sobre la alteración de uso y coberturas del suelo implementan múltiples herramientas, técnicas y métodos, que les permiten vislumbrar hallazgos. Las actividades que se realizan en las investigaciones permiten comprender las transformaciones que se han suscitado en un área específica y aportan conocimientos fundamentales de sus causas e implicaciones, así como las controversias vinculadas con el medio natural (Camacho *et al*., 2015). Congruente con

esta reflexión, Juan (2021) señala que, con base en la aplicación de diversas técnicas, herramientas y métodos, tanto de campo como de gabinete, así como en distintas dimensiones espaciales y temporales, es posible conocer causas y repercusiones de los procesos de conversión de uso del suelo.

Se reconoce que los estudios sobre cambio de uso del suelo en México son fundamentales, para comprender la situación ambiental del territorio, por lo que, es importante realizar análisis territoriales en donde se examinen las causas, efectos, así como variaciones espaciales y temporales, derivadas de estos procesos de transformación. Los estudios vinculados con esta situación permiten comprender las configuraciones territoriales y sirven de base para la planificación, conservación, restauración y gestión de recursos naturales; por lo que, cada vez son relevantes en temáticas ambientales (Galicia, et al. 2007).

Las investigaciones y estudios sobre la alteración en los usos del suelo permiten la compresión de diferentes transformaciones de coberturas y diversos usos del suelo a lo largo del tiempo en lugares concretos, teniendo como objetivo principal de estos estudios responder a la pregunta ¿por qué? a la vez que, se analizan los factores que inciden de manera directa o indirecta en las conversiones. De igual modo, dan paso a la proyección de escenarios futuros, lo cual es indispensable para la planificación territorial con el propósito de entender el desarrollo de las sociedades. En coherencia con lo planteado, un punto importante es la evaluación del impacto ecológico a causa de estas modificaciones, identificando patrones y sugiriendo soluciones que coadyuven a la sustentabilidad ambiental (Briassoulis, 2020).

A modo de resumen, los estudios que analizan los cambios de uso del suelo son importantes, ya que favorecen la comprensión de los acelerados procesos de modificación del territorio que acontecen a escala global, identificando sus negatividades ambientales, y por supuesto las socioculturales. Estos argumentos contribuyen a la toma de decisiones de manera informada, facilitando la gestión territorial en priorización de combatir las problemáticas ecológicas que son de gran preocupación en la actualidad.

1.2.7 Cambios de uso del suelo en el contexto agrícola

Si bien, en los estudios de cambio de uso del suelo y de coberturas en México se ha hecho énfasis en el avance de superficies destinadas a usos agropecuarios a expensas de superficies de vegetación natural, estudios disponibles con fechas actuales, demuestran que han existido notables disminuciones en el proceso de conversión de estas superficies agrícolas y pecuarias en las últimas décadas. Entre 2002 y 2014, se identificó que las principales conversiones asociadas a la cobertura vegetal a expensas de usos agropecuarios, se concentró en los matorrales xerófilos, bosques templados y mesófilos, así mismo en pastizales naturales y otras coberturas. Desde esta perspectiva, durante el período 2002-2007, se detectó un cambio de 272 mil hectáreas arraigadas para la

actividad agropecuaria. Mientras que para el período 2011-2014, se vislumbró una pérdida anual que osciló entre 91 y 96 mil hectáreas (SEMARNAT, 2018).

Con base en datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], se estima que el territorio mexicano disponía entre 18 y 25 millones de hectáreas dirigidas a la superficie agrícola cultivada entre el período comprendido 1980-2016, sin embargo, este cálculo, no representa la superficie real que pudo haberse empleado en el período (SEMARNAT, 2018). No obstante, datos más actuales demuestran que la superficie utilizada para la actividad agrícola presenta ligeras variaciones, pero continúan siendo cifras relativas. En primera instancia y de acuerdo con la información exhibida por la Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2021) presenta que cerca de 32.4 millones de hectáreas fueron ocupadas para la producción alimentaria. Por otra parte, el INEGI (2023), expresa que, de acuerdo con información obtenida a través del Censo Agropecuario del 2022, la superficie destinada a la agricultura fue de 32.1 millones de hectáreas, de las cuales 26.1 millones corresponden a una producción activa y los 6 millones restantes, se encuentran inactivas. México cuenta con una superficie total de 196.5 millones de hectáreas, donde cerca del 16 % (32.1 millones de ha) son destinadas a superficies agrícolas.

Las transformaciones de uso del suelo en la superficie de México han afectado cerca del 40% del territorio, este porcentaje es una clara evidencia de la dinámica ocupacional que ha estado presente en el país, sobre todo, en las últimas décadas, así como de los impactos vinculados con la presión sobre los ecosistemas naturales, impulsados por la necesidad de nuevos espacios para el desarrollo de actividades humanas, siendo las de mayor trascendencia la agricultura y la urbanización. A raíz de esto, una de las incidencias ecológicas más relevantes es la pérdida de bosques asociada a la deforestación, precedida por la expansión de las actividades agropecuarias y el aumento de la superficie urbana, mismas que podrían ser influenciadas por factores de orden socioeconómico y político (López y Monterroso, 2024). La situación enunciada ha prevalecido desde hace más de 20 años, demostrando que el principal factor de la deforestación esta directamente vinculado con la expansión de la actividad agropecuaria (Flores y Torres, 2000).

Las modificaciones del uso del territorio comprometen el equilibrio ecológico, pues con regularidad suelen estar asociadas a procesos de degradación ambiental, causando efectos negativos en la funcionalidad de los ecosistemas y en la productividad de las tierras, donde la erosión del suelo destaca como una de las afectaciones más críticas para la actividad agrícola, reduciendo su rendimiento, limitando la autosuficiencia y seguridad alimentaria de la población (Cotler *et al,* 2020). En consecuencia, los efectos provocados por los cambios de uso del suelo mantienen una relación directa con la base económica y alimentaria de muchas regiones, por lo que, resulta fundamental la im-

plementación y cumplimiento de planes de ordenamiento territorial y manejo sustentable del territorio.

En cuanto al crecimiento poblacional éste conlleva a una doble demanda: la necesidad de apertura de espacios habitacionales y el aumento en la producción de alimentos, requiriendo la ampliación de nuevas áreas agrícolas. No obstante, esta situación crea una paradoja, ya que frecuentemente estas superficies agrícolas se encuentran expuestas a procesos de conversión debido al desarrollo urbano, circunstancia que plantea un escenario de riesgo en la sostenibilidad de los suelos y por supuesto en la seguridad alimentaria (Romero *et al*, 2024). Esta perspectiva resulta preocupante para la producción futura de alimentos, especialmente al comparar esta tendencia con la de otros países, donde se proyecta que el retroceso de las superficies agrícolas será cada vez mayor conforme incrementa la población y en efecto, la disposición de zonas residenciales (Pandey y Seto, 2015).

En virtud de lo anterior, el estudio de las modificaciones territoriales influenciadas por la actividad agrícola y pecuaria, bajo un análisis espaciotemporal ganan importancia sustancial dentro de las ciencias ambientales, toda vez que permiten comprender la evolución y transformación del paisaje, lo cual permite orientar de manera informada la toma de decisiones en la gestión territorial y el ordenamiento ecológico, con miras al manejo responsable de los recursos para la sustentabilidad ambiental (Donald y Evans, 2006). Es importante reconocer los diferentes desafíos que amenazan a las áreas agrícolas, mismos que deben abordarse bajo la integración de criterios ambientales, sociales, económicos y culturales. Esta visión holística, es fundamental para reconocer cómo estos factores inciden sobre el retroceso de las superficies agrícolas y de esta forma diseñar estrategias que contribuyan a la mitigación de la pérdida de tierras productivas y de manera simultánea la atención de demandas poblacionales a través de soluciones sostenibles.

1.2.8 Factores de cambio de uso del suelo y problemática ambiental

De acuerdo con Lambin *et al*. (2001) se explica que, debido a planes, programas y proyectos del sector gubernamental, orientados al mejoramiento del desarrollo humano a través del otorgamiento de apoyos financieros en el sector agrícola, se ha impulsado de forma drástica la intensificación agrícola en diversos ambientes, lo cual ha contribuido e influido en el plausible avance de la degradación ambiental y especialmente al suelo.

Es importante señalar que el crecimiento demográfico ha sido un factor influyente en la modificación de uso del suelo. A causa de que, una mayor población, requiere mayores recursos, comprendiendo esta analogía desde la perspectiva del crecimiento urbano, es evidente la necesidad de nuevos espacios para el uso habitacional, la demanda de alimentos y la explotación de recursos naturales. De esta manera, se crea un vínculo entre el alza en el nú-

mero de habitantes y las transformaciones en los usos y coberturas del suelo. No obstante, un hallazgo importante con investigaciones recientes determina que la relación anterior, no es íntegramente lineal ni equilibrada, ya que, el aumento poblacional ha sido una realidad, pero el aumento de superficies para usos agrícolas ha disminuido (SEMARNAT, 2018).

Se determina que el avance de la frontera agrícola ha generado significativos impactos en las coberturas de vegetación natural, principalmente en las superficies que presentan importantes ecosistemas, desencadenando drásticas y en ocasiones irreversibles problemáticas, como la pérdida de la biodiversidad, y afectaciones en las tierras de cultivo con una fuerte propensión a los procesos erosivos y baja capacidad de producción (Orozco *et al*., 2004, como se citó en Pineda *et al*., 2009).

Los procesos de transformación de uso del suelo vinculados con las actividades y procesos agrícolas han afectado primordialmente a los bosques, conduciendo hacia la pérdida de la biodiversidad y, a una reducción en las capacidades naturales para la provisión de servicios ecosistémicos. Además, la pérdida forestal, minimiza los esfuerzos mundiales por combatir la variabilidad climática, ya que grandes cantidades de gases son liberados a la atmósfera y cada vez son menores las cantidades de árboles que contribuyen a la eliminación de éstos (SEMARNAT, 2018).

La agricultura se ha consolidado como uno de los principales usos del suelo al paso del tiempo, sin embargo, a pesar de su constante incremento, se ha señalado que ésta puede llegar a ser insostenible, debido a que la alta producción de cultivos para la satisfacer la demanda de alimentos no ha tomado en consideración las características biofísicas de los sitios destinados para el uso agrícola, lo cual ha provocado el continuo deterioro de las condiciones ambientales (Lambin *et al*., 2001), y por supuesto, nuevos desafíos que amenazan el bienestar social de la población.

Se determina que, entre las graves problemáticas generadas por la agricultura, la degradación de suelo se posiciona como la más relevante. Situación que, al ser vinculada con el crecimiento demográfico, la pérdida de tierras agrícolas y el cambio en la vocación de estas actividades, inevitablemente tendrán un impacto mayor en la agricultura, minimizando su potencial para hacer frente a los requerimientos poblacionales y reduciendo las oportunidades de conseguir la seguridad alimentaria en diversas naciones. No obstante, la incorporación de métodos productivos y su combinación con la tecnología han sido una alternativa para la satisfacción alimentaria, por supuesto, estas acciones pueden comprometer la capacidad productiva del suelo, pues es un recurso limitado y vulnerable ante su intensivo uso, por lo que es relevante su conservación y cuidado (Torres y Rojas, 2018).

Considerando lo anterior, la agricultura ha causado diversos impactos ambientales debido a su continua expansión a costa de incrementar la disponi-

bilidad de alimentos para satisfacer las necesidades alimenticias de la población, escenario que ha requerido no sólo la apertura y crecimiento superficial de tierras, sino también en la incorporación de nuevas prácticas y modelos agrícolas que contribuyan a su productividad, siendo uno de estos la Revolución Verde.

1.3 Contexto histórico

1.3.1 Revolución Verde

La agricultura, a lo largo de la historia se ha posicionado como una de las actividades más importantes, debido a que sustenta una de las necesidades básicas de la humanidad: la alimentación. Esta actividad, al paso del tiempo, experimentó innovaciones e importantes transformaciones en sus prácticas y modalidades de producción, debido al rápido crecimiento demográfico que trajo consigo la inminente necesidad de incrementar la disponibilidad de productos agrícolas, requiriendo de medidas estratégicas para cubrir la demanda alimentaria, situación, por la que, se incorporaron nuevas tecnologías y productos químicos que beneficiaron e incrementaron la productividad, sin embargo, no se consideraron los impactos de estas iniciativas (Fuentes y Soto, 1993).

Expresa Pichardo (2006) que la producción alimentaria tomó relevancia después de la Revolución Industrial, en virtud de que esto generó la necesidad de aumentar la producción de alimentos ante la llegada de la industrialización. Aunado a esto, la incidencia de eventualidades climáticas que afectaban las parcelas agrícolas, la aparición de plagas y enfermedades, orientó a que se plantearan acciones enfocadas a combatir y erradicar estas problemáticas, contribuyendo de esta manera al desarrollo de la "Revolución Verde", un modelo de producción acuñado en Estados Unidos de América, el cual se centró en obtener mayores rendimientos de la producción agrícola, con base en investigaciones orientadas en el mejoramiento y creación de semillas híbridas.

La Revolución Verde, tuvo su expansión a nivel mundial durante la Segunda Guerra Mundial, sin duda, se plantea que su comienzo fue a finales de la Primera Guerra Mundial. Este modelo de producción revolucionaria fue incentivado por el crecimiento de grandes industrias que buscaban avances tecnológicos y militares. Durante estos acontecimientos en 1941, ocurrió un hito importante, la reunión del presidente Henry Wallace con el presidente de la Fundación Rockefeller, ya que, durante este encuentro, se fundó un programa agrícola enfocado en América Latina y México (Ceccon, 2008).

De Gortari (2020) comparte que la Revolución Verde, fue una iniciativa en la cual se sumaron esfuerzos con el propósito de aumentar la producción agrícola, esto con base en la investigación pública y apoyo de tecnologías interna-

cionales en la década de 1940. El objetivo de estas investigaciones se orientó al desarrollo y mejoramiento del germoplasma, a través de los aportes del Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y la fundación Rockefeller, impulsando el avance tecnológico con la finalidad de desarrollar semillas mejoradas, fertilizantes y agroquímicos. El modelo de producción de la Revolución Verde se estructuró por una economía destinada a obtener los mayores beneficios por medio del aprovechamiento intensivo de los recursos, sin prestar atención a las latentes repercusiones ambientales ocasionadas por esta modalidad agrícola. Un aspecto relevante, es que su ejecución no fue equitativa entre productores, debido a las diferencias económicas y sociales que limitaban las capacidades de adopción.

Se considera que la Revolución Verde, busco hacer un cambio positivo en los modos tradicionales agrícolas, por medio del ingreso de innovaciones tecnológicas y científicas que intensificaran la producción agrícola, causando una transformación notable en la evolución de la agricultura. Esto generó la incorporación de nuevas técnicas de siembra, acompañadas de un paquete tecnológico, el cual se conformaba por fertilizantes (catalogados como tóxicos), herramientas y maquinarias (Ceccon, 2008).

En el caso de México, Pichardo (2006) comparte la idea de que la Revolución Verde, se concentró en un modelo agrícola industrializado, que pretendía impulsar la tecnología y la productividad agrícola, ya que se consideraba necesario y suponía una excelente alternativa para los productores e industrias ya que contenía un paquete tecnológico compuesto por semillas, fertilizantes y maquinaria especializada. Sin embargo, para adquirir este paquete, se requería de un capital económico estable, debido a que el ingreso de este nuevo modo de producción incrementaba los costos de mantenimiento de los cultivos, lo cual ocasionaba que su adquisición fuera limitada. No obstante, existían créditos, mismos que eran otorgados exclusivamente a aquellos propietarios con estabilidad financiera, generando así grandes superficies de tierras no cultivadas y, en consecuencia, una modificación en las labores agrícolas.

En México, la desigualdad social y económica durante la Revolución Verde, rezagó las oportunidades equitativas para los agricultores, en especial a los pequeños productores -campesinos-, mismos que ante esta discrepancia, desigualdad, inequidad y evitando caer en el rezago de la producción, emplearon intensas explotaciones en sus cultivos, acabando así con las bondades del suelo agrícola, llevándolo a su abandono, una vez que éste era insuficiente para sostener cultivos (de Gortari, 2020).

Es evidente que, ante las desventajas competitivas de los pequeños agricultores, el anhelo por competir con las nuevas formas de producción asociadas a la Revolución Verde ocasionó un rápido y creciente deterioro de los recursos del suelo. Este fenómeno fue consecuencia de la intensiva y descontrolada

actividad agrícola, ya que se pretendía obtener la máxima producción posible y hacer frente a los grandes agricultores que introdujeron los paquetes tecnológicos en sus cultivos. Cabe mencionar que los agricultores que adoptaron la modalidad de la Revolución Verde experimentaron resultados similares, debido a que esta conllevó a la perdida de la fertilidad de la tierra, debido al uso excesivo de agroquímicos (agrotóxicos), maquinarias, herramientas e introducción de monocultivos, situaciones que provocaron la rápida degradación del suelo. Por estas razones, se considera que la Revolución Verde, contribuyó a la generación de impactos ambientales, de manera particular al suelo y el agua, perdiendo grandes extensiones agrícolas y eliminando el sustento de cultivos.

Chilón (2017) expresa que, en Latinoamérica, a inicios de la Revolución Verde, los resultados fueron favorables, dado a que se obtuvo un incremento en la producción agrícola, por supuesto, sus efectos desfavorables a largo plazo dieron lugar a severas afectaciones en la degradación del suelo, provocando suelos pobres y erosionados situación que demandó una mayor inversión para mantener su productividad. De esta forma, la aplicación en exceso de agroquímicos y fertilizantes conducían a un desgaste de las propiedades del suelo, ya que esto perjudicaba la actividad microbiana, contaminaba aguas infiltradas y escorrentías subterráneas, es decir, tuvo como consecuencia la pérdida de la fertilidad del suelo.

La Revolución Verde, fue un eje trascendental para los progresos históricos de los sectores agrícolas a nivel mundial, apoyando la erradicación de las demandas de producción y satisfaciendo las necesidades humanas de alimentación. No obstante, esta forma de producción provocó severas consecuencias en el deterioro de los recursos naturales e importantes modificaciones en las perspectivas sociales y económicas del mundo, vislumbrando de esta manera, nuevas posturas de producción (Martínez y Huerta, 2018). Desde luego, este modelo de producción provocó impactos a los métodos y técnicas tradicionales de la agricultura.

1.3.2 Agricultura sustentable

De Gortari (2020) señala que en la década de 1990 se propuso llevar a cabo una "segunda Revolución Verde", con aras hacia la disminución de las problemáticas ambientales que había desencadenado la anterior revolución. Uno de sus principales intereses se centró en la conservación de los recursos naturales y la solución a las problemáticas ambientales anteriormente provocadas. De igual forma, se dio razón a que, la Revolución Verde, no constituyó un modelo eficiente a las diferencias sociales de los agricultores, por lo que, se replanteó el modo de producción con un enfoque de transición hacia la sustentabilidad.

En esta postura, Chilón (2017) comparte que ante la crisis agrícola resultado de la Revolución Verde, resulta importante revalorar los conocimientos

ancestrales y prácticas agrícolas tradicionales, prevaleciendo la agroecología y la ecología cultural, así como tomar en consideración los conocimientos colaborativos de las comunidades, esto con la finalidad de coadyuvar en propuestas y alternativas enfocadas a resolver los problemas que existen en los sistemas agrícolas actuales y encontrar en conjunto soluciones que condujeran a salvaguardar los recursos naturales.

En cuanto al contexto mexicano, Fuentes y Soto (1993) comparten que el suelo nacional ha transitado hacia la pérdida de su fertilidad, siendo una de las principales causas la excesiva actividad agrícola, caracterizada por la presencia de grandes parcelas con monocultivos, que han provocado la fragmentación del recurso, debido a procesos erosivos y sustancias contaminantes. Se estima que cada año se pierden entre cinco y siete millones de hectáreas de suelos fértiles, razón por la cual, se deben plantear estrategias de solución a estas problemáticas, proponiendo lo que se denomina agricultura sustentable, misma que centra su atención en el cuidado ambiental y responde a las demandas sociales.

Todos los modelos agrícolas presentan peculiaridades, así como impactos positivos y negativos. De Gortari (2020) expresa que la transición hacia la sustentabilidad es fundamentada en el uso de conocimientos tradicionales y saberes sociales, que buscan proponer soluciones a las complicaciones ecológicas que surgieron por la explotación de los recursos naturales y el escaso cuidado ambiental.

- Conceptos de agricultura sustentable

Con frecuencia es común que exista confusión entre la agricultura sustentable y la agricultura sostenible, ya que ambas guardan relación en sus enfoques orientados en atender las problemáticas ambientales y generar modelos de producción a futuro, los cuales tienen la virtud de garantizar el acceso a la alimentación para toda la población. La agricultura sustentable centra su postura en cubrir las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para responder a las suyas, además busca el cuidado de la diversidad biológica, el patrimonio de semillas y cultivos tradicionales (patrimonio biocultural) así como el implemento de prácticas orgánicas que favorezcan el cuidado de los recursos naturales disponibles. Mientras que, la agricultura sostenible, tiene como objetivo asegurar la productividad a largo plazo, haciendo uso de los recursos naturales de manera responsable (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2023b).

La agricultura sostenible constituye una visión en la producción agrícola eficiente, donde se prioriza la mejora de las condiciones de vida del agricultor y la obtención de alimentos mediante una inversión económica redituable. Esta modalidad agrícola, retoma distintas maneras de producción, con la fi-

nalidad de identificar aquellas que sean las más provechosas para el mejoramiento de las condiciones ambientales y que fomenten el cuidado de los recursos naturales a futuro. Los objetivos de la agricultura sostenible se deben orientar hacia la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Labrador y Altieri, 1995).

El término sustentabilidad evoca a las capacidades de un sistema con relación en principios de la ecología y la agricultura, haciendo que sea resiliente y haga frente a las presiones antropogénicas, superando las negatividades ambientales, a la vez que mantiene su capacidad de producción a lo largo del tiempo. Estos sistemas agrícolas mantienen un equilibrio armonioso entre los retos naturales y su potencial productivo (Altieri y Nicholls, 2000).

Respecto a la agricultura sustentable, se pone de manifiesto que es importante retomar los saberes tradicionales, retomando las prácticas ancestrales con capacidades latentes para la autosuficiencia y autonomía agrícola. Además, se establece que este tipo de agricultura se encuentra estructurada por diversos ejes que fundamentan su postura, sobresaliendo la ecología, así como los aspectos, sociales y económicos (Gerritsen *et al.*, 2012). La agricultura sustentable es una de las mejores propuestas que surgen ante la necesidad de atender los problemas ambientales y la degradación de los suelos a causa de la "agricultura moderna". Ante estas peculiaridades se debe considerar un enfoque holístico que permita integrar los factores sociales, políticos, económicos y culturales, ya que éstos inciden de manera directa en los sistemas productivos agrícolas. Para abordar lo antes mencionado, se determina a la agroecología como la postura integral que atiende los requerimientos agrícolas mediante un manejo armonioso de los recursos naturales y su uso (Altieri, 2002).

El enfoque de la agricultura sustentable sugiere que la producción de recursos debe ser estable y eficiente, logrando garantizar la seguridad y autosuficiencia alimentarias. Por lo que, se debe poner en práctica la agroecología, priorizando el respeto al entorno y la preservación de los saberes culturales. En este sentido, es indispensable orientar estas acciones principalmente a los sectores vulnerables y a todo el sector productivo, fortaleciendo de este modo el desarrollo agrícola. Esto promueve la incidencia de ambientes agrícolas equilibrados, lo que contribuye a la correcta gestión y conservación de los recursos naturales, asegurando un futuro sostenible (Altieri y Nicholls, 2000).

Fuentes y Soto (1993) exponen que la agricultura sustentable debe establecer como eje rector al ambiente y al sector socioeconómico, esto a favor de lograr una restauración de las condiciones y mejorar los métodos de producción de los sistemas agrícolas. En este tenor, se debe reconocer el deterioro ambiental, identificando acciones oportunas que favorezcan el cuidado, conservación y la preservación ecológica. La finalidad de esta agricultura es concretar un modelo que sea ambientalmente viable y cubra la satisfacción de las necesi-

dades sociales. El concepto de agricultura sustentable presenta una forma de producción agroalimentaria, buscando la provisión continua de alimentos y beneficios sociales para las generaciones presentes y futuras, considerando una postura de sensibilización hacia el medio natural, respetando los ciclos ecológicos y la adaptabilidad a las alteraciones ambientales. Esto plantea, una mejora en la equidad social y el bienestar comunitario, favoreciendo a la vez, la capacidad de resiliencia de los ecosistemas (Sarandón y Flores, 2014).

En México, la agricultura sustentable ha centrado sus objetivos hacia el futuro, identificando y formulando respuestas a las exigencias recientes, sin afectar la calidad de vida de las próximas generaciones. En este contexto, se prioriza la relevancia de la agricultura orgánica y la riqueza biológica, conceptos estrechamente relacionados con la ecología (SADER, 2023b). Desde la postura del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT] (2023), la agricultura sustentable busca la creación de proyectos tendientes a mejorar el bienestar de los agricultores, esto mediante capacitación y acceso a sistemas de producción con capacidad de sustentabilidad a largo plazo. Además, se determina que esta postura toma mayor relevancia, al centrar su objetivo en la erradicación de la pobreza y contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural.

1.3.3 Sistema agrícola

Una perspectiva que contempla perfectamente la visión de la agricultura sustentable es la agroecología. Ya que esta disciplina considera la conformación de sistemas agrícolas, que también son denominados agroecosistemas, los cuales se refieren a la implementación de medidas ambientales responsables para la producción alimentaria sostenible, preservando los recursos naturales y asegurando la disponibilidad a futuras generaciones. En capítulos posteriores, se presenta de manera más puntual los fundamentos que guían las finalidades de la agroecología, su intervención en los sistemas agrícolas y su visión hacia la agricultura sustentable. No obstante, enseguida se exponen algunos aspectos relevantes de los sistemas agrícolas.

De acuerdo con Ruthenberg (1971), un sistema agrícola es un conjunto de prácticas manejadas por una estructura social, empleadas para la producción de alimentos y la obtención de distintos productos agrícolas. Éstas son desarrolladas en función de las condiciones naturales del terreno, donde los agricultores moldean sus métodos de cultivo para su adaptabilidad a los rasgos ambientales y a sus objetivos personales. En estos sistemas, es relevante conocer las ventajas y cualidades de cada sitio, pues éstas influyen directamente en la práctica de nuevos modos y estrategias para incentivar el desarrollo agrícola.

Un sistema agrícola es una modalidad de producción agropecuaria, donde se conjuntan saberes, prácticas y el ingreso de tecnologías de modo responsa-

ble. Su finalidad es aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles y contrarrestar las afectaciones hacia el medio natural, partiendo de las posturas formuladas por la agroecología, como una base importante para el manejo de los componentes del sistema. Esta adopción favorece a los agricultores al obtener un ingreso más estable y reducir la inversión, además, contribuye a la conservación y sostenibilidad (Cleary, 2003). Complementando este concepto, el sistema agrícola se conforma como una estrategia que fomenta la preservación de los recursos y el mejoramiento de las condiciones ambientales. Con base en esto, se busca una eficiente producción agrícola, teniendo presente la viabilidad económica de los productores, en apoyo a los requerimientos de los cultivos (Lal y Miller, 1990, como se citó en Nguyen *et al.*, 2019).

Con frecuencia en los sistemas agrícolas se ponen en práctica estrategias encaminadas al desarrollo e incremento de la producción, debido a los desafíos y problemas que pueden llegar a ocurrir. El sistema agrícola se caracteriza por un conjunto de propiedades terrenales con vocación agrícola que comparten características ambientales, estilos de gestión y formas de vida de los agricultores. En estos sistemas, garantizar la producción es su objetivo fundamental, por lo que, el ingreso de medidas estratégicas que contribuyan a su desarrollo, considera las características propias del entorno ecológico y de cada tipo de cultivo (Dixon *et al*., 2001, como se citó en Cleary, 2003).

Es fundamental tener presente que la agricultura en muchos casos es entendida como un sistema, ya que, en ésta, se realizan diversas actividades y procesos que se hayan interrelacionados entre sí, y crean relaciones directas en los ámbitos biológicos, ambientales y sociales; razón por la cual, es considerada como un sistema agrícola, además, en ella, intervienen varios actores (Tello, 2013). La agricultura es considerada como un sistema debido a la interacción de sus componentes que conforman una estructura dinámica y desempeñan funciones.

Un sistema agrícola también puede ser entendido como un conjunto de prácticas, técnicas y procesos orientados a la producción de diversos productos agrícolas. Este sistema se compone por la interacción ambiental, biológica y humana, siendo la acción humana la que tiene mayor relevancia. Los sistemas agrícolas deben conferir su producción hacia modelos sustentables, tomando a la disciplina agroecológica como base fundamental para guiar este proceso de transformación hacia formas más eficientes de producción y sobre todo responsables con el cuidado ambiental. La transición hacia esta postura permite asegurar la producción a largo plazo, contribuyendo a la seguridad y soberanía alimentarias.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, en inglés), determina que un país debe tener la potencialidad de producir poco más del 75 % de sus alimentos, para la seguridad alimentaria de su población. En este contexto, México debe adoptar estrategias que ga-

ranticen la producción de alimentos para la población, identificando, que una alternativa eficiente es la transición hacia la sustentabilidad. De igual modo, la inversión en materia de investigación agrícola es fundamental para poder obtener mayores beneficios en la producción de alimento, por supuesto, esto debe acompañarse de la tecnificación y especialización de los agricultores (Curiel, 2013).

Con base en lo anterior, una forma de mejorar la producción agrícola en México, y de manera particular en la región sur del Estado de México, es mediante la implementación de medidas estratégicas encaminadas a la maximización de los cultivos, sin perder de vista el equilibrio ambiental, priorizando la conservación de los recursos naturales y la seguridad alimentaria. Se contextualiza a la agricultura sustentable como un enfoque alterno para impulsar el desarrollo de los sistemas agrícolas y contribuir al bienestar social de la población mexicana.

De acuerdo con el panorama expuesto en los párrafos anteriores, se reconoce que, en el territorio mexicano, la actividad agrícola ha sido un factor impulsor en los procesos de cambio de uso del suelo, mismos que han generado múltiples repercusiones ambientales, siendo la pérdida de la biodiversidad, la degradación ambiental y el abandono de los terrenos agrícolas, los más relevantes.

Capítulo 2. Caracterización física de la región sur del Estado de México

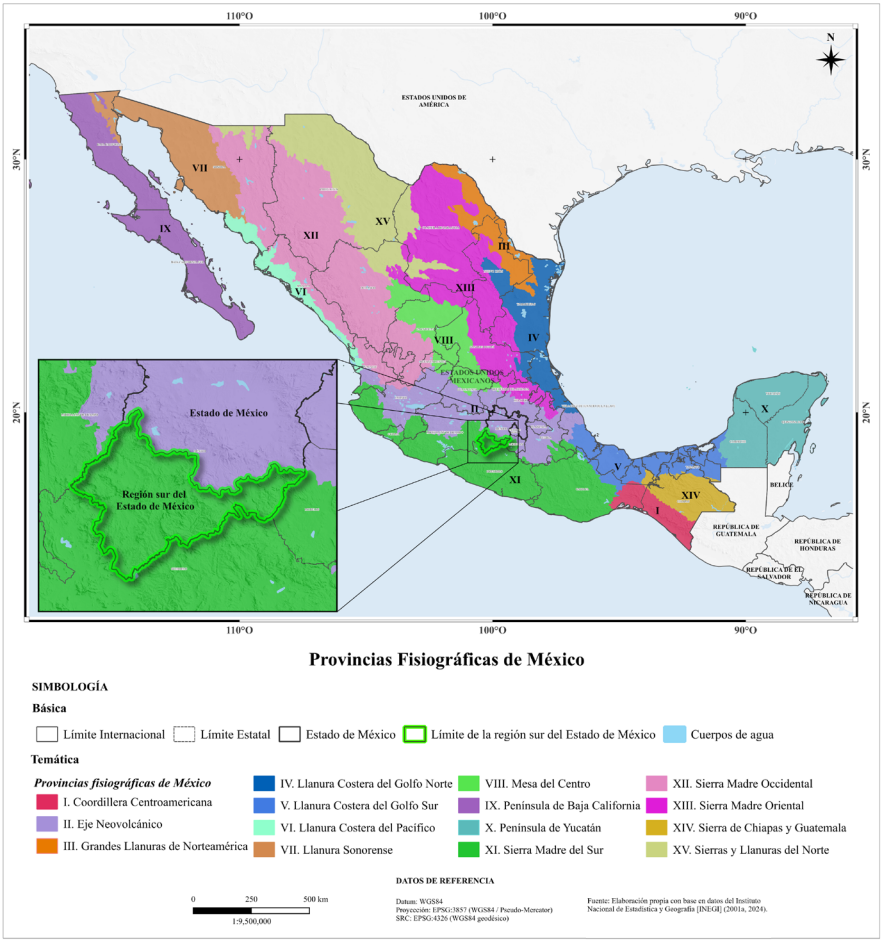
2.1 Ubicación de la región sur del Estado de México

La República Mexicana, se estructura por una amplia diversidad de formas del terreno, resultado de la intensa actividad geológica que ha moldeado su superficie. No obstante, es posible distinguir regiones en particular donde son apreciables similitudes y heterogeneidades en cuanto a su relieve, suelo, geología, clima y vegetación. En este contexto y de acuerdo con criterios geomorfológicos, se han definido 15 provincias fisiográficas (Lugo y Córdova, 1992).

En cuanto al contexto geográfico del Territorio del Estado de México, éste se sitúa entre dos provincias fisiográficas: a) Eje Neovolcánico (Sierra Volcánica Transversal) que en la porción norte comprende la mayor superficie y b) Sierra Madre del Sur, la cual comprende la menor superficie y, precisamente se ubica en la porción sur del estado (Mapa 1) (INEGI, 1981).

La zona de estudio de la investigación y descrita en este libro corresponde exclusivamente a la porción del Estado de México ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, y que en este caso es denominada región sur del Estado de México (Juan, 2013). Este territorio comprende una superficie de 5,449.6 km², que representa el 24 % de la superficie total del Estado de México (22,351.8 km²). La región se ubica entre las coordenadas geográficas 18° 22′ 0.994″ y 19° 18′ 47.091″ latitud Norte y 99° 18′ 31.379″ y 100° 36′ 47.128″ longitud Oeste. Estos datos se obtuvieron del procesamiento de información espacial en Sistemas de Información Geográfica [SIG] (INEGI, 2001a, 2024).

Mapa 1. Ubicación de la región sur del Estado de México en el contexto de las Provincias fisiográficas de la República Mexicana



Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2001a, 2024).

2.2 Municipios de la región sur del Estado de México

La región sur del Estado de México se encuentra conformada por la superficie total de 11 municipios, sin embargo, considerando las peculiaridades de la fisiografía de la provincia Sierra Madre del Sur y excluyendo las condiciones político-administrativos, también fueron consideradas porciones de otras jurisdicciones municipales que conforman la región sur del Estado de México.

Los municipios ubicados en esta RSEM son: Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Coatepec Harinas, Donato Guerra, Ixtapan de la Sal, Ixtapan del Oro, Joquicingo, Luvianos, Malinalco, Ocuilan, Otzoloapan, San Simón de Guerrero, Santo Tomás, Sultepec, Tejupilco, Temascaltepec, Tenancingo, Texcaltitlán, Tlatlaya, Tonatico, Valle de Bravo, Villa de Allende, Villa Guerrero, Zacazonapan, Zacualpan, Zumpahuacán.

Se presentan las superficies totales de los municipios y las proporciones ubicadas en el contexto de la región sur del Estado de México (Cuadro 1). Los municipios que contribuyen con más del 50 % de su superficie total a la región son: Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Ixtapan de la Sal, Ixtapan del Oro, Luvianos, Malinalco, Otzoloapan, San Simón de Guerrero, Santo Tomás, Sultepec, Tejupilco, Texcaltitlán, Tlatlaya, Tonatico, Zacazonapan, Zacualpan, Zumpahuacán; mientras que, los municipios cuya contribución superficial es menor del 50 %, son Coatepec Harinas, Donato Guerra, Joquicingo, Ocuilan, Temascaltepec, Tenancingo, Valle de Bravo, Villa de Allende y Villa Guerrero (Mapa 2). Estos datos derivaron del procesamiento de información espacial en SIG (INEGI, 2001a, 2024).

2.3 Subprovincias Fisiográficas

La provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, se encuentra conformada por subprovincias fisiográficas. Para el caso de la región sur del Estado de México, se identifican dos subprovincias: a) subprovincia Depresión del Balsas, ubicada al suroeste del Estado de México, constituyendo el 83 % de la región sur del estado, equivalente a 4,529 km², y b) subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses, presente al sureste del espacio geográfico de estudio, con extensión superficial de 17 % equivalente a 919 km² (Mapa 3). Estos datos se obtuvieron del procesamiento de información espacial en SIG (INEGI, 2001b, 2024).

2.4 Condiciones climáticas

En lo que respecta al clima de la región sur del Estado de México, ésta presenta tres tipos: a) cálido, b) semicálido, y c) templado. Siendo el clima semicálido el más predominante en la RSEM. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por Enriqueta García, estos tipos de climas presentan las siguientes peculiaridades:

El clima cálido en la región, se caracteriza por registrar temperaturas medias anuales superiores a 22 °C, mientras que la temperatura del mes más frío es mayor a los 18 °C, la precipitación durante el mes más seco oscila entre 0 y 60 mm, con presencia de lluvias intensivas durante el verano, el índice de precipitación sobre temperatura (P/T) es menor a 43.2 indicando una humedad intermedia. Este tipo de clima está presente en una superficie de 2,322 km² equivalente al 43 % de la superficie total del territorio de estudio.

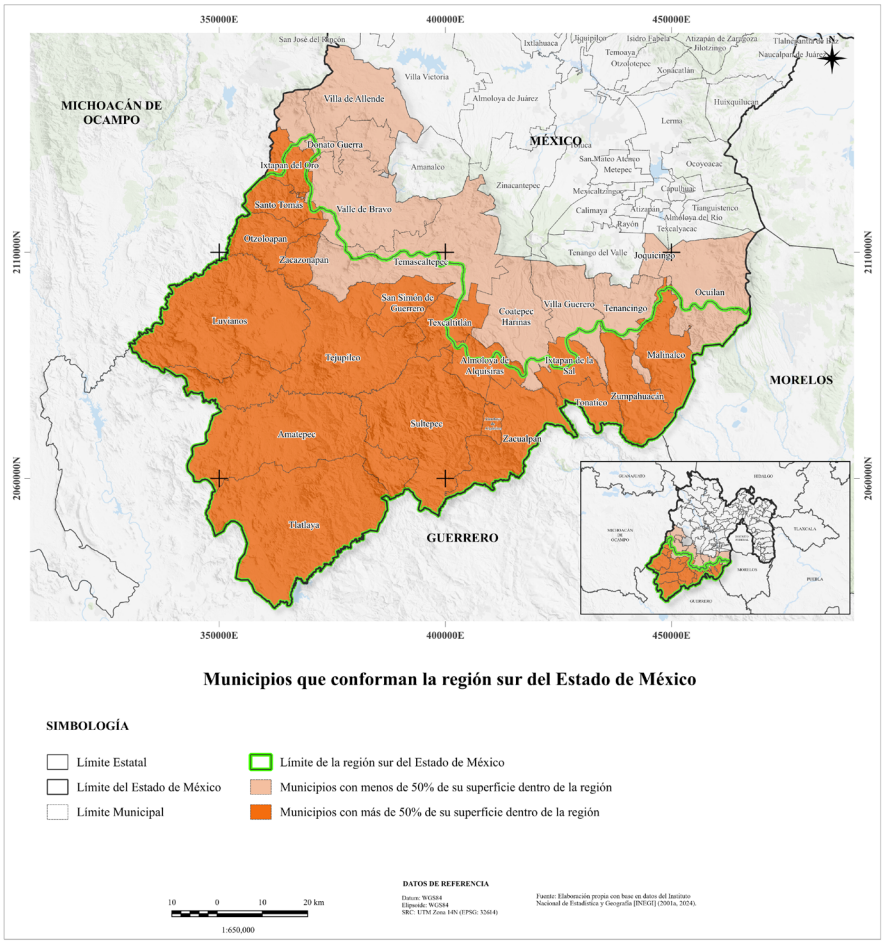
Cuadro 1. Superficie de los municipios y porcentaje ubicado en la región sur del Estado de México

Municipio	Sup. total (km²)	Sup. en región sur (km²)	% en región sur
Almoloya de Alquisiras	171.0	131.7	77.0
Amatepec	636.3	636.1	100
Coatepec Harinas	289.2	26.2	9.1
Donato Guerra	191.6	10.3	5.4
Ixtapan de la Sal	115.1	85.8	74.5
Ixtapan del Oro	99.3	56.5	56.9
Joquicingo	46.1	0.2	0.4
Luvianos	702.9	702.7	100
Malinalco	210.0	201.5	96.0
Ocuilan	385.9	124.7	32.3
Otzoloapan	153.7	153.6	100
San Simón de Guerrero	130.8	130.7	100
Santo Tomás	107.7	104.7	97.3
Sultepec	566.1	566.0	100
Tejupilco	668.4	668.2	100
Temascaltepec	568.3	238.6	42.0
Tenancingo	164.6	24.3	14.8
Texcaltitlán	145.5	81.9	56.3
Tlatlaya	788.6	788.1	100
Tonatico	90.2	90.1	100
Valle de Bravo	801.2	26.2	3.3
Villa de Allende	309.5	1.0	0.3
Villa Guerrero	226.1	39.6	17.5
Zacazonapan	66.7	66.7	100
Zacualpan	292.1	292.0	100
Zumpahuacán	202.4	202.3	100
Total general	-	Total, 5,449.6	-

Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2001a, 2024).

El tipo de clima semicálido en la región se caracteriza por presentar una temperatura media anual superior a 18 °C, mientras que la temperatura del mes más frío se encuentra por debajo de este mismo parámetro. Respecto al mes más seco, existen lluvias inferiores a 40 mm, siendo frecuentes durante la estación de verano, el índice de P/T se encuentra entre 43.2 y 55 indicando una humedad intermedia tendiendo hacia las condiciones más húmedas. Este tipo de clima es peculiar en la porción centro-oriente, comprendiendo una superficie de 2,422 km² equivalente al 44 % del área total de la región analizada.

Mapa 2. Municipios que conforman la región sur del Estado de México



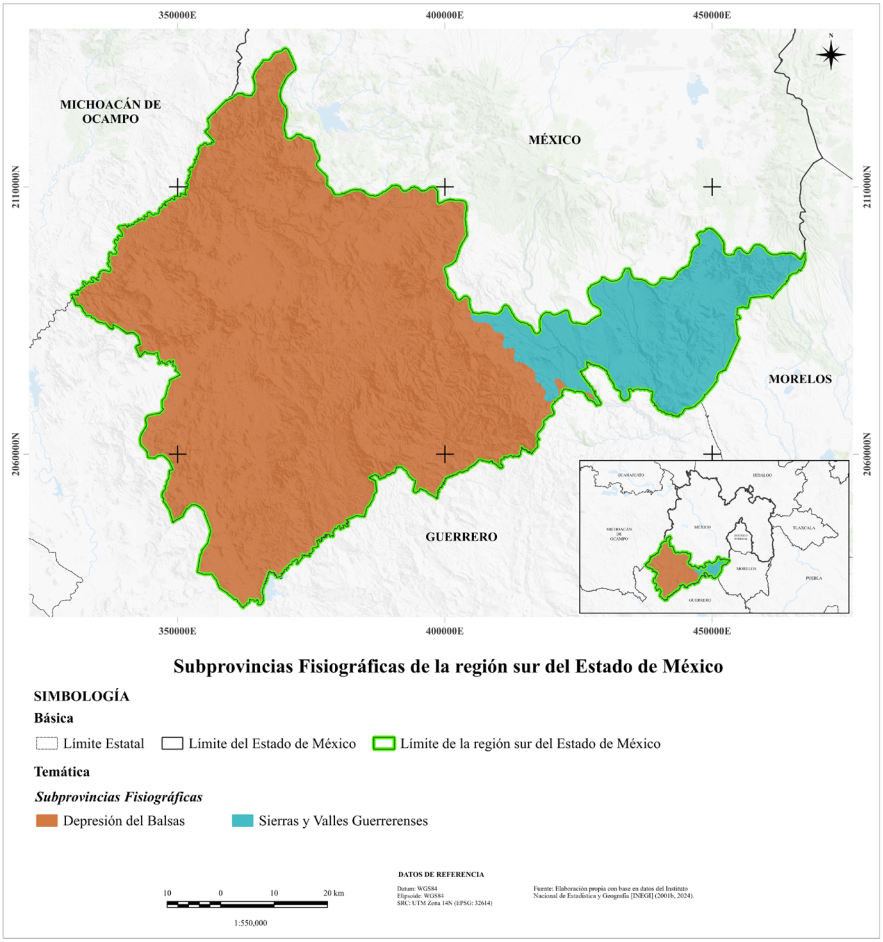
Municipios que conforman la región sur del Estado de México

Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2001a, 2024).

El clima templado, es caracterizado por temperaturas que oscilan entre los 12 °C y 18 °C, en el mes más frío éstas varían entre -3 °C y 18 °C, característico por registrar inviernos helados. Durante el mes más cálido, las temperaturas no superan los 22 °C. Con relación a la precipitación, en el mes más seco se presentan lluvias menores a 44 mm, pero durante el verano estas aumentan de forma considerable. Su índice de P/T se sitúa entre 43.2 y 55 indicando una humedad intermedia tendiendo hacia las condiciones más húmedas. Este clima es peculiar en algunas porciones adyacentes a la vertiente sur del Volcán

Xinantécatl y está presente en una superficie de 705 km² equivalente al 13 % del territorio total de la zona examinada.

Mapa 3. Subprovincias fisiográficas que conforman la región sur del Estado de México

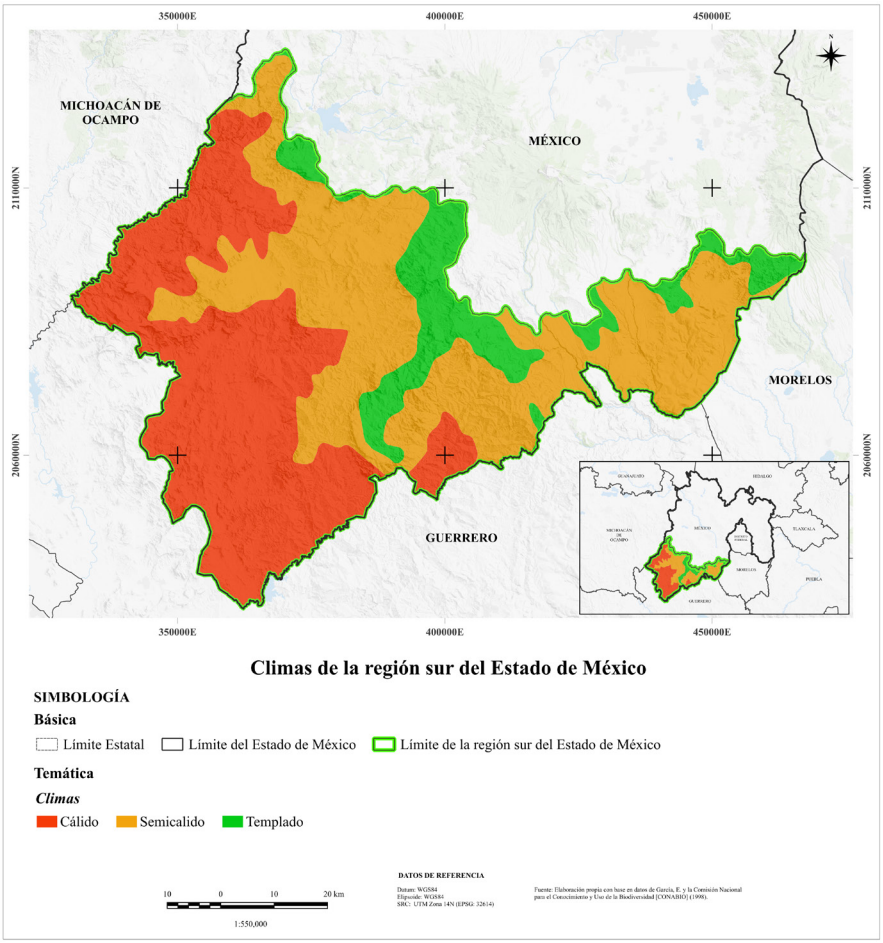


Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2001b, 2024).

La conjunción de estos tres tipos de climas, tienen estrecha relación al compartir características similares vinculadas con la precipitación pluvial, la oscilación térmica y los patrones de temperatura estacionales, condiciones que influyen en la biodiversidad y ambientes (ecosistemas) presentes en la región

(Mapa 4). Los datos previamente descritos fueron generados mediante el procesamiento de información espacial SIG (García, E. y CONABIO, 1998).

Mapa 4. Tipos de climas en la región sur del Estado de México



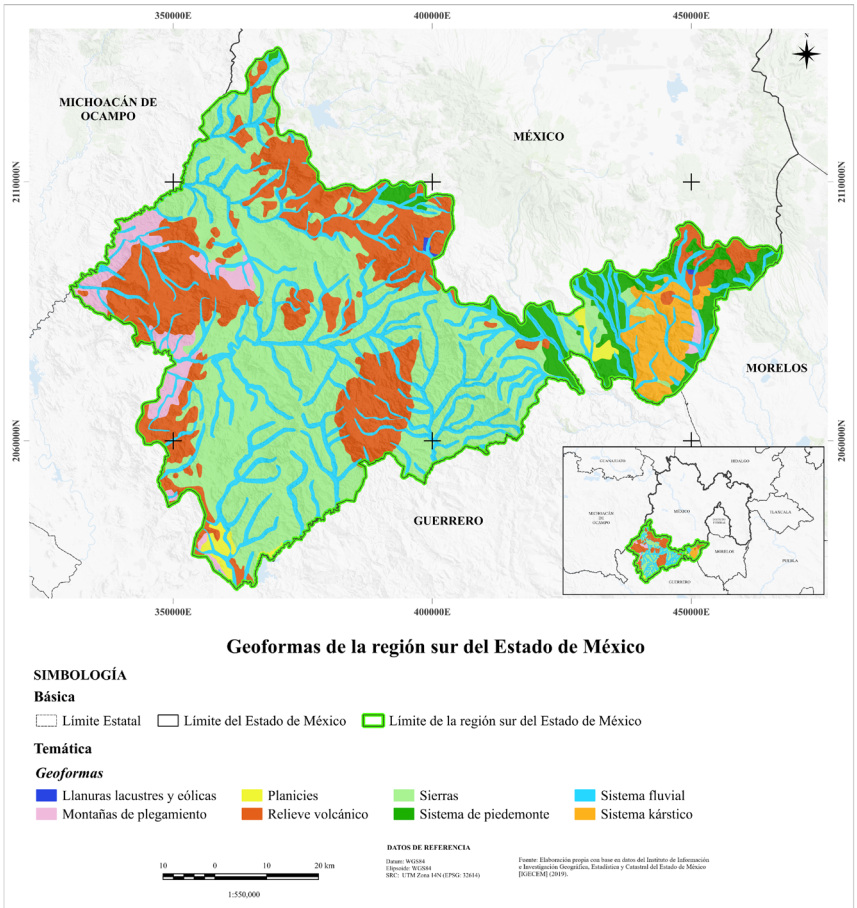
Fuente: elaboración propia con base en datos de García, E. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (1998).

2.5 Condiciones geomorfológicas

El Estado de México se compone de una estructura geomorfológica compleja, donde se encuentra un relieve variado, compuesto por sistemas montañosos, originados por amplia diversidad de procesos tectónicos y eventualidades volcánicas (Lugo y Córdova, 1992). La región sur se caracteriza por presentar

condiciones geomorfológicas variadas, predominando las sierras, que están presentes en el 44 % de la superficie total, equivalente a 2,370 km². Estas sierras se localizan principalmente en la parte central de la RSEM, con mayor predominancia hacia el suroeste, sureste y noroeste. Además, un componente geomorfológico relevante es el relieve de origen volcánico, el cual se presenta de manera no continua en la RSEM. Este relieve representa un valor aproximado de 22 % equivalente a 1,246 km² del total regional y se encuentra principalmente en algunas porciones limítrofes de la región.

Mapa 5. Principales sistemas de geoformas en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México [IGECEM] (2019).

Como complemento a los elementos montañosos y volcánicos, existen sistemas fluviales que constituyen el 20 % de la región, lo que equivale a 1,088 km². Estos sistemas fluviales desempeñan un rol notable en el drenaje y en los procesos erosivos pluviales y fluviales que modelan el paisaje de la RSEM. También se aprecia la existencia de otros complejos estructurales como es el caso del sistema de piedemonte, las montañas de plegamientos, los sistemas kársticos y las llanuras lacustres y eólicas, así mismo, porciones de planicies (Mapa 5). Estos datos fueron obtenidos del procesamiento de información espacial en SIG (Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México [IGECEM], 2019).

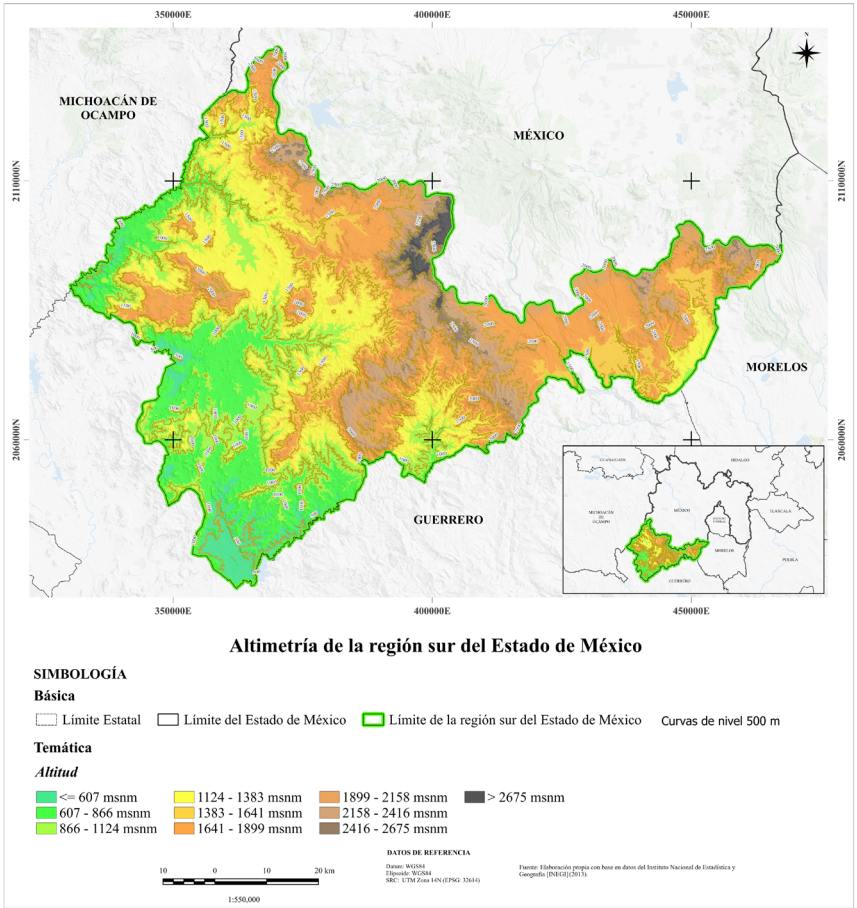
2.6 Altimetría

La región sur del Estado de México presenta una variación altitudinal en toda su superficie, la cual es resultado de la complejidad geológico-geomorfológica y topográfica que le caracteriza. En este contexto, el valor altitudinal más alto está ubicado en el Municipio de Texcaltitlán con 2,964 metros sobre el nivel del mar (msnm), por el contrario, el punto de menor altitud corresponde al Municipio de Tlatlaya, con 339 msnm. Se observa que la región sur y por supuesto, la Sierra Madre del Sur es la provincia fisiográfica más compleja del territorio mexicano (Mapa 6). Los datos se obtuvieron del procesamiento de información espacial en SIG (INEGI, 2013).

2.7 Características edafológicas

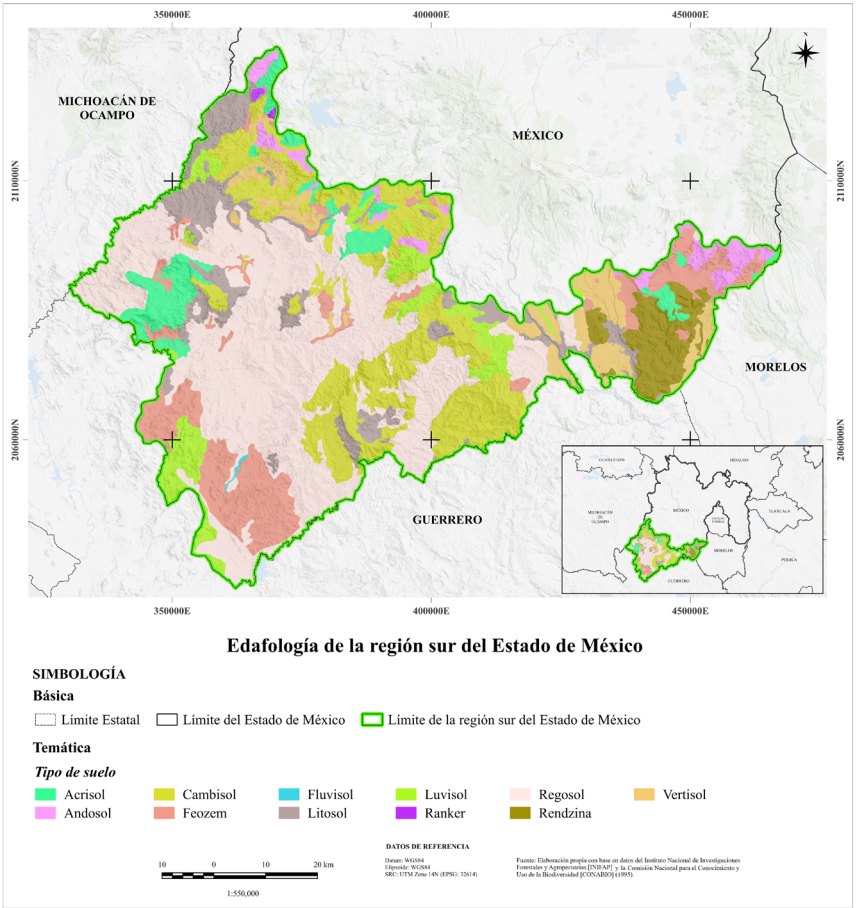
Las peculiaridades de los suelos en la región son resultado de la interacción entre los componentes geológico-geomorfológicos, topográficos, climáticos y de vegetación. En la región existe amplia diversidad de suelos, predominando el tipo regosol, el cual está presente en aproximadamente el 37 % de la superficie total, equivalente a 2,035 km². En segunda posición se encuentra el tipo cambisol que ocupa el 18 % de la superficie y es equivalente a 1,001 km². Otro tipo de suelo representativo es el feozem, mismo que se extiende en un poco más del 11 % de la superficie regional y es equivalente a 595 km². El suelo litosol representa el 9 % de la superficie (491 km²). El 25 % restante de la superficie de la región, es decir, 1,328 km² está ocupada con tipos de suelos vertisol, luvisol, acrisol, rendzina, andosol, ranker y fluvisol (Mapa 7). Estos datos se derivaron del procesamiento de información espacial en SIG (Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias [INIFAP] y CONABIO, 1995).

Mapa 6. Altimetría de la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013).

Mapa 7. Tipos de suelo en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias [INIFAP] y CONABIO (1995).

Capítulo 3. Cambio de cobertura y uso del suelo: relación con la agricultura

3.1 Consideraciones metodológicas

El estudio de los cambios de uso en el suelo constituye una base fehaciente para comprender las problemáticas que han surgido por la intervención humana con la finalidad de satisfacer sus necesidades fundamentales. Entre las más relevantes, se ha identificado la expansión urbana para el establecimiento de nuevos espacios habitacionales y el crecimiento de la frontera agrícola para producir alimentos y satisfacer la demanda alimentaria. Eventualmente la región sur del Estado de México no ha sido ajena a estas situaciones, derivado a que algunas investigaciones han demostrado la existencia de transformaciones, en algunos casos irreversibles (Pineda, 2009).

En este capítulo se aborda el análisis sobre las transformaciones en los usos y coberturas del suelo que han acontecido en la RSEM, prestando especial atención en aquellos vinculados con la agricultura, reconociendo la influencia ejercida por esta actividad de manera directa e indirecta hacia la evolución del paisaje e identificando los patrones y tendencias de modificación. La información puede ser útil para la planeación y propuesta de acciones que contribuyan a la conservación ambiental y por supuesto, a la producción alimentaria. La aplicación de la geografía ambiental es fundamento importante para comprender las alteraciones desde la perspectiva de la interacción sociedad y la naturaleza.

El proceso de conversión de uso y cobertura del suelo es un fenómeno relevante, el cual debe ser estudiado considerando su complejidad y dinamismo (Meyer y Torner, 1992). Una de las formas más eficientes para evaluar estas modificaciones es mediante el empleo de diversos métodos y modelos con herramientas de sistemas de información geográfica, sin embargo, la correcta implementación de éstos se encontrará en función de las finalidades y objetivos de la evaluación, así como la dependencia en la disponibilidad de insumos (Jiménez, *et al*., 2011).

La aplicación de tecnologías de información geográfica se ha convertido en una herramienta indispensable para las labores de análisis espacial y

modelación territorial. A pesar de las grandes ventajas y potencialidades de estas tecnologías, existe la necesidad de robustecer estos estudios mediante la integración de otras técnicas y métodos que permitan complementar la exploración y desde luego los resultados (Mena, 2006). El modelamiento de los cambios de uso del suelo debe ser sustentado por diversas disciplinas científicas, como la geografía, debido a su enfoque espacial para comprender problemáticas ambientales. El uso de sistemas de información geográfica ha sido útil en modelaciones espaciales orientadas a detectar modificación en el uso del suelo (Pineda y Santana, 2019). En la actualidad se han diversificado las metodologías para evaluar alteraciones en los usos y coberturas del suelo, siendo factor clave la innovación tecnológica y el uso de sus herramientas e insumos. Algunos autores exponen que la base para identificar modificaciones espaciales es el cruce de información geográfica correspondiente a dos fechas diferentes, la cual debe ser representada de manera vectorial o ráster (Mas y Fernández, 2003, como se citó en Pineda y Santana, 2019).

Uno de los modelos con mayor reconocimiento en las investigaciones de cambio de uso del suelo es el desarrollado por *Clark Labs*, denominado *Land Change Modeler* [LCM], el cual se encuentra integrado en el *software TerrSet liberaGIS*, mismo que permite realizar evaluaciones de transformación de uso del suelo, simplificando su complejidad mediante la implementación de dos insumos principales, es decir, dos imágenes satelitales de diferente temporalidad (Clark University, 2024; Eastman, 2024). Además, estas herramientas permiten integrar un análisis cuantitativo a través de una matriz de tabulación cruzada propuesta por Pontius *et al*. (2004).

La implementación del modelo en estudios de sustitución de coberturas o usos del suelo constituye una herramienta favorable para obtener excelentes resultados sobre la dinámica de transformación del suelo en diferentes contextos y espacios de análisis (Humacata, 2019; Palomeque *et al*, 2021; Pineda y Santana, 2019). Sin embargo, la combinación con modelos más robustos y especializados como lo son las Cadenas de Markov y Autómatas celulares, permiten ampliar la visión de la evaluación hacia escenarios tendenciales, por supuesto, empleando la combinación de estas técnicas en modelos de transición (Ramos, *et al*., 2019; Ramos, *et al*., 2021).

A manera de resumen, la aplicación del modelo *Land Change Modeler* (LCM) y su vinculación con la metodología de Pontius *et al*. (2004), permiten obtener resultados concretos y precisos para realizar análisis descriptivos de la dinámica espacial enfocado precisamente a los procesos de evolución en el uso y coberturas del suelo (Humacata, 2019; Pineda y Santana, 2019).

3.2 Metodología aplicada en la región sur del Estado de México

La metodología utilizada en el análisis de cambios de uso del suelo en la región sur del Estado de México estuvo conformada por amplia diversidad de

insumos cartográficos, mismos que fueron manejados con herramientas de sistemas de información geográfica, haciendo uso de los softwares SIG, *Quantum GIS* (QGIS) y *TerrSet liberaGIS*.

Los insumos empleados fueron capas de información vectorial almacenada en archivos shapefile, principalmente cartas temáticas de uso del suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, escala 1:250,000 considerando desde la serie I hasta la VII (continuo nacional). La justificación de utilizar estas cartas en la investigación radica en que constituyen elementos valiosos a nivel nacional, ya que proporcionan la cartografía básica en la que se representa la amplia diversidad de vegetación y usos del suelo de México, su composición y la vinculación con diversas actividades socioeconómicas que se desarrollan en todo el territorio, es decir, brinda información ecológica-geográfica relevante para diversas investigaciones (INEGI, 2017).

En congruencia con la importancia de los insumos cartográficos, diversos estudios con perspectiva geográfica han evaluado la modificación en los usos del suelo del territorio nacional, y desde luego, se han respaldado en el uso de las cartas temáticas del INEGI, considerándoles como una alternativa adecuada para los propósitos planteados, toda vez que permiten obtener resultados oportunos, concretos y precisos, identificando patrones y tasas de cambio en diversos espacios y escalas de tiempo (Linares *et al*., 2022; Pineda *et al*., 2009; Pineda y Santana, 2019; Velázquez *et al*., 2002).

Las cartas temáticas fueron sujetas a una revisión, con la finalidad de identificar aquellas que contenían una mejor relación en cuanto a su contenido, y en virtud de ello ser consideradas para su posterior procesamiento. Con base en este argumento, se seleccionaron las series: III, V y VII (INEGI, 2005, 2013, 2021). De acuerdo con el período de elaboración de las series del INEGI, se estableció la fecha final de terminación como el año de referencia para cada una, en este sentido, se determinaron las siguientes condiciones:

- Serie III, elaborada entre 2002-2005, año establecido 2005. Tiempo 1.
- Serie V, elaborada entre 2011–2013, año establecido 2013. Tiempo 2.
- Serie VII, elaborada entre 2017-2021, año establecido 2021. Tiempo 3.

Después de haber determinado los años para el análisis de la transformación de uso del suelo, se procedió a determinar los períodos a evaluar, esto con el fin de observar con mayor precisión las modificaciones ocurridas, por lo que, los períodos establecidos fueron los siguientes:

- Primer período 2005-2013
- Segundo período 2013-2021
- Período general 2005-2021

De manera simultánea a la integración de las cartas de uso del suelo y vegetación, se utilizó información vectorial para delimitar geográficamente la región sur del Estado de México. Con las series definidas se hizo estandarización de los datos, ya que las clasificaciones eran distintas entre cada período, lo cual implicaba un problema técnico para el análisis. Se realizó una generalización de las coberturas y usos del suelo para disminuir el número de categorías "clases" de análisis y obviar las diferencias entre las clasificaciones que no estaban presentes en las series seleccionadas, con la seguridad de que el cruzamiento de datos y los geoprocesos subsecuentes no presentaran errores entre las categorías de cada serie (Cuadro 2).

Cuadro 2. Reclasificación de los tipos de coberturas y usos del suelo

Generalización de tipo de uso de suelo y vegetación	Agrupación de los tipos de usos del suelo y vegetación
Agricultura de riego	Agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y permanente, agricultura de riego anual y semipermanente.
Agricultura de temporal	Agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, agricultura de temporal anual y semipermanente, agricultura de temporal plantación agrícola permanente.
Asentamientos humanos	Asentamientos humanos, desprovisto de vegetación, zona urbana.
Bosque de encino y mezclas	Bosque de encino, bosque de encino-pino.
Bosque de galería	Bosque de galería.
Bosque de pino y mezclas	Bosque de pino, bosque de pino-encino.
Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña.
Cuerpos de agua	Cuerpo de agua.
Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia.
Vegetación inducida	Palmar inducido, pastizal inducido.
Vegetación secundaria arbórea	Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino, Vegetación secundaria arbórea de bosque de táscate, Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia.
Vegetación secundaria arbustiva	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate, Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña, Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia.
Vegetación secundaria herbácea	Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino, Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia.

Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013 y 2021).

Después de haber realizado la reclasificación de coberturas y usos del suelo de las series III, V y VII, se procedió a hacer una conversión de formatos de información, convirtiendo las capas vectoriales (series III, V y VII) a un formato ráster, ya que este tipo de archivo es indispensable para proceder con el análisis de cambios de uso del suelo y vegetación. En el proceso de rasterización se estableció un tamaño de píxel acorde a la superficie, determinando un tamaño de 10 m por 10 m para evitar posibles errores y discrepancia al momento de realizar el análisis de las capas.

La evaluación de los procesos de modificación de uso del suelo se realizó con el software, *TerrSet liberaGIS*, haciendo uso de sus herramientas y módulos especializados. En primera instancia se aplicó el módulo *Land Change Modeler* para generar la cartografía de las transformaciones. Posteriormente se utilizó la herramienta "CrossTab", la cual permitió obtener la matriz de tabulación cruzada que se sustenta en la propuesta de Pontius, donde de manera cuantitativa se identificaron los cambios ocurridos.

Tanto en el L*and Change Modeler*, como en el CrossTab se ingresaron las series de INEGI correspondientes con los años 2005, 2013 y 2021, esto con base en los períodos de análisis establecidos en párrafos precedentes:

- Primer período: serie III, año 2005, Tiempo 1 y la serie V, año 2013, Tiempo 2.
- Segundo período: serie V, año 2013, Tiempo 2 y la serie VII, año 2021, Tiempo 3.
- Período general: serie III, año 2005, Tiempo 1 y la serie VII, año 2021, Tiempo 3.

La generación de la matriz de tabulación cruzada y obtenida por medio de la herramienta "*CroosTab*", tiene sustento en la propuesta metodológica de Pontius *et al*. (2004) (Cuadro 3) y fue utilizada para calcular ganancias, pérdidas, intercambio, cambio total y cambio neto.

Cuadro 3. Matriz de tabulación cruzada

	Tiempo 2				Tiempo total 1	Pérdida
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Tiempo 1						
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{+}	$P_{4+} - P_{44}$
Tiempo total 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancia	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+3} - P_{44}$		

Nota: adaptado de *General cross-tabulation matrix for comparing two maps from different points in time*, de Pontius *et al*. (2004).

De acuerdo con Pontius *et al.*, (2004) en la matriz de tabulación cruzada, las filas representan las categorías del primer tiempo mientras que, las columnas indican las categorías del segundo tiempo. En la matriz, P_{ij} indica los cambios ocurridos en el paisaje entre el tiempo 1 "i" y el tiempo 2 "j". Donde P_{jj}, representa la parte del paisaje que ha permanecido en la categoría j, es decir las zonas estables (sin alteraciones). Con base en Pontius *et al*, (2004) y Pineda y Santana (2019) se deben realizar operaciones para calcular las ganancias, pérdidas, intercambio, cambio total y cambio neto.

En cuanto a la ganancia G_{ij} es la diferencia existente entre la columna del total del tiempo *2* P_{+j} y la persistencia P_{jj}.

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj} \qquad \textit{Ecuación 1}$$

Referente a la pérdida L_{ij} se obtiene de la diferencia que existe entre la fila del total del tiempo *1* P_{j+} y la persistencia.

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj} \qquad \textit{Ecuación 2}$$

Para determinar el intercambio entre categorías S_j, se realiza el cálculo basado en dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas.

$$S_j = 2 \; x \; min \; (G_{ij} \, , \, L_{ij}) \qquad \textit{Ecuación 3}$$

El cambio total de cada categoría C_j se determina mediante la suma del cambio neto D_j (G_{ij}+L_{ij}) y el intercambio S_j, de forma simplificada, se realiza la suma de las ganancias y las pérdidas.

$$C_j = (Dj + S_j) \qquad \textit{Ecuación 4}$$

A partir de estos cálculos es posible medir y comprender con mayor precisión las dinámicas de cambio en el uso del suelo desde una perspectiva cuantitativa, situación que, en conjunto con la cartografía obtenida de LCM, constituyen un análisis descriptivo más completo de los procesos de transformación que han ocurrido en la región.

3.3 Resultados del análisis

3.3.1 Cambios de uso del suelo y vegetación: período general (2005-2021)

Mediante el análisis de los datos del INEGI (2005, 2021) se observa que en la región sur del Estado de México ocurrieron modificaciones en aproxima-

damente el 36.52 % de la superficie (1,989.98 km²) durante los 16 años de estudio. Los cambios se presentaron en toda la RSEM, evidenciando que éstos ocurrieron en la mayoría de las clases, mismos que han sido vinculados por las actividades humanas. Por otra parte, el 63.48 % restante de la superficie (3,459.61 km²) no registró transformaciones, lo cual indica que existe persistencia en los usos del suelo y sus coberturas. Con relación a la superficie que registró transformación (36.52 %), existen métricas que explican con precisión las alteraciones identificadas, por ejemplo, el intercambio, entendido como las conversiones recíprocas entre los diferentes tipos de uso del suelo y vegetación; otra métrica es el cambio neto, que refleja la diferencia entre las ganancias y pérdidas de las clases. En la superficie que registró cambios, fue notorio identificar un intercambio de 26.52 % (1,446.02 km²) y un cambio neto de 9.99 % (543.96 km²) (Cuadro 4).

Respecto a las transformaciones identificadas en la región es pertinente conocer los impactos que ha ocasionado la agricultura y viceversa, toda vez que, las actividades y procesos agrícolas pueden tener repercusiones en el uso del suelo. Ante esta situación, es conveniente establecer estrategias viables para el establecimiento de sistemas agrícolas funcionales (sustentables) y restaurar espacios con aptitud o potencial agrícola que han sido abandonados o afectados por otros factores impulsores.

En cuanto al análisis de cambio en las clases, la vegetación secundaria arbustiva fue la que experimentó las modificaciones más relevantes, seguida por la vegetación inducida y la vegetación secundaria arbórea. Estas clases de vegetación registraron las transformaciones más significativas en la región sur del Estado de México, este proceso muestra evidencias de que la vegetación nativa de la zona ha registrado evoluciones relevantes en el período de 16 años.

3.3.1.1 Pérdidas, ganancias y cambio neto

Con base en los datos obtenidos fue posible identificar las pérdidas y las ganancias, así como la diferencia entre estas dos métricas, es decir, el cambio neto. Esto ofrece un panorama más entendible sobre los usos y coberturas del suelo en donde ocurrieron ganancias o pérdidas en algunas de las clases de uso del suelo y vegetación. La vegetación secundaria arbustiva fue la clase con mayores modificaciones, pues registró pérdidas de -387.36 km² y ganancias de +837.66 km², obteniendo un cambio neto de +450.30 km² a favor del incremento de esta vegetación (Gráfica 1).

Cuadro 4. Matriz de cambios en la región sur del Estado de México. Período: 2005–2021

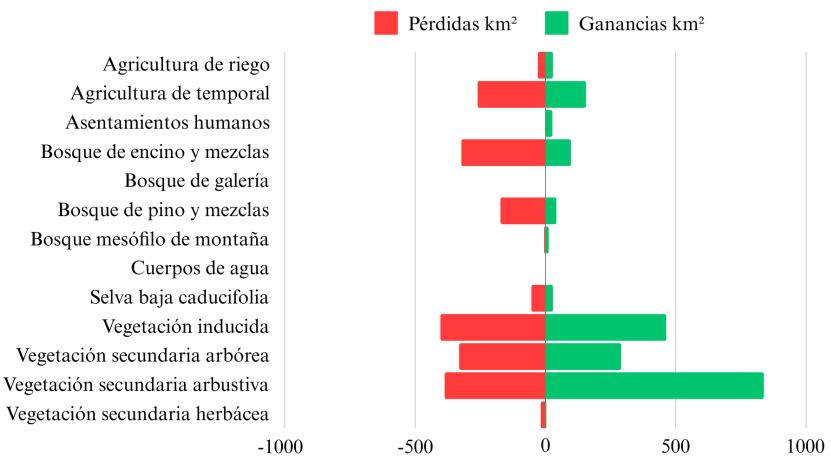
Tipo de uso del suelo y vegetación	Superficie total (km²) año 2005	%	Superficie total (km²) año 2021	%	Superficie de ganancias (km²)	%	Superficie de pérdidas (km²)	%	Superficie de cambio total (km²)	%	Superficie de intercambio (km²)	%	Superficie de cambio neto (km²)	%
Agricultura de riego	177.33	3.25	176.32	3.24	29.01	0.53	30.02	0.55	59.04	1.08	58.03	1.06	1.01	0.02
Agricultura de temporal	749.56	13.75	644.69	11.83	155.80	2.86	260.66	4.78	416.46	7.64	311.59	5.72	104.87	1.92
Asentamientos humanos	14.19	0.26	39.66	0.73	26.82	0.49	1.35	0.02	28.16	0.52	2.69	0.05	25.47	0.47
Bosque de encino y mezclas	539.33	9.90	313.95	5.76	97.64	1.79	323.01	5.93	420.65	7.72	195.28	3.58	225.38	4.14
Bosque de galería	1.69	0.03	2.12	0.04	0.59	0.01	0.16	0.00	0.75	0.01	0.33	0.01	0.43	0.01
Bosque de pino y mezclas	533.72	9.79	402.76	7.39	42.08	0.77	173.04	3.18	215.11	3.95	84.15	1.54	130.96	2.40
Bosque mesófilo de montaña	35.43	0.65	43.12	0.79	13.10	0.24	5.41	0.10	18.51	0.34	10.82	0.20	7.69	0.14
Cuerpos de agua	1.31	0.02	1.82	0.03	0.55	0.01	0.05	0.00	0.60	0.01	0.09	0.00	0.51	0.01
Selva baja caducifolia	163.47	3.00	138.07	2.53	29.33	0.54	54.73	1.00	84.06	1.54	58.67	1.08	25.40	0.47
Vegetación inducida	1,258.25	23.09	1,317.82	24.18	463.26	8.50	403.70	7.41	866.97	15.91	807.40	14.82	59.56	1.09
Vegetación secundaria arbórea	655.08	12.02	614.15	11.27	290.73	5.33	331.67	6.09	622.40	11.42	581.47	10.67	40.93	0.75
Vegetación secundaria arbustiva	1,287.27	23.62	1,737.57	31.88	837.66	15.37	387.36	7.11	1,225.02	22.48	774.72	14.22	450.30	8.26
Vegetación secundaria herbácea	32.95	0.60	17.55	0.32	3.40	0.06	18.81	0.35	22.21	0.41	6.81	0.12	15.41	0.28
Total general	5,449.59	100	5,449.59	100	1,989.98	36.52	1,989.98	36.52	1,989.98	36.52	1,446.02	26.53	543.96	9.98

Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2021).

La segunda clase que presentó de igual forma, transformaciones significativas fue la vegetación inducida ya que registró pérdidas de -403.70 km², y ganancias de +463.26 km², obteniendo un cambio neto de +59.56 km² a favor del desarrollo de la vegetación inducida. La tercera clase que tuvo conversiones significativas en la región se concentra la vegetación secundaria arbórea, en la que fue posible identificar pérdidas de -331.67 km², ganancias de +290.73 km², y un retroceso en la vegetación con cambio neto de -40.93 km² (Gráfica 1).

La clase bosque de encino y mezclas se ubica en el cuarto lugar, presentando pérdidas de -323.01 km² y ganancias de +97.64 km², registrando una relevante afectación al bosque de encino y mezclas, situación debida a la desaparición de -225.38 km² de bosque, cifra asociada con el cambio neto. Por el contrario, las clases que experimentaron alteraciones menores fueron el bosque de galería con pérdidas de -0.16 km² y ganancias de +0.59 km² reflejando un cambio neto de +0.43 km²; los cuerpos de agua también permanecieron sin variaciones significativas, pues tuvieron pérdidas de -0.05 y ganancias de +0.55 km² obteniendo un aumento de +0.5 km² que corresponde al cambio neto (Gráfica 1).

Gráfica 1. Pérdidas y ganancias de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México, 2005–2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2021).

3.3.1.2 Cambios entre clases

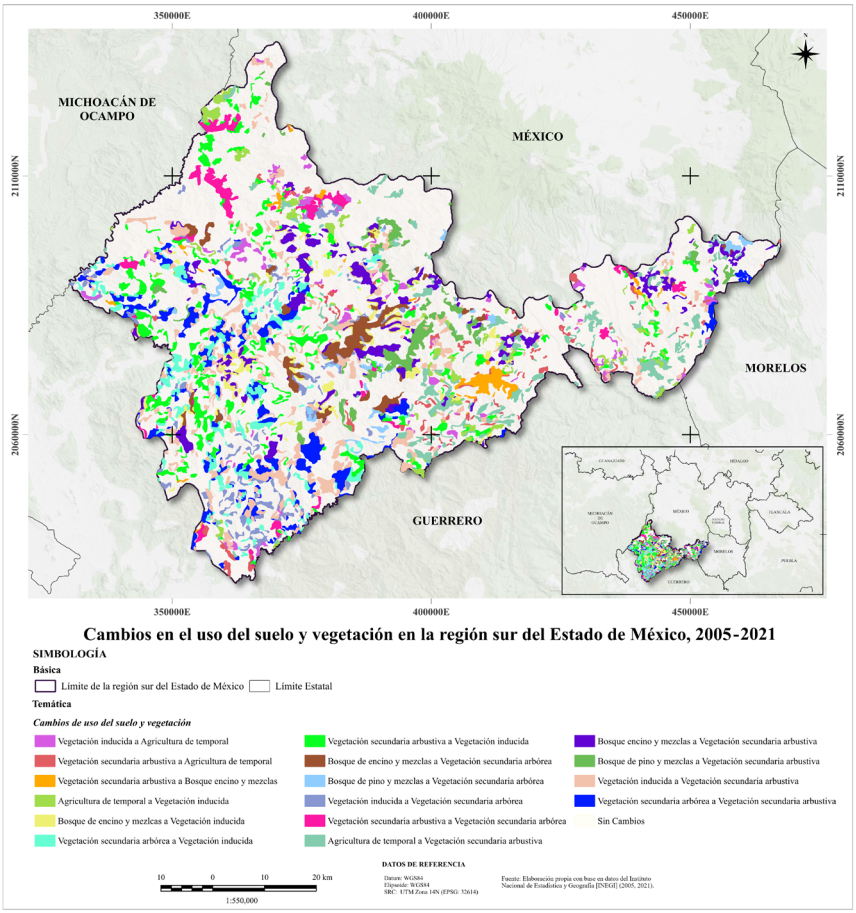
Los cambios identificados en la RSEM han sido significativos, ya que la zona ha experimentado transformaciones en la mayor parte de los usos del suelo y la vegetación natural (aproximadamente 37 % de la superficie total regional). Por lo que, es esencial analizar el estado inicial de la región y su transición hacia otro tipo de uso o vegetación, esto con la finalidad de comprender las causas que provocan estas modificaciones y algunas de sus posibles consecuencias a mediano y largo plazo. Más adelante, se muestra la amplia diversidad de transiciones de usos del suelo y la vegetación que han ocurrido, siendo notorio que en todo el territorio de la RSEM son evidentes las transformaciones (Mapa 8).

Las transiciones con mayor representación superficial se han presentado entre las siguientes clases: de vegetación inducida a vegetación secundaria arbustiva (4.3 % de la superficie regional) equivalente a 236.05 km², de vegetación secundaria arbórea a vegetación secundaria arbustiva (3.6 % de la superficie de la RSEM) equivalente a 195.0 km² y de vegetación secundaria arbustiva a vegetación inducida (3.3 % de la superficie regional) que equivale a 179.3 km². También la transición entre bosque de encino y mezclas a vegetación secundaria arbustiva fue relevante, pues ésta incorpora más de 2.9 % de la superficie de la región sur, equivalente a 156.1 km². Con base en estos datos es evidente que la región ha presentado un proceso de configuración de sus usos del suelo y, por consiguiente, del paisaje. Las mayores transformaciones están vinculadas con la perturbación de vegetación natural, implicando a la vez, pérdida de biodiversidad (Mapa 8).

3.3.2 Cambios de uso del suelo y vegetación: primer período (2005-2013)

Anteriormente se presentó un panorama general de los cambios ocurridos entre el año 2005 y el año 2021, desde luego, para evaluar éstos desde una perspectiva más específica, se analizan las modificaciones acontecidas en el período de 2005 a 2013. Con base en los datos del INEGI (2005, 2013) la región sur del Estado de México registró importantes alteraciones, pues el 31.85 % de la superficie total de la RSEM (1,735.85 km²) fue escenario de transformación en los usos del suelo y coberturas. A su vez, el 22.52 % que equivale a 1,227.07 km² registró intercambios y, el 9.34 % equivalente a 508.79 km² corresponde con cambio neto. El (68.15 %) equivalente a 3,713.74 km² de la superficie regional no presentó variaciones, es decir, permaneció persistente (Cuadro 5).

Mapa 8. Cambios en el uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México, 2005-2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2021).

Cuadro 5. Matriz de cambios en la región sur del Estado de México. Período: 2005–2013

Tipo de uso del suelo y vegetación	Superficie total (km²) año 2005	%	Superficie total (km²) año 2013	%	Superficie de ganancias (km²)	%	Superficie de pérdidas (km²)	%	Superficie de cambio total (km²)	%	Superficie de intercambio (km²)	%	Superficie de cambio neto (km²)	%
Agricultura de riego	177.33	3.25	182.29	3.34	28.42	0.52	23.46	0.43	51.88	0.95	46.92	0.86	4.96	0.09
Agricultura de temporal	749.56	13.75	675.26	12.39	145.11	2.66	219.41	4.03	364.52	6.69	290.22	5.33	74.31	1.36
Asentamientos humanos	14.19	0.26	32.08	0.59	19.24	0.35	1.35	0.02	20.59	0.38	2.69	0.05	17.89	0.33
Bosque de encino y mezclas	539.33	9.90	319.19	5.86	92.17	1.69	312.30	5.73	404.47	7.42	184.33	3.38	220.14	4.04
Bosque de galería	1.69	0.03	2.12	0.04	0.59	0.01	0.16	0.00	0.75	0.01	0.33	0.01	0.43	0.01
Bosque de pino y mezclas	533.72	9.79	422.83	7.76	43.35	0.80	154.24	2.83	197.59	3.63	86.70	1.59	110.89	2.03
Bosque mesófilo de montaña	35.43	0.65	43.90	0.81	13.68	0.25	5.20	0.10	18.88	0.35	10.41	0.19	8.47	0.16
Cuerpos de agua	1.31	0.02	1.51	0.03	0.25	0.00	0.05	0.00	0.30	0.01	0.10	0.00	0.20	0.00
Selva baja caducifolia	163.47	3.00	145.98	2.68	14.55	0.27	32.04	0.59	46.59	0.85	29.09	0.53	17.49	0.32
Vegetación inducida	1,258.25	23.09	1,288.97	23.65	381.82	7.01	351.10	6.44	732.92	13.45	702.21	12.89	30.71	0.56
Vegetación secundaria arbórea	655.08	12.02	580.53	10.65	237.32	4.35	311.87	5.72	549.19	10.08	474.64	8.71	74.55	1.37
Vegetación secundaria arbustiva	1,287.27	23.62	1,733.39	31.81	754.71	13.85	308.59	5.66	1,063.31	19.51	617.19	11.33	446.12	8.19
Vegetación secundaria herbácea	32.95	0.60	21.54	0.40	4.65	0.09	16.07	0.29	20.71	0.38	9.30	0.17	11.42	0.21
Total general	5,449.59	100	5,449.59	100	1,735.85	31.85	1,735.85	31.85	1,735.85	31.85	1,227.07	22.52	508.79	9.34

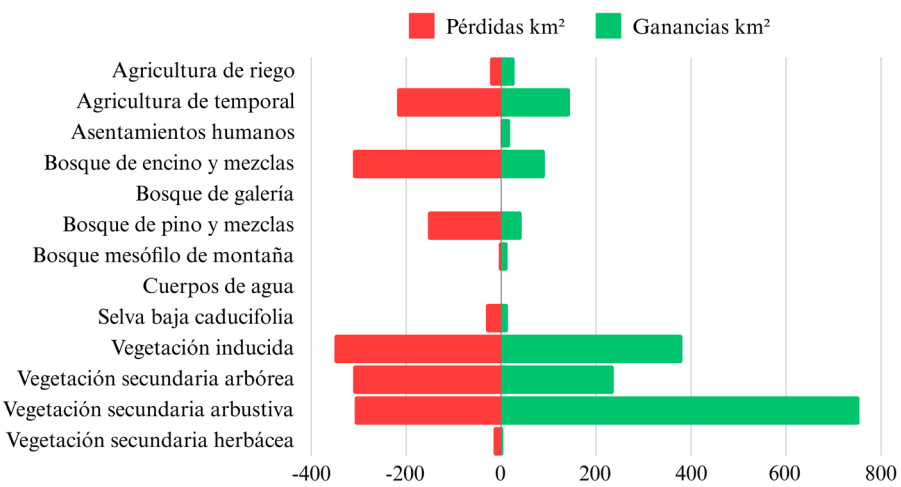
Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

3.3.2.1 Pérdidas, ganancias y cambio neto

Con el análisis de las métricas pertenecientes a pérdidas, ganancias y cambio neto es posible identificar los aumentos o decrementos de las clases de uso del suelo y vegetación. De acuerdo con los datos obtenidos (Cuadro 5 y Gráfica 2) se observa que, en primer lugar, la vegetación secundaria arbustiva experimentó modificaciones considerables en el período 2005-2013, es decir, tuvo pérdidas de -308.59 km², ganancias de +754.71 km² y un cambio neto de +446.12 km² a favor del incremento de este tipo de vegetación. En segundo lugar, la vegetación inducida también presentó transformaciones, ya que, registró pérdidas de -351.10 km², ganancias de +381.82 km² y un cambio neto de +30.71 km², en beneficio de la vegetación inducida. En tercer lugar, la vegetación secundaria arbórea tuvo pérdidas de -311.87 km², ganancias de +237.32 km² y cambio neto de -74.55 km².

También se identifican las clases que no experimentaron impactos drásticos de alteración en su composición, por ejemplo, la clase de cuerpos de agua registró pérdidas de -0.05 km², ganancias de 0.25 km² y cambio neto de +0.20 km² en favor de los cuerpos de agua. El bosque de galería registró modificaciones mínimas con pérdidas de 0.16 km², ganancias de 0.59 km² y un cambio neto de 0.43 km² en apoyo al crecimiento de esta vegetación. La situación, coadyuva a que los cuerpos de agua y bosque de galería permanezcan en condiciones favorables, toda vez que, los procesos de transformación son mínimos.

Gráfica 2. Pérdidas y ganancias de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México, período: 2005-2013



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

3.3.2.2 Cambios entre clases

Eventualmente los cambios identificados son producto de las transiciones entre clases, bajo esta lógica, el análisis de éstas ofrece una perspectiva con mayor precisión, misma que ayuda a comprender e identificar patrones de sustitución, así como determinar posibles causas que han incidido sobre las transformaciones. Los principales cambios identificados en la región sur del Estado de México en el período 2005 y 2013 se presentan en párrafos posteriores (Mapa 9).

Las transformaciones paisajísticas ocurrieron con mayor predominancia en las porciones centro, oeste y sur del territorio que conforma la RSEM, mientras que, las áreas ubicadas en la colindancia norte permanecieron estables, es decir, las modificaciones fueron mínimas. Las transiciones más notorias fueron las siguientes: a) de vegetación inducida a vegetación secundaria arbustiva (3.53 % de la superficie total de la RSEM) equivalente a 192.60 km², b) de vegetación secundaria arbórea a vegetación secundaria arbustiva (3.44 % de la superficie regional) equivalente a 187.24 km², c) de vegetación secundaria arbustiva a vegetación inducida (2.93 % de la superficie regional) que equivale a 159.66 km² y d) de bosque de encino y mezclas a vegetación secundaria arbustiva (2.82 % del área de la región) equivalente a 153.60 km² (Mapa 9).

3.3.2.3 Análisis de la agricultura

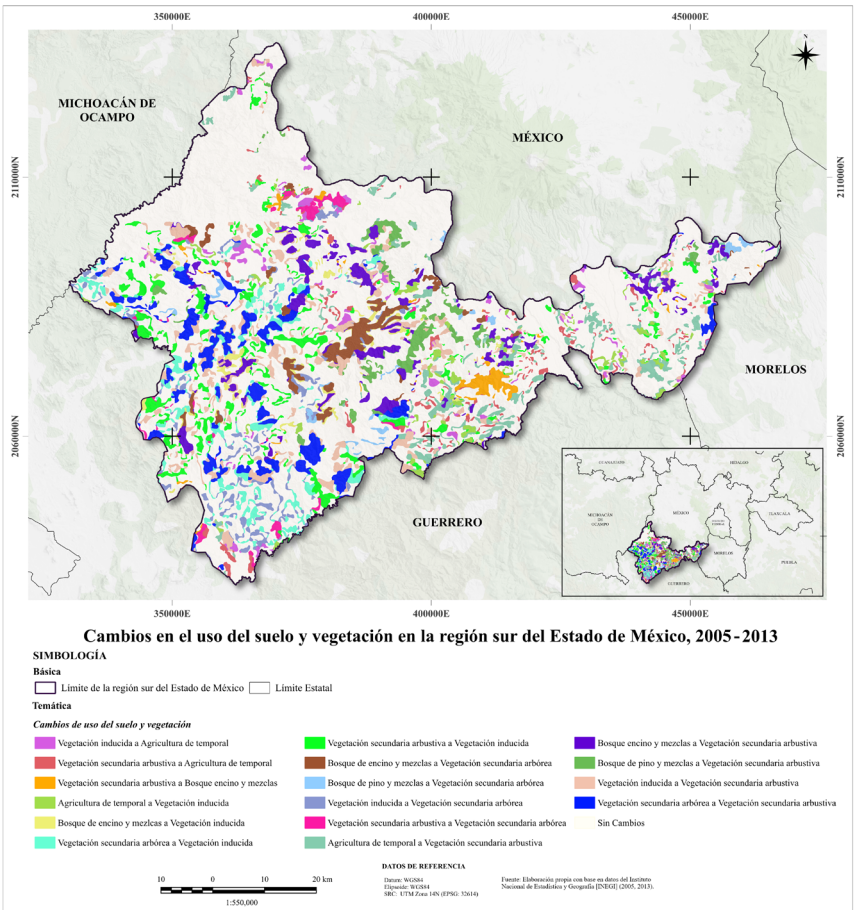
El análisis de los cambios en el uso del suelo y vegetación y su relación con las actividades y procesos agrícolas, fue uno de los ejes centrales de la investigación. En este apartado se presenta un esbozo de las transiciones ocurridas y su relación con las ganancias y pérdidas que han influido en las transformaciones, es decir, las zonas que han experimentado transformaciones relevantes en el contexto de la agricultura de la región sur del Estado de México. De acuerdo con la información contenida en las cartas temáticas de uso del suelo y vegetación del INEGI, se identifican diversos tipos de agricultura y actividades acuícolas en México, agrupados en el concepto de agroecosistemas. En este sentido, son importantes dos tipos de agricultura: agricultura de temporal y agricultura de riego (determinados previamente en la generalización y estandarización de usos y coberturas del suelo). La agricultura de temporal se caracteriza por depender de la precipitación pluvial, está determinada por el ciclo de las lluvias, mientras, la agricultura de riego depende de diversos métodos de irrigación artificiales (INEGI, 2017).

- Análisis de la agricultura de riego

Entre 2005 y 2013, la agricultura de riego en la región sur del Estado de México tuvo transformaciones significativas, ya que, esta clase experimentó pérdidas de 23.46 km² y obtuvo ganancias de 28.42 km², es decir, se obtuvo un cambio total de 51.88 km², superficie que representa aproximadamente el 1

% de la superficie total. Aunque este porcentaje no parece ser representativo, es pertinente precisar que la superficie es importante para la producción de alimentos en México. Considerando las pérdidas y ganancias en la agricultura de riego, existe una diferencia de 4.96 km², entendida como cambio neto, lo cual indica un aumento en la superficie agrícola sujeta a irrigación. Al final de este período (2013) se determina que, el uso del suelo para la agricultura de riego era del 3.34 % equivalente a 182.29 km², esto de acuerdo con los datos antes expuestos (Cuadro 5).

Mapa 9. Cambios en el uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2005–2013



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

- Transiciones de cambio de uso del suelo y vegetación en la agricultura de riego

Con relación a las transiciones, se detectaron ganancias de 28.42 km² a favor de la agricultura de riego, lo cual evidencia que han existido transformaciones encaminadas a la producción de alimentos, lo que implica procesos de cambio de uso del suelo en la región. A continuación, se representan las transiciones que favorecieron el incremento superficial en la agricultura de riego (Mapa 10), indicando como era el entorno antes y cómo se transformó para usos agrícolas. Se observa que las transiciones que aportaron a la expansión de la agricultura de irrigación se produjeron en las porciones noreste y noroeste, incrementando una superficie total de 28.42 km², mismos que corresponden a diferentes transiciones, siendo la más significativa la conversión de vegetación inducida a agricultura de riego (35.56 %) equivalente a 10.11 km². La transición de vegetación secundaria arbustiva a agricultura con sistema de irrigación también fue relevante, con una extensión de 27.23 % equivalente a 7.74 km² (correspondientes a los 28.42 km²). Otra transición importante fue la modificación de modalidad agrícola, ya que la conversión de agricultura de temporal a agricultura de riego comprendió 24.73 % equivalente a 7.03 km² (correspondientes a los 28.42 km²).

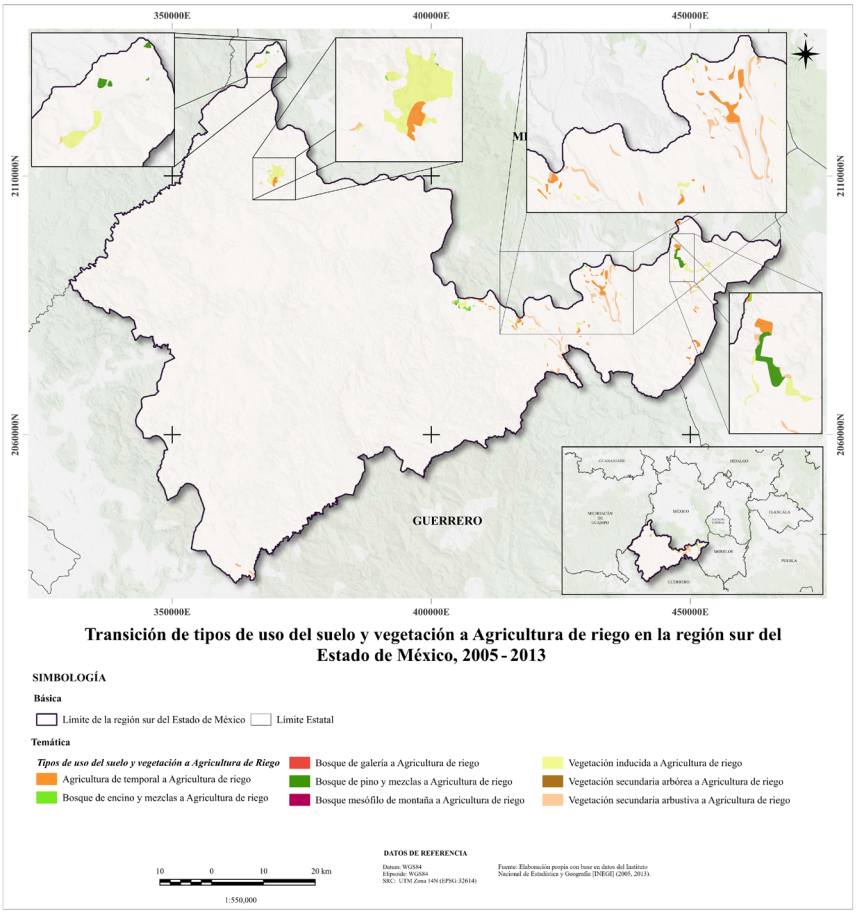
En congruencia con lo antes expuesto, el incremento en la superficie destinada a la agricultura de riego indica una tendencia mayor a la tecnificación de las actividades en el campo, probablemente asociadas con la necesidad de asegurar la productividad ante la variabilidad climática o por la implementación de programas gubernamentales que conducen al establecimiento de cultivos que requieren de irrigación.

En el mismo rubro de las transiciones de 2005 a 2013, pero con relación a las pérdidas, se registraron decrementos en la clase de uso del suelo destinado a la agricultura de riego, ocurriendo una disminución de 23.46 km² que eran destinados a este tipo de agricultura, situación que indica un retroceso en esta actividad. En lo sucesivo, se representan las transiciones que han transformado lo que era ocupado con agricultura de riego y que al final del período cambió hacia otros usos del suelo y vegetación (Mapa 11).

Las transiciones muestran un patrón similar a las ganancias, debido a que las pérdidas también se ubican en las porciones del este y noreste, situación que, indica una relación directa entre la expansión y la disminución de la agricultura en esa parte de la región, lo cual podría estar relacionado con factores ambientales, socioeconómicos o de gestión territorial que favorecen o limitan el desarrollo de las actividades agrícolas. No obstante, es importante señalar que las pérdidas de superficie destinadas a la agricultura de riego fueron menores en comparación con las ganancias, registrando un cambio neto de 4.96 km², mismo que favoreció al incremento de superficie destinada a este tipo de

agricultura, posiblemente impulsado por una mayor inversión en infraestructura para el riego o políticas de apoyo a este sector.

Mapa 10. Transición de tipos de uso del suelo y vegetación a agricultura de riego en la región sur del Estado de México. Período: 2005–2013

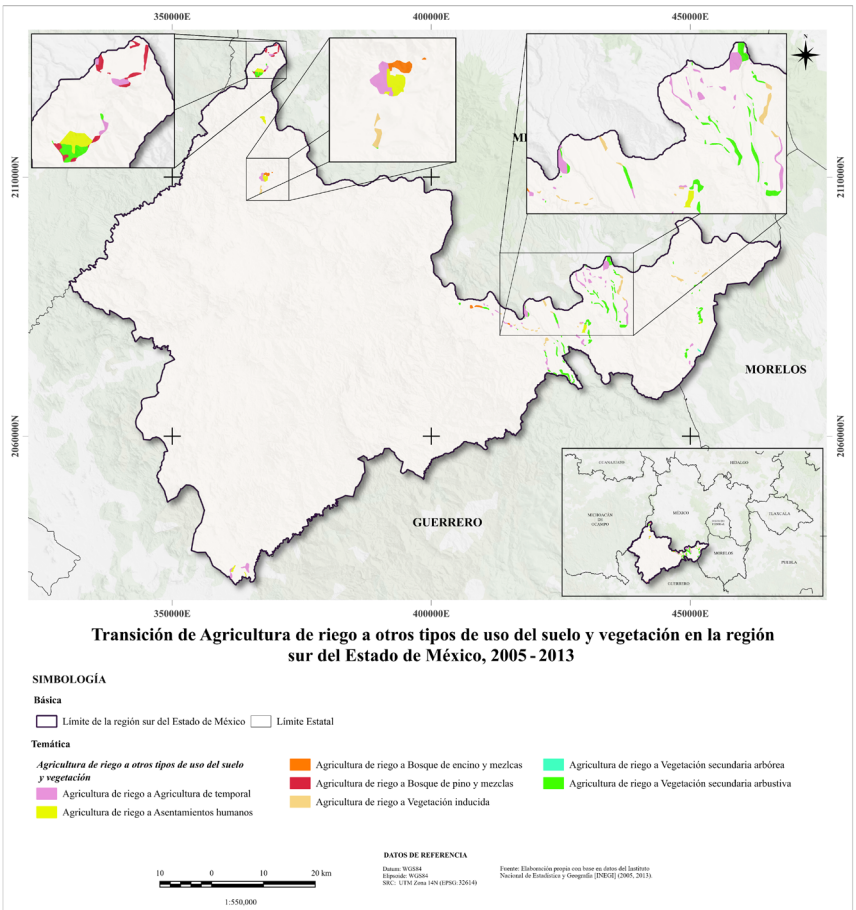


Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

Las transiciones con mayor significancia se registraron en dos modificaciones de uso del suelo: a) agricultura de riego a vegetación secundaria arbustiva (34.31 %) equivalente a 8.05 km² de los 23.46 km² de pérdida total, lo cual podría deberse al abandono de terrenos agrícolas a causa de una baja rentabilidad, agotamiento de los recursos o por procesos de reconversión natural de la vegetación; y b) agricultura de riego a agricultura de temporal, que constituyó el 32.84 % equivalente a 7.71 km² pertenecientes a los 23.46 km² de pérdida to-

tal, este cambio podría estar sujeto a variaciones en la disponibilidad de agua para riego o debido a las decisiones de los productores ante una modalidad agrícola que resulte ser menos demandante en recursos financieros o que se encuentre condicionada por limitaciones ambientales (Mapa 11).

Mapa 11. Transición de agricultura de riego a otros tipos de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2005-2013



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

- Análisis de la agricultura de temporal

En el período de 2005 a 2013, las modificaciones identificadas en la agricultura de temporal fueron superiores en comparación con la agricultura de riego, mostrando transformaciones peculiares. La agricultura de temporal experi-

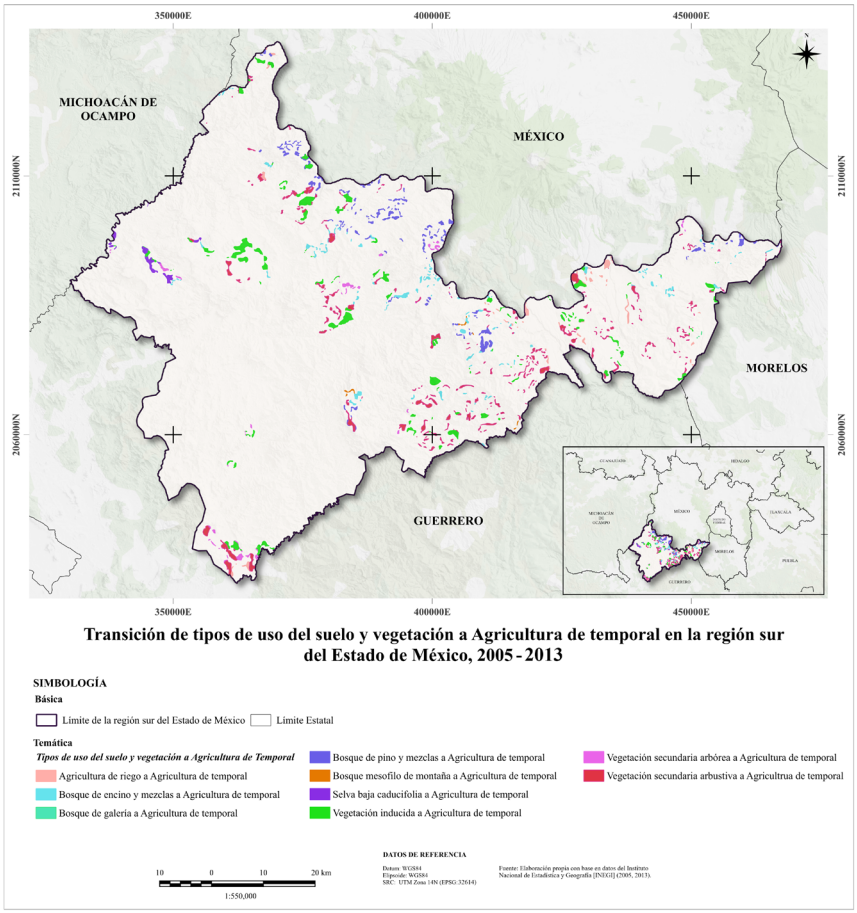
mento pérdidas de 219.41 km², ganancias de 145.11 km² y un cambio total de 364.52 km², lo cual representa aproximadamente el 6.6 % de la superficie total de la región. Asimismo, existió una diferencia entre las pérdidas y las ganancias, resultando un cambio neto de 74.31 km², lo que indica un retroceso de superficies destinadas a la agricultura de temporal. Al final del período (año 2013), la superficie destinada a esta modalidad agrícola fue de 12.39 % de la superficie total equivalente a 675.26 km², de acuerdo con los datos presentados (Cuadro 5).

- Transiciones de cambio de uso del suelo y vegetación en la agricultura de temporal

En el período 2005 y 2013 es relevante la dinámica que ha existido respecto a la agricultura y las demás clases de uso del suelo y vegetación, por lo que, enseguida, se presentan las transiciones que han conllevado a las ganancias y pérdidas en la agricultura de temporal. En esta modalidad agrícola se obtuvieron ganancias significativas contabilizando 145.11 km², este aumento refleja los procesos de alteración de uso del suelo en la región, siendo notorio que esto ha sido casi cinco veces mayor que la registrada en las ganancias de la agricultura de riego, por supuesto, este tipo de agricultura tiene mayor predominancia, y posiblemente se debe a que no requiere de equipo y mantenimiento en comparación con la agricultura de riego. En seguida se representan las transiciones ocurridas en favor de la agricultura de temporal en la región (Mapa 12).

Se observan diferentes sustituciones que favorecieron el aumento de superficie para la agricultura de temporal, siendo importantes dos transiciones: en primer lugar, la vegetación secundaria arbustiva transitó a agricultura de temporal (48.06 %) equivalente a 48.05 km², (dato incluido en los 145.11 km² de la ganancia total), en segundo lugar, ocurrió la transición de vegetación inducida a agricultura de temporal (32.24 %) equivalente a 46.78 km² (dato también asociado con los 145.11 km² de ganancia total) (Mapa 12). Estas transformaciones son clara evidencia del aprovechamiento de áreas que han sido antropizadas, en las cuales existe una cobertura vegetal de menor densidad, lo cual permite inferir un escenario tendencial de intensificación del uso del suelo motivado por una mayor demanda de superficies para cultivos. Estas conversiones pueden guardar relación con factores impulsores de tipo socioeconómico como la presión demográfica y políticas que impulsan la producción agrícola, lo cual ha conducido a una reconfiguración en las ocupaciones del suelo, reduciendo coberturas vegetales nativas o en proceso de sucesión ecológica.

Mapa 12. Transición de tipos de uso del suelo y vegetación a agricultura de temporal en la región sur del Estado de México. Período: 2005-2013

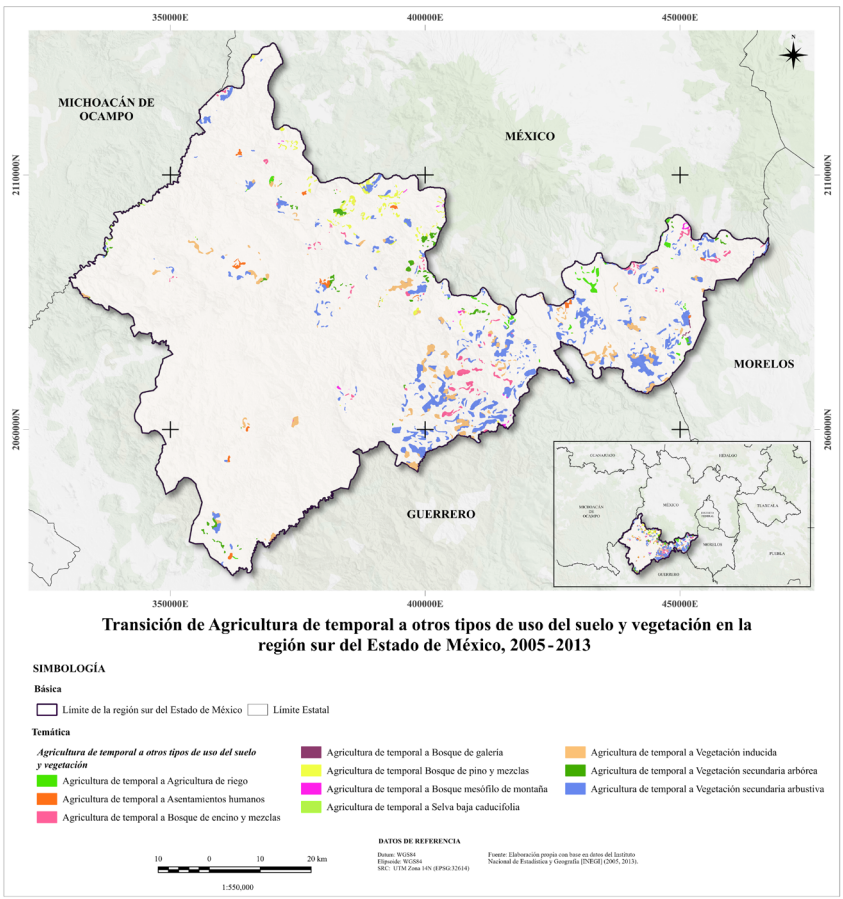


Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

Con relación a las pérdidas, se identificaron decrementos que superaron las ganancias, registrando 219.41 km² que retrocedieron en esta modalidad agrícola, obteniendo una diferencia entre las ganancias y las pérdidas de 74.31 km², situación que afectó a la superficie destinada a la agricultura de temporal. Este dato indica que no sólo se perdió superficie, sino también superó las ganancias, impactando de manera directa y negativa en la producción de alimentos, en este sentido, las superficies que eran destinadas a la agricultura de temporal fueron ocupadas con otro tipo de uso del suelo y vegetación, proceso que afecta la soberanía alimentaria de la población regional (Mapa 13).

Se observa que la pérdida de superficies destinadas a la agricultura de temporal fue relevante. La superficie superó los 200 km² en retroceso de esta modalidad agrícola. Se experimentaron modificaciones hacia diversos tipos de uso del suelo y vegetación, siendo notorias dos transiciones en superficies mayores, la primera se refiere a la transición de agricultura de temporal a vegetación secundaria arbustiva ya que corresponde al 54.64 % de la superficie (equivalente a 119.88 km² del total de pérdidas, 219.41 km²), representando más del 50% de las pérdidas experimentadas. La segunda transición fue de agricultura de temporal a vegetación inducida, que corresponde al 23.89 % y equivalente a 52.42 km² (dato también vinculado con los 219.41 km² de pérdidas totales) (Mapa 13).

Mapa 13. Transición de agricultura de temporal a otros tipos de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2005–2013



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2005, 2013).

Estas transiciones reflejan un proceso de abandono o disminución en los terrenos agrícolas de temporal, lo cual podría deberse a la pérdida de fertilidad del suelo, cambios en el sector laboral agrícola asociados con el envejecimiento de los agricultores/campesinos o por el fenómeno migratorio, así como a variaciones climáticas que amenazan la viabilidad productiva de cultivos que carecen de sistemas de riego.

3.3.3 Cambios de uso del suelo y vegetación: segundo período (2013-2021)

A diferencia de los cambios identificados en el período 2005-2013, las transformaciones entre 2013 y 2021 son menos predominantes, toda vez que el análisis de los datos del INEGI (2013, 2021) toda vez que el análisis de los datos del INEGI (2013, 2021) revela que la RSEM experimentó una modificación de 9.97 % de su superficie total, equivalente a 543.23 km², esto indica que la región transitó hacia la estabilidad en los usos del suelo y la vegetación. El 90.03 % (4,906.36 km²) del territorio permaneció estable, reflejando una regulación en los usos y coberturas del suelo ya establecidas. Del cambio total ocurrido (9.97 %), el 8.60 % correspondientes a 468.71 km² se identificaron como zonas de intercambio y el 1.37 % que equivale a 74.52 km², fue cambio neto (Cuadro 6).

3.3.3.1 Perdidas, ganancias y cambio neto

Durante el período 2013–2021, las transformaciones presentadas en la región sur del Estado de México tuvieron el siguiente comportamiento: en primer lugar, la vegetación secundaria arbustiva registró las conversiones más predominantes, ya que tuvo pérdidas de -211.74 km² y ganancias de +215.92 km² y un cambio neto de +4.18 km² en favor del aumento de este tipo de vegetación. En segundo lugar, la vegetación inducida experimento pérdidas de -147.89 km², ganancias de +176.74 km² y un cambio neto de +28.85 km², también en beneficio de esta vegetación. En tercer lugar, la vegetación secundaria arbórea registro pérdidas de -42.94 km², ganancias de 76.55 km² y un cambio neto de +33.61 km² en contribución a esta cobertura vegetal. En cuarto lugar, la agricultura de temporal también presentó pérdidas de 60.28 km², ganancias de 29.71 km², generando pérdida de 30.56 km².

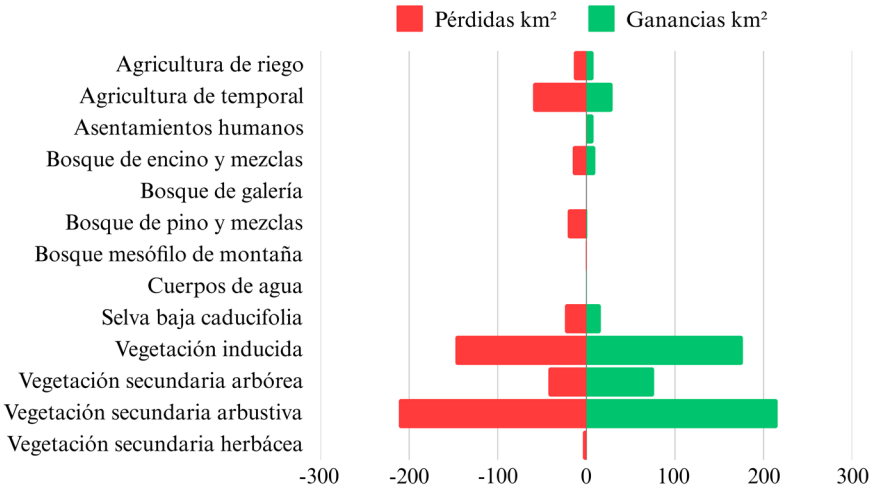
Las clases que no experimentaron una transformación destacable corresponden a los cuerpos de agua, sin pérdidas registradas, sólo un aumento de 0.30 km², cifra reflejada como cambio neto. Otra modificación sin relevancia se presentó en el bosque mesófilo de montaña, registrando únicamente pérdidas de 0.78 km², lo cual representa el cambio neto (Cuadro 6 y Gráfica 3).

Cuadro 6. Matriz de cambios en la región sur del Estado de México. Período: 2013-2021

Tipo de uso del suelo y vegetación	Superficie total (km²) año 2013	%	Superficie total (km²) año 2021	%	Superficie de ganancias (km²)	%	Superficie de pérdidas (km²)	%	Superficie de cambio total (km²)	%	Superficie de intercambio (km²)	%	Superficie de cambio neto (km²)	%
Agricultura de riego	182.29	3.34	176.32	3.24	8.21	0.15	14.17	0.26	22.38	0.41	16.42	0.30	5.97	0.11
Agricultura de temporal	675.26	12.39	644.69	11.83	29.71	0.55	60.28	1.11	89.99	1.65	59.43	1.09	30.56	0.56
Asentamientos humanos	32.08	0.59	39.66	0.73	8.18	0.15	0.60	0.01	8.77	0.16	1.20	0.02	7.58	0.14
Bosque de encino y mezclas	319.19	5.86	313.95	5.76	10.19	0.19	15.43	0.28	25.63	0.47	20.39	0.37	5.24	0.10
Bosque de galería	2.12	0.04	2.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque de pino y mezclas	422.83	7.76	402.76	7.39	1.08	0.02	21.16	0.39	22.24	0.41	2.16	0.04	20.08	0.37
Bosque mesófilo de montaña	43.90	0.81	43.12	0.79	0.00	0.00	0.78	0.01	0.78	0.01	0.00	0.00	0.78	0.01
Cuerpos de agua	1.51	0.03	1.82	0.03	0.30	0.01	0.00	0.00	0.30	0.01	0.00	0.00	0.30	0.01
Selva baja caducifolia	145.98	2.68	138.07	2.53	16.35	0.30	24.25	0.45	40.60	0.75	32.69	0.60	7.91	0.15
Vegetación inducida	1,288.97	23.65	1,317.82	24.18	176.74	3.24	147.89	2.71	324.62	5.96	295.77	5.43	28.85	0.53
Vegetación secundaria arbórea	580.53	10.65	614.15	11.27	76.55	1.40	42.94	0.79	119.49	2.19	85.88	1.58	33.61	0.62
Vegetación secundaria arbustiva	1,733.39	31.81	1,737.57	31.88	215.92	3.96	211.74	3.89	427.66	7.85	423.48	7.77	4.18	0.08
Vegetación secundaria herbácea	21.54	0.40	17.55	0.32	0.00	0.00	3.99	0.07	3.99	0.07	0.00	0.00	3.99	0.07
Total general	5,449.59	100	5,449.59	100	543.23	9.97	543.23	9.97	814.84	9.97	468.71	8.60	74.52	1.37

Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

Gráfica 3. Pérdidas y ganancias de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2013-2021

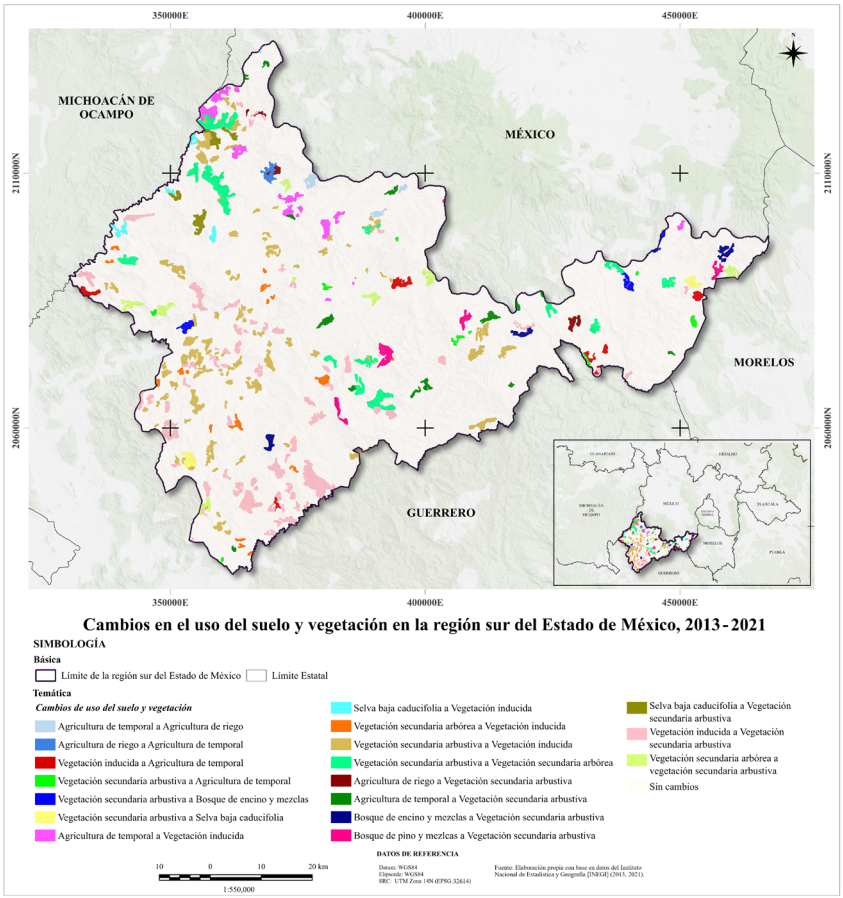


Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

3.3.3.2 Cambios entre clases

Los cambios en los usos del suelo y la vegetación identificados entre 2013 y 2021 se presentan en seguida (Mapa 14). De manera general, se identifica que las modificaciones más significativas se concentran en las áreas del noroeste, oeste y sur de la región, mientras que en la zona centro y este, las transformaciones son mínimas. Se observa que las transiciones con mayor superficie correspondieron de vegetación inducida a vegetación secundaria arbustiva (2.29 % de la superficie de la región equivalente a 124.85 km²), en este caso, ocurrió algo inverso, es decir, transición de vegetación secundaria arbustiva a vegetación inducida, misma que representa el 2.09 % de la superficie regional, equivalente a 114.06 km². Otra transición ocurrida en este período fue de vegetación secundaria arbustiva a vegetación secundaria arbórea (1.32 %) equivalente a 72.02 km² de la superficie total de la región.

Mapa 14. Cambios en el uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2013 -2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

3.3.3.3 Análisis de la agricultura

De la misma manera que en el período 2005-2013, en este apartado se realiza el análisis de la agricultura para el segundo período: 2013-2021, en sus dos modalidades: a) la agricultura de riego y b) agricultura de temporal.

- Análisis de la agricultura de riego

En el período 2013-2021, el comportamiento de los usos del suelo en la agricultura de riego no fue significativo, pero es pertinente tener este referente para disponer de argumentos para establecer estrategias que coadyuven

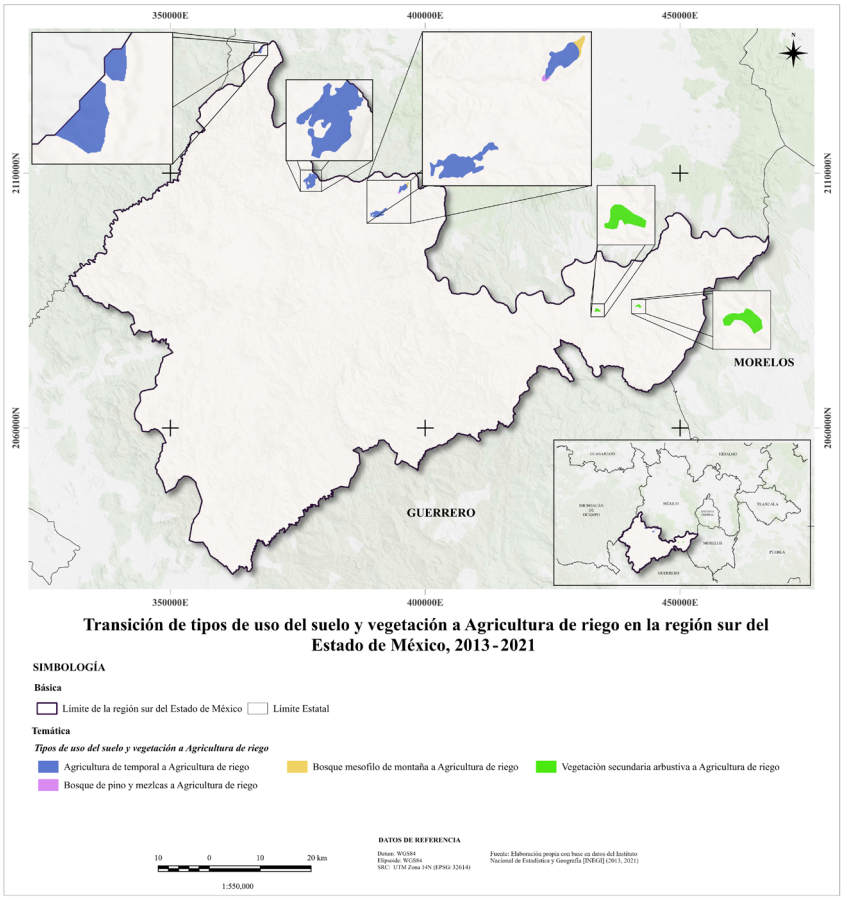
a mantener los usos del suelo y la vegetación en condiciones favorables. La agricultura con sistemas de irrigación tuvo una pérdida de 14.17 km² y obtuvo ganancias de 8.21 km², registrándose un cambio total de 22.38 km², lo que representa menos del 1 % de la superficie total de la región sur del Estado de México y un cambio neto de -5.97 km², evidenciando un retroceso de los usos del suelo con vocación agrícola, por lo que es conveniente, efectuar acciones que permitan la recuperación de estos espacios. Al final del año 2021, la superficie utilizada en la agricultura de riego fue de 3.24 % equivalente a 176.32 km², datos presentados anteriormente (Cuadro 6).

- Transiciones de cambio de uso del suelo y vegetación en la agricultura de riego

En los siguientes párrafos se expone la situación de cambio en los usos y coberturas del suelo destinados a la agricultura de riego, haciendo énfasis en las transiciones que contribuyeron a su incremento o decremento. Al respecto, fue notoria una ganancia de 8.21 km², lo cual representa un referente de la existencia de nuevas áreas destinadas a la producción agrícola de alimentos para satisfacer las necesidades de la población en la región sur del Estado de México. En realidad, son mínimas las superficies que han cambiado hacia agricultura de riego, pues las transiciones con mayor relevancia se refieren a modificaciones en el contexto de la misma actividad agrícola, es decir, ocurrió una transición de agricultura de temporal a agricultura con regadío, las cuales se ubicaron en la porción norte de la RSEM, sumando una superficie de 90 % que equivale a 7.41 km², esto con referencia a los 8.21 km² de ganancia total de la agricultura de riego. Se observan las transiciones que favorecieron a la agricultura con sistemas de irrigación en la región (Mapa 15).

Lo expresado en el párrafo anterior, evidencia que el incremento de la agricultura de riego se encuentra sujeto a varios factores impulsores, principalmente a la intensificación de zonas ya utilizadas en otra modalidad agrícola, en vez, de la conversión de nuevos terrenos. Esto posiblemente se debe a la necesidad de mejorar el rendimiento de los cultivos o como estrategia ante la incertidumbre de la variabilidad climática, lo cual sugiere una posible relación con la disponibilidad de infraestructura hídrica o condiciones favorables para este tipo de agricultura.

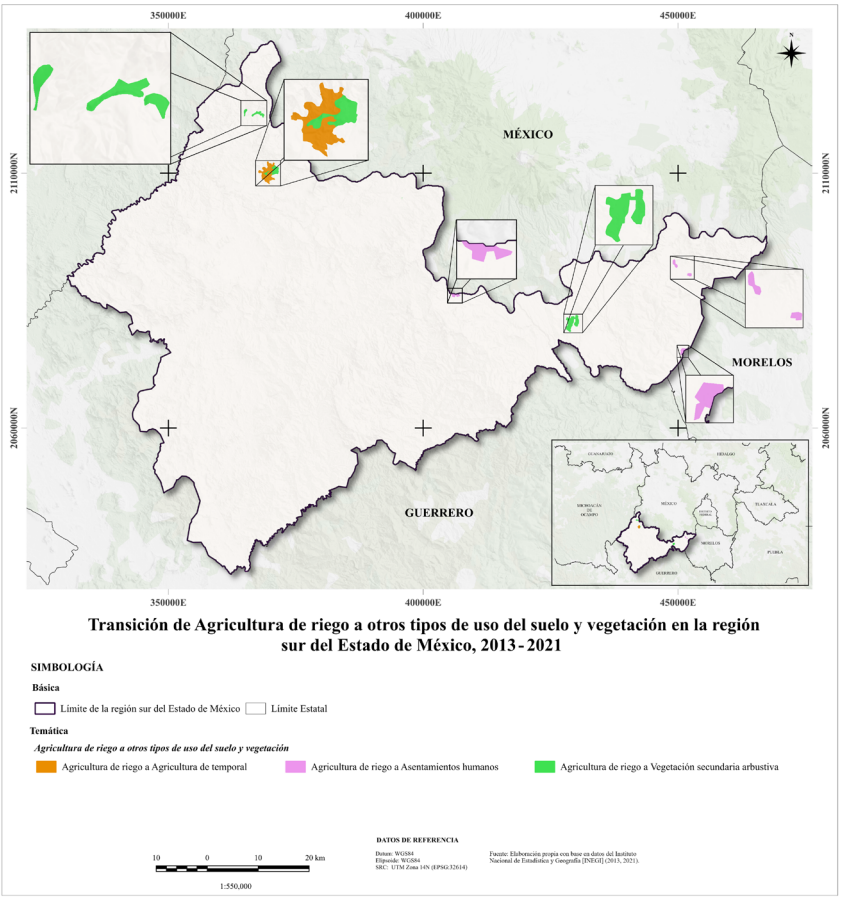
Mapa 15. Transición de tipos de uso del suelo y vegetación a agricultura de riego en la región sur del Estado de México. Período: 2013-2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

Con referencia a las pérdidas ocurridas en la superficie destinada a la agricultura de riego, es obvio que éstas fueron superiores a las ganancias, registrando una disminución de 14.17 km² en la superficie donde antes se realizaban actividades agrícolas. Las transiciones que provocaron pérdidas de la agricultura de riego estaban ubicadas hacia al noreste y noroeste de la región, en el entendido de que no existe una relación directa con las ganancias. Las pérdidas fueron mayores, con un cambio neto de 5.97 km² asociado al retroceso de la agricultura de riego (Mapa 16).

Mapa 16. Transición de agricultura de riego a otros tipos de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2013-2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

Las transiciones asociadas con estas pérdidas son las siguientes: a) transición de agricultura de riego a vegetación secundaria arbustiva, que representó la mitad de la pérdida total (50.57 %), específicamente 7.17 km²; b) transición de agricultura de riego a agricultura de temporal, constituyendo 35.42 % equivalente a 5.02 km² considerando como referente los 14.17 km² de pérdida total; y c) transición de agricultura de riego a asentamientos humanos, que corresponde al 14.01 % restante y equivalente a 1.99 km² de la pérdida total (Mapa 16). Las transiciones representan dinámicas de uso del suelo, donde la conversión a vegetación secundaria arbustiva puede estar asociada al abandono de tierras agrícolas por pérdida de su capacidad de producción. El cambio

a la agricultura de temporal indica una disminución en la tecnificación de los cultivos, lo cual podría estar relacionado con restricciones o escasez de agua para regadío. La transición hacia asentamientos humanos pone en manifiesto el continuo avance de los procesos de urbanización, implicando la sustitución definitiva de áreas agrícolas para uso habitacional.

- Análisis de la agricultura de temporal

En ambos tipos de agricultura se presentaron transformaciones, sin embargo, las alteraciones identificadas en la agricultura de temporal fueron superiores a los ocurridos en la agricultura de riego, esto guarda similitud con el comportamiento observado en el período 2005-2013. La agricultura de temporal tuvo pérdidas de 60.28 km² y ganancias de 29.71 km², generando un cambio total de 89.99 km², lo que representa 1.65 % de la superficie y un cambio neto de -30.56 km² en disminución de la agricultura de temporal, resultando que, en el año 2021, la RSEM tenía 11.83 % de su superficie total equivalente a 644.69 km², destinada a la agricultura de temporal, respecto a datos anteriores (Cuadro 6).

- Transiciones de cambio de uso del suelo y vegetación en la agricultura de temporal

Las transiciones que han dado lugar a las transformaciones de la agricultura de temporal hacia otros usos del suelo y vegetación y viceversa también han estado presentes en la RSEM. Para este tipo de agricultura se observó un incremento de 29.71 km². Al comparar esta cifra con las transformaciones presentadas en el primer período, se observa una marcada diferencia en la expansión de este tipo de uso del suelo, ya que los datos del primer período tuvieron ganancias aproximadamente cinco veces mayores, registrando 145.11 km² en comparación con los valores de ganancia del segundo período.

Los datos anteriores indican que ha existido dinámica de cambio de uso del suelo, evidenciando que, al transcurrir el tiempo, posiblemente las modificaciones en la agricultura serán cada vez menores, indicando un proceso de estabilización en los usos del suelo destinados a esta actividad. Aunque este tipo de agricultura ha sufrido considerables retrocesos superficiales, ésta sigue predominando en la RSEM, lo cual puede estar sujeto al grado de factibilidad de cada tipo de agricultura, donde un factor condicionante pueden ser los costos de mantenimiento, la atención que requieren y las prácticas agrícolas implementadas en los sistemas de cultivo con métodos de irrigación.

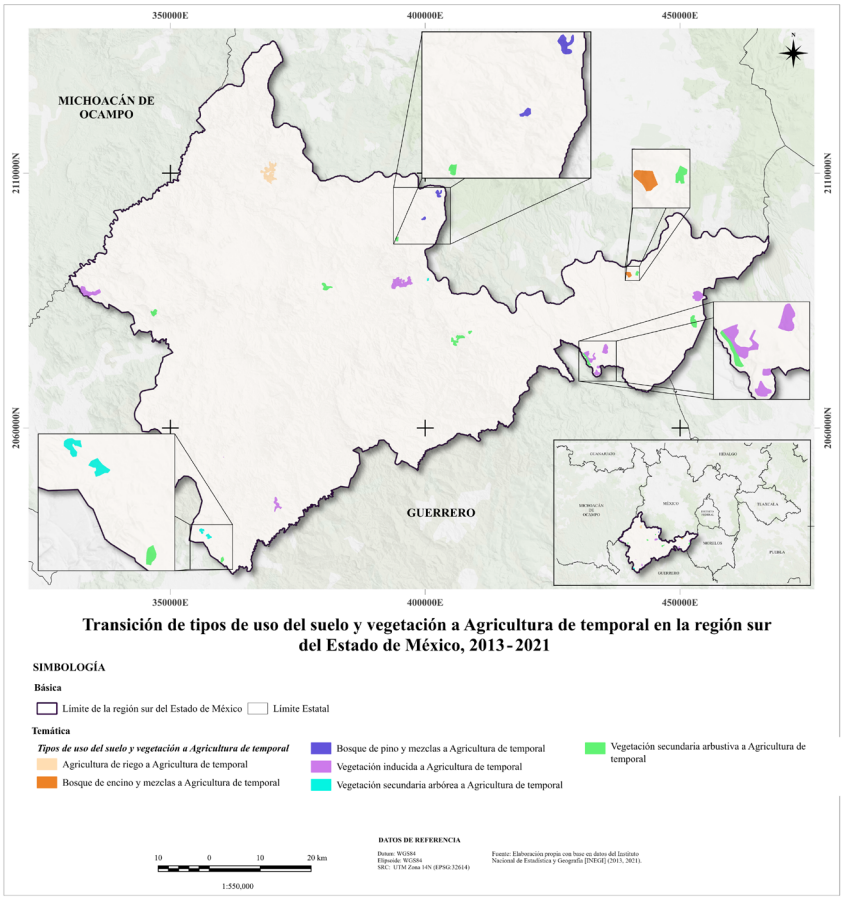
Las transiciones con mayor predominancia se concentran hacia el este y noreste de la RSEM (Mapa 17). Entre estas transiciones, es posible determinar que las más significativas se concentraron en la conversión de vegetación

inducida a agricultura de temporal, abarcando 50.86 % que equivale a 15.11 km² y que forman parte de los 29.71 km² de ganancia total. Por otra parte, la transición de vegetación secundaria arbustiva a agricultura de temporal fue de 23.19 % equivalente a 6.89 km² con referencia a los 29.71 km². Asimismo, la reconfiguración de modalidad agrícola, de agricultura de riego a agricultura de temporal fue notoria, con 16.90 % equivalente a 5.02 km² con relación a los 29.71 km² de ganancia total en la RSEM. Las transiciones reflejan la expansión de la agricultura de temporal sobre áreas anteriormente intervenidas por la acción humana, lo que supone una relación con la disponibilidad de superficies para su uso agrícola, donde el cambio de agricultura de riego a agricultura de temporal indica una adaptación a condiciones menos favorables, influenciadas por el recurso hídrico.

Respecto a las pérdidas, se identificó que éstas superaron a las ganancias, duplicando su cifra, con un total de 60.28 km² de superficie agrícola de temporal reducida, situación relacionada con los cambios identificados en el primer período, donde se observó que la disminución ha sido mayor respecto al incremento, no obstante, en este segundo período, el descenso fue menor, evidenciando que la RSEM ha transitado hacia un equilibrio en el dinamismo de uso del suelo y vegetación, al considerar que, en el primer período las pérdidas de la agricultura de temporal fueron tres veces mayores, observándose una tendencia hacia el retroceso de las áreas agrícolas, ya que las superficies perdidas superaron a las ganancias.

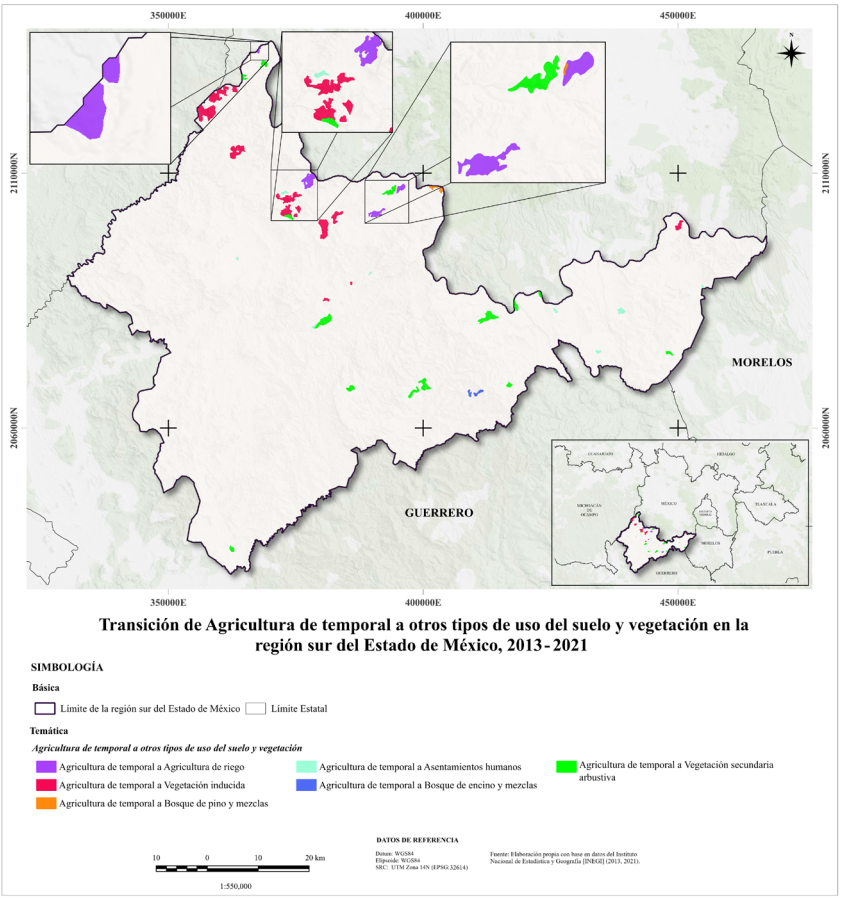
Se reconoce que las transiciones se concentran hacia el norte y porciones del sureste de la RSEM (Mapa 18), en donde el decremento de la agricultura está asociado con tres principales cambios: a) en primer lugar, está la transición de agricultura de temporal a vegetación inducida, que abarca aproximadamente la mitad (50.82 %) de los 60.27 km² de pérdida total, es decir, 30.63 km²; b) en segundo lugar, la transición de agricultura de temporal a vegetación secundaria arbustiva, representando 28.09 % equivalente a 16.93 km² de pérdida total; y c) en tercer lugar, la transición de agricultura de temporal a agricultura de riego, representando el 12.31 % equivalente a 7.42 km² con referencia a los 60.28 km² de pérdida total. El retroceso de la agricultura de temporal puede estar vinculado al abandono de terrenos, la degradación del suelo o escaso apoyo en el sector agrícola, haciendo evidentes procesos de regeneración vegetativa. Por el contrario, el cambio hacia la agricultura de riego sugiere una alternación con miras hacia la productividad en áreas específicas en vez de una expansión general.

Mapa 17. Transición de tipos de uso del suelo y vegetación a agricultura de temporal en la región sur del Estado de México. Período 2013-2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

Mapa 18. Transición de agricultura de temporal a otros tipos de uso del suelo y vegetación en la región sur del Estado de México. Período: 2013-2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2013, 2021).

Los resultados expuestos en este capítulo son relevantes para comprender las dinámicas de cambio de uso del suelo en la Región sur del Estado de México. Si bien este estudio se basa en análisis espaciotemporales y datos secundarios, su alcance podría ampliarse significativamente mediante trabajo de campo y diálogo directo con los agricultores/campesinos. No obstante, esta información constituye una base sólida para futuras investigaciones y ofrece un punto de partida útil para el diseño de estrategias de gestión territorial y planificación sustentable en la región.

Capítulo 4. Dinámica de la producción agrícola en la región sur del Estado de México

4.1 Relevancia de la actividad agrícola

La agricultura es una de las actividades más importantes en la actualidad, ya que es indispensable para asegurar la alimentación de la población. No obstante, esta actividad hace frente a dificultades que han afectado sus condiciones, donde la expansión del mercado internacional ha provocado modificaciones en la producción de algunos países, siendo más afectados los que se encuentran en proceso de desarrollo, debido a sus condiciones que limitan el acceso al comercio internacional, así como a la infraestructura y tecnología (García, 2006). En el caso de México, su ingreso al mercado global tuvo repercusiones en la seguridad alimentaria, así como importantes desajustes en la producción, incidiendo en los precios y la accesibilidad a productos alimentarios agrícolas (Torres, 2014). Estudios recientes comparten que, debido al modelo neoliberal de México, se logró mejorar la producción agrícola y su exportación, a pesar de esto, destacan que esto no asegura la alimentación para el pueblo mexicano, en especial las zonas donde radica la pobreza extrema (Ramírez, 2022).

En este sentido, se afirma que la producción agrícola en México está condicionada por diversos factores que influyen de manera directa sobre ella, entre los cuales se encuentran los ámbitos geográficos, ambientales, sociales, económicos y políticos, cuya articulación integral y armoniosa contribuye a mejorar la productividad nacional. Acorde a esto, los factores geográficos y ambientales asumen un papel más relevante respecto a los demás, ya que éstos inciden significativamente en la agricultura (Acosta, 2017).

En México, considerables superficies son destinadas al cultivo de alimentos y flores, sin embargo, existen desafíos que amenazan esta actividad, siendo el crecimiento demográfico uno de los principales problemas para la producción de alimentos, estimando que, para los próximos 30 años, ésta debe duplicarse para satisfacer la demanda poblacional (Torres y Rojas, 2018). En lo que concierne con este aspecto, los resultados obtenidos revelan que, en la región sur del Estado de México, cada vez es menor la superficie destinada a

los cultivos y cada vez mayor el abandono de las tierras. Por su parte, el análisis de la situación agrícola en la RSEM se realizó con datos de la producción agrícola obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] correspondiente a los años 2005, 2013, 2021 y 2023.

En virtud de que la región sur del Estado de México está ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, de manera administrativa su territorio incluye municipios completos y porciones de otros, por esta razón, el análisis de la producción agrícola se realizó considerando sólo los municipios que contribuyen con más del 50% de su superficie en el contexto de la RSEM, siendo los siguientes: Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Ixtapan de la Sal, Ixtapan del Oro, Luvianos, Malinalco, Otzoloapan, San Simón de Guerrero, Santo Tomás, Sultepec, Tejupilco, Texcaltitlán, Tlatlaya, Tonatico, Zacazonapan, Zacualpan y Zumpahuacán.

4.2 Panorama general de la producción agrícola de alimentos y floricultura, 2023

Previo al análisis de las temporalidades establecidas, es importante conocer un contexto más reciente de la región sur del Estado de México, por lo que, se presentan datos de la producción agrícola del año 2023, esto con el propósito de tener una visión actual que sirva como referente para comprender la dinámica agrícola. Con base en los datos de cierre agrícola del SIAP (2023) se examina la producción de los cultivos, considerando los ciclos primavera-verano, otoño-invierno y perennes (los ciclos primavera-verano y otoño-invierno se refieren a los cultivos que dependen de las condiciones climáticas, mientras que, los cultivos perennes no dependen de un ciclo estacional, pero tienen una producción constante durante el año), así como los cultivos de regadío y de temporal.

La información se organizó en tres rubros de producción y corresponden con los siguientes criterios: a) superficie sembrada, la unidad de medida es hectárea (ha) (fue necesario hacer la conversión km² para homologar los datos) y se refiere a la superficie donde se siembra cualquier tipo de cultivo, después de haber preparado el suelo; b) volumen de producción, unidad de medida es tonelada (t) y se refiere al volumen de producción de la superficie cosechada, excepto en el caso del maguey pulquero y el trigo ornamental, cuyos volúmenes se miden en miles de litros y gruesas, respectivamente, y c) valor de producción, expresado en pesos mexicanos ($) (MXN). misma estructura para 2005, 2013 y 2025.

La superficie total de siembra fue de 1,382.77 km², con un volumen de producción de 3,715,070.04 toneladas y un valor de producción de $4,887,262,674.55. De manera descendente, los municipios con mayor producción de siembra fueron: Tlatlaya con una superficie de 226.95 km², Amatepec con 224.07 km², Luvianos con 188.64 km², Tejupilco con 153.91 km² y

Sultepec con 132.48 km², los demás municipios tuvieron una superficie de siembra inferior a 100 km². También es relevante reconocer los municipios con las cifras más altas en volumen de producción, siendo Malinalco el que obtuvo mayor volumen de producción (614,681.07 t), Zumpahuacán con 611,761.20 t, Tlatlaya con 412,487.38 t y Amatepec con 404,290.53 t. En cuanto al valor de producción, el Municipio de Tlatlaya obtuvo un valor de producción de $627,176,750.23, seguido por Luvianos ($613,645,704.63), Amatepec ($604,012,009.81) y Malinalco ($549,588,030.93) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Producción agrícola de la región sur del Estado de México, 2023

Municipio	Superficie sembrada (km²)	Volumen de producción (t)	Valor de producción ($) (MXN)
Almoloya de Alquisiras	46.18	48,088.48	$276,285,237.05
Amatepec	224.07	404,290.53	$604,012,009.81
Ixtapan de La Sal	21.68	172,780.81	$200,549,673.35
Ixtapan del Oro	21.55	12,497.66	$76,574,768.31
Luvianos	188.65	306,802.92	$613,645,704.63
Malinalco	71.41	614,681.07	$549,588,030.93
Otzoloapan	64.27	130,503.45	$101,502,828.61
San Simón de Guerrero	18.63	20,937.31	$95,791,772.07
Santo Tomás	22.07	40,162.49	$39,039,713.28
Sultepec	132.48	177,931.17	$306,423,154.86
Tejupilco	153.91	253,764.23	$446,761,562.04
Texcaltitlán	62.10	45,428.06	$132,310,854.61
Tlatlaya	226.95	412,487.38	$627,176,750.23
Tonatico	31.86	353,309.31	$276,209,083.81
Zacazonapan	20.48	37,925.83	$38,201,028.46
Zacualpan	49.69	71,718.14	$225,351,065.73
Zumpahuacán	26.79	611,761.2	$277,839,436.77
Total general	1,382.77	3,715,070.04	$4,887,262,674.55

Fuente: elaboración propia con base en datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2023).

- Producción de alimentos y flores en el sector agrícola

Las estadísticas de producción agrícola consideran tanto a los cultivos destinados a la alimentación como a los enfocados a producir flores. Con base en la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, para el año 2023, en la RSEM se establecieron los siguientes cultivos: agave (*Agave spp.*), aguacate (*Persea americana*), alfalfa verde (*Medicago sativa*), arroz palay (*Oryza sativa*), avena forrajera en verde (*Avena sativa*), avena grano (*Avena sativa*), cacahuate (*Arachis hypogaea*), café cereza (*Coffea arabica*), calabacita

(*Cucurbita pepo*), camote (*Ipomoea batatas*), caña de azúcar y caña de azúcar fruta (*Saccharum officinarum*), cebolla (*Allium cepa*), chícharo (*Pisum sativum*), chile verde (*Capsicum annuum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), ciruela (*Prunus domestica*), col o repollo (*Brassica oleracea var. capitata*), col de bruselas (*Brassica oleracea var. gemmifera*), durazno (*Prunus persica*), ejote (*Phaseolus vulgaris*), elote (*Zea mays*), epazote (*Dysphania ambrosioides*), fresa (*Fragaria*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), granada (*Punica granatum*), guayaba (*Psidium*), haba verde (*Vicia faba*), jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), jícama (*Pachyrhizus erosus*), lima (*Citrus* × *aurantiifolia*), limón (*Citrus limon*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), maíz forrajero en verde (*Zea mays*), maíz grano (*Zea mays*), mamey (*Pouteria sapota*), mandarina (*Citrus reticulata*), mango (*Mangifera indica*), manzana (*Malus domestica*), melón (*Cucumis melo*), naranja (*Citrus* × *sinensis*), níspero (*Eriobotrya japonica*), papaya (*Carica papaya*), pastos y praderas (*Pennisetum clandestinum, Lolium perenne, Cynodon dactylon*, entre otros), pepino (*Cucumis sativus*), pera (*Pyrus communis*), piña (*Ananas comosus*), plátano (*Musa* × *paradisiaca*), sandía (*Citrullus lanatus*), sorgo forrajero en verde (*Sorghum bicolor*), sorgo grano (*Sorghum bicolor*), tamarindo (*Tamarindus indica*), tomate rojo o jitomate (*Solanum lycopersicum*), tomate verde (*Physalis philadelphica*), yuca alimenticia (*Manihot esculenta*) y zapote (*Pouteria sapota o Diospyros digyna*) (Cuadro 8).

Es notorio que el cultivo de maíz grano ha destinado mayor superficie a la producción (661.88 km²), seguido por los pastos y praderas (528.64 km²), aguacate (32.47 km²), avena grano (26.69 km²), avena forrajera (25.22 km²) y frijol (15.21 km²). Por supuesto, el hecho de que se destine una determinada superficie de siembra no asegura que su volumen de producción sea similar, observándose modificación en la jerarquía de los cultivos, donde aquellos con menor superficie sembrada obtienen mayor volumen de producción, por ejemplo, pastos y praderas (1,547,628.62 t), maíz grano (250,878.44 t), avena forrajera en verde (47,598.11 t) y maíz forrajero (31,522.82 t). Respecto al valor de producción, también son peculiares algunas configuraciones, como fue el caso del maíz grano, con un valor de $1,750,950,459.50, pastos y praderas ($1,290,611,167.14), aguacate ($452,730,723.26), tomate rojo (jitomate) ($247,973,336.42) y tomate verde ($102,690,857.59) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Producción agrícola de alimentos en la región sur del Estado de México, 2023.

Cultivo	Superficie sembrada (km²)	Volumen de producción (t)	Valor de producción ($) (MXN)
Agave	3.15	24,435.89	$97,401,085.13
Aguacate	32.47	24,345.68	$452,730,723.26
Alfalfa verde	0.08	167.53	$94,484.22
Arroz palay	0.34	210.10	$1,121,941.37
Avena forrajera en verde	25.22	47,598.11	$26,396,891.74
Avena grano	26.69	5,630.96	$35,035,833.12
Cacahuate	0.58	123.98	$968,487.73
Café cereza	4.77	415.93	$2,860,145.70
Calabacita	2.55	3,533.34	$24,665,464.04
Camote	0.99	2,013.53	$9,429,664.78
Caña de azúcar	1.36	13,770.00	$11,979,900.00
Caña de azúcar fruta	1.23	4,637.38	$12,685,977.51
Cebolla	5.91	10,595.69	$63,086,700.81
Chícharo	5.16	2,751.60	$23,461,530.23
Chile verde	1.67	3,817.96	$39,266,362.54
Cilantro	0.03	70.70	$292,839.40
Ciruela	3.16	2,306.06	$14,358,339.40
Col (repollo)	0.13	1,398.53	$5,998,577.55
Col de bruselas	0.57	814.77	$3,739,186.39
Durazno	3.66	2,900.62	$23,847,779.97
Ejote	0.04	38.14	$247,037.00
Elote	3.64	5,887.05	$17,865,267.46
Epazote	0.04	68.34	$135,449.88
Fresa	1.29	2,423.17	$41,278,917.55
Frijol	15.21	1,808.97	$25,417,722.55
Granada	0.25	180.83	$703,369.20
Guayaba	3.40	3,192.04	$22,450,700.89
Haba verde	4.54	2,258.97	$15,876,707.73
Jamaica	0.04	2.38	$102,816.00
Jícama	0.32	536.77	$3,178,442.99
Lima	0.13	89.54	$509,576.83
Limón	1.09	871.90	$8,175,503.26
Macadamia	0.20	44.00	$1,221,931.92
Maíz forrajero en verde	8.80	31,522.82	$24,788,759.82
Maíz grano	661.88	250,878.44	$1,750,950,459.50
Mamey	0.45	386.63	$3,016,437.46
Mandarina	0.05	50.55	$314,799.62
Mango	3.68	2,956.21	$19,981,040.24
Manzana	0.07	30.90	$117,388.80
Melón	0.05	94.27	$564,865.84
Naranja	0.25	169.98	$999,354.86
Níspero	0.05	25.50	$72,292.50
Papaya	0.21	233.21	$1,994,185.36
Pastos y praderas	528.64	1,547,628.62	$1,290,611,167.14

Cotinúa

Cultivo	Superficie sembrada (km²)	Volumen de producción (t)	Valor de producción ($) (MXN)
Pepino	4.12	4,332.46	$32,494,053.52
Pera	0.06	36.12	$133,282.80
Piña	0.15	127.50	$1,107,975.00
Plátano	0.17	220.97	$1,237,259.64
Sandía	0.34	742.80	$4,915,108.43
Sorgo forrajero en verde	1.09	3,667.37	$2,923,676.70
Sorgo grano	1.87	714.75	$3,644,131.80
Tamarindo	0.08	34.80	$287,978.03
Tomate rojo (jitomate)	5.80	29,551.23	$247,973,336.42
Tomate verde	7.63	12,497.81	$102,690,857.59
Yuca alimenticia	0.02	30.74	$132,497.09
Zapote	0.18	168.30	$1,590,435.00
Total general	1,375.55	2,055,042.44	$4,479,126,701.31

Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2023).

Por otra parte, los cultivos diferentes a la producción de alimento, y que se refiere a flores y plantas de uso ornamental son: agapando-gruesa (*Agapanthus africanus*), ave del paraíso (*Strelitzia reginae*), crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*), gerbera (*Gerbera jamesonii*), gladiola (*Gladiolus*), nardo (*Polianthes tuberosa*), nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*), rosa (*Rosa spp.*), el terciopelo (*Celosia argentea*) y zempoalxochitl (*Tagetes erecta)* (SIAP, 2023) (Cuadro 9). La gladiola fue el cultivo con mayor superficie de siembra (4.61 km²) con un volumen de producción de 581,608.12 t y un valor de producción de $189,320,328.15; el segundo lugar, lo ocupa el cultivo de rosa con una superficie de siembra de 0.60 km², un volumen de producción de 518,707.73 t y un valor de producción de $137,107,256.36. Como se observa, existen contrastes en las superficies destinadas a la producción de alimentos y la producción de flores y, por consiguiente, en el valor de producción, lo cual indica que la producción de flor tiene mayor potencial en comparación con la producción de alimentos.

4.3 Producción agrícola de alimentos: 2005, 2013 y 2021

Con la finalidad de hacer una reflexión acerca de los cambios ocurridos en la producción agrícola, enseguida se presenta un análisis de la producción para los años 2005, 2013 y 2021, lo cual servirá de sustento para conocer posibles escenarios a mediano y largo plazo. Los datos fueron obtenidos del SIAP y para los años referidos. Durante estos años, se produjeron ligeras variaciones en los cultivos, esto en comparación con los registrados en el año 2023, en este sentido, los cultivos destinados a la producción de alimentos durante los años referidos (2005, 2013 y 2021) fueron los siguientes: agave (*Agave spp.*), aguacate (*Persea americana*), alfalfa verde (*Medicago sativa*), arroz palay (*Oryza sativa*), avena forrajera en verde (*Avena sativa*), avena grano (*Avena sativa*), cacahuate (*Arachis hypogaea*), café cereza (*Coffea arabica*), calabacita (*Cucurbita pepo*), ca-

mote (*Ipomoea batatas*), caña de azúcar y caña de azúcar fruta (*Saccharum officinarum*), cebolla (*Allium cepa*), chícharo (*Pisum sativum*), chile verde (*Capsicum annuum*), ciruela (*Prunus domestica*), col o repollo (*Brassica oleracea var. capitata*), col de bruselas (*Brassica oleracea var. gemmifera*), durazno (*Prunus persica*), ebo o janamargo-veza (*Vicia sativa*), ejote (*Phaseolus vulgaris*), elote (*Zea mays*), fresa (*Fragaria*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), granada (*Punica granatum*), guayaba (*Psidium*), haba verde (*Vicia faba*), jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), jícama (*Pachyrhizus erosus*), lima (*Citrus* × *aurantiifolia*), limón (*Citrus limon*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), maíz forrajero en verde (*Zea mays*), maíz grano (*Zea mays*), mamey (*Pouteria sapota*), mandarina (*Citrus reticulata*), mango (*Mangifera indica*), manzana (*Malus domestica*), melón (*Cucumis melo*), naranja (*Citrus* × *sinensis*), níspero (*Eriobotrya japonica*), papa (*Solanum tuberosum*), papaya (*Carica papaya*), pastos y praderas (*Pennisetum clandestinum, Lolium perenne, Cynodon dactylon,* entre otros), pepino (*Cucumis sativus*), pera (*Pyrus communis*), piña (*Ananas comosus*), plátano (*Musa* × *paradisiaca*), sandía (*Citrullus lanatus*), sorgo forrajero en verde (*Sorghum bicolor*), sorgo grano (*Sorghum bicolor*), tamarindo (*Tamarindus indica*), tomate rojo o jitomate (*Solanum lycopersicum*), tomate verde (*Physalis philadelphica*), trigo grano (*Triticum*), yuca alimenticia (*Manihot esculenta*) y zapote (*Pouteria sapota* o *Diospyros digyna*).

Cuadro 9. Producción agrícola de flor en la región sur del Estado de México, 2023

Cultivo	Superficie sembrada (km^2)	Volumen de producción (t)	Valor de produccion ($) (MXN)
Agapando (gruesa)	0.70	43,295.00	$9,741,375.00
Ave del paraíso	0.21	8,266.00	$3,268,370.00
Crisantemo (gruesa)	0.40	152,982.92	$31,072,281.37
Gerbera (gruesa)	0.03	29,799.99	$9,886,742.68
Gladiola (gruesa)	4.61	581,608.12	$189,320,328.15
Nardo	0.10	12,138.00	$6,797,280.00
Nochebuena (planta)	0.04	148,268.00	$8,154,740.00
Rosa (gruesa)	0.60	518,707.73	$137,107,256.36
Terciopelo (manojo)	0.51	160,688.55	$12,479,922.80
Zempoalxochitl (manojo)	0.03	4,273.29	$307,676.88
Total general	7.22	1,660,027.60	$408,135,973.24

Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2023).

En lo que se refiere a la producción de flores (no consideradas para este apartado), fueron las siguientes: ave del paraíso (*Strelitzia reginae*), crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*), gerbera (*Gerbera jamesonii*), girasol (*Helianthus annuus*), gladiola (*Gladiolus*), nardo (*Polianthes tuberosa*), polar (*Chrysanthe-*

mum carinatum), rosa (*Rosa spp.*), statice (*Limonium sinuatum*), terciopelo (*Celosia argentea*) y zempoalxochitl (*Tagetes erecta*).

El análisis de los datos relacionados con la producción agrícola de los cultivos destinados a la producción de alimentos en los años 2005, 2013 y 2021 permitió identificar tendencias clave en la productividad agrícola, pues se reconoce que el sector agrícola es dinámico e influenciado por diversos factores ambientales, económicos, políticos y sociales. Los datos del SIAP (2005, 2013, 2021) permiten apreciar que las modificaciones producidas no han sido lineales, ya que existieron variaciones notorias (Cuadro 10).

En el año 2005, los pastos y praderas obtuvieron la mayor producción, destinando una superficie de siembra de 830.04 km², un volumen de producción de 2,628,279.33 t y un valor de producción de $866,150,414.75. El maíz grano fue sembrado en 751.53 km², obteniendo un volumen de producción de 192,822.25 t y un valor de producción de $434,935,040. El cultivo de tomate verde se sembró en 12.10 km², con un volumen de producción de 15,520.80 t y un valor de producción de $116,812,802.50, los dos primeros datos parecen no ser relevantes, sin duda, es un cultivo con alta rentabilidad (Cuadro 10).

Los cultivos frijol y maíz son el sustento alimenticio de la población mexicana, por lo tanto, es conveniente referir su producción en la RSEM. El cultivo de frijol durante el 2005 fue sembrado en una superficie de 26.55 km², con un volumen de producción de 2,597.80 t y un valor de producción de $26,169,629. Para el año 2013, se reconoció que el maíz grano obtuvo la mayor producción y se sembró en una superficie de 730.04 km², obteniendo un volumen de producción de 228,322.28 t y un valor de producción $911,594,563.08. En este mismo año, fue importante el cultivo de pastos y praderas, registrando una superficie sembrada de 672.09 km², un volumen de producción de 1,943,653.50 t y un valor de producción de $833,031,886.33. Finalmente, el cultivo de tomate verde obtuvo una producción rentable, registrando una superficie sembrada de 8.44 km², con un volumen de producción de 13,449.16 t y un valor de producción de $93,455,371.35 (Cuadro 10).

Durante 2021, el maíz grano se mantuvo en primer lugar, con una superficie sembrada de 668.05 km², un volumen de producción de 213,919.20 t y un valor de producción de $1,314,483,123.95. En este año, se presenta un cambio importante, ya que sobresale el cultivo de aguacate, con una superficie sembrada de 31.79 km², un volumen de producción de 20,719.76 t y un valor de producción de $367,981,444.96. Asimismo, el cultivo de tomate rojo (jitomate) mostró una alta producción, con una superficie sembrada de 5.16 km², un volumen de producción de 24,552.11 t y un valor de producción de $189,599,120.37. Se observa que los cultivos mencionados generaron un valor de producción superior a los $180,000,000 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Producción agrícola de alimentos en la región sur del Estado de México, 2005, 2013 y 2021

Cultivo	Superficie sembrada (Km²) año 2005	Volumen de producción (t) año 2005	Valor de producción ($) (MXN) año 2005	Superficie sembrada (Km²) año 2013	Volumen de producción (t) año 2013	Valor de producción ($) (MXN) 2013 año 2013	Superficie sembrada (Km²) año 2021	Volumen de producción (t) año 2021	Valor de producción ($) (MXN) año 2021
Agave	0.86	850.00	$1,890,000.00	1.11	7,330.00	$15,977,185.30	3.16	19,216.70	$62,331,299.09
Aguacate	6.08	6,379.75	$38,609,325.00	12.93	6,926.94	$81,978,721.23	31.79	20,719.76	$367,981,444.96
Alfalfa verde	0.34	1,081.00	$548,600.00	0.14	400.00	$184,468.00	0.04	90.45	$50,206.08
Arroz palay	0.91	797.00	$2,115,900.00	0.64	502.00	$2,059,998.30	0.55	335.94	$1,716,461.74
Avena forrajera en verde	12.92	22,806.00	$13,304,586.60	29.02	49,671.00	$23,310,785.13	23.69	44,147.94	$23,226,812.73
Avena grano	15.87	2,380.50	$5,951,250.00	27.00	2,430.00	$8,505,000.00	26.16	5,729.04	$34,660,692.00
Cacahuate	0.75	210.00	$2,100,000.00	0.52	104.16	$220,119.64	S/D	S/D	S/D
Café cereza	4.32	1,900.20	$6,053,440.00	4.34	378.40	$1,849,418.25	4.76	564.96	$4,396,884.77
Calabacita	1.87	2,169.30	$7,900,770.00	2.30	2,653.40	$15,972,944.78	2.43	3,083.52	$19,127,222.38
Camote	0.68	1,134.60	$2,480,600.00	0.78	1,121.00	$2,192,499.55	S/D	S/D	S/D
Caña de azúcar	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	1.34	13,055.28	$12,637,511.04
Caña de azúcar fruta	1.17	6,033.00	$8,495,395.00	1.42	5,164.26	$9,631,984.00	1.26	4,762.61	$12,039,403.45
Cebolla	6.63	11,755.00	$36,418,800.00	7.14	11,319.00	$60,456,243.90	5.84	10,042.25	$51,356,134.61
Chícharo	11.03	5,450.50	$22,917,000.00	6.29	2,601.50	$13,898,200.83	S/D	S/D	S/D
Chile verde	1.72	2,137.80	$14,157,800.00	1.08	1,757.66	$18,615,278.20	1.32	3,473.35	$36,580,785.16
Ciruela	2.97	3,244.00	$14,054,000.00	3.14	1,802.50	$7,914,874.70	S/D	S/D	S/D
Col (repollo)	0.05	54.00	$108,000.00	0.27	2,870.00	$5,019,000.00	S/D	S/D	S/D
Col de bruselas	0.05	50.00	$150,000.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Durazno	13.02	9,305.60	$52,178,075.00	7.45	4,494.83	$27,547,942.27	3.56	3,103.69	$22,572,877.18
Ebo (janamargo o veza)	0.30	435.00	$252,000.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Ejote	0.05	40.00	$120,000.00	0.07	61.50	$302,400.00	S/D	S/D	S/D
Elote	1.75	1,723.35	$5,849,825.00	2.86	3,833.11	$9,697,276.66	3.58	5,742.21	$15,332,092.06
Fresa	1.45	3,090.00	$19,440,000.00	1.71	2,735.50	$36,943,000.22	1.94	3,575.63	$58,361,855.78
Frijol	26.55	2,597.80	$26,169,629.00	19.63	1,772.65	$25,438,232.44	18.12	2,259.86	$29,535,986.18
Granada	0.40	148.00	$704,000.00	0.39	254.50	$1,141,250.00	0.25	182.40	$690,385.62
Guayaba	3.28	3,352.65	$14,188,250.00	3.33	2,146.92	$13,650,518.53	3.40	3,243.19	$17,204,077.14
Haba verde	2.20	1,742.40	$7,075,600.00	5.16	2,560.45	$15,730,380.00	S/D	S/D	S/D
Jamaica	S/D	S/D	S/D	0.02	1.00	$38,000.00	S/D	S/D	S/D
Jícama	0.16	189.00	$625,200.00	0.16	149.50	$683,350.50	S/D	S/D	S/D
Lima	0.34	204.00	$552,000.00	0.50	364.00	$1,711,999.20	S/D	S/D	S/D
Limón	1.04	1,036.25	$3,421,595.00	0.89	605.88	$3,075,689.66	1.09	822.18	$6,134,815.46
Macadamia	0.40	80.00	$2,880,000.00	0.40	54.00	$1,350,000.00	S/D	S/D	S/D
Maíz forrajero en verde	4.23	16,480.50	$10,327,772.50	9.46	36,867.43	$19,029,372.68	8.61	30,236.07	$23,116,962.90
Maíz grano	751.53	192,822.25	$434,935,040.00	730.04	228,322.28	$911,594,563.08	668.05	213,919.20	$1,314,483,123.95
Mamey	0.43	429.00	$4,230,000.00	0.44	315.25	$2,450,625.96	S/D	S/D	S/D
Mandarina	S/D	S/D	S/D	0.03	36.00	$108,000.00	0.05	51.05	$222,067.50
Mango	5.83	7,201.80	$20,760,220.00	3.82	3,584.16	$16,858,346.27	3.68	2,988.69	$18,158,980.32
Manzana	0.01	5.00	$20,000.00	0.07	43.00	$210,000.00	0.07	31.50	$118,398.38
Melón	0.03	54.50	$109,000.00	0.05	92.50	$462,500.00	0.05	96.35	$493,312.00
Naranja	0.45	304.25	$799,500.00	0.43	275.26	$792,399.69	0.25	172.73	$906,860.42
Níspero	0.10	50.00	$200,000.00	0.05	22.25	$82,325.00	S/D	S/D	S/D

Cotinúa

Cultivo	Superficie sembrada (Km²) año 2005	Volumen de producción (t) año 2005	Valor de producción ($) (MXN) año 2005	Superficie sembrada (Km²) año 2013	Volumen de producción (t) año 2013	Valor de producción ($) (MXN) 2013 año 2013	Superficie sembrada (Km²) año 2021	Volumen de producción (t) año 2021	Valor de producción ($) (MXN) año 2021
Papa	0.06	145.00	$465,000.00	0.16	195.50	$1,000,999.94	S/D	S/D	S/D
Papaya	0.31	770.90	$4,105,715.00	0.25	765.50	$3,692,698.89	0.04	62.27	$539,052.20
Pastos y praderas	830.04	2,628,279.33	$866,150,414.75	672.09	1,943,653.50	$833,031,886.33	S/D	S/D	S/D
Pepino	1.29	2,115.60	$7,404,100.00	0.73	1,483.00	$9,168,700.20	1.27	4,310.46	$23,852,953.76
Pera	0.07	35.00	$175,000.00	0.09	67.50	$337,500.00	0.06	36.36	$129,441.60
Piña	0.04	16.00	$64,000.00	0.13	100.00	$568,000.00	0.17	144.16	$1,189,203.23
Plátano	0.42	725.00	$2,725,000.00	0.13	139.00	$864,000.00	0.17	223.14	$1,267,323.38
Sandía	0.21	486.65	$973,300.00	0.28	582.00	$3,834,000.00	0.22	496.23	$2,538,049.80
Sorgo forrajero en verde	0.85	3,182.15	$2,056,672.75	1.22	4,699.35	$2,363,680.13	1.08	3,648.09	$2,764,262.97
Sorgo grano	2.55	1,455.00	$2,239,500.00	2.25	1,230.25	$5,989,999.02	1.87	726.16	$2,716,458.51
Tamarindo	0.03	45.00	$157,500.00	0.08	27.50	$124,000.07	S/D	S/D	S/D
Tomate rojo (jitomate)	3.38	5,431.25	$27,643,762.50	3.24	8,682.60	$62,574,940.56	5.16	24,552.11	$189,599,120.37
Tomate verde	12.10	15,520.80	$116,812,802.50	8.44	13,449.16	$93,455,371.35	7.04	11,629.00	$91,422,842.01
Trigo grano	0.10	20.00	$40,000.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Yuca alimenticia	0.02	24.00	$72,000.00	0.03	26.75	$107,000.00	S/D	S/D	S/D
Zapote	0.15	150.00	$600,000.00	0.17	105.00	$399,000.00	S/D	S/D	S/D
Total general	1,733.38	2,968,125.68	1,813,777,940.60	1,574.30	2,360,830.40	2,374,196,670.46	832.12	437,474.53	2,449,455,360.73

Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005, 2013, 2021).

Con base en los datos de producción agrícola presentados (Cuadro 10), se observan decrementos de la superficie sembrada, por ejemplo, durante el año 2005, la superficie sembrada total fue de 1,733.38 km², en el año 2013, ésta fue de 1,574.30 km², identificando una diferencia de 159.08 km², sin embargo, para el año 2021, los datos obtenidos presentaron un sesgo en diversos cultivos, siendo el más importante el de pastos y praderas, ya que, en los años anteriores este cultivo representaba más de un tercio de la producción total en la RSEM. En este contexto, la información se compara con el dato más cercano, que corresponde al año 2022 (SIAP, 2022), en el cual la estadística indica que la superficie sembrada total fue de 1,360.14 km², con un volumen de producción de 2,256,321.46 t y un valor de producción de $4,273,295,414.91, observándose una disminución en la superficie sembrada entre los años analizados, donde la diferencia con referencia al año 2013 fue de 214.16 km², y comparando con el 2005, se distingue una pérdida de 373.24 km².

4.4 Producción de maíz, frijol y aguacate: 2005, 2013 y 2025

Desde una perspectiva peculiar es importante analizar los cultivos de maíz, frijol y aguacate, esto debido a la dinámica agrícola que representan en el territorio mexicano, y desde luego, en la RSEM, además de ser básicos en la alimentación de la población. Cada uno de estos cultivos desempeña funciones sociales, culturales y económicas relevantes, es decir, son multifuncionales.

El cultivo de pastos y praderas constituye uno de los cultivos agrícolas con mayor producción en la RSEM, pero, su producción es utilizada como forraje en la alimentación ganadera, por esta razón, ha sido excluido de este análisis, ya que no está orientado a la producción de alimentos de la población.

El maíz, es el cultivo con mayor relevancia en México, no sólo en la actualidad, sino desde tiempos pretéritos, debido a que ha formado parte de la historia mexicana, así como de su cultura y sus tradiciones, consolidándolo como un símbolo de identidad cultural para la población mexicana (Instituto Nacional de Antropología e Historia, s.f.). Es un elemento cultural mesoamericano. De acuerdo con datos de los últimos años, en el año 2021, México obtuvo una producción superior a los 27.5 millones de toneladas, donde el Estado de México fue una de las entidades con mayor contribución a esta cifra (SADER, 2022). En el contexto de la RSEM, el maíz es un cultivo importante debido a su alta producción, además de influir de manera directa en la economía del país y la seguridad alimentaria (Fotografía 1).

Fotografía 1. Cultivo de maíz (agricultura de temporal). Progreso Hidalgo, Municipio de Villa Guerrero, Estado de México

Fuente: trabajo de campo (2024).

El frijol también es importante en la agricultura mexicana y por supuesto, en la dieta de la alimentación humana. Su relevancia en la agricultura se debe a su asombrosa capacidad de adaptación a diversos ambientes, haciendo de

éste un cultivo versátil y ampliamente rentable, lo que lo posiciona como cultivo clave en la economía de la población rural (SADER, 2019). Teniendo como referencia estas consideraciones, se reconoce el potencial agrícola del frijol, lo que lo posiciona como un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria. En cuanto a su producción nacional, en el año 2021, se obtuvo una producción de 1.2 millones de toneladas (SADER, 2022). El frijol es importante en la RSEM, aunque no figura entre los primeros lugares de las estadísticas, si representa un sustento económico y alimentario en las comunidades rurales.

El cultivo de aguacate ha sido un cultivo sobresaliente en los últimos años, esto a raíz de su importancia en los mercados nacionales e internacionales, peculiaridad que lo posiciona entre los primeros datos estadísticos. Si en décadas anteriores no era distinguido entre los principales cultivos de México, actualmente ha cobrado reconocimiento a causa del incremento de la superficie sembrada, condición vinculada con la intensiva demanda de los mercados internacionales, donde el Estado de México ha sido una de las principales entidades productoras, y sobresalen algunos municipios con significativas contribuciones a la economía de la RSEM (Representación Agricultura Estado de México, 2023). Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, el Estado de México se ha situado como la tercera entidad con mayor producción de aguacate a nivel nacional (SIAP, 2023, como se citó en Representación Agricultura Estado de México, 2024).

La región sur del Estado de México se ha distinguido por su riqueza cultural en asociación con sus cualidades geográficas, ambientales y climáticas, situación que ha favorecido la conjunción de condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos agrícolas y florales (Juan, 2013). Con base en esta consideración, es una realidad que la RSEM ha contribuido en las cifras de producción agrícola en la región, el estado y el país. Se reconoce que los cultivos de maíz, frijol y aguacate son los de mayor relevancia en la RSEM.

4.4.1 Producción agrícola del maíz grano

La producción agrícola de la RSEM ha tenido altos índices de producción, donde el maíz se ha posicionado como uno de los cultivos relevantes, sin embargo, los datos indican que la producción no ha sido constante, ya que de acuerdo con datos del SIAP (2005, 2013, 2021) han ocurrido fluctuaciones significativas. Los datos correspondientes al cultivo de maíz y con relación a los rubros de superficie sembrada, volumen de producción y valor de producción, proporcionan una visión integral de la situación agrícola, lo que permite comprender la dinámica de la producción de este cultivo en la RSEM (Cuadro 11, Mapa 19, Mapa 20 y Mapa 21).

En el año 2005, la RSEM mostró un comportamiento espacial interesante, ya que los municipios que presentaron los valores más elevados de producción se concentraron en la parte oeste, en especial Tlatlaya, Luvianos y Ama-

tepec. Los municipios con menor producción se ubicaron en zonas limítrofes del norte de la RSEM. La distribución espacial de los valores de producción demuestra que existe una diferencia en la producción agrícola de la región, donde la mayor parte se concentró en tres municipios (Mapa 19). El Municipio de Tlatlaya fue el mayor productor de maíz, sembrándose una superficie 121.38 Km², obteniendo un volumen de producción de 33,082 t y un valor de producción de $82,639,500, seguido por el Municipio de Luvianos, con una superficie sembrada de 118.81 Km², un volumen de producción de 33,009.4 t y un valor de producción de $82,517,380, y el Municipio de Amatepec, registró una superficie sembrada de 113.99 Km², un volumen de producción de 31,768.70 t y un valor de producción de $76,243,140 (Cuadro 11).

Durante el año 2013, la producción de maíz continúo predominando en los Municipios de Tlatlaya, Luvianos y Amatepec, mientras en el resto de los municipios, mantienen una producción constante, con excepción de Texcaltitlán y Zumpahuacán, que presentaron pérdida en la superficie sembrada, aunque el segundo mostró considerables aumentos en su volumen y valor de producción, mientras que el primero, registró rezago en ambos rubros (Mapa 20). El Municipio de Tlatlaya registró incremento en la superficie sembrada (128.74 Km²), obteniendo un volumen de 35,539.18 t y un valor de producción superior a los $145,000,000. El Municipio de Luvianos también registró aumentos, con una superficie sembrada de 115.59 km², sin embargo, su volumen de producción disminuyó a 30,862.53 t, aunque su valor de producción incrementó por encima de los $120,000,000. El Municipio de Amatepec tuvo aumento en la superficie sembrada (114.95 Km²), pero descendió en su volumen de producción a 30,460 t, aunque incrementó su valor de producción a más de $100,000,000 (Cuadro 11).

Durante el año 2021, la mayor parte de la producción se concentró en la zona oeste, en los mismos municipios registrados en los años 2005 y 2013 (Amatepec, Tlatlaya y Luvianos). No obstante, se observó alteración en la posición de estos municipios, debido a que Amatepec, se ubicó como el municipio con mayor producción de maíz grano, registrando un valor de producción de $202,669,680.00, es decir, casi el doble, en comparación con el año 2013, esto en virtud de un aumento en el volumen de producción de 33,634.66 t, aunque se observó una disminución en la superficie sembrada (106.78 km²), menor a la superficie sembrada en otros municipios (Tlatlaya) (Mapa 21).

El Municipio de Tlatlaya registró una superficie sembrada de 118.90 km², un volumen de 30,196.38 t y un valor de producción de $181,103,065.50. El Municipio de Luvianos presentó una superficie sembrada de 104.76 km², un volumen de producción de 23,466.24 t y un valor de producción de $146,244,423.60, desde luego ambos municipios registraron un incremento en sus valores de producción, pero con rezagos la superficie sembrada y el volumen de producción (Cuadro 11).

Cuadro 11. Producción agrícola de maíz grano en la región sur del Estado de México, 2005, 2013 y 2021

Municipio	Superficie sembrada (Km²) año 2005	Volumen de producción (t) año 2005	Valor de producción ($) (MXN) año 2005	Superficie sembrada (Km²) año 2013	Volumen de producción (t) año 2013	Valor de producción ($) (MXN) año 2013	Superficie sembrada (Km²) año 2021	Volumen de producción (t) año 2021	Valor de producción ($) (MXN) año 2021
Almoloya de Alquisiras	29.37	4,755.65	$9,199,150.00	27.56	10,423.70	$35,034,764.39	27.25	12,478.84	$79,591,373.62
Amatepec	113.99	31,768.70	$76,243,140.00	114.95	30,460.00	$108,785,099.98	106.78	33,634.66	$202,669,680.00
Ixtapan de la Sal	10.57	3,168.30	$5,702,940.00	10.75	5,218.25	$25,047,600.00	10.87	6,179.35	$38,777,376.00
Ixtapan del Oro	20.65	2,695.00	$4,851,000.00	19.90	4,971.00	$18,894,000.00	13.11	4,076.99	$25,023,860.84
Luvianos	118.81	33,009.40	$82,517,380.00	115.59	30,862.53	$122,162,226.62	104.76	23,466.24	$146,244,423.60
Malinalco	30.95	6,239.50	$12,479,000.00	32.05	12,083.00	$46,507,346.00	30.87	15,700.52	$95,303,094.69
Otzoloapan	18.85	5,231.00	$9,418,300.00	15.55	4,820.50	$23,620,450.00	10.00	3,530.00	$20,891,316.60
San Simón de Guerrero	11.06	2,874.00	$6,753,900.00	10.48	2,338.12	$7,627,203.39	10.64	2,160.51	$13,105,731.31
Santo Tomás	16.59	4,631.40	$8,372,400.00	17.62	5,094.20	$25,471,000.00	10.25	3,668.00	$21,907,088.24
Sultepec	42.75	8,596.00	$15,483,500.00	43.31	16,018.50	$72,946,052.40	43.01	17,032.36	$106,135,959.10
Tejupilco	91.80	25,659.80	$64,145,960.00	92.16	23,414.40	$85,424,016.56	85.26	19,356.36	$121,278,717.30
Texcaltitlán	45.00	11,125.50	$18,913,350.00	13.97	6,565.90	$25,997,746.71	14.13	7,799.76	$47,637,346.19
Tlatlaya	121.38	33,082.00	$82,639,500.00	128.74	35,539.18	$145,975,663.48	118.90	30,196.38	$181,103,065.50
Tonatico	10.25	4,191.20	$7,547,060.00	21.14	15,848.00	$68,598,127.50	20.84	10,688.91	$67,110,926.34
Zacazonapan	13.47	3,101.70	$5,589,300.00	11.55	3,811.50	$19,057,500.00	7.00	2,828.00	$17,620,617.56
Zacualpan	38.05	9,512.50	$19,025,000.00	40.32	15,318.50	$56,634,349.95	40.88	15,696.00	$97,580,619.36
Zumpahuacán	17.99	3,180.60	$6,054,160.00	14.40	5,535.00	$23,811,416.10	13.52	5,426.32	$32,501,927.70
Total general	751.53	192,822.25	$434,935,040.00	730.04	228,322.28	$911,594,563.08	668.05	213,919.20	$1,314,483,123.95

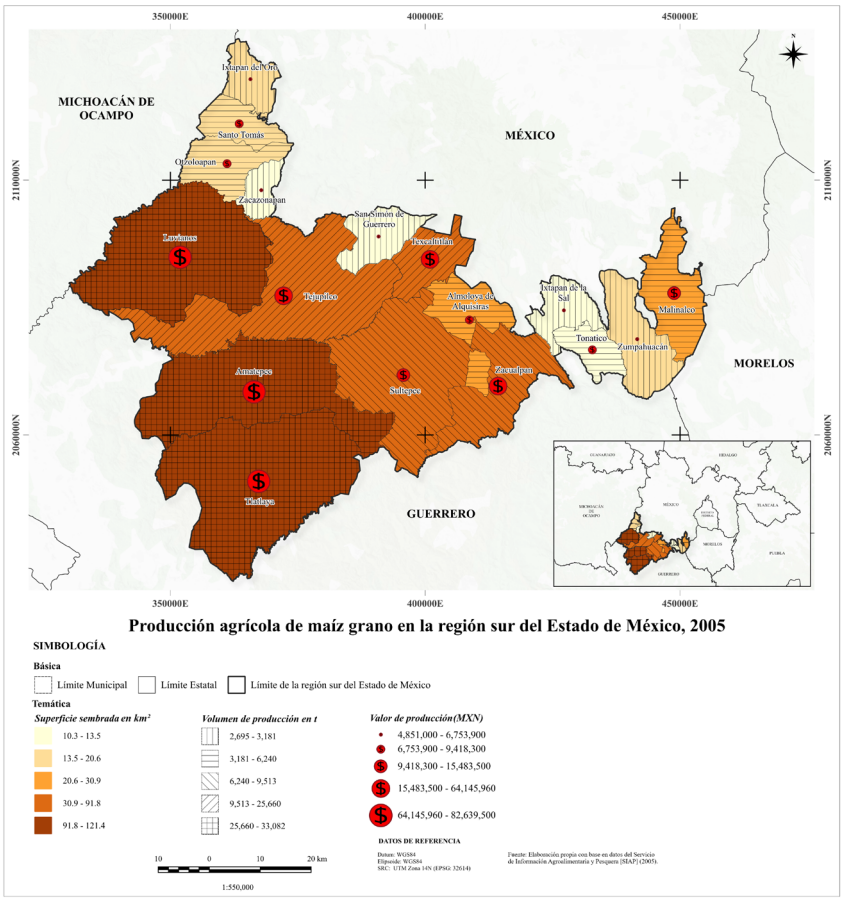
Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005, 2013, 2021).

Entre los años 2005, 2013 y 2021, el maíz grano, experimentó modificación en su producción agrícola. En el año 2005 la superficie sembrada fue de 751.53 Km² con un volumen de producción de 192,822.25 t y un valor de producción de $434,935,040, sin embargo, para el año 2013, se observó una variación, ya que, la superficie sembrada disminuyó a 730.04 Km² pero el volumen de producción y el valor de producción registraron aumentos de 228,322.28 t y $911,594,563.08, respectivamente, aunque, disminuyó la superficie sembrada (21.49 Km²), el volumen de producción y el valor de producción registraron algunos incrementos. Durante el año 2021, continuó el decremento de superficie sembrada (668.05 Km²) con una diferencia de 61.99 Km² respecto al año 2013. De igual manera, el volumen de producción disminuyó (213,919.20 t) con un decremento de 14,403.08 t, no obstante, el valor de producción no registró la misma tendencia, por el contrario, incrementó de forma excesiva a $1,314,483,123.95, con una diferencia de $402,888,560.87 con relación al año 2013.

En los 2005, 2013 y 2021, la RSEM concentró la mayor parte de producción de maíz grano en los Municipios de Tlatlaya, Luvianos, Tejupilco y Amatepec, pues éstos aportan más de la mitad de la producción total de la región. En los años 2005 y 2013 el Municipio de Tlatlaya obtuvo la mayor producción, sin embargo, para el año 2021, el mayor productor fue el Municipio de Ama-

tepec, registrándose incrementos en la superficie sembrada y el volumen de producción entre el año 2005 y el año 2013, aunque descendió en el año 2021, por el contrario, el valor de producción registró incrementos.

Mapa 19. Producción agrícola de maíz grano en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2005.

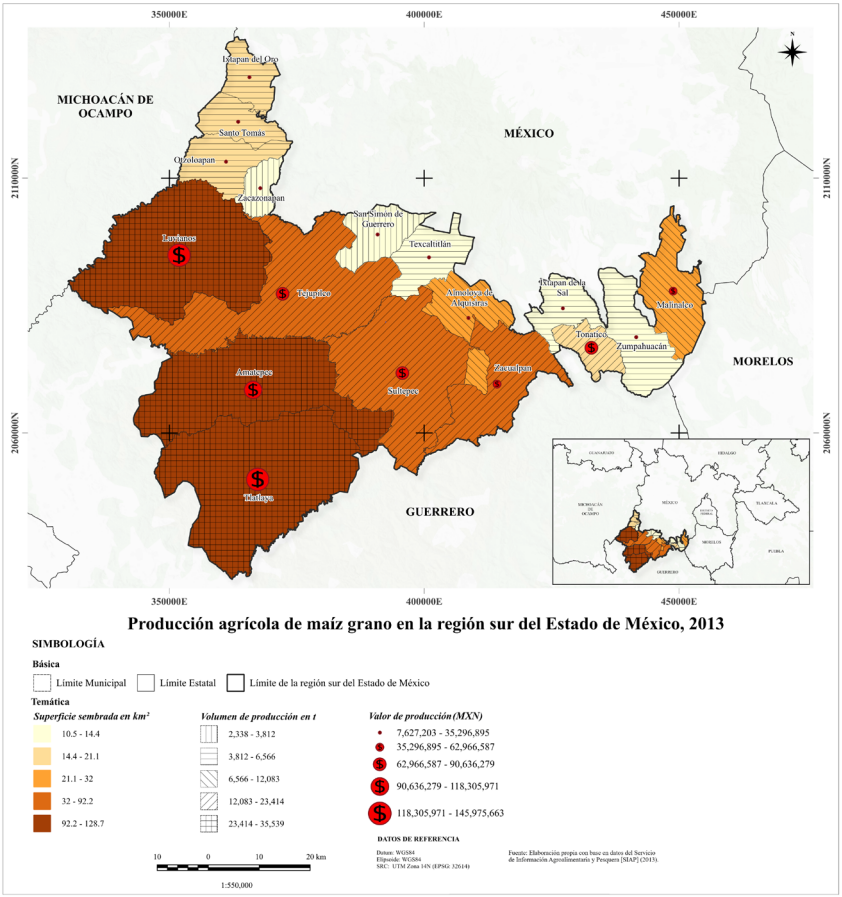


Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005).

Con relación a la distribución espacial, se visualiza que, en los tres años, la producción de maíz grano en la RSEM se concentró en la zona oeste, siendo Tlatlaya, Luvianos y Amatepec los municipios más productivos. Respecto a la zona centro, en ésta se ubican los municipios con valores medios (Tejupilco, Sultepec, Zacualpan, Almoloya de Alquisiras), además, del Municipio de Malinalco también con valor medio, pero ubicado en el límite oeste. Finalmente,

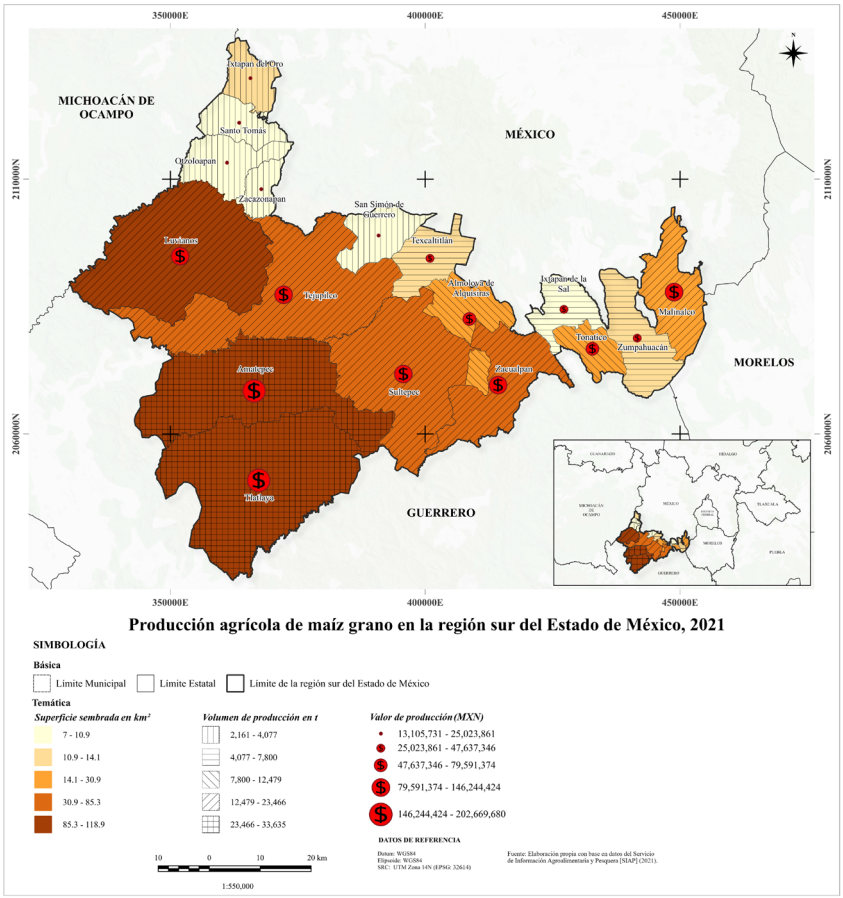
los municipios que tuvieron la menor producción se ubican en su mayoría en el límite norte (Ixtapan del Oro, Santo Tomás, Otzoloapan, Zacazonapan, San Simón de Guerrero, Texcaltitlán, Ixtapan de la Sal, Tonatico y Zumpahuacán).

Mapa 20. Producción agrícola de maíz grano en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2013



Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2013).

Mapa 21. Producción agrícola de maíz grano en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2021).

4.4.2 Producción agrícola del frijol

El cultivo de frijol es esencial para la alimentación y la economía de muchas familias campesinas de la RSEM, por lo que, es pertinente estudiar las modificaciones que ha experimentado en los rubros de superficie sembrada, volumen de producción y valor de producción. El análisis para este cultivo se realizó con datos obtenidos del SIAP (2005, 2013 y 2021) (Cuadro 12) (Mapa 22, Mapa 23 y Mapa 24).

En el año 2005, la producción de frijol se realizó en todos los municipios de la RSEM, con excepción del Municipio de Texcaltitlán, donde no se reportaron valores de producción. La distribución espacial del cultivo de frijol

fue peculiar, toda vez que, los municipios ubicados hacia el oeste registraron menor producción, mientras que, los ubicados hacia la porción oriente, obtuvieron los mayores volúmenes de producción (Mapa 22). En este sentido, los municipios de la porción oriente con mayor rendimiento fueron Zacualpan, Sultepec e Ixtapan de la Sal, destacando el primero, por su mayor producción, con una superficie sembrada de 10.50 km², un volumen de producción de 735 t y un valor de producción de $7,350,000. Sultepec sembró una superficie de 4.05 km², obteniendo un volumen de producción de 527.10 t y un valor de producción de $6,307,200. Ixtapan de la Sal tuvo una superficie sembrada de 3.41 km², un volumen de producción de 384.60 toneladas y un valor de producción de $3,076,800 (Cuadro 12).

Para el año 2013, la producción de frijol presentó la misma distribución espacial en la RSEM, siendo importante el Municipio de Ixtapan del Oro por su alta producción, y el Municipio de Sultepec por el decremento de casi la mitad de su producción, ubicándose en este mismo tenor, el Municipio de Zacualpan (Mapa 23). Al comparar los datos de 2013 con los datos del 2005 se observó que el Municipio de Zacualpan continuó siendo el mayor productor, aunque experimentó una reducción de casi el 50% en la superficie sembrada (5.56 km²), afectando al mismo tiempo, el volumen de producción que disminuyó a 389.70 t y el valor de producción, ubicado en $5,510,101.89. El Municipio de Ixtapan de la Sal continuó en una posición sobresaliente, aunque registró decrementos en la superficie sembrada (2.6 km²), un volumen de producción de 269 t y un valor de producción de $3,858,600.82. El Municipio de Tonatico presentó una superficie sembrada de 2.32 km², un volumen de producción de 242.40 toneladas y un valor de producción de $3,527,200.32 (Cuadro 12).

Durante el año 2021, el patrón de distribución espacial en el cultivo de frijol es similar al de los años 2005 y 2013, es decir, los municipios de la zona oriente registraron la mayor producción, anexándose a este grupo, el Municipio de Ixtapan del Oro, mientras que los municipios con menor producción se concentraron al oeste. Los Municipios de Tlatlaya y Texcaltitlán no registraron datos para este año (Mapa 24).

A manera de resumen, el Municipio de Zacualpan se mantiene como el principal productor, a pesar de haber reducido su superficie sembrada a 5.35 km², no obstante, logró producir cerca del doble de su volumen de producción respecto al año 2013, produciendo 695.24 t y aumentando su valor de producción a $8,412,716.86. El Municipio de Ixtapan de la Sal continúa siendo el segundo mayor productor, con un incremento en su superficie sembrada (2.81 km²), lo cual también se reflejó en su volumen de producción (383.30 t) y valor de producción ($4,974,148.44). Por otra parte, en el año 2021, el Municipio de Ixtapan del Oro se posicionó como uno de los más sobresalientes en el cultivo de frijol, con una superficie sembrada de 2.47 km², un volumen de producción de 251.85 t y un valor de producción de $3,915,271.72 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Producción agrícola de frijol en la región sur del Estado de México, 2005, 2013 y 2021

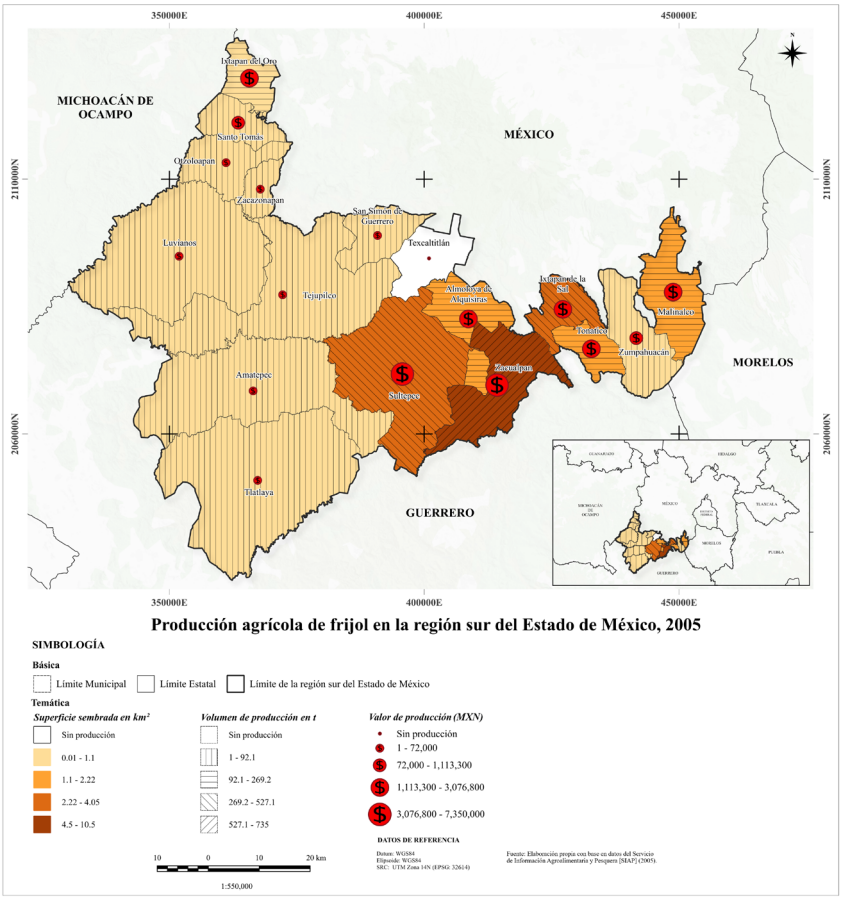
Municipio	Superficie sembrada (Km²) año 2005	Volumen de producción (t) año 2005	Valor de producción ($) (MXN) año 2005	Superficie sembrada (Km²) año 2013	Volumen de producción (t) año 2013	Valor de producción ($) (MXN) año 2013	Superficie sembrada (Km²) año 2021	Volumen de producción (t) año 2021	Valor de producción ($) (MXN) Año 2021
Almoloya de Alquisiras	1.80	220.00	$1,970,000.00	1.24	124.00	$1,804,500.20	1.34	162.51	$2,198,791.93
Amatepec	0.04	1.40	$11,060.00	0.05	2.40	$40,800.00	0.03	1.48	$28,416.00
Ixtapan de la Sal	3.41	384.60	$3,076,800.00	2.60	269.00	$3,858,600.82	2.81	383.30	$4,974,148.44
Ixtapan del Oro	1.10	140.00	$1,690,000.00	2.62	210.80	$3,162,000.00	2.47	251.85	$3,915,271.72
Luvianos	0.04	1.57	$11,932.00	0.07	3.96	$67,910.00	0.06	4.15	$55,253.00
Malinalco	1.80	152.00	$1,728,000.00	1.75	142.50	$1,977,500.40	1.05	146.01	$1,814,244.64
Otzoloapan	0.05	6.00	$72,000.00	0.05	5.50	$66,000.00	0.05	5.56	$85,334.88
San Simón de Guerrero	0.03	1.01	$7,777.00	0.05	1.94	$45,266.66	0.04	2.24	$43,008.00
Santo Tomás	0.79	92.10	$1,113,300.00	1.02	107.00	$1,387,000.00	0.30	28.55	$447,435.60
Sultepec	4.05	527.10	$6,307,200.00	1.78	231.55	$3,340,212.18	1.76	213.08	$2,533,625.61
Tejupilco	0.05	2.18	$17,004.00	0.24	14.16	$254,880.00	0.20	10.80	$186,888.00
Tlatlaya	0.04	1.64	$12,956.00	0.03	1.34	$25,460.00	S/D	S/D	S/D
Tonatico	2.22	269.20	$2,153,600.00	2.32	242.40	$3,527,200.32	1.90	257.69	$3,674,107.73
Zacazonapan	0.04	4.00	$48,000.00	0.04	4.40	$52,800.00	0.05	5.02	$78,673.44
Zacualpan	10.50	735.00	$7,350,000.00	5.56	389.70	$5,510,101.89	5.35	695.24	$8,412,716.86
Zumpahuacán	0.60	60.00	$600,000.00	0.22	22.00	$317,999.97	0.71	92.38	$1,088,070.33
Total general	26.55	2,597.80	$26,169,629.00	19.63	1,772.65	$25,438,232.44	18.12	2,259.86	$29,535,986.18

Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005, 2013, 2023).

Entre los años 2005, 2013 y 2021, la producción de frijol en la RSEM experimentó variaciones poco significativas, por ejemplo, en 2005, se registró una superficie sembrada de 26.55 km², con un volumen de 2,597.80 t y un valor de producción de $26,169,629.00. Sin embargo, en 2013, se observó una disminución en los tres rubros, la superficie sembrada decreció 6.92 km², resultando en 19.63 km²; el volumen de producción perdió 825.15 t, registrando 1,772.65 t; y el valor de producción también tuvo un decremento de $731,396.56, situándose en $25,438,232.44.

Para el año 2021, la superficie sembrada continuó con tendencia a reducción, perdiendo 1.51 km² en comparación con el año 2013, resultando en 18.12 km². Sin embargo, su volumen de producción aumentó 487.21 t, sumando un total de 2,259.86 t, situación que también benefició al valor de producción con $4,097,753.74, logrando $29,535,986.18.

Mapa 22. Producción agrícola de frijol en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2005

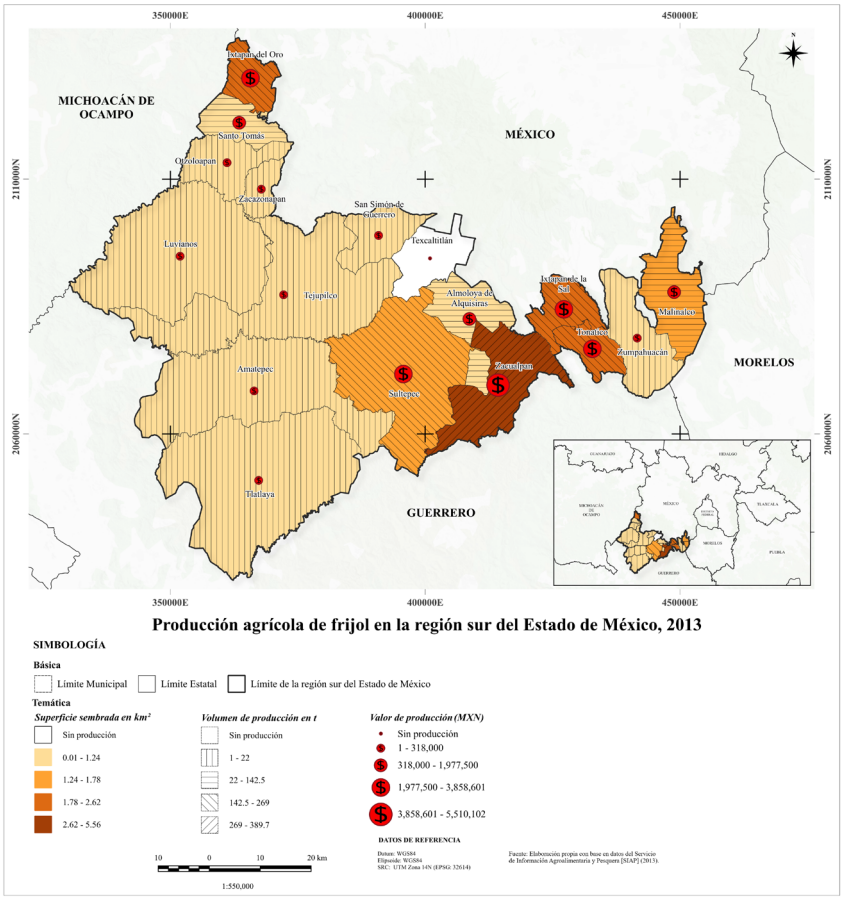


Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005).

4.4.3 Producción agrícola del aguacate

Actualmente la plantación de aguacate se ha posicionado como uno de los cultivos con mayor relevancia económica en México y en la RSEM, debido a su alta demanda en los mercados nacionales e internacionales, favoreciendo un impacto significativo en la economía de la región. En este apartado se analiza la producción de este cultivo, considerando los aspectos de superficie sembrada, volumen de producción y valor de producción para los años 2005, 2013 y 2021, esto a partir de los datos obtenidos del SIAP (2005, 2013, 2021) (Cuadro 13, Mapa 25, Mapa 26 y Mapa 27).

Mapa 23. Producción agrícola de frijol en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2013

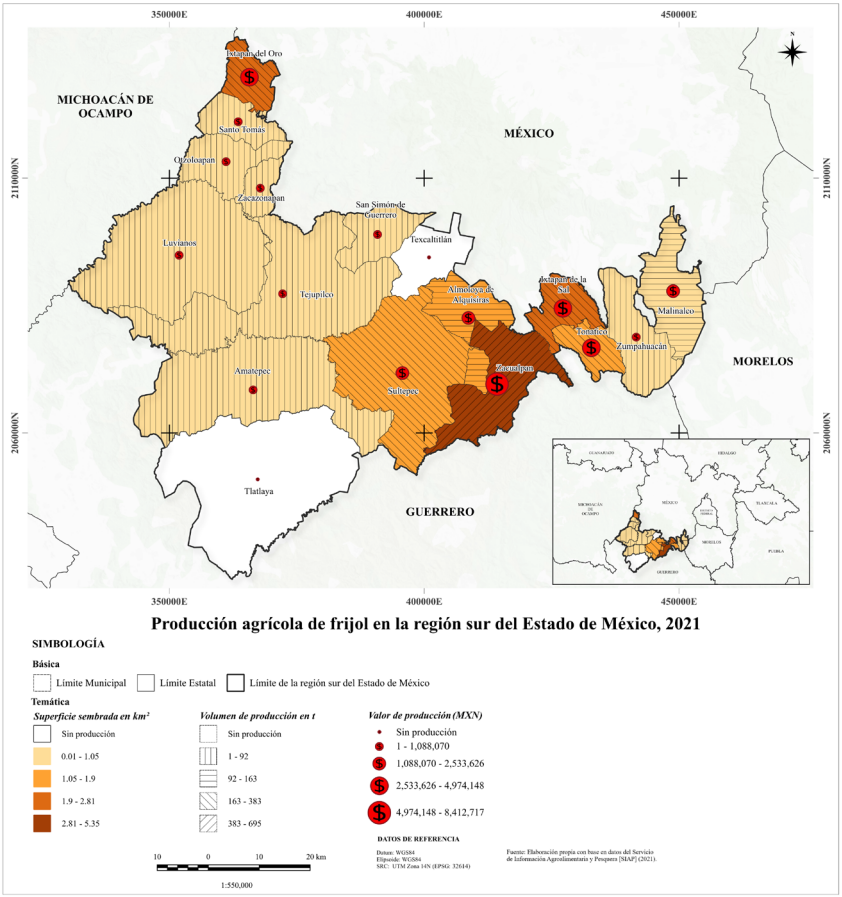


Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2013).

Durante el año 2005, la RSEM produjo aguacate en 12 municipios, pues, aunque la producción no presenta cifras extraordinarias, ésta es relevante. En cuanto a su distribución espacial, la presencia del cultivo es irregular, teniendo mayor presencia en el centro de la RSEM, particularmente en los Municipios de Almoloya de Alquisiras, Malinalco e Ixtapan del Oro (Mapa 25). El Municipio de Almoloya de Alquisiras registró la mayor producción con una superficie sembrada de 4.54 km² con un volumen de producción de 5,110 t y un valor de producción de $30,620,000, lo que representó aproximadamente tres cuartas partes de la producción total. Los Municipios de Malinalco e Ixtapan del Oro, también fueron importantes en la producción de este tipo de

cultivo, Malinalco tuvo una superficie sembrada de 0.56 km², mientras que Ixtapan del Oro alcanzó 0.35 km², ambas jurisdicciones superaron 350 t de producción y registraron un valor de producción mayor a $2,000,000 (Cuadro 13).

Mapa 24. Producción agrícola de frijol en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2021).

En el 2013, la producción del cultivo de aguacate continuó en aumento, así como su presencia en otros dos municipios (Santo Tomás y Zacazonapan), pero, la distribución del cultivo tampoco presentó un patrón espacial de agrupación. Los mayores valores de producción se registraron en los Municipios de Almoloya de Alquisiras, Ixtapan del Oro y Malinalco. Almoloya de Alquisiras continúa obteniendo la mayor producción, registrando un au-

mento en su superficie sembrada (5.03 km²), favoreciendo un incremento en el volumen de producción (3,086 t) y el valor de producción que ascendió a $36,670,489.07, lo que representó aproximadamente la mitad del valor total de la RSEM. El Municipio de Ixtapan del Oro también registró un incremento, triplicando sus valores y registrando una superficie sembrada de 1.84 km², un volumen de producción de 1,020 t y un valor de producción de $14,240,000. Situación similar se presentó en Malinalco, con aumentos significativos, pues a pesar de haber tenido una superficie sembrada de 2.19 km², obtuvo menor volumen de producción (915 t) y valor de producción ($10,401,250.20). Como se observa, durante el año 2013, la producción de los tres municipios constituyó más de tres cuartas partes (80 %) de la producción total de aguacate en la RSEM (Cuadro 13) (Mapa 26).

Durante el 2021, el cultivo de aguacate continuó incrementándose de manera significativa en la RSEM, principalmente en los Municipios de Almoloya de Alquisiras, Malinalco y San Simón de Guerrero, además, los Municipios de Tonatico y Tlatlaya persistieron sin producción. El Municipio de Almoloya de Alquisiras permanece como el principal productor, pues registró un aumento en su superficie sembrada (5.75 Km²) con un volumen de producción de 5,986.66 t y un valor de producción de $99,016,618.85. No obstante, el Municipio de Malinalco presentó el incremento más sobresaliente, al aumentar su superficie sembrada con más de 5 km², alcanzando 7.22 km², superando en superficie a Almoloya de Alquisiras (Cuadro 13, Mapa 27).

Aunque el Municipio de Malinalco registró una superficie sembrada mayor que el resto de los municipios, esto no implicó que su volumen de producción y valor de producción también hayan incrementado de manera significativa, registrando un volumen de producción de 4,255.8 t y un valor de producción de $72,685,775.06. Situación similar ocurrió en el Municipio de San Simón de Guerrero, que también experimentó aumento en superficie sembrada, con 4.78 km², totalizando 4.93 km², incrementando del mismo modo, su volumen de producción (2,988.26 t) y el valor de producción ($56,653,436.38). En años anteriores este municipio tenía menor producción de aguacate en la región, pero en 2013 y 2021 experimentó cambios importantes (Cuadro 13, Mapa 27).

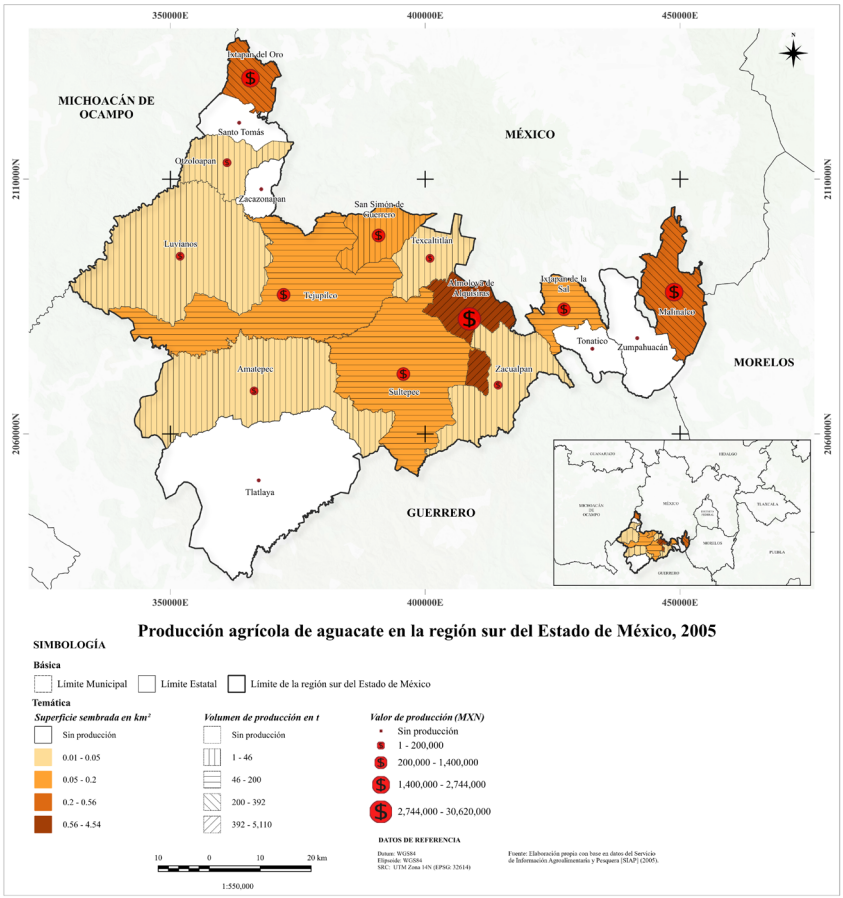
Cuadro 13. Producción agrícola de aguacate en la región sur del Estado de México, 2005, 2013 y 2021

Municipio	Superficie sembrada (Km²) año 2005	Volumen de producción (t) año 2005	Valor de producción ($) (MXN) Año 2005	Superficie sembrada (Km²) año 2013	Volumen de producción (t) año 2013	Valor de producción ($) (MXN) Año 2013	Superficie sembrada (Km²) año 2021	Volumen de producción (t) año 2021	Valor de producción ($) (MXN) año 2021
Almoloya de Alquisiras	4.54	5,110.00	$30,620,000.00	5.03	3,086.00	$36,670,489.07	5.75	5,986.66	$99,016,618.85
Amatepec	0.05	34.00	$197,200.00	0.51	252.10	$2,720,400.00	1.65	924.41	$19,074,721.65
Ixtapan de la Sal	0.20	200.00	$1,400,000.00	0.18	252.00	$3,131,800.56	0.20	203.10	$3,233,845.73
Ixtapan del Oro	0.35	350.00	$2,100,000.00	1.84	1,020.00	$14,240,000.00	4.23	1,666.36	$29,598,373.68
Luvianos	0.04	26.00	$143,000.00	0.75	303.40	$3,337,400.00	1.38	1,140.48	$24,547,965.24
Malinalco	0.56	392.00	$2,744,000.00	2.19	915.00	$10,401,250.20	7.22	4,255.80	$72,685,775.06
Otzoloapan	0.04	28.00	$168,000.00	0.03	30.00	$285,000.00	0.10	74.41	$1,381,336.08
San Simón de Guerrero	0.06	46.00	$262,500.00	0.15	107.44	$1,230,720.00	4.93	2,988.26	$56,653,436.38
Sultepec	0.07	70.00	$350,000.00	0.76	180.00	$1,552,500.00	3.45	1,822.25	$31,459,779.56
Tejupilco	0.09	59.75	$328,625.00	0.48	217.50	$2,602,361.40	1.38	710.14	$15,026,242.84
Texcaltitlán	0.04	40.00	$200,000.00	0.09	60.00	$720,000.00	0.31	273.73	$4,749,698.00
Zacualpan	0.04	24.00	$96,000.00	0.41	32.00	$328,000.00	0.37	123.37	$1,903,502.87
Santo Tomás	S/D	S/D	S/D	0.50	455.00	$4,577,300.00	0.14	102.15	$1,757,894.24
Zacazonapan	S/D	S/D	S/D	0.02	16.50	$181,500.00	0.04	48.00	$860,880.00
Zumpahuacán	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.64	400.64	$6,031,374.78
Total general	6.08	6,379.75	$38,609,325.00	12.93	6,926.94	$81,978,721.23	31.79	20,719.76	$367,981,444.96

Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005, 2013, 2021).

En las últimas décadas, la región RSEM ha sido una parte esencial en la producción de aguacate, condición que muestran los datos de los años 2005, 2013 y 2021. En el año 2005, este cultivo registró una superficie sembrada de 6.08 km², con una producción de 6,379.75 t y un valor de producción de $38,609,325.00. Para el año 2013, los aumentos en los aspectos fueron evidentes, debido a que la superficie sembrada duplicó su tamaño, obteniendo un total de 12.93 km² (+6.85 km²), sin embargo, a pesar de este aumento, no se observó incremento en el volumen de producción, ya que éste sólo aumentó a 547.19 t, teniendo un total de 6,926.94 t, sin duda alguna, el valor de producción incrementó significativamente $43,369,396.23 registrando en total $81,978,721.23. Durante el año 2021, el aumento del cultivo continúo, obteniendo producción mayor al doble de la obtenida en el año 2013, pues la superficie sembrada aumentó 18.86 Km², registrando en total 31.79 Km², de igual manera, ocurrieron aumentos en el volumen de producción con 13,792.82 t, registrando un total de 20,719.76 t, el valor de producción también tuvo incremento de $286,002,723.73 (casi tres veces más en comparación con el año 2013) ganando un total de $367,981,444.96.

Mapa 25. Producción agrícola de aguacate en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2005

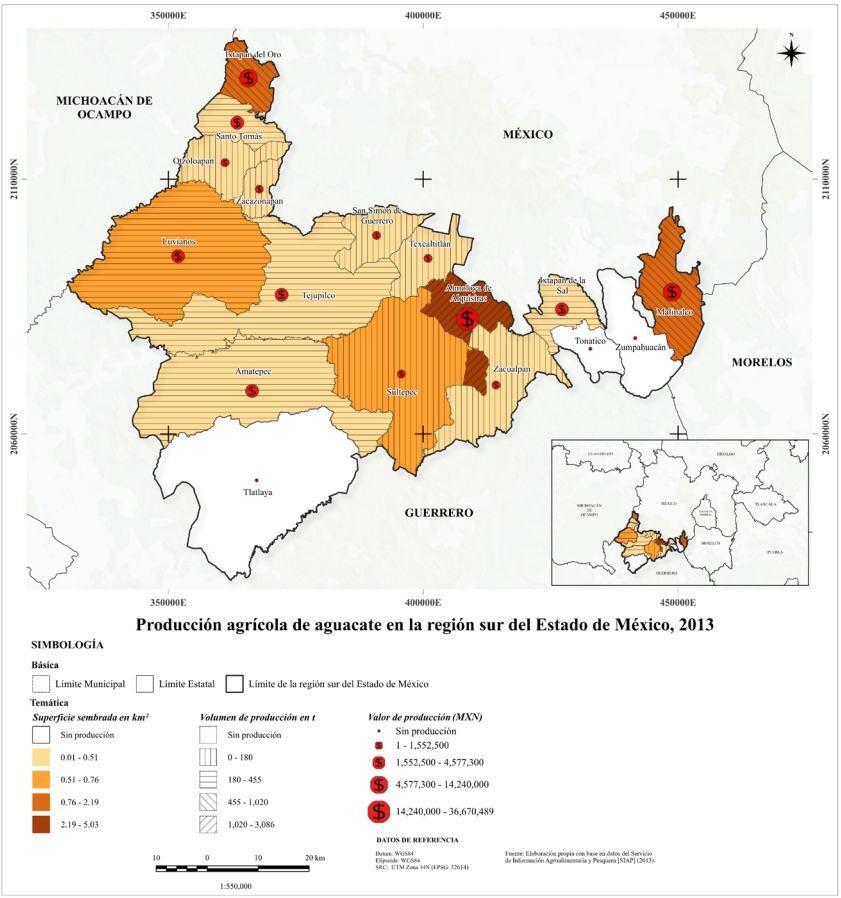


Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2005).

En los tres años, el Municipio de Almoloya de Alquisiras tuvo la mayor producción de aguacate, con significativos aumentos entre 2005 y 2021. En el año 2013, los Municipios de Ixtapan del Oro y Malinalco comenzaron a presentar incrementos en la superficie sembrada, volumen de producción y valor de producción. Durante el año 2021, los Municipios de Malinalco y San Simón de Guerrero, tuvieron incrementos notables, ambos registraron un aumento superior a 4.5 km² en la superficie sembrada, obteniendo beneficios en el volumen de producción y valor de producción. Con relación a la ubicación espacial, durante los tres años no existió asociación de las jurisdicciones municipales, pues todos los valores se distribuyeron de manera dispersa entre la

RSEM, no obstante, el cultivo tuvo presencia en municipios donde antes no lo producían.

Mapa 26. Producción agrícola de aguacate en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2013



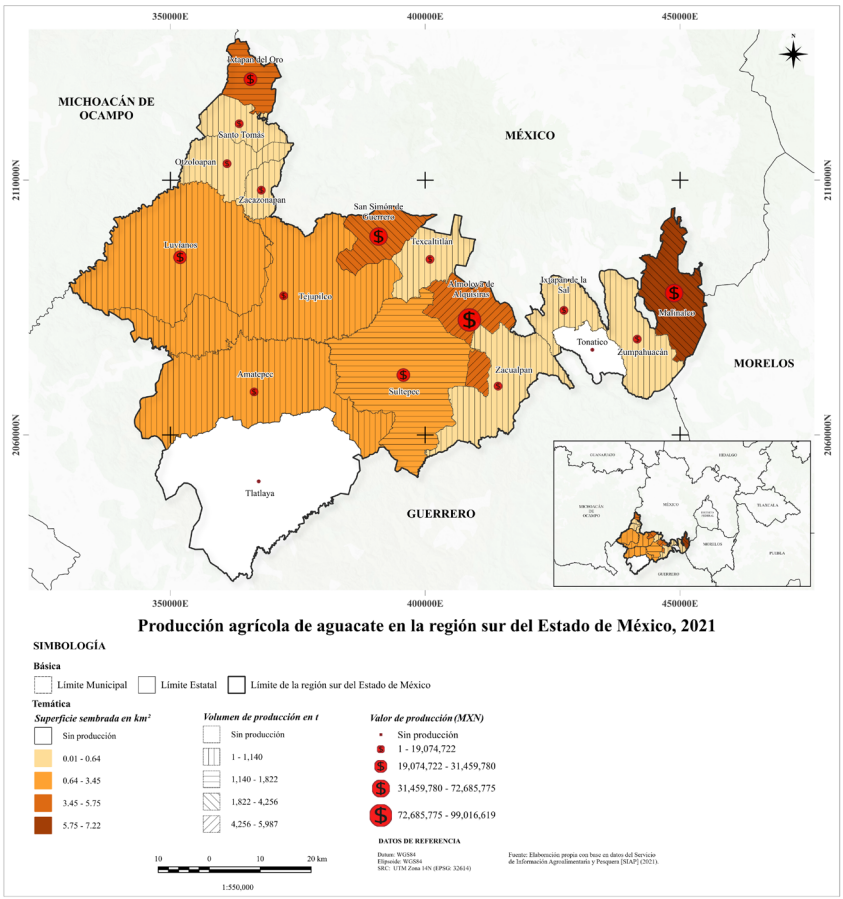
Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2013).

4.5 Relación: superficie agrícola sembrada y cambios de uso del suelo y vegetación

Con los parámetros anteriores fue posible pensar en una tendencia hacia la reducción de la superficie sembrada en la RSEM, situación que podría tener relación con varios factores, lo cual puede provocar impactos en la dinámica agrícola, la economía y la seguridad alimentaria. Los datos sobre la superficie sembrada han demostrado un descenso continuo ya que, al ser comparados

con el análisis de los cambios en el uso del suelo, especificando las superficies destinadas a la actividad agrícola se observan superficies perdidas en la actividad agrícola de la RSEM.

Mapa 27. Producción agrícola de aguacate en la región sur del Estado de México: superficie sembrada, volumen y valor de producción, 2021



Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP (2021).

Para conocer la relación entre los cambios de uso del suelo (usos agrícolas) y la producción agrícola (superficie sembrada), se realizó una homologación de la información, es decir, respecto al análisis de cambio de uso del suelo, sólo fueron considerados los que versan sobre agricultura de riego y agricultura de temporal, condición que permitió obtener la superficie total destinada a la agricultura para cada año. De este modo, en el año 2005, la superficie

agrícola ocupó 926.89 km², mientras que, en el año 2021, sólo consiguió 821.01 km². Respecto a la superficie sembrada, también se hizo la suma de los cultivos destinados a la producción de alimentos y los destinados al cultivo de flores, en este caso, en el año 2005, se registró una superficie sembrada de 1,738.02 km² y en el año 2021, fue de 1,367.86 km², desde luego, son evidentes las diferencias, lo cual puede tener relación con lo siguiente:

a. La superficie sembrada contabilizó más de un ciclo de producción por año, lo que pudo haber duplicado la superficie de un cultivo, si es que éste fue productivo durante más de un ciclo, es decir, mantuvo una producción activa durante los ciclos primavera-verano y otoño-invierno. Esta situación también aplica para los cultivos de regadío.

b. La delimitación superficial es otro factor, ya que, sólo fueron seleccionados los municipios cuya superficie territorial dentro de la RSEM supera más del 50 %, generando una variación entre las superficies totales.

c. Un factor más es la inclusión del cultivo de pastos y praderas en la suma de la superficie sembrada total. Caso contrario en el análisis de cambios en el uso del suelo, éstos no corresponden a la agricultura, ya que son considerados en la clase pastizal inducido, esto con base en la metodología del INEGI, la cual representa áreas dedicadas al cultivo agrícola en un tiempo específico, estableciendo así su ocupación/uso en el instante, excluyendo a pastos y praderas como un uso de suelo vinculado a este ámbito.

Con base en lo anterior, se realizó un nuevo análisis para que los rubros que conforman la superficie sembrada sean más representativos, teniendo como criterio esencial, no considerar el cultivo de pastos y praderas. En el año 2005, se registró una superficie sembrada de 907.98 km², la cual disminuyó a 839.22 km² en el año 2021, no obstante, al considerar la superficie agrícola total para ambos años, se identificó un total de 926.89 km² y 821.01 km², respectivamente. Existe una reducción en la superficie sembrada y la superficie de uso agrícola total entre los años 2005 y 2021. En cuanto a la superficie sembrada se registró un decremento de 68.76 km², por otro lado, la superficie agrícola también registró una mayor pérdida, siendo ésta de 105.88 km², lo cual es evidencia de un proceso de pérdida en el uso del suelo para actividades agrícolas, es decir, las superficies dedicadas a los usos agrícolas y las superficies sembradas han experimentado modificaciones significativas, provocando repercusiones en el futuro alimentario de la RSEM, situación que podría implicar importación de alimentos para satisfacer la alimentación familiar.

Los datos estadísticos de producción agrícola en la RSEM muestran un descenso significativo en la superficie sembrada y el volumen producido, pero con aumentos relevantes en el valor de producción. En este sentido, es indiscutible la necesidad de considerar la importancia de conservar estas tierras agrícolas, así como su capacidad y potencialidad de producción a futuro. Se deben considerar acciones simultáneas que permitan atender las pérdidas y ganancias de manera indistinta, esto con la finalidad de contribuir a la conservación de los recursos agrícolas, e indudablemente a la producción de alimentos, para incidir en estilo favorable a la seguridad y soberanía alimentarias, no sólo a escala regional sino en todo el territorio mexicano.

Este análisis ofrece una visión estadística de la productividad agrícola en la RSEM. Si bien estos datos permiten observar la evolución y tendencias del sector, su valor analítico puede ser beneficiado al integrarse información sobre factores locales específicos, los cuales requieren un abordaje cualitativo y cuantitativo, comprendiendo las implicaciones socioeconómicas que influyen en la producción. Este enfoque constituye un punto de partida fundamental para el análisis regional de la dinámica productiva agrícola en la Región sur del Estado de México.

Capítulo 5. Aptitud agrícola de la región sur del Estado de México

Introducción

El estudio de los cambios en el uso de suelo y la vegetación son importantes, específicamente lo que se refiere a pérdidas y ganancias, pero es conveniente considerar que los terrenos ganados para el establecimiento de cultivos también han empezado a disminuir su superficie de manera gradual, situación que repercute en la producción agrícola de la RSEM. En este capítulo se exponen las características físicas de la región mediante la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio, con la finalidad de identificar las zonas más aptas para el establecimiento agrícola, apoyando de este modo a la planificación territorial y orientando la gestión agrícola en la RSEM. Con base en estas consideraciones y tomando en cuenta la relevancia cultural, económica y alimentaria de los cultivos de maíz, frijol y aguacate, se evalúan las condiciones más idóneas para su establecimiento. Al final, se incluye el escenario general para identificar áreas con características adecuadas para diversos cultivos.

5.1 Análisis Estructural

Existen diversas variables que pueden ser utilizadas para realizar una evaluación multicriterio, sin embargo, es necesario comprender la relación que existe entre éstas en el proceso de evaluación y su posterior modelaje, esto debido a que algunas pueden modificar la información y su precisión. Es fundamental identificar las variables más relevantes, es decir, aquellas que aporten información significativa y que reflejen de manera correcta las condiciones ambientales de la RSEM, tratando de asegurar que los resultados de la evaluación sean confiables y aplicables para el establecimiento de cultivos. En este caso, se parte por entender a la agricultura como un sistema donde existen múltiples interacciones entre sus componentes (Tello, 2013; Vilaboa, 2009), analizando a la agricultura desde una visión holística donde interactúan múltiples factores o componentes como el suelo, la precipitación, la temperatura, entre otros.

Para cumplir con los requerimientos expuestos se considera la aplicación de un análisis estructural que posibilite modelar la estructura de un sistema. De acuerdo con Godet *et al.* (2003) el análisis estructural constituye una herramienta de participación colectiva que permite describir la estructura de un sistema a través de sus variables, analizando la interacción e influencia que cada una ejerce sobre las demás. El análisis estructural es un estudio detallado de un sistema específico, comprendiendo su funcionamiento al identificar las variables que lo integran y la dinámica entre ellas, para esto se reconoce la influencia existente entre cada una, procesando los datos en un software (Quintero y López, 2010).

Con el objetivo de realizar un análisis estructural, se emplea el método de Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación (MICMAC, por sus siglas en inglés). Es una herramienta valiosa para estudiar un sistema y su dinámica. El análisis de la estructura de un sistema bajo el método MICMAC resulta ser una excelente opción para comprender a este, lo cual se logra con la elaboración de una matriz que evalué la interacción e influencia entre los componentes del mismo sistema, con la finalidad de identificar las variables que influyen o dependen dentro del sistema (Arango y Cuevas, 2014).

El análisis estructural consta de tres fases: 1) listado de las variables, 2) la descripción de relaciones entre variables y 3) la identificación de variables clave y sus categorías (Godet *et al.*, 2003; Godet y Durance, 2007), en el entendido de que previo a la primera fase, es necesario disponer de un inventario de variables en donde sea posible identificar el mayor número de factores que intervienen en el sistema. Es conveniente contar con el apoyo de un grupo de especialistas que brinden aportaciones certeras y retroalimenten las consideraciones planteadas, esto con el fin de detectar el mayor número de variables, eliminando las que sean redundantes o no relevantes en el sistema analizado (Quintero y López, 2010).

La primera fase denominada "listado de variables", se conforma con la elaboración de una lista de variables, considerando las internas y las externas al sistema, mismas que deben ser sujetas a validación por expertos, identificando su comportamiento pasado, futuro y sus posibles consecuencias en el sistema. La segunda fase, conocida como "descripción de relaciones entre variables" es la parte más importante del método, consiste en identificar las interacciones entre las variables, por medio de una matriz estructural que debe ser elaborada con las aportaciones y consideraciones de los expertos con conocimientos en el sistema analizado, determinando la influencia de cada variable sobre las demás. La tercera fase "identificación de variables clave", consiste en identificar la ubicación de las variables en un plano de influencia y dependencia, categorizándolas en: variables de poder, variables de enlace,

variables de resultado y variables autónomas (Godet *et al*., 2003; Godet y Durance, 2007).

El análisis estructural es útil para comprender la dinámica de las variables dentro del sistema analizado, observando la distribución entre variables, desde luego la parte elemental radica en analizar de manera específica su posición, particularmente de aquellas identificadas en el sector de variables clave o poder, pues son consideradas como las de mayor influencia en el sistema, señalando que éstas no restan importancia a las demás variables, ya que también pueden desempeñar un papel clave en el sistema (Arango y Cuevas, 2014). Al respecto Godet y Durance (2007) afirman que el análisis de variables a través de su clasificación derivada de su ubicación, proporciona una valiosa retroalimentación y enseñanza, ya que, permite vislumbrar la relevancia de las variables e identificar las más importantes.

- Clasificación de variables

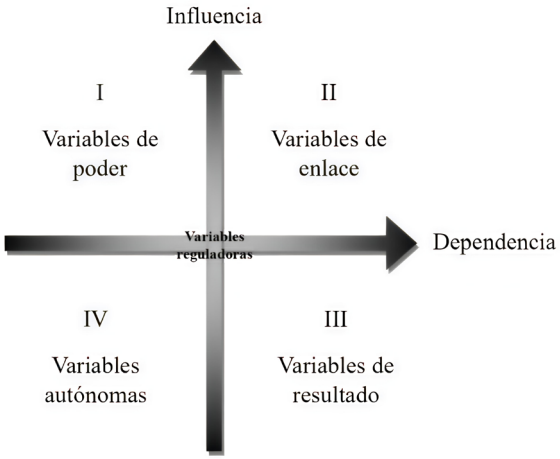
De acuerdo con Arango y Cuevas (2014), la clasificación de las variables se define con base en su ubicación en el plano de influencia y dependencia, mismo que debe ser cuidadosamente interpretado para identificar la relevancia de cada variable. El plano permite clasificar las variables en cuatro categorías que se ubican en cuadrantes definidos (Figura 1).

1. Variables de poder (alta influencia, baja dependencia): Son las variables motrices que impulsan el sistema, ejerciendo influencia sobre el resto de las variables sin depender de alguna otra, por lo que, la falta de una de éstas puede alterar todo el sistema.
2. Variables de enlace (alta influencia y dependencia): Estas variables son consideradas como el núcleo del sistema, siendo altamente sensibles a cambios, por lo que, presentan un comportamiento complejo e inestable, por esta razón requieren atención prioritaria.
3. Variables de resultado (baja influencia, alta dependencia): Las variables resultado, presentan fuerte dependencia de otras, siendo alteradas por las variables de poder y de enlace.
4. Variables autónomas (baja influencia y dependencia): Estas variables, tienen mínima interacción con el sistema, siendo poco influyentes y dependientes, por lo que se consideran aisladas y tienden a ser descartadas del análisis, no obstante, al identificar una cercanía relativa, los sectores de influencia y dependencia pueden llegar a tomar protagonismo y ser consideradas a juicio del evaluador.

Según Arcade *et al.* (2004), estas categorías son complementadas con las variables reguladoras que se encuentran en el centro del sistema. Estas varia-

bles reciben influencia de otros factores, y de igual manera, tienen un impacto significativo en el resto de las variables del sistema.

Figura 1. Plano de influencia–dependencia



Nota. Adaptado de Plano de influencia/dependencia, de M. Godet *et al.* (2002, como se cita en Quintero y López, 2010), Revista Avances en Sistemas e Informática, 7(3).

La identificación de variables se define en función de dos planos, mismos que son obtenidos de la matriz de influencias directas (MDI) e indirectas (MII). La MDI se basa en la matriz general y permite la observación de las relaciones inmediatas entre factores, es la base del análisis. La MII es el resultado de elevar la MDI a una potencia n hasta que ésta logre estabilidad entre la jerarquía de influencia y dependencia (Godet *et al*., 2003). Analizar la dinámica de las variables desde esta perspectiva doble, permite comprender de mejor manera el sistema, ya que se identifican variables que pudieron no haber sido consideradas hasta evaluar su impacto acumulado, es decir, la influencia de la variable al ser combinada con otra (Arango y Cuevas, 2014). Diversas investigaciones comparten que, al realizar un análisis estructural, conjuntando la matriz de influencias directas e indirectas, posibilita la distinción de las variables clave del sistema, ya que, al considerar ambas influencias, se crea una visión más precisa de las relaciones entre variables y permite identificar las que tienen un papel más relevante en el sistema (Arango y Cuevas, 2014; Asnawi *et al*., 2020; Barati *et al*., 2019).

5.1.1 Desarrollo Metodológico

5.1.1.1 Listado de Variables

Con el objetivo de identificar la mayor cantidad de variables, se realizó trabajo colaborativo grupal. Además, la identificación de las variables tuvo sustento en diversas investigaciones y textos especializados que contienen información de los requerimientos para un desarrollo óptimo de los cultivos, así como proyectos previos que analizaban la detección de zonas con potencial agrícola, por lo que, con base en estas fuentes se obtuvieron puntos clave y variables relevantes. Se organizó la técnica lluvia de ideas para obtener la mayor cantidad de variables, resultando 35 en total, las cuales conformaron el inventario. Algunas variables fueron eliminadas debido a su redundancia, mientras que otras, en función de su complejidad, requerían un análisis más preciso para ser incluidas. La selección de variables se enfocó en factores físicos, necesarios para determinar la aptitud física de la RSEM. El criterio de incluir sólo variables físicas tiene relación con investigaciones sobre la determinación de áreas aptas para cultivos (Andrade *et al*., 2019; Ceballos y López, 2002; Ceballos y López, 2010; Rojas, 2014; Sotelo *et al*., 2016). Al final, sólo se consideraron 19 variables (Cuadro 14). Además de estas variables expuestas a continuación, se identificó la variable de áreas protegidas, sin embargo, esta se decide excluir ya que se define como una variable de restricción para el análisis consiguiente.

Cuadro 14. Listado de variables

No.	Nombre	Nombre_Corto	Descripción	Familia
1	Altitud	Alt	Influye en el clima, la temperatura. Algunas especies vegetales requieren altitudes específicas para su desarrollo.	Topografía
2	Cuerpos de agua	Cuagu	Son fuentes clave para irrigación. La cercanía a lagos, embalses o ríos facilita la irrigación	Hidrología
3	Exposición solar	Exsol	La orientación del terreno afecta la cantidad de luz solar que reciben los cultivos. Las áreas expuestas al sol favorecen el crecimiento de muchas especies vegetales.	Topografía
4	Litología	Lito	La composición del subsuelo afecta la fertilidad del suelo. Zonas con rocas duras o formaciones geológicas poco permeables pueden dificultar el desarrollo de cultivos.	Superficie
5	Geomorfología	Geomo	Las características del relieve condicionan la capacidad de sostener el desarrollo de cultivos, ya que afectan el drenaje, la accesibilidad y la capacidad del suelo para retener agua (se relaciona con la pendiente).	Topografía
6	Heladas	Hela	La presencia de heladas puede dañar los cultivos al disminuir los rendimientos.	Clima
7	Inundaciones	Inun	La abundancia de agua puede saturar los cultivos, al causar asfixia de la planta, pudrimiento de raíz e irrupción en el proceso fotosintético. Altera la composición y la estructura del suelo, reduciendo su aptitud.	Clima
8	Pendiente	Pend	Las áreas planas o con pendientes poco abruptas son más adecuadas para la agricultura, las pendientes pronunciadas pueden provocar erosión y dificultar el uso de maquinaria.	Topografía
9	Precipitación	Preci	La cantidad y distribución de las lluvias determinan la necesidad de un sistema de irrigación. Regiones con lluvias estacionales pueden ser aptas para cultivos que requieren pocas lluvias.	Clima
10	Profundidad del suelo	Prosue	Suelos más profundos permiten que las raíces de las plantas crezcan sin restricciones, lo que favorece la salud y el rendimiento de los cultivos.	Superficie
11	Ríos	Rios	Son fuentes naturales de agua para la irrigación.	Hidrología
12	Sequias	Sequia	Algunos cultivos necesitan de agua para su óptimo desarrollo, la presencia de sequía puede crear limitaciones y pérdida de cultivos.	Clima
13	Superficies agrícolas pérdidas	Supagri	Zonas que antes fueron ocupadas con cultivos agrícolas	Factor externo
14	Temperatura	Tem	Influye en el ciclo de crecimiento de las plantas. Las temperaturas extremas pueden dañar los cultivos o limitar su productividad	Clima
15	Textura del suelo	Texsue	La proporción de la composición del suelo (arena, arcilla y limo) afectan la aireación, retención de agua y fertilidad.	Superficie
16	Tipo de suelo	Tipsue	Los suelos con mayor contenido de materia orgánica y nutrientes son más aptos para la agricultura.	Superficie
17	Uso del suelo	Usv	Las áreas cultivadas o destinadas a la agricultura son preferibles. Se debe evaluar las condiciones de uso e identificar los usos más aptos para establecer cultivos.	Factor externo
18	Vías de comunicación	Viacom	Son esenciales para el transporte de insumos y productos agrícolas.	Factor externo
19	Vientos	Vie	Los vientos intensos pueden dañar los cultivos, aumentar la evapotranspiración y favorecer la erosión del suelo.	Clima

Fuente: elaboración propia a partir del trabajo colaborativo en grupo.

5.1.1.2 Descripción de las relaciones entre variables

Después de haber elaborado la lista de inventario y revisadas las variables para determinar su inclusión, se procedió a evaluar la relación existente entre las 19 variables, esto con la finalidad de determinar la influencia que una va-

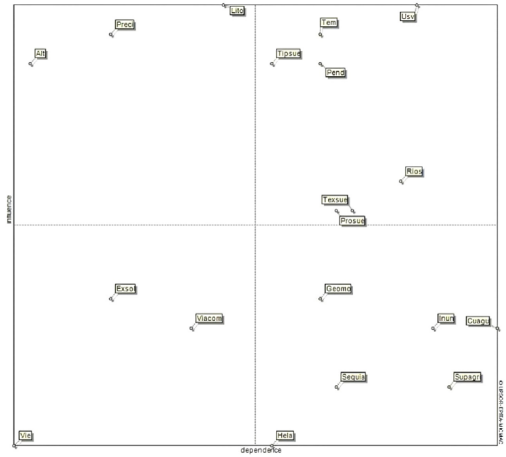
riable ejerce sobre las demás. Para ello, se asignó un valor/peso siguiendo la pregunta: ¿Existe relación de influencia directa entre la variable i y la variable j? Para dar respuesta al cuestionamiento se determinó: 0 = nula influencia, 1 = baja influencia, 2 = mediana influencia, 3 = alta influencia y P = potencial (Godet *et al*., 2003). El proceso de asignación de valores a las relaciones de influencia fue realizado con el apoyo del equipo de trabajo y su respaldo en fuentes científicas especializadas, lo que justifica el valor/peso asignado a cada relación.

La matriz de impactos cruzados fue realizada con las 19 variables, ingresando sus ponderaciones al software MICMAC, generando la matriz de influencias directas y la matriz de influencias indirectas, obteniendo los mapas de cada matriz, influencia/dependencia directa e influencia/dependencia indirecta. Es importante señalar que se hizo un ajuste en las interacciones, estableciendo tres en total, lo cual favoreció la estabilización en las interacciones del sistema.

5.1.1.3 Identificación de variables

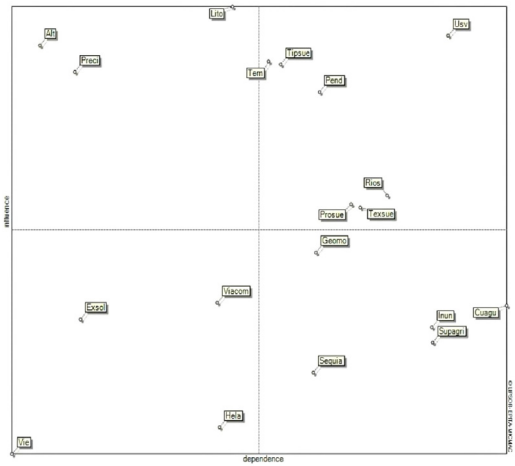
Al analizar los mapas de influencia/dependencia directa e influencia/dependencia indirecta, se observó una variación en la ubicación de las variables dentro de los cuatro cuadrantes. No obstante, la variable de heladas fue la única que cambió de cuadrante en los mapas (Figura 2 y Figura 3). Al considerar ambos mapas, las variables más relevantes fueron aquellas que presentaron los valores más altos de influencia y dependencia en el sistema, ubicadas en las variables de enlace de acuerdo con la teoría (Villegas, *et al*., 2020).

Figura 2. Mapa de influencia/dependencia directa



Fuente: elaboración propia con datos del grupo de trabajo y usando el software MICMAC.

Figura 3. Mapa de influencia/dependencia indzrecta



Fuente: elaboración propia con datos del grupo de trabajo y usando el software MICMAC.

Considerando la teoría y los resultados expuestos en diferentes investigaciones, las variables más influyentes y dependientes del sistema se encuentran ubicadas en el cuadrante número dos, ya que, en éste se ubican las variables clave o de enlace, siendo las variables fundamentales y esenciales en la dinámica del sistema, pues ejercen influencia sobre otras, pero también la reciben. Al visualizar los resultados obtenidos del mapa de influencia/dependencia directa e indirecta, las variables clave identificadas son: pendiente, profundidad del suelo, ríos, temperatura, textura del suelo, tipo de suelo y uso del suelo.

El análisis del sistema y utilizando el método MICMAC, permite comprender la dinámica general de éste, al identificar la posición que representa cada una de sus variables en el mapa de influencia/dependencia, ya sea directa o indirecta. Contemplar las variables de poder entre las más relevantes de todo el sistema es aceptable, pues éstas, aunque no dependen de la influencia directa de otras variables, si influyen en las demás, siendo condicionantes para el desarrollo y evolución del sistema (Arcade *et al.*, 2004; Arango y Cuevas, 2014). Asimismo, señalan Godet *et al*. (2003) que las variables de poder tienen una importancia crítica en el sistema, ya que determinan su estabilidad, razón por la cual, es necesaria su contemplación para una mejor comprensión. Con base en este argumento se decidió incluir a las variables de poder entre las más importantes del sistema: la altitud, la litología y la precipitación.

La integración de las variables clave y las de poder, permiten comprender al sistema en su totalidad, ya que se incluyen los factores que pueden

modificar las relaciones y crear modificaciones importantes en el sistema. Al considerar exclusivamente las variables clave podría ofrecer una perspectiva incompleta, por lo que, incluir las variables de poder mejora la capacidad de análisis del sistema. En virtud de esta decisión se debe aclarar que el método MICMAC, es una herramienta valiosa para la toma de decisiones, ya que facilita la identificación de las variables que ejercen una influencia significativa en la dinámica del sistema (Quintero y López, 2010). En este caso, de las 19 variables estudiadas, las de mayor relevancia son: altitud, litología, pendiente, precipitación, profundidad del suelo, ríos, temperatura, textura del suelo, tipo de suelo y uso del suelo, ya que éstas se alinean con estudios previos, donde se han implementado componentes físicos para identificación de áreas óptimas en la agricultura (Aldababseh *et al*., 2018; Andrade *et al*., 2019; Ceballos y López, 2010; Lanzelotti y Buzai, 2017; Rojas, 2014; Sotelo *et al*., 2016; Yohannes y Soromessa, 2018).

La finalidad de implementar un análisis estructural previo a la Evaluación Multicriterio (EMC), consiste en identificar las variables esenciales para el estudio de áreas idóneas para la agricultura, evitando que la selección sea arbitraría y subjetiva, logrando la identificación más congruente mediante el método MICMAC, destacando las variables con mayor influencia en el sistema, es decir, las que condicionan su comportamiento y que deben ser priorizadas en el proceso de toma de decisiones (Godet *et al*., 2003).

Existen referentes en los cuales, la selección de variables se realiza con base en el criterio de los autores, la consideración de expertos en el tema acompañadas de la consulta de documentos especializados, análisis estadísticos y modelaciones, mismas que resultan ser válidas en el campo científico. En este sentido, es fundamental que las variables utilizadas en un modelo multicriterio sean adecuadas, representativas y próximas a la realidad del hecho, proceso o fenómeno estudiado, permitiendo que los resultados sean incuestionables (Malczewski, 2006). La efectividad de un modelo no depende del número de variables, sino de la correcta selección de éstas, ya que el exceso de información puede generar afectaciones, inconsistencias y poca certeza en los resultados.

Es pertinente exponer que existen pocas investigaciones en ambientes de Sistemas de Información Geográfica en las que se haya implementado el método del MICMAC para identificar las variables que tienen mayor dinámica en el hecho o fenómeno estudiado, sin embargo, las consideraciones antes expuestas fundamentan la implementación del análisis estructural, previo a un análisis multicriterio, minimizando el exceso de variables y optimizando el análisis.

5.2 Evaluación Multicriterio

La Evaluación Multicriterio (EMC) es definida como un conjunto de métodos y técnicas diseñados para respaldar la visión sistemática de un estudio, apoyando al proceso de toma de decisiones, bajo el análisis y comparación de diferentes factores, criterios y objetos que interactúan de forma simultánea. Esto se realiza a través de una evaluación asistida por la asignación de valores emitidos por diferentes reflexiones (Gómez y Barredo, 2005). La Evaluación Multicriterio también se entiende como un proceso analítico de información, donde a partir de diversos juicios que han sido establecidos se examina y evalúa de manera integral un caso, aportando una visión clarificada ante diversas opciones en la toma de decisiones (Malczewski, 2006). Este enfoque ayuda a identificar múltiples opciones que condicionan una serie de criterios, los cuales influyen en la selección final, es decir, variables que son identificadas y clasificadas por su influencia catalogada en positiva o negativa a la finalidad del análisis planteado (Molero, *et al.*, 2007).

La EMC constituye una herramienta útil en diversos campos y disciplinas científicas, donde se plantea buscar la solución más efectiva a un problema basado en la correcta toma de decisiones. Su aplicabilidad ha resaltado en el contexto geográfico, especificando su uso en sistemas de información geográfica, pues el implemento dual de los SIG´s con la EMC, han consolidado una excelente metodología para el análisis espacial, favoreciendo la toma de decisiones dentro de la planificación y ordenación territorial (Gómez y Barredo, 2005). El uso de la EMC en SIG constituye una manera efectiva para el análisis espacial, ya que esta combinación favorece el procesamiento de información geográfica, la cual es representada en capas de información, mismas que son evaluadas a partir de diferentes técnicas, con la finalidad de obtener un modelo final (Mapa). La aplicación en SIG tiene capacidad para considerar múltiples insumos cartográficos, donde la correcta representación de éstos es fundamental en la evaluación. La EMC es una herramienta valiosa para la toma de decisiones y facilita el procesamiento y manejo de información puramente espacial (Celemín, 2014).

Las técnicas de Evaluación Multicriterio pueden ser aplicadas para analizar diversos ámbitos de estudio, como los sectores social, económico y ambiental. Además, con el uso del SIG, estas técnicas pueden implementarse en distintas escalas de análisis espacial, pues no limita su uso, sino que las convierte en una herramienta adaptable a diversos contextos, facilitando la toma de decisiones en función de un determinado conjunto de criterios que deben ser considerados (Manzano *et al.*, 2019). La Evaluación Multicriterio en Sistemas de Información Geográfica es un procedimiento fundamental que contribuye efectivamente a la toma de decisiones locacionales (Lanzelotti y Buzai, 2017). De hecho, la integración de la EMC y el SIG, conforman una he-

rramienta para facilitar el análisis espacial toda vez que, permite la creación de modelados para la identificación locacional de diversos ámbitos, por ejemplo, manejo del ambiente, gestión del riesgo, impacto ambiental y ordenación del territorio (Gómez y Barredo, 2005).

Respecto a la aplicación de las metodologías referidas, Ceballos y López (2010) expresan que las investigaciones enfocadas a identificar áreas para el establecimiento de cultivos deben ser contemplados desde un enfoque científico y tecnológico, especificando que el uso de SIG, son una alternativa adecuada, siempre y cuando sean abordados desde la perspectiva del análisis espacial. Resaltan que la metodología empleada en la mayoría de las veces no ofrece resultados confiables, por lo que, proponen que los estudios sean complementados con Técnicas de Evaluación Multicriterio, constituyendo así, un planteamiento más consistente que brinde apoyo significativo en la determinación de la aptitud del territorio para sostener cultivos. Existen trabajos que han evaluado las condiciones territoriales para identificar zonas adecuadas para la agricultura, quienes han hecho uso de los SIG y técnicas de EMC, obteniendo óptimos resultados (Aldababseh *et al*., 2018; Andrade *et al*., 2019; Lanzelotti y Buzai, 2017; Sotelo *et al*., 2016; Yohannes y Soromessa, 2018).

5.2.1 Componentes de la Evaluación Multicriterio

Existen diversos componentes en la Evaluación Multicriterio, siendo relevantes los objetivos, criterios (factores y limitantes), reglas de decisión y evaluación (Barredo, 1996, como se citó en Campos *et al*., 2013). En el caso de los objetivos, éstos constituyen las metas que se desean alcanzar a través de la toma de decisiones y están relacionados con el propósito del análisis. De modo general, están condicionados por los alcances que pueden ser obtenidos mediante los criterios, mismos que, permiten plantear diversas alternativas que pueden dar respuesta al objetivo. Existen situaciones en las que pueden plantearse uno o varios objetivos (multiobjetivo), lo cual puede afectar la elección de la decisión final. En caso, de que los objetivos estén en conflicto, deben ser eliminados entre sí (Santos, 1997).

Los criterios son aspectos fundamentales en la toma de decisiones, debido a que la selección de éstos será relevante en la evaluación de cada una de las alternativas. Los criterios son clasificados en dos tipos: factores y limitantes (restricciones). Los factores, representan valores en una escala continua y, las limitantes restringen a algunas alternativas en función de la evaluación, comúnmente son representados de manera binaria (Celemín, 2014; Lanzelotti y Buzai, 2017). Los criterios al ser procesados en SIG se encuentran vinculados a entidades geográficas y pueden ser representadas en capas temáticas (Molero, *et al*., 2007).

Las reglas de decisión conforman el procedimiento en donde se realiza la evaluación particular de cada uno de los criterios, por medio de un método

lógico o matemático (María, 2007). En el ámbito de la Evaluación Multicriterio, se aplica al evaluar distintos criterios en conjunto, lo que genera una regla de decisión compleja, no obstante, existen procedimientos que permiten realizar la evaluación de forma coherente, para esto existen dos formas de aplicar la regla de decisión. La primera, denominada "función de selección", que consiste en clasificar las alternativas con base en una medida cuantitativa de sus características, la cual con frecuencia es vinculada con el objetivo de la selección. La segunda, llamada "selección heurística", se basa en la elección específica de alguna de las alternativas del conjunto, donde se toman criterios prácticos o empíricos (Gómez y Barredo, 2005).

En la Evaluación Multicriterio, la asignación de valores "pesos" a los criterios de análisis, representan un reto para la metodología, por lo que, se debe considerar una igualdad en las ponderaciones establecidas. De acuerdo con Pineda *et al.* (2013) existen diferentes técnicas que apoyan a la ponderación de criterios, por ejemplo, la escala de siete puntos, la ordenación simple, el método de colocación de escala ordinal, el método de comparación por pares de criterios, entre otros. Una técnica con frecuencia aplicada en la EMC es la matriz de comparación por pares desarrollada por Saaty (Jiang y Eastman, 2000), que forma parte del método AHP (Proceso de Jerarquía Analítica, por sus siglas en inglés) y que consiste en asignar valores a un conjunto de criterios contrastados por pares. En la matriz el número de filas y columnas es proporcional al número de criterios a ponderar o asignar un valor, así cada criterio es evaluado con relación a los demás, en una escala de importancia con rango de 1 a 9, donde 1 indica que ambos criterios tienen la misma importancia, mientras que el 9, indica mayor importancia (Saaty, 1994; Saaty y Vargas, 2022). Con esta técnica se determina el grado de prioridad de cada criterio y transforma valores cualitativos a cuantitativos.

La asignación de valores debe ser planteada de acuerdo con la consideración de expertos, especialistas y consulta de textos especializados, evitando la subjetividad y una ponderación escaza en fundamentos. La asignación puede ser imperfecta, ante esto, existe la validación en función de la coherencia de los valores, de esta manera, el método permite calcular la razón de consistencia (Consistency Ratio o CR), lo cual valida la coherencia de los juicios. De acuerdo con la literatura, si el valor de CR es menor a 0.10, los valores son satisfactorios e indican coherencia, por el contrario, si el valor es mayor a 0.10, entonces, los valores pueden considerarse inconsistentes, por lo que, los valores asignados deben ser reconsiderados hasta obtener resultados aceptables (Gómez y Barredo, 2005; Hervás *et al*., 2002, como se citó en Celemín, 2014; Pineda *et al*., 2013).

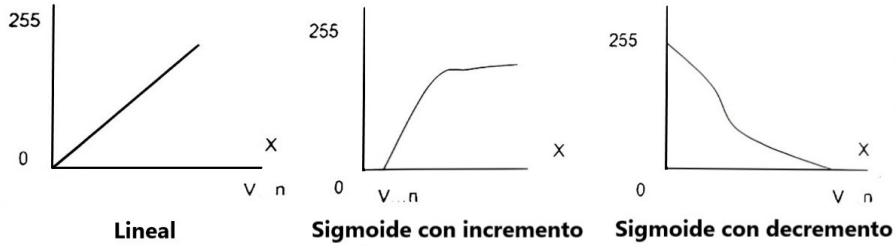
A partir de la matriz de comparación, se asignan valores a cada criterio del análisis, no obstante, estos difieren en su valor, por lo que, es necesario que éstos puedan ser estudiados sobre una escala comparable, debido a que

en estudios donde se considera la integración de diferentes variables, éstas deben de ser compatibles al ser evaluadas de manera integral (Barbara y Pomerol, 1997, como se citó en Gómez y Barredo, 2005). De este modo, se plantea que la estandarización o normalización de valores es un paso fundamental en este tipo de evaluaciones, ya que permite eliminar inconvenientes de cálculo, mismos que suelen estar sujetos a distintas escalas o unidades implementadas (Molero, *et al*., 2007). Además, la normalización permite mitigar posibles sesgos en los resultados, mismos que son ocasionados por las diferencias en la magnitud de los valores absolutos de las variables consideradas (Rojas, 2014). La normalización de datos se puede realizar con diversos métodos, siendo importantes la estandarización por valor máximo, la estandarización mediante la amplitud total o recorrido y mediante la lógica difusa (Pineda *et al*., 2013).

Uno de los métodos para normalizar datos con mayor relevancia en trabajos de EMC, es la que identifica el grado de pertinencia de los datos a un conjunto difuso utilizando números borrosos, la cual se fundamenta en la lógica difusa (*fuzzy logic)*, propuesta por Lotfi Zadehn en 1965, que permite establecer clases sin límites definidos, debido a que estos pueden distribuirse en diferentes localizaciones (Gómez y Barredo, 2005). En otros términos, la normalización basada en la teoría de la lógica de conjuntos difusos permite que los valores que han sido normalizados no posean un valor definido por lo que, éstos pueden pertenecer de manera parcial a un conjunto establecido (Campos, *et al*., 2013).

Con base en lo anterior, la lógica borrosa se determina mediante un grado de pertenencia, también nombrado "posibilidad", el cual presenta valores que oscilan entre 0.0 y 1.0, indicando una mayor pertenencia al conjunto borroso al ir en incremento y acercarse a 1. En el entorno SIG, su implementación en el software *TerrSet liberaGIS,* permite realizar la normalización mediante dos opciones: utilizando una escala de números reales entre 0.0 y 1.0, o en formato byte con valores de 0 a 255, siendo el formato *byte*, la opción más recomendada por los especialistas (Eastman, 2024; Pineda, 2013). Dentro del *SIG TerrSet liberaGIS*, está presente el módulo denominado "*Fuzzy*" donde se encuentran opciones para ajustar las funciones de pertenencia borrosa, mismas que representan la distribución estadística de los valores borrosos (Figura 4).

Figura 4. Funciones de selección módulo *Fuzzy*



Nota. Tomado de Gráficas de las funciones de selección módulo *Fuzzy*, de Bosques y Moreno (2004, como se citó en Campos *et al*., 2013: 48).

Dentro de las funciones de pertenencia borrosa se encuentra Sigmoide, J-shaped y Lineal, cada una con formas de función de pertenencia: incremento y decremento monótono, así como el simétrico. En las Gráficas anteriores (Figura 4), se puede observar una representación de las funciones de pertinencia borrosa: lineal, sigmoide con incremento y sigmoide con decremento. Para establecer cada función es necesario determinar la posición de dos a cuatro puntos de inflexión en un plano cartesiano, donde el eje X representa el valor de la variable (factor), lo cual define la forma que tomará la curva en función de su grado de pertenencia (Gómez y Barredo, 2005). Estas funciones son representadas en una Gráfica donde se visualizan los valores del formato byte (0 a 255), donde 0 representa el menor grado de pertenencia y el valor puede incrementar de manera progresiva hasta 255, que indica el máximo grado de pertenencia (Campos *et al*., 2013).

El último componente de la evaluación multicriterio es la evaluación y se refiere al proceso de aplicar la valoración sobre los criterios definidos y después obtener el modelo de decisión final (Campos *et al*., 2013). Al aplicar la regla de decisión sobre las capas o criterios, se conforma el proceso evaluativo que incide en el modelo final (Gómez y Barredo, 2005). En la EMC, hay diferentes técnicas o métodos que conducen a la integración y combinación de variables, para generar el modelo final, que es el resultado para solucionar el problema estudiado. Al realizar el proceso de combinación, es importante considerar la naturaleza del análisis, así como de sus variables, ya que la selección considerada tendrá incidencia en la calidad del resultado final (Celemín, 2014).

En las Evaluaciones Multicriterio realizadas con SIG, se han identificado dos principales métodos para la integración de variables. La primera consiste en un análisis basado en mapas que representan las variables en valores *booleanos*, mismos que son evaluados mediante operaciones lógicas. El segundo, emplea la Sumatoria Lineal Ponderada (SLP), ésta implica que las variables sean normalizadas en un rango numérico y de forma continua serán combina-

das mediante un promedio ponderado, obteniendo así el modelo final (Jiang y Eastman, 2000). La intersección *booleana*, es el procedimiento más sencillo de hacer la evaluación, y se refiere a factores que han sido representados de manera binaria, como "apto" y "no apto", mismas que son multiplicadas, considerando exclusivamente las zonas que cumplen con los criterios determinados (Eastman, 2024).

Por otra parte, la sumatoria lineal ponderada, requiere de mayor esfuerzo, sin embargo, es el método más utilizado en la Evaluación Multicriterio, ya que permite la combinación de capas que han sido normalizadas a través de una suma ponderada en función de los valores asignados a cada una (Gómez y Barredo, 2005). En congruencia, la SLP se basa en la multiplicación de las capas que representan los factores estandarizados por su valor respectivo y de forma consecutiva se suman los resultados. El mapa final presentará el mismo rango de valores que las capas de factores estandarizados. La aplicación de este método en el software *TerrSet liberaGIS*, implica detallar el número de criterios utilizados (restricciones y factores), sus nombres y el valor determinado a cada uno de éstos. Los criterios deben estar estandarizados en formato byte (0-255), generando un mapa de aptitud que permite identificar las zonas no aptas, según las restricciones establecidas (Eastman, 2024). El modelo SLP es fácil implementarlo en SIG, su enfoque tiene la particularidad de ser intuitivo y accesible para la toma de decisiones, siendo razones importantes para ser considerado un modelo aplicable en diversos contextos y áreas de interés (Malczewski, 2006).

5.2.2 Desarrollo de la Evaluación Multicriterio

5.2.2.1 Objetivos y criterios

En el contexto del marco metodológico de la evaluación multicriterio el objetivo es identificar las áreas con mayor aptitud agrícola en la región sur del Estado de México con énfasis en las áreas con mayor aptitud para el cultivo de maíz, frijol y aguacate, esto con base en la importancia que reflejan los cultivos en la RSEM. Para cumplir este objetivo fue necesario utilizar un conjunto de criterios físico-naturales que influyen en la viabilidad del uso del suelo para los cultivos mencionados. Por otra parte, la alternativa identificada fue la evaluación integral de las condiciones geográficas de la RSEM. Los criterios se establecieron con base en el análisis estructural mediante el método MICMAC, a través del cual se identificaron las variables clave y poder con mayor influencia y dependencia del sistema, es decir, las que desempeñan un rol importante para la aptitud agrícola, siendo las siguientes: altitud, litología, pendiente, precipitación, profundidad del suelo, ríos, temperatura, textura del suelo, tipo de suelo y uso del suelo, mismas que conforman los factores,

mientras que la variable áreas protegidas fue introducida como un criterio de restricción (Cuadro 15).

Cuadro 15. Clasificación de Criterios

Criterio	Clasificación	Justificación
Altitud	Factor	Influye en la temperatura, humedad, tipo de cultivo. Tiene efecto gradual.
Litología	Factor	Afecta la formación del suelo y drenaje.
Pendiente	Factor	Influye en erosión y mecanización agrícola.
Precipitación	Factor	Afecta directamente al rendimiento agrícola.
Profundidad del suelo	Factor	Determina la capacidad de retención y enraizamiento.
Ríos (distancia)	Factor	Aporta el acceso a agua. Contiene un valor espacial de proximidad.
Temperatura	Factor	Factor clave, varía por altitud y latitud.
Textura del suelo	Factor	Afecta infiltración y retención de agua.
Tipo de suelo	Factor	Relacionado con fertilidad, drenaje, profundidad.
Uso del suelo	Factor	Las condiciones del suelo, así como la situación de la vegetación son relevantes para definir actividades agrícolas.
Áreas protegidas	Limitante	Restricción legal directa para actividades agrícolas.

Fuente: elaboración propia a partir del método MICMAC.

- Obtención de factores

Las variables son exclusivamente físicas, determinando la aptitud de acuerdo con las condiciones de los elementos naturales de la RSEM. La representación espacial de los criterios definidos se basa en la recopilación de diversas fuentes de información, las cuales permitieron la descarga libre de insumos cartográficos digitales en formato vectorial y ráster, para su posterior tratamiento con herramientas de SIG. La mayoría de los insumos fueron adquiridos en formato vectorial en archivos tipo *shapefile*, sin embargo, todos fueron convertidos a formato ráster, ya que este tipo de archivo es necesario para hacer la evaluación multicriterio. Enseguida se presenta el origen de las variables consideradas (Cuadro 16).

Cuadro 16. Fuentes de información de los criterios considerados

Variable	Fuente
Altitud	Se recopiló un DEM (modelo digital de elevación) del Estado de México, obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en su plataforma: Continuo de elevaciones mexicano y modelos digitales de elevación.
Litología	Gobierno del Estado de México, de la Cartografía Geológica de la República Mexicana.
Pendiente	Elaboración propia, con base en el tratamiento del DEM recopilado.
Precipitación	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de Precipitación media anual, elaboración propia con base en Estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
Profundidad del suelo	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Edafología.
Ríos (distancia a)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Hidrología.
Temperatura	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Precipitación media anual.
Textura del suelo	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Edafología. Y Carta temática edafológica escala 1:50 000. Estado de México, México
Tipo de suelo	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Edafología.
Uso del suelo	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Series de Carta de uso del suelo y vegetación, especificando la serie VII.
Áreas protegidas	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Áreas Naturales Protegidas. Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF), Áreas Estatales y Municipales Naturales Protegidas (se incluyen áreas naturales protegidas, municipales, estatales, nacionales, santuarios, reservas y áreas de recursos naturales).

Fuente: elaboración propia con base en datos geoespaciales de acceso libre.

Es pertinente señalar que algunas de las capas de información presentaban diferencias en la escala y en la cobertura espacial respecto al territorio del Estado de México, siendo imprescindible realizar una similitud en la extensión espacial de estas capas, lo cual generó una moderada modificación en la cobertura original de cada una. Este proceso fue necesario para proceder con el análisis, ya que es conveniente que las capas de información, en este caso archivos ráster, contengan la misma extensión y resolución espacial.

5.2.2.2 Reglas de decisión

La regla de decisión implementada fue la función de selección, razón por la cual se determina la asignación de valores a cada uno de los factores identificados, utilizando para ello, el método de matriz de comparación por pares, siendo esta una técnica del método AHP (Proceso de Jerarquía Analítica). Previo a la configuración de la matriz, fue importante conocer el contexto teórico y agronómico que sustentan los requerimientos ambientales específicos para cada uno de los objetivos definidos, por esta razón, se describen las condiciones idóneas para cada objetivo en particular (Cuadro 17). La definición de las características fue fundamentada mediante revisión de documentos especia-

lizados, incluyendo manuales técnicos de agricultura e investigaciones científicas que versan sobre la evaluación y determinación de la aptitud agrícola (Andrade *et al*., 2019; Ceballos y López, 2010; Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático del Estado de México [IEECC], 2022; Rojas, 2014; Ruiz *et al*., 2013; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2017; SIAP, 2019; Sotelo *et al*., 2016; Villegas, 2021), así mismo, se hizo consulta a especialistas en la materia. La revisión fue indispensable en la evaluación multicriterio, pues por medio de esto fue posible evaluar las condiciones adecuadas para identificar la aptitud agrícola de la RSEM.

- Determinación de valores (pesos) a criterios (factor y limitante)

Los criterios de tipo factor y limitante cuentan con valores cualitativos y cuantitativos. De acuerdo con Pineda *et al.* (2013) los factores deben medirse de forma continua, mientras que las limitantes se representan de manera binaria. En este caso, la ponderación y normalización de los criterios se realizó por medio de dos enfoques, esto en función del tipo de cada factor, pues, por un lado, se identificaron los factores de tipo cualitativo o discreto (litología, precipitación, profundidad del suelo, textura del suelo, tipo de suelo, uso del suelo y ríos) y, por otra parte, se determinaron los factores de tipo cuantitativo o continuo (la altitud, la pendiente y la temperatura). Aquí es importante destacar que el factor precipitación es una variable cuantitativa, pero, en este análisis se utilizó de manera cualitativa y con este procedimiento, obtener un resultado más certero en la evaluación.

Respecto a los factores de tipo cualitativo, cada uno de éstos contiene categorías que representan las características propias de cada factor, por lo que, se asignó un valor específico a cada categoría, esto mediante la matriz de comparación por pares de Saaty, jerarquizando la relevancia de cada categoría dentro de su propio factor (Cuadros 18 a 24). Estas se agruparon en cuatro apartados, de acuerdo con los objetivos establecidos: identificar las áreas con mayor aptitud agrícola e identificar las áreas con mayor aptitud para el cultivo de maíz, frijol y aguacate. La elaboración de cada matriz no fue de manera arbitraria, sino con base en los documentos consultados durante la fase de determinación de las características idóneas para cada cultivo. Además, en cada una de las matrices, se revisó su cumplimiento con la razón de consistencia (Consistency Ratio o CR), por debajo de 0.10, parámetro que afirma la consistencia de las comparaciones es aceptable. Después de haber obtenido el valor de cada categoría para cada factor, éstos se utilizaron en el proceso de normalización.

Cuadro 17. Aptitud de los factores para agricultura

Factor	Aptitud agrícola en la región	Aptitud agrícola para el maíz:	Aptitud agrícola para el frijol:	Aptitud agrícola para el aguacate:
Altitud	500 a 2500 msnm	0 a 2,500 msnm	500 a 1,800 msnm	800 a 2,500 msnm
Litología	Rocas Ígneas extrusivas (dan origen a suelos fértiles con retención de agua adecuada y altos en materia orgánica) y rocas sedimentarias (dan origen a suelos francos y arcillosos con buena fertilidad)	Rocas Ígneas extrusivas (dan originen a suelos fértiles con retención de agua adecuada y altos en materia orgánica)	Rocas sedimentarias (dan origen a suelos francos y arcillosos con buena fertilidad) y rocas ígneas extrusivas (dan originen a suelos fértiles con retención de agua adecuada y altos en materia orgánica)	Rocas Ígneas extrusivas (dan origen a suelos fértiles con retención de agua adecuada y altos en materia orgánica)
Pendiente	<15°	<12°	<10°	<20°
Precipitación	800 a 1,500 mm	700 a 1,100 mm	800 a 1,500 mm	800 a 1,200 mm
Profundidad del suelo	>75 cm	>80 cm	>60 cm	>80 cm
Ríos	Perennes e intermitentes (la presencia de ríos es benéfica para el riego, pero hay cultivos que no lo requieren)	Perennes e intermitentes (Beneficia el acceso al agua para riego adicional)	Perennes e intermitentes (Beneficia el acceso al agua para riego adicional)	Perennes e intermitentes (Beneficia el acceso al agua para riego adicional)
Temperatura	15° a 25°	18° a 25°	18° a 22°	20° a 25°
Textura del suelo	En general los cultivos se pueden desarrollar sobre texturas finas o medias	Preferentemente textura de fina a media	Preferentemente textura fina	Preferentemente fina a media
Tipo de suelo	Andosol (Suelos profundos con alta materia orgánica y buena retención de agua), Feozem (Suelos fértiles, contienen humus) y Vertisol (arcillosos y fértiles, con significativa dificultad para ser manejados)	Feozem (Suelos fértiles, contienen humus) y Andosol (profundos con materia orgánica y buena retención de agua).	Feozem (Suelos fértiles, contienen humus) y Andosol (profundos con materia orgánica y buena retención de agua).	Andosol (Suelos profundos con alta materia orgánica y buena retención de agua).
Uso del Suelo	Agrícola, vegetación secundaria herbácea, Vegetación secundaria arbustiva	Agrícola, vegetación secundaria herbácea	Agrícola, vegetación secundaria herbácea	Agrícola, vegetación secundaria herbácea y Vegetación secundaria arbustiva
Áreas protegidas	Restricción	Restricción	Restricción	Restricción

Fuente: elaboración propia con base en Andrade *et al*., 2019; Ceballos y López, 2010; IEECC, 2022; Rojas, 2014; Ruiz *et al*., 2013; SAGARPA, 2017; SIAP, 2019; Sotelo *et al*., 2016; Villegas, 2021.

Cuadro 18. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor litología

Categoría	Aptitud general	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
Roca Ígnea intrusiva	0.05	5	0.06	4	0.06	5	0.05	5
Roca Ígnea extrusiva	0.44	1	0.48	1	0.26	2	0.48	1
Roca Metamórfica	0.15	3	0.14	3	0.14	3	0.14	3
Otros tipos de rocas	0.03	6	0.03	5	0.03	6	0.03	6
Roca Sedimentaria	0.26	2	0.23	2	0.44	1	0.23	2
Roca Sedimentaria carbonática	0.08	4	0.06	4	0.07	4	0.07	4
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	1.00

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

Cuadro 19. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor precipitación

Categoría	Aptitud Agrícola	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
800-1000 mm	0.2954	2	0.39	1	0.2954	2	0.41	1
1000-1200 mm	0.3175	1	0.39	1	0.3175	1	0.41	1
1200-1500 mm	0.2954	2	0.15	2	0.2954	2	0.12	2
1500-1800 mm	0.0916	3	0.07	3	0.0916	3	0.06	3
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

Cuadro 20. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor profundidad del suelo

Categoría	Aptitud Agrícola	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
Somero <50	0.07	3	0.05	3	0.10	3	0.06	3
Profundo >50-100	0.28	2	0.24	2	0.33	2	0.29	2
Muy profundo >100	0.65	1	0.71	1	0.57	1	0.65	1
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

Cuadro 21. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor textura del suelo

Categoría	Aptitud Agrícola	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
Gruesa	0.08	3	0.08	3	0.08	3	0.10	3
Media	0.33	2	0.34	2	0.23	2	0.33	2
Fina	0.59	1	0.58	1	0.69	1	0.57	1
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

Cuadro 22. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor tipo de suelo

Categoría	Aptitud Agrícola	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
Acrisol	0.03	7	0.02	7	0.02	7	0.02	7
Andosol	0.31	1	0.22	2	0.22	2	0.34	1
Cambisol	0.09	4	0.08	4	0.08	4	0.08	4
Feozem	0.18	2	0.29	1	0.29	1	0.19	2
Fluvisol	0.06	5	0.05	5	0.05	5	0.05	5
Litosol	0.02	8	0.02	7	0.02	7	0.02	7
Luvisol	0.06	5	0.05	5	0.05	5	0.05	5
Ranker	0.03	7	0.03	6	0.03	6	0.03	6
Regosol	0.05	6	0.05	5	0.05	5	0.05	5
Rendzina	0.03	7	0.03	6	0.03	6	0.03	6
Vertisol	0.14	3	0.15	3	0.15	3	0.13	3
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

Cuadro 23. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor uso del suelo

Categoría	Aptitud Agrícola	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
Agricultura de riego	0.22	2	0.24	1	0.24	1	0.22	2
Agricultura de temporal	0.24	1	0.24	1	0.24	1	0.24	1
Asentamientos humanos	0.02	9	0.01	7	0.01	7	0.02	9
Bosque de encino y mezclas	0.03	8	0.03	6	0.03	6	0.03	8
Bosque de galería	0.04	7	0.04	5	0.04	5	0.04	7
Bosque de pino y mezclas	0.03	8	0.03	6	0.03	6	0.03	8
Bosque mesófilo de montaña	0.04	7	0.03	6	0.03	6	0.04	7
Cuerpos de agua	0.02	9	0.01	7	0.01	7	0.02	9
Selva baja caducifolia	0.05	6	0.05	4	0.05	4	0.05	6
Vegetación inducida	0.05	6	0.05	4	0.05	4	0.05	6
Vegetación secundaria arbórea	0.07	5	0.06	3	0.06	3	0.07	5
Vegetación secundaria arbustiva	0.09	4	0.06	3	0.06	3	0.09	4
Vegetación secundaria herbácea	0.12	3	0.14	2	0.14	2	0.12	3
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

Cuadro 24. Determinación de valores (pesos) por categoría del factor ríos

Categoría	Agricultura general, maíz, frijol y aguacate	No.
Río perenne en un radio de 0-500 m	0.45	1
Río perenne en un radio de 500-1000 m	0.28	2
Río intermitente en un radio de 0-500 m	0.13	3
Río perenne en un radio de 1000-1500	0.08	4
Río intermitente en un radio de 500-1000 m	0.05	5
Río intermitente en un radio de 1000-1500 m	0.03	6
Total	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de *Saaty* (AHP).

- Normalización de variables

En este proceso se utilizaron los factores cuantitativos: altitud, pendiente y temperatura. Estos factores fueron normalizados de modo directo, sin asignación de valores, ya que, por su naturaleza continua, no presentan categorías ni rangos definidos. Por lo tanto, se aplicó lógica difusa mediante el módulo "*Fuzzy*" en el software *TerrSet liberaGIS*, lo cual permitió transformar los valores originales a una escala de 0 a 255. En cada caso se determinó una forma de función de pertenencia específica dentro del módulo *Fuzzy*. En lo correspondiente a los factores altitud y temperatura, se utilizó la función sigmoidal simétrica, comprendiendo que la aptitud de estos factores no se concentra en un único valor, sino que se distribuye en toda la amplitud del rango. De acuerdo con el manual de ayuda de *TerrSet liberaGIS* (2024) la función sigmoidal simétrica se estructura con cuatro puntos que representan la inflexión de la curva, respectivamente para esta función: a) corresponde al valor donde la pertenencia aumenta por encima de 0, b) y c) representan los valores centrales del rango cercanos a la pertenencia de 1 y, d) indica el valor donde la pertenencia se reduce a 0.

Para el factor pendiente, se utilizó una función de pertenencia lineal decreciente monótona, en virtud de que una menor pendiente implica una mayor estabilidad. En esta función, el punto a) corresponde al valor inicial del rango donde la pertenencia es cercana a 1, y b) corresponde a su valor final donde la pertenencia es cercana a 0 (*TerrSet liberaGIS*, 2024). Enseguida, se presentan los valores asignados a cada punto, de acuerdo con la función definida y en congruencia con los objetivos de la EMC (Cuadro 25).

Cuadro 25. Funciones y valores *Fuzzy* de factores cuantitativos para aptitud agrícola y cultivos

Factor y Función	**Aptitud Agrícola**	**Aptitud del Maíz**	**Aptitud del Frijol**	**Aptitud del Aguacate**
Altitud, Sigmoidal simétrica	Puntos	Puntos	Puntos	Puntos
	a)500	a)0	a)500	a)800
	b)1,500	b)1,250	b)1,150	b)1,650
	c)1,500	c)1,250	c)1,150	c)1,650
	d)2,500	d)2,500	d)1,800	d)2,500
Temperatura, Sigmoidal simétrica	Puntos	Puntos	Puntos	Puntos
	a)15	a)18	a)18	a)20
	b)20	b)21.5	b)20	b)22.5
	c)20	c)21.5	c)20	c)22.5
	d)25	d)25	d)22	d)25
Pendiente, lineal decreciente monótona	Puntos	Puntos	Puntos	Puntos
	c)0	c)0	c)0	c)0
	d)15	d)12	d)10	d)20

Fuente: elaboración propia a partir de las funciones de pertenencia en el módulo *Fuzzy* de *TerrSet liberaGIS*.

Los factores cuantitativos fueron procesados mediante la lógica difusa, en donde cada factor es normalizado de acuerdo con los valores (pesos) determinados, mismos que se encuentran relacionados con cada uno de los objetivos establecidos para determinar la aptitud agrícola general y para los cultivos de maíz, frijol y aguacate, destacando que esta normalización fue determinada en formato byte (0-255). Para realizar la normalización de los factores cualitativos, éstos se reclasificaron de manera jerárquica de acuerdo con los valores (pesos) obtenidos de la matriz de comparación por pares, asignando a cada categoría su valor correspondiente dentro de cada factor. En función de esto, las categorías tienen un peso en específico, cuyo valor se encuentra en un rango entre 0 a 1, de acuerdo con la idoneidad para la aptitud agrícola.

Después de los valores asignados a cada factor cualitativo, éstos fueron normalizados por la lógica difusa, es decir, ahora estos valores de 0 a 1, serán trasladados a valores entre 0 y 255, utilizando en este caso, la función sigmoide creciente monótona, esto debido a que los valores en a) se acercan más a 0, y en b) están más próximos a 1. La normalización de factores cuantitativos fue aplicada a cada uno y para cada objetivo establecido en la determinación de la aptitud agrícola general y para los cultivos de maíz, frijol y aguacate. Por otra parte, las restricciones se reclasifican en 0 y 1, es decir, valores booleanos donde 1 corresponde a la restricción, lo cual es congruente con las áreas protegidas, esto fue realizado sólo una vez, ya que la restricción se cumple equitativamente en la determinación de cada aptitud.

5.2.2.3 Evaluación

Sumatoria Lineal Ponderada (SLP)

Como actividad final, se procedió a aplicar la sumatoria lineal ponderada, uno de los métodos más utilizados en la Evaluación Multicriterio. Este método consiste en sumar el producto de cada valor de criterio por su respectivo valor (peso) (Gómez y Barredo, 2005). Debido a esto, es necesario asignar un valor a cada uno de los criterios, por lo que se determinó su valor (peso) a cada factor haciendo uso de la matriz de comparación por pares (Cuadro 26) considerando la bibliografía consultada anteriormente.

Después de haber determinado los valores, se implementó el módulo MCE (Evaluación Multicriterio) en *TerrSet liberaGIS*, donde se integraron los factores normalizados y se asignó a cada uno el valor correspondiente (Cuadro 26), determinando así, la aptitud agrícola general y la específica para los cultivos de maíz, frijol y aguacate. Este proceso generó cuatro modelos (Mapas), cada uno representa la aptitud del territorio en función de los objetivos. Cada mapa se encuentra en formato *byte* (valores de 0-255) donde los valores más altos (cercanos a 255) indican una mayor aptitud. Ante esta situación, fue pertinente hacer una reclasificación de los valores, por lo que, se evaluó el histograma para observar su comportamiento, identificando así la dispersión y

concentración de los datos en cada modelo. Este proceso permitió detectar la selección de rangos más adecuada para su reclasificación, estableciendo cinco categorías de aptitud: muy baja, baja, media, alta y muy alta, mismas que representan de manera cualitativa la aptitud de la RSEM.

Cuadro 26. Determinación de valores (pesos) por factor

Factores	Aptitud Agrícola	No.	Aptitud Maíz	No.	Aptitud Frijol	No.	Aptitud Aguacate	No.
Altitud	0.0621	6	0.0452	6	0.1832	2	0.0786	6
Litología	0.0145	10	0.0155	10	0.0156	10	0.0222	10
Pendiente	0.0534	7	0.0433	7	0.0452	8	0.0595	7
Precipitación	0.2903	1	0.2188	2	0.2978	1	0.2798	1
Profundidad del suelo	0.0805	5	0.0851	5	0.0745	6	0.0935	5
Ríos (distancia)	0.0353	9	0.0336	8	0.0423	9	0.0402	8
Temperatura	0.2018	2	0.3103	1	0.1143	3	0.1775	2
Textura del suelo	0.1014	4	0.0993	4	0.0811	5	0.0965	4
Tipo de suelo	0.1248	3	0.1162	3	0.0977	4	0.1144	3
Uso del suelo	0.0359	8	0.0326	9	0.0483	7	0.0379	9
Total	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-

Fuente: elaboración propia con base en la Matriz de Comparación por Pares del método de Saaty (AHP).

5.2.3 Resultados de la Evaluación Multicriterio

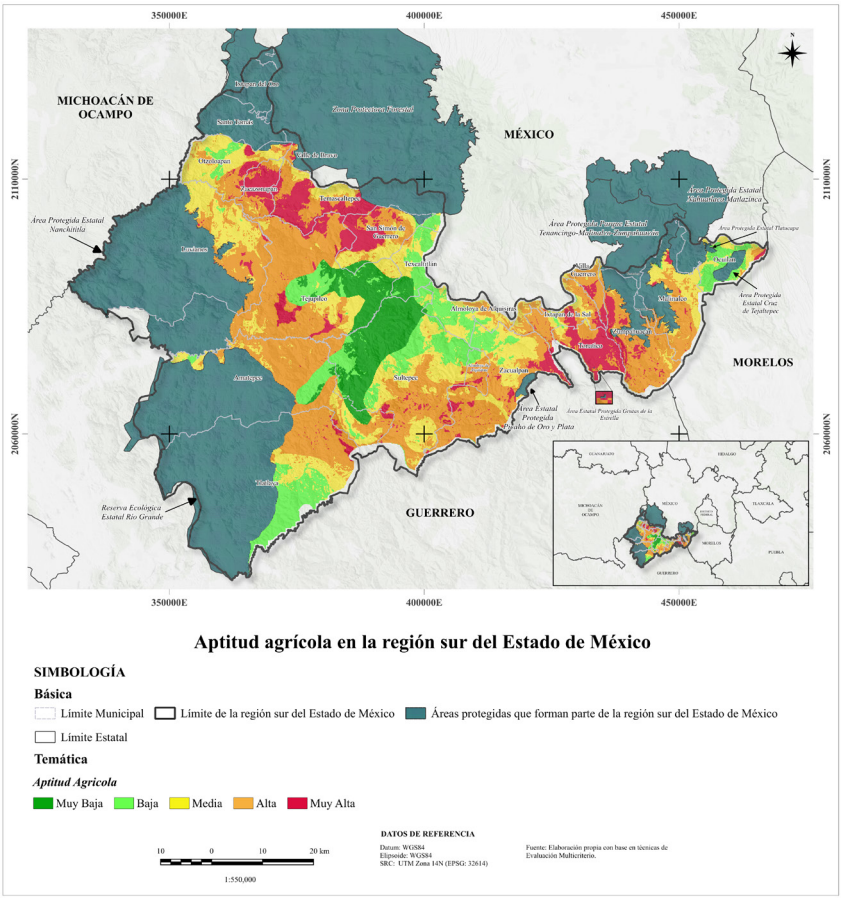
Por medio de la evaluación multicriterio se analizaron las condiciones físico-geográficas de la región sur del Estado de México, proceso que favoreció la identificación de las zonas que presentan las mejores cualidades para el desarrollo agrícola, las cuales están representadas en mapas individuales en asociación con los objetivos planteados, y que pueden aportar información clave para orientar la toma de decisiones y la gestión agrícola en la RSEM. Los resultados corresponden a una superficie de 3,244.30 km², que representan 59.5 % de los 5,449.6 km² que conforman la RSEM, esta diferencia es resultado de la aplicación de restricciones (áreas protegidas), que representan más del 30 % del territorio, de igual manera, influyó la homologación realizada para igualar la extensión superficial de las variables, proceso que generó una pérdida adicional en algunas capas de información.

5.2.3.1 Aptitud agrícola en la región sur del Estado de México

El mapa de aptitud agrícola representa la integración de los criterios determinados en el modelo, mismos que fueron ponderados de modo general en virtud de los factores que influyen en su determinación y desde luego, para el desarrollo agrícola. Este mapa es el más representativo, toda vez que, constituye una visión general de la capacidad territorial para el desarrollo de cultivos en la RSEM, en éste se observa la distribución espacial de los niveles de aptitud, identificando que la zona oriente y oeste presentan las mejores

condiciones para el establecimiento de cultivos agrícolas, por el contrario, las condiciones menos favorables para la agricultura se localizan en la zona centro de la RSEM (Mapa 28). En términos cuantitativos, se determina que la RSEM tiene 11.85 % de aptitud muy alta equivalente a 384.39 km², el 42.40 % equivalente a 1,375.63 km² posee aptitud alta, el 22.83 % (740.63 km²) presenta aptitud media y el 22.92 % restante que equivale a 743.66 km² agrupa la aptitud baja y muy baja.

Mapa 28. Aptitud agrícola en la región sur del Estado de México

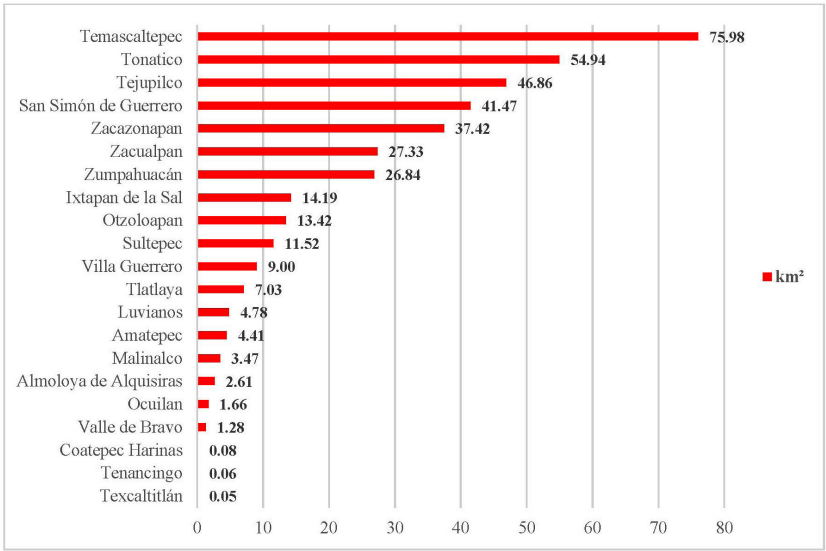


Fuente: elaboración propia con base en técnicas de Evaluación Multicriterio.

Respecto a las zonas con aptitud muy alta, éstas se encuentran en algunos de los municipios que conforman la RSEM, por supuesto, algunos cuentan con características más favorables y, por ende, poseen una mayor superficie

apta para la agricultura, donde el Municipio de Temascaltepec posee la mayor superficie con las condiciones óptimas para la agrícola (75.98 km²), seguido por Tonatico con 54.94 km² y Tejupilco con 46.86 km² (Gráfica 4).

Gráfica 4. Superficie con muy alta aptitud agrícola por municipio en la región sur del Estado de México

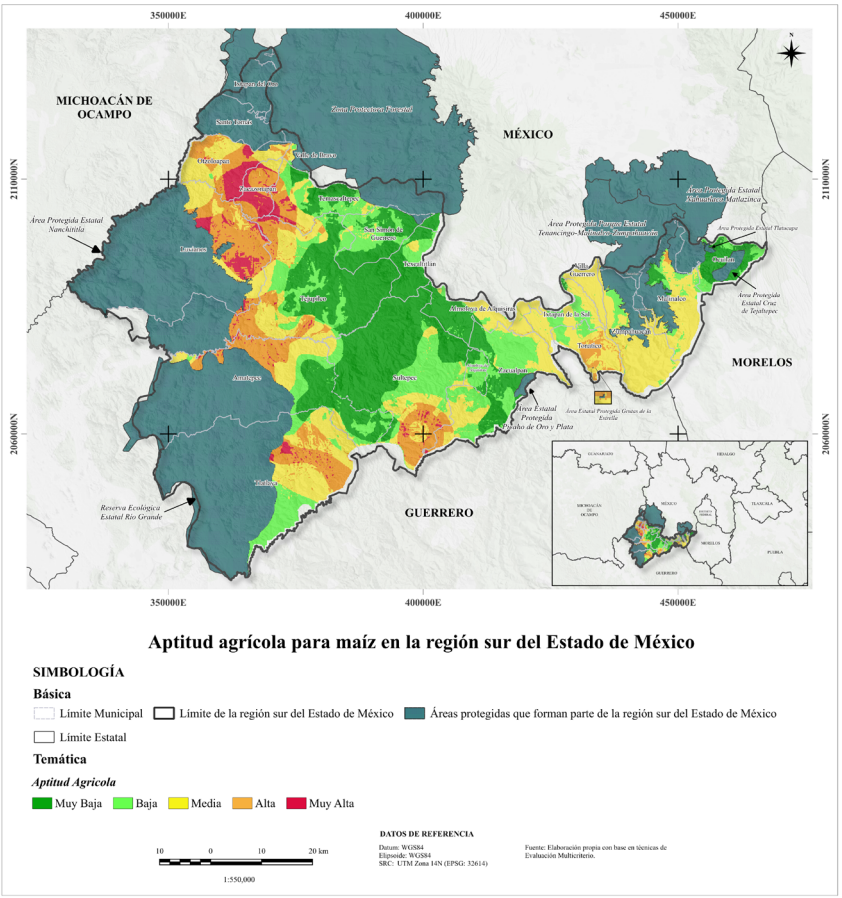


Fuente: elaboración propia con base en resultados de la Evaluación Multicriterio.

5.2.3.2 Aptitud agrícola para cultivo de maíz en la región sur del Estado de México

En el mapa de aptitud agrícola para maíz se observa que las zonas con la aptitud más alta y alta se encuentran en el noreste, además de pequeñas áreas distribuidas al oeste y sur de la RSEM. La aptitud media está ubicada en el este y oeste, y las zonas con baja y muy baja aptitud se localizan en la parte central de la RSEM (Mapa 29). El 4.11 % de la región equivalente a 133.47 km², presenta una aptitud muy alta, el 15.42 % equivalente a 500.28 km² corresponde a la aptitud alta, 29.08 % equivalente a 943.31 km² muestra una aptitud media, 20.18 % equivalente a 654.72 km² se clasifica como aptitud baja y, el 31.21 % restante que equivale a 1,012.52 km² presenta una aptitud muy baja. Con estos datos se determina que más del 50 % de la RSEM no posee las condiciones adecuadas para el cultivo de maíz.

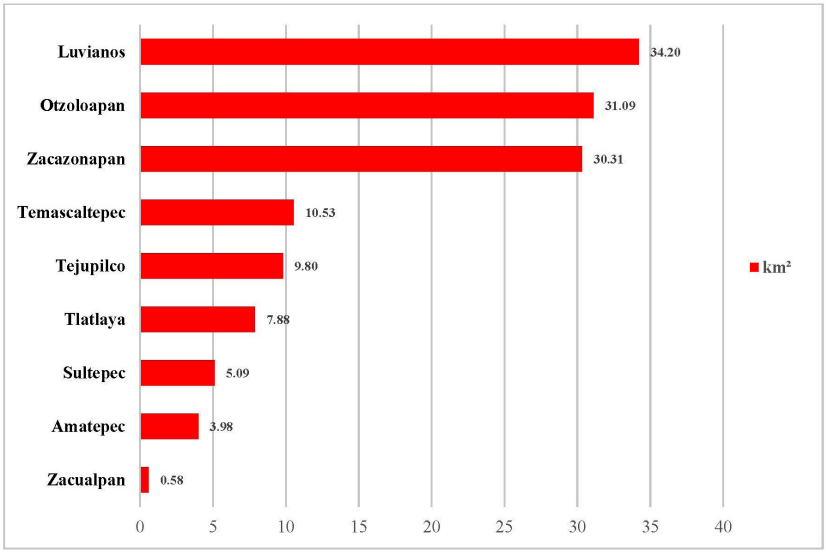
Mapa 29. Aptitud agrícola para maíz en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en técnicas de Evaluación Multicriterio.

En cuanto a la distribución municipal, las zonas con aptitud muy alta y alta se localizan en la parte noroeste, aunque en toda la región hay municipios con mínimas porciones que presentan áreas con aptitud muy alta. En este contexto, se observa aptitud muy alta en el Municipio de Luvianos (34.20 km²) seguido por Otzoloapan con 31.09 km² y Zacazonapan con 30.31 km², estos tres municipios registran más de 30 km² con aptitud muy alta (Gráfica 5).

Gráfica 5. Superficie con muy alta aptitud agrícola para maíz por municipio en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la Evaluación Multicriterio.

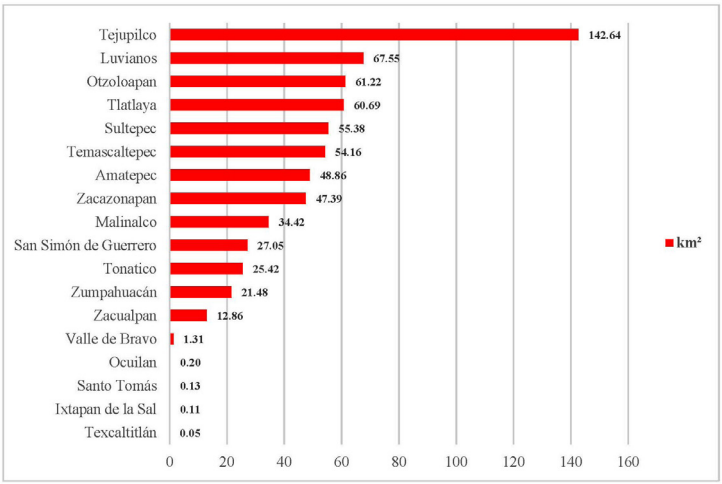
Con base en el contexto agrícola de los municipios y su relación con los resultados obtenidos, es posible analizar, si en realidad, los municipios más productivos poseen las características más idóneas para el cultivo de maíz. Para este análisis se utilizaron datos de producción agrícola del año 2021, considerando el rubro de volumen de producción y, se determinó que los Municipios de Amatepec y Tlatlaya registraron los mayores volúmenes de producción, aunque, de acuerdo con la Evaluación Multicriterio, la mayor parte de su territorio presenta aptitud entre media y alta. En este tenor, Otzoloapan y Zacazonapan presentan una aptitud más apropiada para el cultivo, sin embargo, obtuvieron menor volumen de producción en comparación con el resto de los municipios. Desde luego, esta situación puede deberse a su extensión territorial, ya que ambos municipios son aproximadamente tres veces menos extensos que los municipios donde se registró mayor producción. Por otra parte, el Municipio de Luvianos cuenta con una amplia superficie de aptitud muy alta y presenta un volumen de producción considerable.

5.2.3.3 Aptitud agrícola para el cultivo frijol en la región sur del Estado de México

La aptitud agrícola para el cultivo de frijol sobresale por su capacidad de adaptación, es potencialmente cultivable en la mayor superficie de la RSEM, identificando que la clasificación de aptitud muy alta, se concentra en las zonas oeste, este y sur; las áreas con aptitud alta y media se encuentran de forma continua en los entornos adyacentes a las zonas de muy alta aptitud; mientras que, las zonas clasificadas con aptitud baja y muy baja se localizan en la porción central de la RSEM (Mapa 30). Al comparar estos resultados con los mapas de aptitud agrícola general y aptitud agrícola para maíz, también es notorio que, las zonas con menor aptitud se ubican en el centro de la RSEM. Respecto a la cobertura superficial de aptitud agrícola, se identifica que el 20.37 % (660.92 km²) son zonas con aptitud muy alta, el 26.19 % (849.72 km²) corresponde a zonas de aptitud alta, el 23.60 % (765.78 km²) tiene aptitud media, el 19.75 % (640.88 km²) corresponde a la aptitud baja y el 10.08 % restante (327 km²) integran espacios con muy baja aptitud.

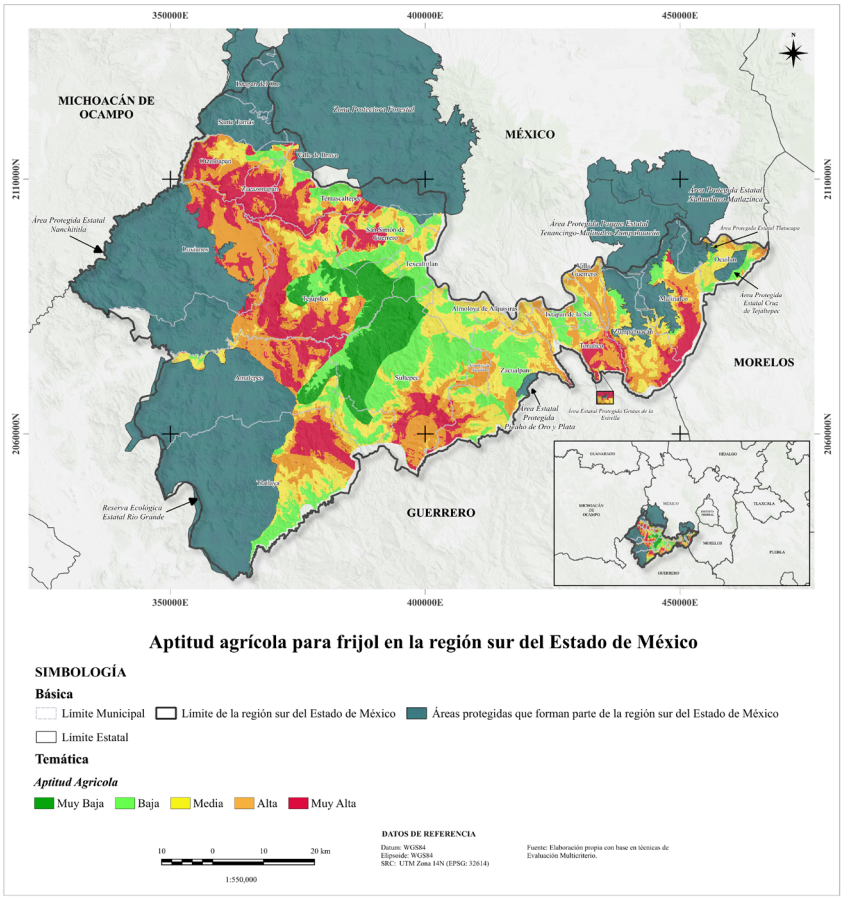
Al evaluar los resultados por municipio, particularmente sobre la aptitud muy alta, se obtienen datos interesantes, vislumbrado espacios que contienen una mayor superficie ideal para el cultivo de frijol, tal es el caso del Municipio de Tejupilco que supera 140 km², cifra que duplica el valor de los Municipios de Luvianos con 67.55 km², Otzoloapan con 61.22 km² y Tlatlaya con 60.69 km² (Gráfica 6).

Gráfica 6. Superficie con muy alta aptitud agrícola para frijol por municipio en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la Evaluación Multicriterio.

Mapa 30. Aptitud agrícola para frijol en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en técnicas de Evaluación Multicriterio.

Al comparar el volumen de producción del año 2021, con estos resultados, es notable identificar que el Municipio de Zacualpan registró el mayor volumen de producción, pero con relación a los resultados de la EMC, se reconoce que este municipio no posee porciones de su territorio que sean aptas para el cultivo de frijol, ya que predomina la aptitud media y baja. Por otra parte, el Municipio de Tejupilco, registró la mayor superficie de aptitud muy alta, pero su volumen de producción es relativamente bajo en comparación con el resto de los municipios, esta condición permite suponer que, al implementar acciones estratégicas que favorezcan la presencia de este cultivo en el municipio,

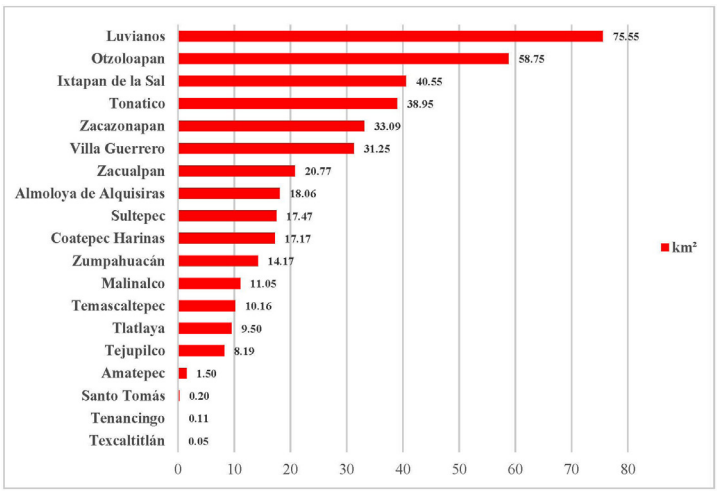
se puede obtener una productividad agrícola eficiente, coadyuvando así, a la seguridad y soberanía alimentarias de México.

5.2.3.4 Aptitud agrícola para aguacate en la región sur del Estado de México

A partir de la EMC, se obtuvo el mapa de aptitud agrícola para el cultivo de aguacate, siendo uno de los cultivos más significativos, debido a que en los últimos años ha tenido relevancia en México. La distribución espacial de las zonas de aptitud alta y muy alta se localizan al este y noroeste de la RSEM y en mínimas porciones del centro con una orientación hacia el sur. Las zonas con aptitud baja y muy baja se encuentran en la parte central, a la vez que, en los límites de éstas se presentan de manera continua las áreas correspondientes a la aptitud media, aunque de forma general, la zona central presenta las características menos ideales para la agricultura (Mapa 31). Se identificó que el 12.53 % (406.53 km²) corresponde a zonas con aptitud muy alta, el 22.19 % (719.75 km²) pertenece a zonas con aptitud alta, el 22.81 % (740.02 km²) constituye zonas de aptitud media, el 11.18 % (362.86 km²) posee zonas con aptitud baja y el 31.29 % restante (1,015.14 km²), tiene zonas con aptitud muy baja.

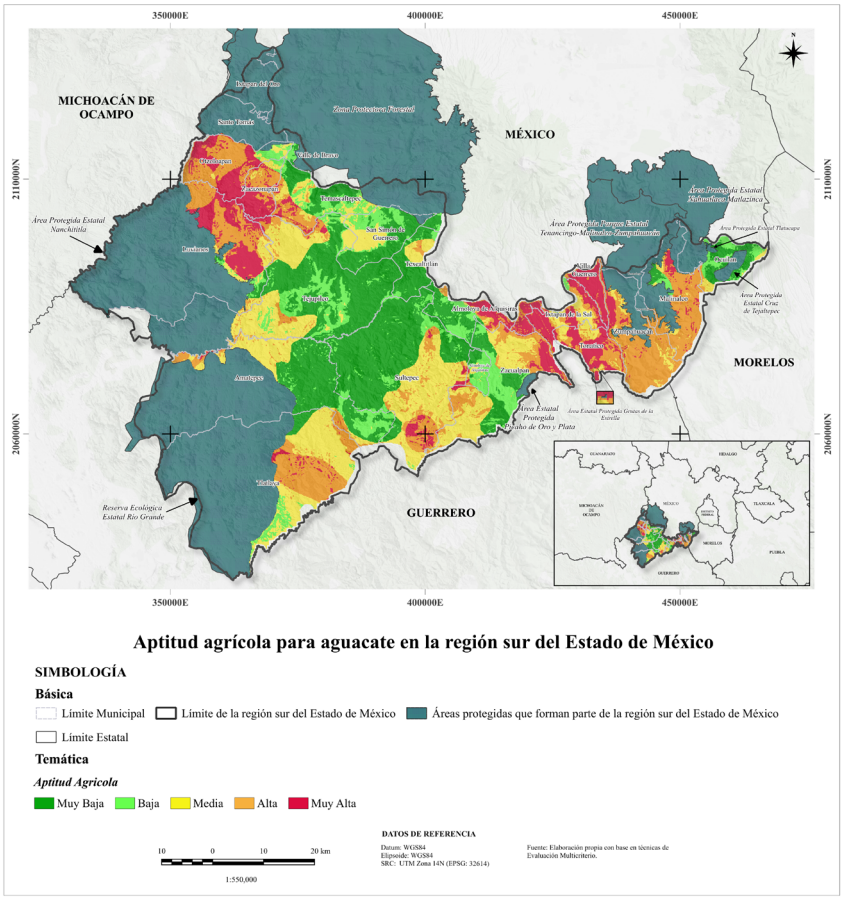
Por otra parte, al analizar la información desde una perspectiva municipal y considerando únicamente la clasificación de aptitud muy alta, es notorio que el Municipio de Luvianos tuvo la mayor superficie con 75.55 km², seguido por Otzoloapan, con 58.75 km², e Ixtapan de la Sal, con 40.55 km² (Gráfica 7).

Gráfica 7. Superficie con muy alta aptitud agrícola para aguacate por municipio en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la Evaluación Multicriterio.

Mapa 31. Aptitud agrícola para aguacate en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en técnicas de Evaluación Multicriterio.

Al examinar los resultados de la EMC en asociación con los datos estadísticos del volumen de producción de aguacate en el 2021, se observa que el Municipio de Almoloya de Alquisiras registró el mayor volumen de producción, pues está conformado por zonas con aptitud alta y media. Los Municipios de Malinalco y San Simón de Guerrero también registraron volúmenes de producción elevados. En cuanto a su aptitud agrícola, en Malinalco se identificó que la mayor parte de su superficie posee una aptitud muy alta y alta, lo que revela que ha sido correctamente gestionado el cultivo, aprovechando las condiciones ambientales de su ubicación. Sin embargo, San Simón de Guerrero muestra un escenario contrario, ya que los resultados indican que la mayor

parte de su territorio presenta una aptitud que oscila entre media, baja y muy baja. Además, el Municipio de Luvianos presentó la mayor superficie con aptitud muy alta, aunque, su volumen producido fue mínimo en el 2021, lo cual indica que mediante una gestión eficiente de los recursos y del territorio, en este municipio se puede potenciar la productividad agrícola de aguacate.

La evaluación multicriterio realizada conforma una herramienta analítica clave donde se identifican zonas con mayor potencial agrícola, aportando información pertinente para la toma de decisiones al considerar los factores ambientales más influyentes para la agricultura en la RSEM. La información permite orientar de manera técnica el uso del territorio y contribuye a la creación de políticas ambientales que transiten hacia la sostenibilidad. Aunque esta aproximación ofrece resultados consistentes, su articulación con dimensiones complementarias como las de tipo socioeconómico, pueden favorecer el análisis actual de los actores involucrados, es decir, los productores, esto contribuiría a una mejor comprensión de la viabilidad y potencialidad agrícola de la RSEM. Por supuesto, los resultados expuestos constituyen un insumo valioso que a futuro puede contribuir en la planificación territorial y toma de decisiones informadas.

Capítulo 6. Gestión de uso del suelo agrícola y recuperación de espacios

6.1 Cambios de uso del suelo con vocación agrícola

En la RSEM han ocurrido diversas afectaciones a los sistemas agrícolas y, por consiguiente, impactos y transformaciones en el paisaje, como es el caso de un continuo proceso de abandono de superficies agrícolas, situación vinculada con la intensa explotación de los recursos naturales, que al final, conlleva a generar suelos infértiles (SEMARNAT, 2014). Por supuesto, también es evidente un continuo declive en las labores agrícolas por transformaciones en las dinámicas socioeconómicas, migración por falta de apoyo destinado a la producción y envejecimiento de los agricultores (Carton, 2009). La presión creada por la incorporación tecnológica en el campo contribuye a la reducción de las labores rurales, debido a la falta de orientación técnica y la limitación de acceso a ella (Ramírez *et al*., 2013), sumado a esto, recientes investigaciones han compartido que la variación climática también ha repercutido en la interacción agrícola y la población, disminuyendo las áreas agrícolas y la producción alimentaria (Murray, *et al*., 2024).

Las superficies agrícolas al no ser cultivadas pasan a un estado de abandono, pero de acuerdo con los resultados obtenidos en la RSEM, se tienen indicios de que ha iniciado un proceso de reconversión nativa, al identificarse un patrón en donde se ha presentado la transición de la agricultura hacia diferentes tipos de vegetación, como es el caso de la secundaria herbácea, arbustiva y arbórea. También se ha observado una disminución en la conversión de espacios naturales hacia usos agrícolas, situación que puede indicar una regulación en los procesos de expansión de los cultivos o una menor rentabilidad de éstos, aunque han sido cada vez menores, esto no implica la inexistencia de repercusiones ambientales, por lo que, es fundamental prestar atención a los impactos ambientales provocados por estas actividades y plantear iniciativas para contribuir a la disminución de cambios en el uso del suelo asociados a la agricultura.

Con el análisis de la producción agrícola se identificó una tendencia alarmante para el futuro agrícola en México y para la RSEM, pues en congruencia con las alteraciones de uso del suelo ocurridas, la superficie destinada a la siembra agrícola y los volúmenes de producción de alimentos han dismi-

nuido. Esta situación se agrava más al observar que el valor de producción ha aumentado mientras que la producción cada vez es menor, este escenario representa un riesgo, considerando que la población cada vez es mayor y la producción de alimentos menor, condición que puede causar consecuencias negativas en la seguridad y soberanía alimentarias, incidiendo en una dependencia de importación de alimentos.

Otra situación relevante en la RSEM, se refiere a que ésta dispone de grandes extensiones de terreno que presentan condiciones ambientales propicias para el desarrollo de cultivos agrícolas, no obstante, estas zonas deben ser correctamente gestionadas, considerando la conservación ambiental y la sostenibilidad de recursos, esto con la finalidad de minimizar el impacto ecológico que provoca la apertura de nuevas áreas para uso agrícola.

Las reflexiones previas representan un referente para la integración de medidas estratégicas que contribuyan a solucionar o mitigar los paulatinos impactos ecológicos en la RSEM. En este sentido, se plantea una alternativa que apoye a la disminución de los procesos de cambio de uso del suelo y transformación del paisaje, considerando para ello, la recuperación de suelos agrícolas y la propuesta de prácticas agroecológicas que contribuyan a la conservación ambiental y fortalezcan la seguridad y soberanía alimentarias en las comunidades del territorio sur del Estado de México.

6.2 Propuesta: mitigación de cambios y recuperación de suelos

Con el propósito de identificar áreas estratégicas para disminuir los procesos de alteración de uso del suelo asociados a actividades agrícolas y recuperar terrenos que antes eran destinados a este uso, se propone una metodología fundamentada en técnicas de análisis espacial y aplicación de herramientas de sistemas de información geográfica para llevar a cabo la superposición de capas desarrolladas previamente. La propuesta se presenta en los siguientes párrafos y se sustenta en los resultados del análisis de los procesos de cambio de uso del suelo y la evaluación multicriterio de aptitud agrícola.

Resultados del análisis de los procesos de cambio de uso del suelo. Las capas de información utilizadas derivan de los análisis presentados en capítulos previos, por una parte, el análisis de cambio de uso del suelo, se realizó a partir de las cartas temáticas de la serie III, V y VII de uso del suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, analizando los datos en software SIG *TerrSet liberaGIS*, que se sustenta en el módulo *Land Change Modeler*, donde se identificaron superficies que anteriormente presentaban vocación agrícola y que transitaron hacia diversos usos y coberturas del suelo, siendo esenciales las modificaciones a expensas de las coberturas de vegetación secundaria (herbácea, arbustiva y arbórea). La elección de evaluar las coberturas de vegetación secundaria tiene fundamento en su condición de ecosistemas,

mismos que han sido alterados por actividades antrópicas y haber presentado procesos de eliminación parcial o total de la vegetación original.

La vegetación secundaria es la que se encuentra en un proceso de sucesión ecológica y puede ser clasificada en tres fases, de acuerdo con el grado de desarrollo vegetativo que se encuentre presente. a) la vegetación secundaria herbácea constituye la primera fase, compuesta por pastizales y variedad de formas herbáceas que son comunes en esta etapa inicial de sucesión; b) la vegetación secundaria arbustiva concentra especies leñosas con presencia de arbustos, indicando una etapa sucesional más avanzada; y c) la vegetación secundaria arbórea contiene árboles de edad temprana, con una cobertura vegetativa densa, presentando características similares a las de un bosque. Estas fases sucesionales pueden continuar hasta conformar una vegetación parecida a la original (INEGI, 1998).

Las coberturas de vegetación secundaria herbácea y arbustiva son las más adecuadas para ser sometidas a un proceso de transformación agrícola, ya que, la cobertura de éstas no compromete una pérdida relevante, como puede ocurrir con la vegetación primaria. En cuanto a la vegetación secundaria arbórea que presenta una densa vegetación próxima a la madurez, debe ser conservada, pues ya constituye un ecosistema importante desde una perspectiva ecológica. Se reconoce que estas superficies ya han sido antropizadas en el pasado, por lo que, su perturbación es una realidad y ante este escenario es necesario reorientarlas hacia la recuperación de su uso agrícola, implementado estrategias que permitan su transición hacia la sustentabilidad, acompañando esto con el uso responsable de los recursos, sin comprometer su futura disponibilidad, visión compatible con la agroecología. El establecer zonas que presentan vegetación secundaria (herbácea y arbustiva) para la recuperación agrícola y como estrategia de apertura a nuevos espacios agrícolas, representa una alternativa viable y ambientalmente responsable.

Evaluación Multicriterio. Los resultados de la evaluación multicriterio fueron obtenidos al considerar las variables físicas más relevantes a través de un análisis estructural basado en el método MICMAC, mismas que fueron normalizadas bajo la lógica difusa en función de un valor previamente asignado a través de una matriz de comparación por pares del método de análisis jerárquico de procesos (AHP). La evaluación e integración de las variables se hizo con la aplicación de una sumatoria lineal ponderada, sobre las variables normalizadas estableciendo un valor en virtud de su importancia para la agricultura y obteniendo un mapa que contiene las zonas con las características más idóneas para el establecimiento agrícola, el cual fue considerado para proceder con la propuesta planteada.

6.3 Fundamentos metodológicos: superposición

La superposición es una técnica relevante en el análisis espacial, permite integrar capas de información geográfica para estudiar las interacciones y relaciones entre ellas. Jaime, *et al*. (2011) señalan que la superposición es un método que implica fusionar dos o más capas de información geoespacial que pertenecen a la misma área de estudio, obteniendo como resultado una nueva capa que contiene información combinada de las capas originales. La superposición es un proceso relevante del análisis espacial en sistemas de información geográfica, toda vez que, facilita la composición de diversas capas de información geoespacial, al crear una nueva que contiene datos combinados, a partir de los cuales es posible analizar con mayor especificidad las interacciones presentes. Esta metodología es clave para sintetizar información de manera unificada (Domínguez, 2000), además, favorece los alcances del análisis sobre hechos o fenómenos, al presentar información integral en una sola capa para identificar zonas, patrones y tendencias (Sánchez y Amorós, 2012).

En la actualidad, la mayor parte de las investigaciones geográficas se sustentan en la aplicación de SIG y el análisis espacial, donde la superposición es uno de los métodos más empleados y combinados con diversas técnicas como el AHP y que son útiles en estudios que versan sobre la agricultura y la sostenibilidad (Díaz, *et al*., 2023; Galvis, *et al*., 2024). El uso de la superposición permitió integrar los resultados, esto mediante el software QGIS, donde se combinaron las zonas detectadas que han transitado hacia vegetación secundaria herbácea y arbustiva y que solían ser destinadas al aprovechamiento agrícola, así como los resultados de la evaluación multicriterio de la aptitud agrícola general. Esta integración constituyó una metodología complementaria para estudiar la interacción entre la aptitud territorial y la evolución de cambio en el uso del suelo, permitiendo establecer delimitaciones más precisas de las zonas prioritarias para la recuperación agrícola.

6.4 Resultados de la superposición

Las zonas prioritarias para el establecimiento y recuperación agrícola se clasificaron en cinco categorías. En una visión general, se observa que las zonas que presentan la mejor aptitud agrícola se encuentran concentradas hacia el este y sureste de la RSEM, mientras que, en el noreste y noroeste, la presencia de este tipo de zonas es escasa (Mapa 32). En cuanto a la superficie, tras la aplicación de los resultados de la EMC, se mantuvo el uso de 3,244.30 km² (59.5 %) de los 5,449.6 km² que conforman la superficie regional, al superponer esta área con las zonas que anteriormente eran agrícolas y que transitaron hacia vegetación secundaria, se identificaron 108.41 km², equivalentes al 3.34 % de la superficie considerada en este apartado del estudio (3,244.30 km²),

dicha superficie se determina para procesos de recuperación hacia fines agrícolas. De hecho, estas zonas, si bien, pueden parecer una porción relativamente pequeña de la región, se debe reconocer que son resultado de un proceso de estudio que ha conjuntado diversas posturas de análisis, priorizando la conservación ambiental y buscando el menor impacto ecológico, siendo estos espacios una alternativa para la expansión de terrenos con vocación agrícola.

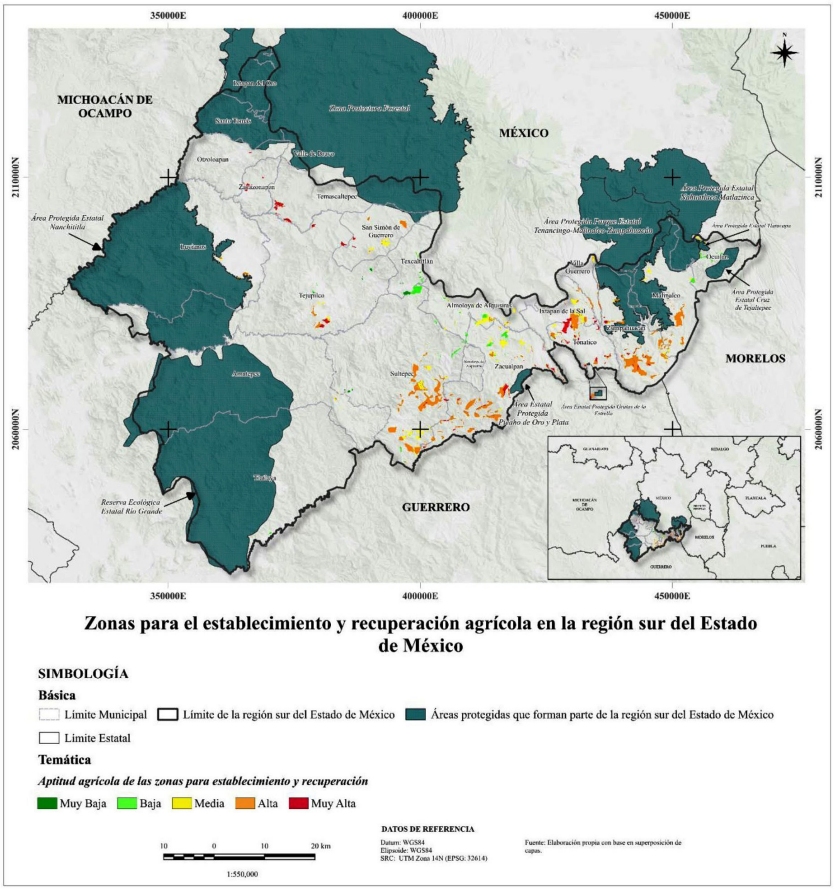
En referencia a la clasificación de aptitud, se identifica que de los 108.41 km², el 12.76 % equivalente a 13.83 km² corresponde a una aptitud muy alta, el 58.16 % equivalente a 63.05 km² pertenece a una aptitud alta, el 19.78 % equivalente a 21.44 km² corresponde a aptitud media, el 7.94 % equivalente a 8.61 km² tiene una aptitud baja y el 1.37 % restante equivalente a 1.48 km² se clasifica con aptitud muy baja.

6.5 Recuperación de suelos con vocación agrícola

Con base en el análisis espacial de identificación de zonas prioritarias para el establecimiento y recuperación agrícola, considerando sus niveles de aptitud agrícola, es pertinente argumentar que una de las causas que pudo haber influido en el abandono de éstas, tiene relación con la intensiva actividad agrícola, provocando agotamiento de los recursos disponibles en el suelo, degradación y pérdida de fertilidad. En México, las causas que conllevan a la degradación de los suelos están relacionadas con las actividades agrícolas y pecuarias (SEMARNAT, 2014). Estudios recientes comparten que, en el territorio mexicano, cerca del 64 % de los suelos presentan distintos niveles de erosión y al menos el 25 % de suelos destinados a la producción agrícola, tienen problemas de fertilidad (SADER, 2024a). El rápido desgaste del suelo es una amenaza para la subsistencia humana, pues algunas estimaciones plantean que, de no tomar acción en esto, para el año 2050 más del 90 % de los suelos a nivel mundial podrían presentar elevados índices de degradación (FAO, 2020).

Las repercusiones de la pérdida de la salud del suelo, compromete la capacidad de subsistencia y desarrollo agrícola, afectando de manera directa la producción agroalimentaria y, por consiguiente, la seguridad en la disponibilidad de alimentos (EOS Data Analytics, 2023). En este marco, las afectaciones son aleatorias en la toda población, no obstante, los principales perjudicados, son los agricultores que subsisten por medio de sus cultivos, esta situación podría generar aumento en la pobreza y la carencia alimentaria (Cotler, *et al*., 2020). La sobreexplotación del suelo puede conllevar a su acelerado deterioro y pérdida de su fertilidad, lo cual causa negativos efectos sobre la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (Torres y Rojas, 2018).

Mapa 32. Zonas para establecimiento y recuperación agrícola en la región sur del Estado de México


350000E
400000E
450000E
2110000N
2060000N
MICHOACÁN DE OCAMPO
MÉXICO
MORELOS
GUERRERO
Área Protegida Estatal Nanchititla
Reserva Ecológica Estatal Río Grande
Área Protegida Estatal Sierra de Huautla
Área Protegida Estatal Tenancingo-Malinalco-Zempoala-Ocuilan
Área Protegida Estatal Cima de Tecalcapa
Área Estatal Protegida Cerro de Oro y Plata
Área Estatal Protegida Grutas de la Estrella
Otzoloapan
Zacualpan
Temascaltepec
San Simón de Guerrero
Tejupilco
Almoloya de Alquisiras
Ixtapan de la Sal
Tonatico
Malinalco
Ocuilan
Villa Guerrero
Sultepec
Amatepec
Tlatlaya
Zacualpan
Zona Protectora Forestal
Reserva de la Biosfera
Zona Protectora Forestal
Zona Protectora Forestal
Zona Protectora Forestal

prioritario implementar acciones que contribuyan a su adecuado manejo con miras a la sostenibilidad, sin provocar más daños a su composición (López, 1994).

En el suelo se desarrollan interacciones entre los factores físicos, biológicos y socioculturales, generando al mismo tiempo, afectaciones precedidas por el ser humano, como la deforestación, los cultivos mecanizados, el pastoreo descontrolado y la eliminación del medio natural a expensas de la expansión urbana e industriales, las cuales impulsan el deterioro edáfico (Gardi, *et al*., 2014). En este sentido, se han determinado procesos que conllevan a la pérdida de la productividad del suelo, como es el caso de la erosión, la degradación física, degradación biológica, degradación química y desertificación (Piscitelli, 2015). Así mismo, Ríos *et al*. (2015) enfatizan que la degradación del suelo se puede clasificar en función de tres procesos: a) degradación física, vinculada estrechamente con procesos erosivos, destacando los tipos de erosión hídrica y la eólica; b) degradación biológica, resultado de la pérdida de biodiversidad, repercutiendo en la materia orgánica disponible, lo cual incide en las capacidades del suelo para soportar vida; y c) degradación química, determinada por el deterioro de la calidad del suelo, al experimentar cambios en su composición química.

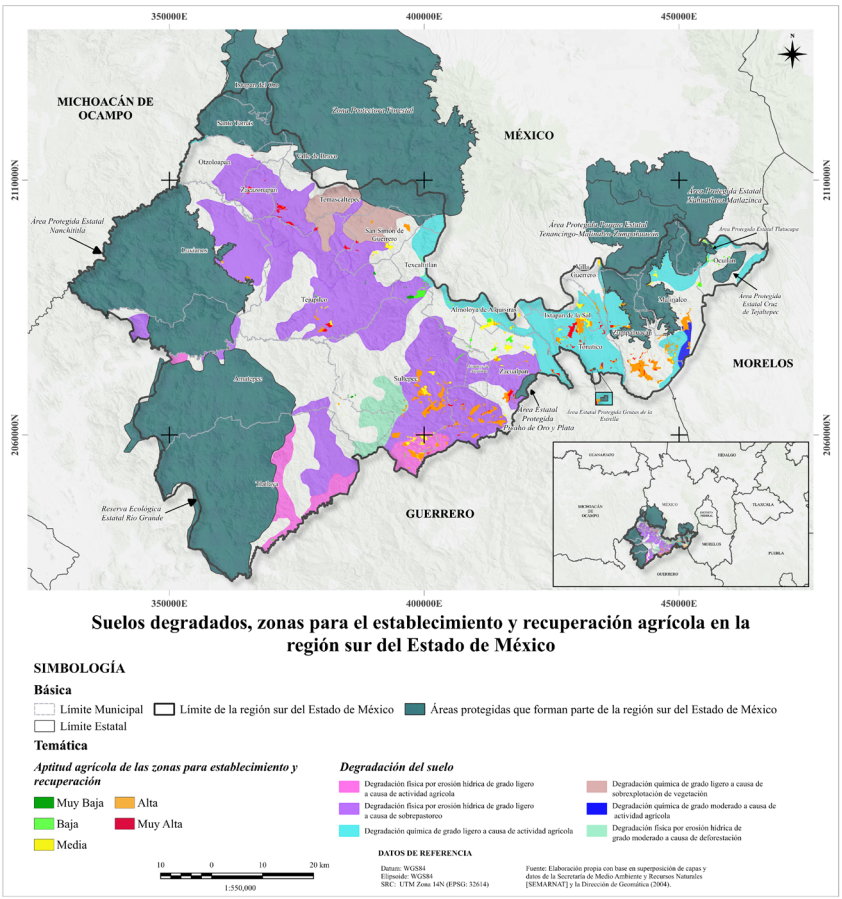
La evidencia científica indica que, durante el año 2015, aproximadamente el 33 % de los suelos a nivel mundial presentaban algún grado de degradación (FAO, 2015b). Sin embargo, para el año 2022 esta cifra aumentó a 40 % (Collins y Wischnewski, 2022), por lo que, se deben emprender acciones para reducir estas problemáticas, pues se estima que este porcentaje podría alcanzar el 90 % para el año 2050 (FAO, 2020). En México, se identificó que entre los años 2001 y 2002, el territorio nacional poseía evidencia de suelos degradados en más del 44.9 % de la superficie total, siendo la degradación química y la hídrica las afectaciones más severas (SEMARNAT, 2014). Sin embargo, el informe de Laure Delalande, demostró que las superficies degradadas incrementaron a más de la mitad del territorio mexicano, demostrando un aumento significativo conforme avanza el tiempo (Instituto Nacional de Desarrollo Social, 2015).

En el caso del territorio mexicano, la degradación está presente en todas sus regiones y en el caso de la RSEM, ésta es notoria, pues se observa que varios espacios han sido afectados (Mapa 33). La elaboración de este mapa se hizo con base en la capa vectorial titulada Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000, recopilada en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Dirección de Geomática (2004) en combinación con el mapa de zonas para establecimiento y recuperación agrícola en la región sur del Estado de México, contenido en páginas anteriores.

Las zonas identificadas como las más viables para el establecimiento y recuperación agrícola, presentan en su mayoría suelos degradados, no obstante,

la degradación situada en estas zonas pertenece a la clasificación de degradación ligera, esto indica que, el suelo no ha experimentado graves deterioros en su composición, aunque, se identificó una mínima porción en el Municipio de Malinalco, con degradación moderada (Mapa 33). Los tipos de degradación con mayor presencia corresponden a la degradación física y degradación hídrica, mientras que una mínima porción corresponde a degradación química. El 71.27 %, (77.64 km²) de las zonas clasificadas para el establecimiento y recuperación agrícola, se encuentran en suelos degradados.

Mapa 33. Suelos degradados, zonas para establecimiento y recuperación agrícola en la región sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia con base en superposición de capas y datos de la SEMARNAT y la Dirección de Geomática (2004).

Del total de la superficie identificada con suelos degradados (77.64 km²), el 40.46 % que equivale a 43.86 km² corresponde a suelos con degradación física por erosión hídrica de grado ligero y provocada por sobrepastoreo, agrupados en las zonas sureste, centro y noroeste de la RSEM. El 21.07 % equivalente a 22.84 km² corresponde a suelos con degradación química de grado ligero provocada por la actividad agrícola, estando presentes en la zona este. El 7.15 % equivalente a 7.75 km² corresponde a suelos con degradación física por erosión hídrica de grado ligero y también generada por la actividad agrícola, se concentran en la zona centro-sur. El 1.47 % que equivale a 1.59 km² presenta suelos con degradación química de grado moderado y causada por la actividad agrícola, ubicados al este. El 0.97 % equivalente a 1.05 km² corresponde a suelos con degradación física por erosión hídrica de grado moderado, producto de la deforestación, y el 0.50 % (0.55 km²) corresponde a suelos con degradación química de grado ligero y causada por inadecuado manejo de la vegetación.

Las zonas propuestas para el establecimiento y recuperación de actividades agrícolas presentan una condición del suelo aceptable, considerando su nivel de degradación. Debido a que, la mayor parte de las zonas tienen un nivel de degradación ligero, esto es compatible con usos agrícolas, sin embargo, hay una excepción, vinculada a una mínima porción territorial y que presenta degradación moderada, misma que compromete su uso, no obstante, posee condiciones para el uso agrícola, siendo considerada para su recuperación. La información corresponde al año 2004, por lo que, existe la posibilidad de variaciones en los niveles de degradación, ya que, la bibliografía ha demostrado que ésta ha aumentado al paso del tiempo, sin embargo, cabe la posibilidad de que éstas tal vez hayan presentado mejoría o estabilización de las condiciones del suelo, por supuesto, esta apreciación está sujeta a factores ambientales y prácticas de uso del suelo implementadas desde tiempos pretéritos.

Ante la situación referida, es conveniente plantear acciones estratégicas que permitan la recuperación de los suelos degradados, con la finalidad de que éstos sean utilizados en el establecimiento de cultivos. Las acciones no sólo deben favorecer el reacondicionamiento de estos espacios, sino también atender la productividad y fomentar la conservación de los recursos a largo plazo, por lo tanto, es fundamental que estas estrategias se basen en los principios de la agroecología, coadyuvando así, al establecimiento de las bases para transitar hacia sistemas agrícolas sustentables.

6.5.2 Recuperación de suelos en la región sur del Estado de México

En este apartado están incluidas algunas consideraciones teóricas y acciones prácticas que pueden hacer posible la recuperación de suelos con vocación agrícola y después transitar hacia la agricultura sustentable en la RSEM, es obvio que, previo a la transición hacia la agricultura sustentable se deben em-

prender acciones de mitigación o recuperación de los suelos degradados. En la actualidad existe infinidad de prácticas que de manera directa o indirecta pueden facilitar la recuperación de suelos o la transición hacia una agricultura sustentable -pueden ser ambas-, pero lo importante, es su implementación, ya que algunas destacan en el cuidado ambiental y otras hacia la sostenibilidad, por ende, todas hacen uso de insumos locales para devolver al suelo sus propiedades pérdidas. Entre las prácticas más comunes se encuentran la elaboración de composta, lombricomposta y aplicación de biofertilizantes (Ríos *et al*., 2015).

Composta. Es un material orgánico, originado por procesos controlados de descomposición microbiana, haciendo uso de residuos orgánicos como las hojas, rastrojos, zacates, cáscaras, desechos orgánicos domésticos, subproductos maderables, ramas, estiércol y residuos industriales siempre y cuando sean orgánicos. Los materiales son agrupados para promover la acción microbiana, la cual se encargará de transformar los residuos en un compuesto orgánico rico en nutrientes, muy benéfico para las plantas y los suelos agrícolas, pues ayuda a mejorar sus propiedades e incrementa su fertilidad (SAGARPA, s.f).

La composta se caracteriza por poseer múltiples beneficios, tanto para las plantas, como para el suelo, siendo relevantes la aportación de nutrientes, destacando el fósforo, el potasio y el nitrógeno, mismos que son indispensables para un óptimo desarrollo de las especies vegetales. Durante el proceso de compostaje es pertinente el control de los factores que inciden en su calidad, pues la temperatura, la humedad y la oxigenación son parámetros que se deben cuidar, ya que el desequilibrio de éstos puede generar un proceso de compostaje más lento y producir gases con olores desagradables, por ello, es relevante que el material haya terminado su proceso de compostaje, pues el ingresar un material antes de tiempo puede causar problemas de fitotoxicidad, provocando en casos extremos la muerte de las plantas (SADER, 2021a).

Asimismo, es un recurso natural que ayuda al mejoramiento de las condiciones edáficas y favorece el desarrollo vegetativo de los cultivos. En cuanto a sus ventajas sobresale su bajo costo que es acompañado de una fácil elaboración, igualmente, este material es una excelente alternativa ante el uso de agroquímicos, ya que no contamina y permite el reciclado de materiales naturales (SAGARPA, s.f.; SADER, 2021a). Para la elaboración y manejo de compostas, se sugiere consultar los siguientes documentos:

- *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos 9*. Composta, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) a través de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT).
- *Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina, de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.

Lombricomposta. Es una variante más efectiva que la composta tradicional, esto en virtud de que la intervención de las lombrices contribuye significativamente a la aceleración del proceso de compostaje. La lombricomposta, lombricultura o vermicultura, se refieren a la actividad de criar de manera especializada lombrices, que son utilizadas como un medio para obtener un material orgánico con benéficas propiedades para el suelo (Somarriba y Guzmán, 2004). La lombricomposta consiste en la obtención de abono orgánico producido mediante la crianza de lombrices, las cuales se alimentan de sustratos orgánicos y mediante procesos digestivos generan un material rico en nutrientes conocido como humus de lombriz (Asociación Nacional del Café Guatemala [Anacafé], 2023). La lombricomposta se caracteriza por la eficiencia de las lombrices en la descomposición de materia orgánica, debido a que sus excrementos son ricos en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, lo que es sumamente benefactor para la fertilidad del suelo (Ríos *et al*., 2015).

En la lombricomposta se utilizan diferentes residuos orgánicos, mismos que son el alimento para las lombrices. Se recomienda utilizar desechos de frutas y verduras (excluyendo cítricos) mismos que deben ser ingresados en diminutos trozos, con un tamaño inferior a los dos centímetros. También se recomienda que la lombricomposta puede ser complementada con la incorporación de estiércol, además del sustrato, el cual debe cumplir con algunas especificaciones, siendo la más importante el período de fermentación mayor a dos meses, al igual que en la composta, en éste se debe tener atención en sus parámetros de temperatura (18–25 °C) y humedad (70-80 %) asegurando las perfectas condiciones para la posterior incorporación de las lombrices y residuos (Prado, 2013).

De igual manera, se pueden incorporar diferentes especies de lombrices, no obstante, la lombriz con mayor popularidad para estos fines es la *Eisenia fetida*, también conocida como lombriz roja californiana, la cual tiene un amplio reconocimiento por sus capacidades y resiliencia, ya que no suele contraer enfermedades (Prado, 2013; SADER, 2021b). Para obtener óptimos resultados de la lombricomposta y del humus es recomendable que ésta cuente con un soporte estructural (contenedores o camas) para evitar la presencia de plagas y ser un refugio ante los depredadores. En la etapa final se hace la cosecha del humus, por supuesto, una vez que el sustrato está listo, el cual se caracteriza por presentar una pigmentación que puede variar de café a negro y tener un olor a petricor (tierra húmeda) (Ruíz, 2011; SADER, 2021b). El humus de lombriz es un material orgánico con concentración de nutrientes comparable con la tierra, y es utilizado para mejorar las condiciones del suelo (Prado, 2013). Se recomienda consultar las siguientes fuentes:

- *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos 14*. Humus de Lombriz, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) a través de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT).
- *Guía de lombricultura* (Guía Técnica No. 4), de la Universidad Nacional Agraria.

Las prácticas descritas reconocen la importancia que desempeña la materia orgánica como un componente natural para la restauración de las condiciones del suelo, donde la descomposición de residuos por la acción microbiana y animal (lombriz) generan compuestos valiosos que contribuyen a la fertilidad, la retención de agua y la aireación en el suelo, promoviendo el desarrollo biológico de la vegetación (Román, *et al*., 2013). Estas ecotecnias pueden asegurar la recuperación y mejoramiento de los suelos agrícolas en la RSEM.

Biofertilizantes. Estos insumos son útiles en la restauración y mejoramiento de suelos. Son productos de origen ecológico, que poseen microorganismos activos, los cuales son incorporados de modo directo al suelo, con la finalidad de aportar mayor concentración de minerales y apoyar al proceso de crecimiento de las plantas (Cardozo, 2021). Estos productos constituyen una manera efectiva para la aportación de nutrientes indispensables en el desarrollo biológico de la vegetación al crear un entorno microbiológico estable en el suelo. Propician las producciones agrícolas sin repercutir en el ambiente (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021). Además, su implementación disminuye los impactos ambientales causados por los agroquímicos (Armeta, *et al.*, 2010). De igual manera, crean una relación de simbiosis con la vegetación, permitiendo que su crecimiento sea más efectivo al aumentar la capacidad de absorción de nutrimentos (Vessey, 2003 como se citó en Grageda *et al.*, 2012).

Los biofertilizantes se caracterizan por ser una mezcla entre hongos y bacterias que permiten mejorar las condiciones nutritivas del suelo, destacando el nitrógeno y el fósforo como los nutrientes más importantes. Asimismo, éstos llevan a cabo procesos naturales haciendo uso de los componentes presentes en el suelo, mismos que serán reintegrados tanto a las plantas como al suelo, creando así, un ciclo repetitivo de producción natural sin la necesidad de incorporar productos químicos (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021). La incorporación de este bien orgánico incrementa los nutrimentos en el suelo, sumando a los ya presentes e incorporando nuevos a través del abono (SADER, 2023a). Sumado a ello, es una alternativa para mejorar y recuperar la consistencia del suelo, al mismo tiempo, se cuida el ambiente e incrementa la producción, coadyuvando en la seguridad alimentaria (Bizzozero, 2006). Los biofertilizantes más comunes son los siguientes:

- Extractos vegetales. Son sustancias preparadas y obtenidas por medio de la extracción de diversas plantas a través de varios procesos: ma-

ceración, fermentación, infusión, decocción y esencias (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021, SADER, 2021c).

- Lixiviados de fermentación. Son líquidos generados mediante la fermentación y descomposición de diferentes técnicas orgánicas, donde destacan la composta y el humus de lombriz (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021).
- Micorriza. Es un proceso de simbiosis creado a través de la interacción entre una planta (de preferencia sus raíces) y un hongo, favoreciendo una mejor absorción de minerales, destacando el fósforo (Carrillo, *et al*., 2022).
- Trichoderma. Son hongos utilizados como biofertilizantes, brindan beneficios a la agricultura al fomentar el desarrollo de las plantas y actuar como biofungicida contra patógenos. Al igual que la micorriza, está presente en las raíces vegetales por lo que contribuye a su crecimiento (Companioni, *et al*., 2019; Poveda y Monte, 2019).
- Fijadores de nitrógeno. Son bacterias capaces de captar el nitrógeno atmosférico (N_2) e incorporarlo al suelo, beneficiando a las plantas, al igual que a la actividad microbiana. Este proceso se denomina Fijación biológica (Aloo, *et al*., 2022).
- Solubilizadores de fósforo y potasio. Constituidos por hongos y bacterias con capacidad de aportar nutrientes que no están disponibles y que son esenciales para las plantas, principalmente fósforo y potasio. Estos microorganismos permiten la fijación del nitrógeno atmosférico en el suelo, beneficiando la actividad vegetal y microbiológica. Es una estrategia para la regeneración de suelos degradados (Velázquez y Ramos, 2015).

El uso de compostas, lombricompostas y biofertilizantes pueden favorecer la recuperación de la fertilidad del suelo y mejorar la actividad microbiana, coadyuvando al crecimiento y desarrollo vegetal. Su aplicación en zonas identificadas como prioritarias para el establecimiento y recuperación agrícola es fundamental, ya que se requieren acciones que contribuyan a recuperar su funcionalidad y potencialidad productiva. Estas estrategias no sólo constituyen la recuperación de los suelos, también son consideradas como pilares de la agricultura sustentable (Companioni, *et al*., 2019; Cuenca, *et al*, 2007), además, en interacción con otras prácticas conforman la transición hacia sistemas productivos resilientes y capaces de mantener la productividad sin comprometer los recursos naturales, teniendo presente que su aplicación debe implementarse como parte de un sistema de manejo agroecológico continuo.

Promover la implementación de insumos orgánicos como respuesta a las problemáticas edáficas, no sólo contribuye a la necesidad técnica de los agricultores/campesinos, sino también favorece el manejo y cuidado del recurso,

por lo que, su aplicación como estrategia para tierras agrícolas es indispensable para retribuir la composición ecológica del suelo y fortalecer la seguridad alimentaria de la RSEM, a la vez que se crea un avance en la promoción de modelos productivos sostenibles y ambientalmente responsables.

Capítulo 7. Transición hacia sistemas agrícolas sustentables

7.1 Enfoque de la agricultura sustentable

Los procesos de cambio de uso del suelo vinculados a la expansión agrícola han tenido afectaciones significativas en la región sur del Estado de México, han provocado pérdida de áreas naturales, deterioro de los recursos ambientales y transformación del paisaje, siendo el suelo el componente más afectado. Esta situación repercute en el ámbito socioeconómico, al perjudicar la capacidad productiva de las tierras y, en consecuencia, a la seguridad y soberanía alimentarias. La actividad agrícola contribuye al bienestar poblacional, pero a lo largo del tiempo se han puesto en práctica varios métodos de producción en los sistemas agrícolas, enfatizando en el incremento de la productividad sin contemplar la conservación ecológica de los elementos indispensables para el desarrollo de los cultivos. Esto pone de manifiesto la necesidad de reconsiderar los métodos y modos de producción convencionales con tendencia hacia la responsabilidad ambiental, priorizando el cuidado de los recursos naturales y su adecuado manejo mediante prácticas y conocimientos que favorezcan los agroecosistemas.

La agricultura sustentable surge como una opción para establecer nuevas modalidades de producción agroalimentaria, con la finalidad de aumentar la producción y contribuir a la reducción de impactos ambientales provocados por los modelos agrícolas no sustentables. Diversos autores exponen que el enfoque de la agricultura sustentable es derivado de las controversias ecológicas que surgieron por la Revolución Verde (de Gortari, 2020), se trata de un modelo de producción agrícola que busca satisfacer la demanda alimentaria poblacional mediante la implementación de prácticas que permitan mejorar la producción agrícola, favoreciendo la conservación y el mejoramiento de las condiciones ambientales para su futura disponibilidad a generaciones venideras. Esta modalidad agrícola es impulsada como una alternativa de solución a los problemas que ha generado la agricultura moderna (Labrador y Altieri, 1995). Asimismo, prioriza su atención al mejoramiento ambiental y aumento de la producción agropecuaria, esto mediante la integración de acciones y estrategias que favorezcan la conservación y la producción alimentaria y animal (Fuentes y Soto, 1993).

La agricultura sustentable implica la integración de diversos modelos, técnicas y prácticas agrícolas, su objetivo es establecer una alternativa agrícola que sea sostenible en el tiempo, que contribuya al incremento de la producción agrícola, favoreciendo el bienestar social y económico de los productores. Además, minimiza la dependencia a recursos externos al retomar el conocimiento de prácticas tradicionistas (Gerritsen *et al*., 2012). Es una alternativa viable para transitar hacia una producción agrícola amigable con los componentes del entorno, ya que tiene un enfoque holístico en donde se integran diversas prácticas que permiten conservar el ambiente, y al mismo tiempo, tiene la capacidad de potenciar la productividad agrícola, mejorando la condición social y económica de los agricultores.

7.1.1 Sistemas agrícolas

De acuerdo con Tello (2013) la agricultura puede ser conceptualizada como un sistema, pues en esta existen componentes biológicos, ambientales y socioculturales que guardan relaciones entre sí y dan lugar a una serie de interacciones con el propósito de producir alimentos. Congruente a esta idea, Vilaboa (2009) comparte que los agroecosistemas constituyen un sistema, pues en éstos se encuentran varios componentes interrelacionados que desencadenan dinámicas. Este enfoque se fundamenta en la teoría general de sistemas propuesta por Bertalanffy en 1976, condición que coadyuva a comprender la agricultura como un sistema abierto, conformado por componentes físicos, sociales, ecológicos y biológicos, donde ocurren flujos e intercambios de energía, materia e información.

Un sistema agrícola puede ser nombrado como agroecosistema, ya que ambos términos hacen referencia a una porción territorial destinada a la producción agrícola, misma que está estructurada con un enfoque ecológico y es comprendida como una unidad ecosistémica. En este sistema se reconoce la influencia del factor natural y del factor humano, por lo que su estudio no se limita a las interacciones biofísicas entre el suelo y el cultivo, también integra la dinámica social, económica y cultural (Melgarejo y Bautista, 2019).

Un ecosistema dentro del contexto agrícola pasa a ser concebido como un agroecosistema (Gliessman, *et al*., 2006). El agroecosistema surge por la intervención humana sobre un ecosistema con el propósito de transformar éste hacia su uso agrícola, donde se genera la interacción de componentes del medio social, ecológico, económico y cultural. El propósito del sistema es ser una fuente de producción alimentaria sustentable que contribuya al bienestar social y permita la conservación de los bienes ambientales (Colegio de Postgraduados, 2025).

Un sistema agrícola está integrado por métodos, prácticas, técnicas y conocimientos que son aplicados al medio natural a través de la interacción humana, con la finalidad de contribuir a la producción de alimentos de manera

eficiente y sostenible (Ruthenberg, 1971). En estos sistemas, el aprovechamiento de los recursos es una cuestión apremiante, debido a que son utilizados para satisfacer las demandas sociales, al mismo tiempo que favorece la calidad de vida de los agricultores, por lo que, se debe considerar su manejo sostenible (Cleary, 2003). Autores como Altieri y Nicholls (2000) expresan que los agroecosistemas son ecosistemas condicionados por el ser humano con la intención de obtener beneficios a través de la agricultura, aunque éstos sufren modificaciones por presiones sociales y económicas vinculadas con la producción agrícola y la obtención de productos para el comercio. La viabilidad de un agroecosistema para ser sostenible depende de prácticas y conocimientos tradicionales, siendo la disciplina agroecológica la más adecuada para establecer el equilibrio entre la productividad y el cuidado del ambiente.

Para que un agroecosistema sea sostenible se requiere poner en práctica varias actividades y procesos amigables con los componentes del ambiente. Sarandón y Flores (2014) detallan que es indispensable contemplar de manera integral los componentes físicos, socioeconómicos y biológicos para que un agroecosistema alcance un manejo sustentable, siendo el enfoque de la agroecología una estrategia viable al respecto.

7.1.2 Agroecología

La visión de la agricultura sustentable se articula por un enfoque holístico, el cual busca la integración de diversas prácticas y métodos que coadyuven a mejorar las condiciones de manejo y estado de los sistemas agrícolas, entre la diversidad de campos científicos que versan sobre estas mejoras en el campo agrícola, diversos autores señalan que la orientación más acertada es la agroecología, considerada como una disciplina científica que busca comprender los componentes y procesos que constituyen el funcionamiento de los sistemas agrícolas, estableciendo medidas estratégicas que permitan el manejo eficiente y respetuoso del ambiente. Esta disciplina fomenta la creación de modelos de gestión agrícola que no se enfocan únicamente en la productividad, ya que también aporta consideraciones ecológicas y sociales con el fin de promover sistemas de producción agrícola estables (Sans, 2007).

La agroecología se ha consolidado como una perspectiva que pretende comprender la estructura de un agroecosistema, no obstante, esta sobrepasa su concepción como una disciplina científica, pues a pesar de que dispone de fundamentación teórica y metodológica, ésta se encuentra en constante retroalimentación, debido a que complementa su contenido con la integración de conocimientos de otras disciplinas, lo cual determina que su soporte científico esté consolidado desde un enfoque integral y transdisciplinario. La agroecología considera conocimientos científicos e incluye experiencias y conocimientos tradicionales del campesinado, haciendo que ésta posea un sustento científico y teórico mezclado con el saber cultural (Ruiz, 2006).

La agroecología también es considerada como un enfoque holístico y sistémico conformado por principios ecológicos aplicados a los sistemas agrícolas a través de su diseño y gestión, tienen como objetivo mejorar las condiciones en el ámbito social, cultural, ecológico, económico, político y ético, centrándose en obtener una producción que sea eficiente y rentable a futuro, mejorando la capacidad biológica de los cultivos y promoviendo el incremento de la biodiversidad funcional. Integra diversidad de procesos e interacciones que influyen en la dinámica de los sistemas agrícolas, aplicándolos para su perfeccionamiento con una visión centrada en la sustentabilidad (Sarandón y Flores, 2014).

La agroecología pretende incentivar el establecimiento o mejora de sistemas agrícolas, mismos que tengan la particularidad de ser sustentables y posean un equilibrio ambiental (Labrador y Altieri, 1995). La agricultura sustentable ofrece la alternativa de replantear la relación entre la producción de alimentos y el entorno natural, al permitir cambios en su estructura y relación (Sarandón y Flores, 2014), de hecho, la agroecología fortalece y fundamenta la capacidad de los agroecosistemas como la vía más adecuada para enfrentar los problemas de abastecimiento de alimentos sanos, limpios y saludables.

7.2 Establecimiento y manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región sur del Éstado de México

La presente propuesta se consolida como una alternativa que pretende integrar un conjunto de estrategias que permitan transitar hacia el establecimiento de sistemas agrícolas sustentables orientados a la producción de alimentos, contribuyendo de manera equitativa al fortalecimiento de la soberanía y seguridad alimentarias en la RSEM, siendo los agroecosistemas el espacio geográfico donde es posible incorporar prácticas, saberes y hacer partícipes a los agricultores y campesinos. La implementación de sistemas agrícolas sustentables en la RSEM representa una estrategia para enfrentar las problemáticas asociadas con la pérdida de superficies agrícolas, degradación del suelo y disminución de la producción agrícola.

La finalidad de la propuesta es reconocer las condiciones naturales y socioculturales para fomentar el establecimiento de sistemas agrícolas sustentables en la RSEM. Se pretende que los agroecosistemas sean viables, diversificados, bien estructurados y asuman la capacidad de producción constante a corto, mediano y largo plazo, sin comprometer los recursos naturales y culturales (Altieri, 1999c; Labrador y Altieri, 1995). De acuerdo con Labrador y Altieri (1995) para la transformación y establecimiento de agroecosistemas sustentables, es indispensable tomar en cuenta múltiples factores que inciden en el proceso:

a. La capacidad de carga del hábitat. Considerando el rendimiento productivo del agroecosistema y sus límites.
b. La adaptación del agroecosistema. Esto implica la armonía del sistema agrícola con las condiciones ambientales, siendo necesario realizar una evaluación, identificando su situación actual, disposición de vegetación natural, presencia de biomasa y compatibilidad de los cultivos.
c. Las características de las prácticas agrícolas locales. Éstas representan valiosos conocimientos, resultado de la evolución biológica y cultural y destacando la amplia diversidad, la capacidad de mitigar riesgos, la eficiencia en el reciclaje de nutrientes.
d. La conservación de los recursos renovables. Hay que considerar que los componentes del agroecosistema deben subsistir ya que son esenciales para su óptimo desarrollo y evolución.
e. El sustento de una producción eficiente y diversificada. Sin priorizar a un sólo componente, lo cual incide en la rentabilidad económica del agroecosistema, favoreciendo la inversión en el sector económico y ambiental.

Es fundamental tener presente la finalidad que debe cumplir un agroecosistema sustentable, siendo relevantes la conservación de los elementos ecológicos renovables, la adaptabilidad de los cultivos a las condiciones ambientales y su eficiente estabilidad. Además, es conveniente considerar que éstos deben poseer amplia biodiversidad y potencialidad de ser un centro de reciclaje de nutrimentos y material orgánico (Altieri, 1999c). Mantener el equilibrio de los agroecosistemas es fundamental, esto garantiza que su producción agrícola sea sustentable, por esta razón, es imprescindible conservar los recursos naturales que interactúan con el sistema, reduciendo su dependencia a insumos químicos externos.

7.2.1 Estrategias para la diversificación de cultivos

La diversificación de cultivos implica acciones estratégicas dentro del diseño de los agroecosistemas, las cuales poseen relevancia, ya que a partir de éstas se pueden aprovechar los beneficios de los cultivos y ampliar la biodiversidad y conservación en éstos, disminuyendo su dependencia a insumos externos. La implementación parte de la combinación de distintos tipos de cultivos, animales y prácticas agrícolas, por medio de varias técnicas, abonos y una adecuada planificación de recursos. El diversificar los cultivos ofrece múltiples ventajas, algunas de las más influyentes son: mejoramiento en la gestión sostenible de los bienes naturales, mayor disponibilidad de biota, regulación de plagas y enfermedades, contribución al reciclaje de nutrientes y mayor productividad (Flores y Sarandón, 2014). Enseguida se expone de ma-

nera concreta algunas estrategias que ayudan a diversificar los cultivos en los agroecosistemas.

Rotación de cultivos. Esta estrategia consiste en la alternancia o sucesión de cultivos que son sembrados en un área específica, durante determinados años o en secuencia temporal (Labrador y Altieri, 1995). El intercambio de cultivos es una de las principales acciones dentro de los sistemas agrícolas para optimizar el uso de los recursos en un estilo sostenible. La rotación permite integrar diferentes cultivos en donde cada uno aporta beneficios específicos al sistema. Al existir diversas especies en el sistema, éstas contribuyen a mejorar el control de malezas, plagas y patógenos, disminuye la erosión y la degradación del suelo, apoyan a la regulación de la biota y minimizan la susceptibilidad del sistema ante factores adversos (Flores y Sarandón, 2014).

La rotación de cultivos mejora la calidad del suelo en sus características físicas, químicas y biológicas, siendo una de sus ventajas más destacables, la capacidad para generar una producción estable y constante durante un ciclo, lo que contribuye de modo positivo en la seguridad alimentaria. Los efectos positivos de esta práctica se reflejan directamente en el estado del suelo, ya que incrementa sus nutrimentos de manera extraordinaria. Aunado a esto, el aumento de la producción favorece a la economía del agricultor, fortaleciendo su estabilidad financiera, por supuesto, la rotación de cultivos representa un paso crucial hacia el futuro de una agricultura sustentable y responsable (Infante y San Martín, 2003).

A su vez, evita la acumulación de diversos patógenos en el suelo, al realizar un constante cambio de especies vegetales, se interrumpe el ciclo de vida de los hongos, bacterias y nemátodos conllevándolos a su desaparición (Houben *et al*., 2020), desde luego, ayuda a interrumpir el ciclo de desarrollo de enfermedades y plagas, esto por medio de la siembra de plantas que contribuyan a minimizar el desarrollo de microorganismos dañinos (rotación activa), así como el uso de cultivos que influyan en el combate, o plantar especies que dificulten su supervivencia (rotación pasiva) (Labrador y Altieri, 1995).

Los sistemas agroforestales. Conforman una práctica de manejo y uso de la tierra basada en la integración de árboles forestales con cultivos agrícolas (y animales en algunos casos). La combinación de especies forestales con cultivos agrícolas permite el uso integral y sustentable de la tierra, generando interacciones con beneficios mutuos para ambos componentes, a la vez que se mejoran las condiciones ambientales del sistema, obteniendo una mayor producción (Farrell y Altieri, 1999). A esta práctica se le llama agroforestería. Donde Farell y Altieri (1999) señalan que los sistemas agroforestales pueden ser estructurados y clasificados de acuerdo con sus características y finalidades, enseguida se presentan algunos:

a. Agrosilvicultura. Es la producción de cultivos agrícolas combinados con cultivos boscosos.
b. Sistemas silvopastorales. Consiste en el manejo eficiente del suelo para cultivos boscosos, mejorando la producción de madera y la crianza de animales domésticos.
c. Sistemas agrosilvopastorales. Están orientados a la crianza animal, producción de cultivos agrícolas y cultivos forestales.
d. Sistemas de producción forestal multipropósito. Destinados a la producción forestal, preservando los recursos leñosos y combinándolos con la obtención de otros productos arbóreos, como frutos y hojas.

La integración de cultivos, árboles y animales en un sistema agroforestal, constituyen un espacio en donde se aprovechan las bondades naturales, que en su conjunto brindan protección ante la erosión tanto hídrica como eólica, a la vez mejora la capacidad de fijación del nitrógeno y contribuyen a la recuperación del suelo (Flores y Sarandón, 2014).

El cultivo de cobertura. Es una práctica agrícola que consiste en sembrar especies herbáceas, anuales o perennes, con el objetivo de cubrir y proteger el suelo durante todo el año o en un determinado período. Estos cultivos pueden ser establecidos de manera individual o en combinación con otros, en ocasiones pueden establecerse por diversas temporadas, mientras que otras se van incorporando durante el proceso o cuando sea conveniente (Altieri, 1999b). Estos cultivos tienen la capacidad de ser ingresados adicionalmente al sistema y pueden establecerse solos o en conjunto con otros cultivos, teniendo como función, prevenir la erosión eólica, la provocada por la lluvia o proteger ante el exceso de rayos solares, así como conservar la humedad y mejorar la salud del suelo (Desarrollo Agropecuario Integral Camino Real [DAIRC], 2022). El cultivo de cobertura es una alternativa para proteger el suelo de degradación física, específicamente por la erosión, además de contribuir a su fertilidad al mejorar su estructura, asimismo, ayuda a mitigar la presencia de patógenos, insectos y otras plagas, favoreciendo las condiciones del sistema para su óptimo desarrollo (Altieri, 1999b).

La cobertura vegetal permanente. Es una práctica agrícola que consiste en mantener una cubierta en el suelo de manera ininterrumpida o en casos especiales, ésta puede implementarse entre ciclos o al final de la temporada de cultivo (Fox Demo Farms Network, 2023). La aplicación de este tipo de cobertura en estado activo brinda beneficios al suelo, ya que permite la fijación de nitrógeno, aumenta la captura de carbono atmosférico, previene la degradación física y el desgaste continuo de las propiedades del sustrato, manteniendo su fertilidad. Es una opción accesible para la mayor parte de los agricultores con escasos recursos, pues esta técnica no requiere de excesivas inversiones (Guamán, *et al*., 2023).

Los policultivos. Esta práctica también se denomina como cultivos mixtos o cultivos consorciados y constituyen un sistema agrícola en donde se cultivan dos o más especies en la misma superficie, en un mismo período o en parte de su ciclo. En éstos se crea una interacción entre los cultivos, lo que mejora la productividad y biodiversidad del sistema (Flores y Sarandón, 2014). Los sistemas de policultivos ayudan a establecer combinaciones entre distintas especies, aunque éstas pertenezcan a un mismo ciclo o uno diferente, así como su posible asociación con cultivos perennes. El sistema puede presentar asociaciones simples, hasta la integración de múltiples especies en un mismo espacio, promoviendo así el aprovechamiento eficiente del terreno y los recursos (Liebman, 1999). Flores y Sarandón (2014) comparten que estos sistemas deben ser elaborados con base en los principios ecológicos, asegurando la obtención de excelentes beneficios, siendo estos:

a. Principio de producción competitiva: Éste ocurre cuando dos especies se desarrollan de forma conjunta en el mismo sitio agrícola, generando una competencia por los recursos disponibles. A pesar de esta interacción competitiva, las especies, con mayor requerimiento, pueden crecer adecuadamente, aprovechando los recursos de mejor manera estando juntas que separadas.
b. Principio de facilitación: Éste se refiere a la relación entre dos especies que conviven, donde una de ellas modifica el entorno de forma que beneficia a la otra. Esta interacción es causada por asociación de ambas especies, de modo que, al ser separadas, la interacción y sus beneficios desaparecen.

Por supuesto, estos principios están sujetos al tipo de cultivos, los componentes y las prácticas que se desarrollen en el sitio, por lo que, es importante determinar de manera coherente la combinación de cultivos. De hecho, los policultivos generan múltiples beneficios para los sistemas agrícolas, ya que ayudan a controlar malezas, plagas y enfermedades, reduciendo el uso de agroquímicos, y al mismo tiempo, se hace uso eficiente de la luz solar, el agua y los nutrientes del suelo (Liebman, 1999). También contribuyen a la protección y conservación del suelo, así como a las especies cultivadas, las cuales obtienen mayor producción al compartir el mismo espacio. En el ámbito social, aumentan la variedad de alimentos para las familias y comunidades locales, contribuyendo a la seguridad alimentaria (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2022).

7.2.2 Estrategias para la fertilidad del suelo

El sustento de la agricultura es el suelo, el cual debe poseer las propiedades adecuadas para el óptimo desarrollo de los cultivos. El sustrato edáfico constituye una compleja dinámica que debe comprenderse desde una perspectiva de interrelaciones, ya que, a pesar de su complejidad, éste conforma una unidad funcional para la actividad agronómica debido a su fertilidad, de la cual depende su capacidad de aportar nutrientes para el desarrollo vegetal, desempeñando una función esencial en los cultivos (Altieri, 1999a). A pesar de la relevancia del suelo para la agricultura, éste es afectado por prácticas no sustentables, por lo que, es esencial poner en práctica algunas acciones que contribuyan a mejorar sus propiedades.

Incorporación de estiércol. Esta práctica consiste en aplicar al sistema de cultivo estiércol de origen animal para contribuir a una mayor presencia de materia orgánica, proporcionando una fuente de suministros que incentivan la actividad de los microorganismos, favoreciendo su estructura, composición y fertilidad del suelo. La introducción de estos desechos animales, aporta una fuente de nutrientes fundamentales para el desarrollo vegetativo, como el nitrógeno, fósforo y potasio (Iglesias, 1995).

La labranza mínima y labranza cero. Estas prácticas agrícolas están relacionadas entre sí, pues ambas se vinculan con el proceso de siembra (Rawson y Gómez, 2001), aunque se diferencian en el grado de modificación utilizada en el suelo. La labranza mínima se basa en la modificación controlada de la tierra, donde exclusivamente se remueve la parte que será sembrada, de esta manera se tiene un bajo impacto en la estructura del suelo, conservando su estado y por ende su fertilidad. Por otro lado, la labranza cero o nombrada siembra directa, implica no remover el suelo durante la siembra, para no alterar su composición y estructura (Secretaria de Fomento Agropecuario, 2011). Es importante señalar que el proceso de labranza, tiene un efecto positivo en el control de plagas, ya que esta actividad altera la estructura del suelo, generando impactos en los insectos, ya sea de forma directa e indirecta, situación asociada con el cambio en las condiciones del suelo al ser descompactado y exponer a los insectos a sus depredadores naturales o causándoles daño físico durante el proceso de labranza (Stinner y House 1990 como se citó en Altieri, 1999e).

Así, esta actividad implica modificar la composición del suelo, lo cual crea una ruptura en el desarrollo de las enfermedades, eliminando y facilitando su descomposición, como resultado tiene mayor predominancia la actividad microbiana benéfica para el sistema. Una manera de complementar este proceso de labranza para el control de enfermedades, es con la eliminación directa de las plantas que han sido infectadas y de aquellas que sirven como hospederas de la enfermedad (Mónaco, 2014). El uso excesivo de esta práctica puede

generar impactos negativos, como la perdida de materia orgánica y microrganismos benéficos.

7.2.3 Aprovechamiento y reutilización de nutrientes en agroecosistemas

En los sistemas agrícolas, los nutrientes no permanecen estáticos, forman parte de una dinámica entre los componentes del sistema, participando en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos, mismos que consisten en el aprovechamiento funcional de los nutrientes. En la agricultura sustentable, se determina que la disponibilidad de recursos debe ser viable a largo plazo, siendo el suelo, uno de los más esenciales, el cual debe mantener sus propiedades, así como una excelente cantidad y calidad de nutrientes (Abbona y Santiago, 2014). Al respecto, existen técnicas agronómicas que pueden participar en los ciclos de nutrientes del suelo, al mismo tiempo que mejoran su presencia (Altieri, 1999a). Enseguida se describen algunas de las técnicas utilizadas con mayor frecuencia en la agricultura.

Sistemas mixtos. La puesta en práctica de sistemas agrícolas constituidos por diversos cultivos genera beneficios, tanto para el suelo como para la vegetación, pues la presencia de varios cultivos incrementa la biodiversidad del sistema y maximiza las dinámicas que son desarrolladas, esto favorece la actividad de microorganismos, micorrizas y fijadores. Además, la amplia variedad vegetal minimiza la pérdida de nutrientes y mejora la cantidad de materia orgánica (Flores y Sarandón, 2014).

Manejo de materia orgánica del suelo. El suelo es el sustrato esencial en la agricultura, por lo que, deben aplicarse algunas acciones que contribuyan a su resiliencia, mejorando su calidad y salud, ya que un suelo sano permite que los cultivos tengan un rendimiento eficiente. Existen variadas estrategias para mejorar la composición del suelo, por ejemplo, incorporación de materia orgánica para obtener mayor disposición de nutrientes, beneficiando su estructura y condición (Magdoff, 1999). La incorporación de materia orgánica se puede hacer con abonos naturales como la composta, lombricomposta, abono verde y estiércol.

La materia orgánica provee diversos beneficios a los agroecosistemas, siendo uno de éstos el control de enfermedades, ya que la incorporación de este material al suelo favorece el aumento de la biodiversidad microbiana, la cual desencadena una lucha biológica contra los patógenos reduciendo e inhabilitando de manera natural su actividad, mejora las condiciones del suelo, lo cual es fundamental para contrarrestar las oportunidades para el desarrollo de enfermedades, y desde luego, propicia el equilibrio sistémico, aportando nutrientes al suelo y a las plantas, mejorando su salud y su resiliencia ante patógenos que surgen por un estado fitosanitario deficiente (Labrador y Altieri, 1995).

Manejo eficiente del agua. El agua es el recurso básico en la producción agrícola, en especial para los cultivos que requieren abundancia para su crecimiento y desarrollo. Es el componente vital para la vida, y en la agricultura es indispensable para la hidratación de las plantas y los cultivos de regadío, es esencial en la actividad fotosintética del vegetal y el flujo de nutrientes en el agroecosistema. Debido a su relación directa con la agricultura, se ha reconocido como un elemento vital para la seguridad alimentaria (Rodríguez *et al*., 2024). En virtud de la importancia del recurso agua en la agricultura, enseguida se exponen algunas prácticas y técnicas para hacer un manejo eficiente:

a. Captación y almacenamiento de las aguas pluviales. Como su nombre lo sugiere, constituye la integración de sistemas que permitan captar el agua de lluvia, por ejemplo, el sistema de cosecha de agua de lluvia, la construcción de zanjas, bordos y cisternas (Fotografía 2).

b. Cobertura vegetal o acolchado (mulching). El acolchado es una técnica que consiste en cubrir el suelo con una capa de materiales orgánicos, como hojas, hierbas, restos de cultivos y vegetales, tiene la finalidad de crear un manto que lo proteja, reteniendo su humedad al evitar que los rayos solares incidan directamente sobre la superficie reduciendo la evapotranspiración (González, 2012). La cobertura vegetal es una técnica que también utiliza vegetación viva, y cumple los mismos objetivos que el *mulching* (Guamán, *et al*., 2023).

c. Prácticas de manejo de la calidad del suelo. La calidad del suelo va más allá de su fertilidad, ésta debe integrar las propiedades que posee y los elementos que lo componen. No obstante, el principal uso reside en su capacidad de producción, sin ocasionar afectaciones al ambiente (Magdoff, 1999). Los suelos de calidad generalmente conformados por la presencia de grandes cantidades de materia orgánica funcionan como un mecanismo de absorción, donde se almacena el agua infiltrada en los componentes orgánicos del suelo y son absorbidos de manera gradual por los cultivos (University of Minnesota Extension, 2019). Entre las prácticas que contribuyen al almacenamiento y retención del agua a través de la incorporación de materia orgánica se encuentran: la composta, lombricomposta, implementación de cobertura vegetal, uso de abonos verdes, aplicación de estiércol, restos de cosecha y vegetales.

d. Suministro eficiente por sistemas de riego. Estos sistemas tienen relevancia para proveer de modo correcto el agua a los cultivos, evitando pérdidas hídricas por infiltraciones, escurrimientos y evapotranspira-

ción. Algunos de los sistemas de irrigación más frecuentes son: riego por goteo, donde se dota de agua a los cultivos por medio de goteros en partes estratégicas de planta (Fotografía 3); riego por microaspersión que se basa en la irrigación por medio de micropartículas de agua, optimizando su absorción; y riego por aspersión, aquí se crea un ambiente similar a la lluvia, generando gotas (Araque, 2022).

e. Obras y Estructuras. Estas estrategias son comunes en zonas con un relieve geomorfológico complejo e irregular, situación peculiar en la región sur del Estado de México. Las terrazas de formación de sucesión son construcciones de plataformas que permiten establecer cultivos (terrazas agrícolas) en terrenos con inclinaciones, al crear una estructura que contribuye a minimizar los procesos erosivos. Esta estructura beneficia el desarrollo agrícola al contrarrestar el grado de inclinación, además de ser zonas que retienen humedad, por lo que, el suministro de agua no representa una limitante (CONAFOR, 2020). Los agroecosistemas establecidos en los sistemas de terrazas representan una alternativa para el manejo del agua, asimismo contribuyen a disminuir los procesos erosivos, favoreciendo la conservación del suelo y otros elementos del ambiente. Las zanjas son excavaciones en el terreno y que consideran como referente las curvas de nivel, su finalidad es captar aguas de escorrentía, permitiendo su acumulación e infiltración de manera sucesiva. Contribuyen a la prevención de la erosión, mejorando la calidad del suelo al humedecerlo y sirven como protección para los cultivos. Al igual que las terrazas, son implementadas en sistemas agrícolas que se sitúan en terrenos con pendientes, ya que facilitan la retención de agua y minimizan los efectos de la erosión (CONAFOR, 2020).

Fotografía 2 y 3. Captación de agua para irrigación de cultivos (izquierda). Sistema de irrigación por goteo (derecha). Progreso Hidalgo, Municipio de Villa Guerrero, Estado de México

Fuente: trabajo de campo (2024).

7.2.4 Manejo de plagas y enfermedades

Debido a que en un agroecosistema todos los elementos se encuentran interconectados, la presencia de un factor impulsor podría influir en el sistema, causando impactos positivos y negativos, sobre el resto de los componentes. En este sentido, la presencia de plagas en los cultivos es una latente amenaza, por lo que, se deben emprender acciones sustentadas en la agroecología, determinando métodos y prácticas para el control natural y sitúen el uso de plaguicidas como última alternativa (Altieri, 1999e; Labrador y Altieri, 1995). La agricultura sustentable plantea que las plagas no deben ser eliminadas, sino que éstas deben controlarse de manera ambientalmente responsable, por este motivo, es conveniente comprender el funcionamiento del agroecosistema y sus interacciones ecológicas, esto desde una dimensión global, identificando las opciones más convenientes para el control de plagas y enfermedades en los cultivos (Paleologos y Flores, 2014). De hecho, el manejo de plagas y enfermedades también puede hacerse desde un enfoque agroecológico, como las que se enuncian enseguida.

Cultivos resistentes. Son diferentes cultivos que debido a sus características son menos susceptibles al ataque de las plagas, además, pueden mantener un rendimiento considerable a pesar de sufrir algún daño o perjuicio por las plagas. Los cultivos resistentes pueden ser de tres tipos: I) No preferenciales, contiene plantas que no son llamativas como alimento; II) Tolerantes, son plantas que soportan y se recuperan ante los daños recibidos; III) Antibióticas, son plantas que poseen capacidades defensivas físicas (espinas, pelo y tricomas) o químicas (toxinas). También se incluyen las plantas transgénicas, que tienen mayor capacidad de resistencia y adaptabilidad ante la presencia de plagas (Paleologos y Flores, 2014).

Control biológico. Es una estrategia para eliminar o controlar las plagas de manera natural mediante sus enemigos naturales, y que se clasifican en tres tipos: a) Depredadores, que se alimentan de las plagas; b) Parasitoides, insectos que depositan huevos sobre la plaga, posteriormente las larvas crecer alimentándose del huésped hasta provocar su muerte; y c) Patógenos, son microorganismos que enferman y matan a los insectos plaga (Falconí, 2013). De igual modo, se puede efectuar el control mecánico de plagas siendo una medida más drástica, la cual implica eliminar y destruir los insectos, así como partes de las plantas que estén infestadas (Falconí, 2013).

Para el caso de manejo de enfermedades en los agroecosistemas, existen técnicas y estrategias que funcionan como alternativas para disminuir la presencia de enfermedades en el sistema. Éstas son establecidas desde la perspectiva agroecológica, buscando una medida preventiva que ayude a fortalecer la salud del sistema y reducir las condiciones que favorecen el desarrollo de patógenos. La solarización y la biosolarización son técnicas naturales para controlar la actividad biológica en el suelo a través de la temperatura. La solarización consiste en colocar un plástico transparente sobre el suelo húmedo, generalmente durante la estación más calurosa del año (verano) con el objetivo de crear un ambiente térmico alto para eliminar fitopatógenos, insectos y malezas. La biosolarización, proceso similar, incorpora restos vegetales y compostas para incentivar la actividad microbiana, eliminando patógenos y malas hierbas, sin hacer uso de agroquímicos (SADER, 2016). Otras acciones vinculadas con el manejo de enfermedades están vinculadas con la diversificación de cultivos, incorporación de materia orgánica y labranza del suelo.

7.2.5 Aspectos esenciales para transitar a sistemas agrícolas sustentables

Hasta el momento, se han sugerido métodos, prácticas y acciones que pueden implementarse en los sistemas agrícolas para el uso adecuado de los recursos disponibles, obtener una producción sostenible y mejorar las condiciones de vida de los agricultores (campesinos). Por supuesto, se debe pensar, en que la integración de éstas no garantiza su completo éxito, ya que un agroecosistema ésta integrado por diversos factores, siendo importante dentro del sistema, la intervención humana, es decir, la participación social, misma que constituye un pilar esencial al emprender acciones y prácticas de manera directa o indirecta, donde ambas tienen el mismo nivel de importancia para el manejo adecuado del ecosistema agrícola.

De acuerdo con lo señalado por Marasas, *et al*. (2014) la ejecución de prácticas agroecológicas en los cultivos no aborda en su totalidad la visión de la agricultura sustentable, pues ésta incluye un enfoque más extenso y global de las interacciones que influyen en el sistema, enfatizando la incorporación de la sociedad como un elemento determinante en su desarrollo, esto a partir de su ámbito social, económico y político, así como el manejo de tecnologías

de modo responsable. Lograr una agricultura que sea sustentable, debe integrar al componente ecológico y humano de manera simultánea, donde el rol humano es indispensable para la actividad agrícola, al considerar los cuatro componentes que dan origen a acciones que traspasan el sistema agrícola y lo conllevan hacia la sustentabilidad. La perspectiva de la agricultura sustentable incluye un cambio en las prácticas agrícolas y un avance en la sociedad del sector agrícola (Altieri, 1999d; Altieri y Nicholls, 2000).

Contexto político. Es un factor importante en la agricultura, ya que a través de ésta es posible establecer lineamientos agrícolas que contribuyan a su desarrollo, teniendo en cuenta las necesidades socioeconómicas de los agricultores y los requerimientos agroambientales de los cultivos, siendo esencial este factor para avanzar hacia la sustentabilidad agrícola (Labrador y Altieri, 1995). La actuación política debe establecer un marco normativo que beneficie al sector agrícola, desde luego, considerando la distribución de recursos e incentivando programas y planes de acción que promuevan la productividad de los cultivos y mejoren las condiciones sociales de los agricultores.

La iniciativa de políticas en materia agrícola debe partir de una perspectiva agroecológica, atendiendo las necesidades en todas las escalas espaciales (local, regional y nacional) y emprender acciones a favor del manejo sustentable de los sistemas agrícolas. Además, se debe valorar las condiciones socioeconómicas de los agricultores y de los recursos con los que cuentan, con el propósito de establecer políticas efectivas y apegadas a la realidad (Marasas, *et al*., 2014). Situación por la cual, se requiere la participación social en el diseño de políticas, incluyendo su cultura (saberes, experiencias, prácticas, conocimiento tradicional) y fomentando el respeto por los sistemas productivos, condiciones que pueden fomentar la transición hacia una agricultura sustentable y justa.

En el contexto de México, las políticas agrícolas están vinculadas con estas posturas, donde se tiene como meta principal el mejoramiento del nivel de vida y bienestar de los núcleos agrarios y sus integrantes, aplicando de manera sustentable los recursos con los que disponen (Procuraduría Agraria, 2020). En este sentido, durante el 2025, el gobierno mexicano, ha establecido programas dirigidos al mejoramiento del sector agrícola, los cuales son promovidos por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER] y cuya finalidad es proveer productos a precios favorables, permitiendo una mejor producción en beneficio del bienestar de los agricultores, principalmente aquellos de pequeña y mediana escala (SADER, 2024b). Algunos programas básicos son:

a. Fertilizantes para el bienestar
b. Producción para el bienestar
c. Fomento a la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura
d. Cosechando soberanía

e. Precios de garantía
f. Abasto rural

Contexto social. Este componente desempeña un papel clave en la dinámica de los sistemas de producción agrícola, ya que las relaciones y estructuras sociales de los productores son elementales para la implementación de prácticas agroecológicas (Marasas, *et al*., 2014). Las estructuras sociales desempeñan un rol importante para los desafíos de la producción, ya que mediante la cooperación se atienden problemáticas y se genera una reflexión de solución a largo plazo. La organización y acción colectiva representa una oportunidad para iniciar la transición hacia prácticas agroecológicas eficientes en contraste a las convencionales (Altieri y Nicholls, 2000). El factor social es pilar básico para avanzar hacia la sustentabilidad agrícola, pues como lo refieren Labrador y Altieri (1995) para lograr esto, deben participar todos los actores sociales (agricultores, comerciantes, consumidores). En este caso, los programas sociales deben plantear acciones que fomenten la cooperación entre agricultores y la sociedad, y de esta forma, garantizar la seguridad y soberanía alimentarias.

Contexto tecnológico. La inclusión de la tecnología para transitar hacia la sustentabilidad de los sistemas agrícolas depende de las modalidades de adopción que sean consideradas al momento de su incorporación, pues uno de los retos de la tecnología en los sistemas de cultivo está vinculado con el acceso y costo de adquisición de los insumos, generando diferencias entre los productores, siendo los pequeños y medianos productores quienes sufren limitaciones de acceso, mientras que los grandes productores acceden fácilmente a equipos, maquinarias y herramientas tecnológicas (Labrador y Altieri, 1995).

El punto clave para avanzar hacia una agricultura sustentable se basa en encontrar el equilibrio entre las dos realidades. Aquí, es fundamental que las tecnologías sean las adecuadas para cada necesidad y capacidades de cada productor, evitando el uso de agroquímicos y el empleo de técnicas que provocan impactos ambientales. Las tecnologías son viables para la agricultura, no obstante, éstas deben ser empleadas sin causar daños en la biodiversidad y los ecosistemas. Para lograr este equilibrio es indispensable la capacitación de los agricultores, permitiendo que se haga uso correcto de las tecnologías y que éstas contribuyan al mejoramiento agrícola, pues se ha identificado que el ingreso tecnológico en el campo mexicano ha sido una realidad, sin embargo, la falta de acompañamiento técnico rezaga las oportunidades de su eficiente uso (Ramírez *et al*., 2013).

Contexto Económico. El factor económico tiene relación directa con la productividad, ésta depende de la disposición de productos alimentarios, condición que favorece a que esta relación cada vez tenga mayor fuerza, ya que la demanda de alimentos muestra una tendencia ascendente mientras que la

producción es descendente. Esto plantea interrogantes que atienden la situación ambiental ante la inminente necesidad productiva de la agricultura y el uso intensivo de sus recursos para satisfacer las demandas sociales. Es urgente que la transición hacia sistemas de producción agrícola responda de manera eficiente a las necesidades actuales, ya que al instaurar sistemas que reconozcan el contexto ambiental y social (demanda alimentaria y condiciones de los agricultores) da cabida a concientizar la importancia que desempeña cada elemento, vislumbrando prácticas adecuadas que coadyuven a soluciones oportunas. Al cumplir con estos criterios es posible transitar hacia la agricultura sustentable, atendiendo todos sus componentes y obteniendo un beneficio bidireccional, favoreciendo al ambiente y mejorando la estabilidad socioeconómica de los productores (Labrador y Altieri, 1995).

Desde otra perspectiva, expresan Marasas, *et al.* (2014) que la economía debe de entenderse también como una interacción de flujo monetario, debiendo prestar especial atención al mercado, ya que éste influye de modo directo en la viabilidad económica de la producción agrícola. La industria ha condicionado estándares por denominarlos estéticos y de calidad de los productos, lo que limita en gran medida la diversidad natural de los cultivos y tiende a obligar a los agricultores a adoptar prácticas mediante el uso de mayores insumos y tecnificación que permitan obtener productos que cumplan con estos estándares. Al considerar las dos perspectivas, resulta evidente que la producción agrícola debe ser orientada hacia métodos naturales, basados en principios agroecológicos en conjunción con la sustentabilidad, atendiendo así las exigencias del mercado generando beneficios en el ámbito socioeconómico y el ambiental.

A manera de resumen, las estrategias contenidas en esta propuesta tienen como finalidad servir de base para identificar prácticas que guíen la transición hacia sistemas agrícolas sustentables. Las prácticas son tomadas desde una visión integral de diversas disciplinas que buscan la optimización agrícola, donde la agroecología ha sido el enfoque más acertado debido a su postura de respeto ambiental y su orientación a la producción sostenible, considerando el beneficio social y ecológico.

Las prácticas agroecológicas buscan la refuncionalización y conservación del suelo, propiciando múltiples beneficios para los cultivos. Asimismo, éstas deben ser complementadas con la diversificación de productos agrícolas y un correcto manejo y gestión del sistema, atendiendo plagas y enfermedades en favor de reducir la vulnerabilidad de los cultivos, asegurando la productividad y, en consecuencia, mejorando la calidad de vida de los agricultores. La postura sustentable de los sistemas agrícolas contribuye a su producción eficiente a largo plazo, sin comprometer su disponibilidad futura al fomentar el cuidado y conservación de los bienes naturales que intervienen en el sistema,

fortaleciendo la seguridad y soberanía alimentarias en distintas dimensiones y escalas.

La transición hacia la agricultura sustentable no depende únicamente de las acciones directas en los agroecosistemas, sino de intervenciones que trasciendan esta visión, por lo que, el reconocimiento de los componentes políticos, sociales, económicos y tecnológicos, son esenciales para avanzar. La intervención política es fundamental al impulsar lineamientos y políticas agrícolas que incidan en la implementación de prácticas sustentables mediante la capacitación del sector campesino, facilitando el acceso a recursos y programas que brinden beneficios sociales e involucrando la participación activa de los agricultores. La interacción y contribución en el sistema deberá vincularse con la eficiente producción y funcionamiento, acompañándose de tecnologías que faciliten y maximicen el manejo de los sistemas agrícolas.

Reflexiones finales

La región sur del Estado de México ha presentado una compleja dinámica territorial, evidenciada por la diversidad de procesos de cambio de uso del suelo y transformaciones del paisaje, principalmente los vinculados con la actividad agrícola, siendo el hallazgo más relevante la tendencia hacia la disminución de los espacios agrícolas en comparación con el incremento, mismo que prevalece, pero fue menos representativo al final de 2021. Ya que, entre 2005 y 2013 se registró una disminución de 69.35 km² en la superficie agrícola, mientras que entre 2013 y 2021 se detectó una pérdida adicional de 36.53 km². En conjunto, esto representa una reducción total de 105.88 km² de tierras destinadas al uso agrícola. El principal cambio asociado a esta transformación del territorio corresponde a la transición del uso del suelo agrícola hacia áreas de vegetación secundaria, reflejando una dinámica de sustitución del suelo productivo por vegetaciones naturales en proceso de regeneración. Este escenario puede estar sujeto a las condiciones de degradación de los suelos, debido a prácticas intensivas no sustentables en el pasado, provocando disminución en su fertilidad y, eventualmente su abandono. Sin duda, la expansión agrícola generó afectaciones en ecosistemas propios de la RSEM, revelando así escasez de gestión, mínima aplicación de políticas agrícolas eficientes y falta de cuidado ambiental en los últimos años, por ello es fundamental emprender acciones emergentes de mitigación.

Respecto al análisis de la producción agrícola de alimentos en la RSEM, es obvio un escenario con declive en las áreas agrícolas, ya que la superficie sembrada reveló una continua disminución, repercutiendo en el volumen de producción, situación probablemente relacionada con el deterioro del suelo y cambios en las actividades económicas de los agricultores. Pese a eso, el valor de producción prosiguió en aumento, indicando que el costo de los productos agrícolas ha sido mayor, mientras que la producción ha disminuido de forma gradual. Este panorama podría ocasionar una disminución aun mayor, no sólo en la producción de alimentos, sino en la variedad de éstos, pues cada vez, es menor la presencia de cultivos básicos en la RSEM, lo cual podría conllevar a una concentración en la plantación de productos agrícolas más rentables como el aguacate y flores. Esta situación que todavía no es crítica, podría serlo en un futuro próximo, ocasionando impactos en la productividad del sistema agrícola y en la seguridad alimentaria, provocando al mismo tiempo, dependencia de la importación de productos alimenticios para satisfacer la demanda poblacional.

La interacción de las condiciones de los suelos y la producción de alimentos ponen de manifiesto que la RSEM no sólo ha presentado procesos de cambio en su paisaje natural, sino también ha modificado su capacidad funcional como fuente de sustento, toda vez que, es evidente el rezago en las zonas agrícolas y disminución en la productividad, condición que plantea múltiples desafíos sobre el futuro agrícola de las jurisdicciones municipales de la región.

Ante las circunstancias agrícolas en la RSEM, la identificación de zonas potenciales para el establecimiento de cultivos agrícolas es una estrategia viable que puede contribuir a mejorar la gestión del territorio, pues uno de los resultados de la investigación fue la localización de áreas que presentan las características más favorables para el desarrollo de cultivos, resultados que se integraron con un previo análisis de la información sobre el cambio de uso del suelo, en el cual se identificaron áreas pertinentes para su reacondicionamiento agrícola. Estos espacios consolidan alternativas territoriales para mitigar los impactos provocados por las actividades y procesos asociados con la transformación de uso del suelo. Teniendo como referencia los resultados recopilados en la investigación es posible atender dos realidades latentes en la RSEM: a) impulsar la conservación ecosistémica para no generar impactos ecológicos relevantes y b) mejorar la disponibilidad de tierras productivas para la agricultura sustentable.

En el territorio de la RSEM, algunos espacios presentaron indicios de degradación, posiblemente provocada por la actividad agrícola -no sustentable-, sin duda, esta degradación compromete las capacidades del suelo para sostener cultivos, a pesar de que éstos presentan condiciones ambientales favorables, pero tampoco determinan en concreto su viabilidad para el óptimo desarrollo vegetativo. Al respecto, se recomiendan estrategias ambientales para retribuir su capacidad agrícola a los suelos degradados, aportando al mejoramiento de su estructura, disponibilidad de nutrimentos y actividad microbiana. Esta visión de recuperación agrícola plantea la inherente urgencia de transitar hacia nuevas modalidades de producción, donde se focalice el cuidado y preservación de los recursos naturales, en especial el suelo y el agua asegurando su productividad, sin descuidar su capacidad futura.

Se puntualiza que en la RSEM los problemas más sobresalientes son: a) procesos acelerados de cambio de uso del suelo, b) descenso de la producción agrícola y c) degradación ambiental. Y para mitigarlos se sugiere que una alternativa viable -aunque lenta- es transitar hacia la agricultura sustentable, ya que en ésta interactúan los ámbitos ecológicos, socioeconómicos y culturales, razón por la cual, se enfatiza en primer plano, la recuperación de espacios degradados, plantear alternativas para favorecer y mejorar el contexto agrícola de la región y garantizar la producción de alimentos para la población.

Contemplando la situación ambiental y agrícola de la RSEM, la agroecología representa un pilar fundamental para solidificar la visión de la agri-

cultura sustentable, esto al plasmar acciones y prácticas que convergen en la sustentabilidad de los agroecosistemas familiares y comerciales (destinados al abastecimiento de los mercados). Por esta razón, la propuesta incluida integra iniciativas clave que pueden posibilitar el establecimiento de sistemas agrícolas sustentables. Debido a que se encuentra integrada con estrategias que plantean la diversificación de cultivos, mejoramiento de la fertilidad del suelo, contribución al aprovechamiento y reutilización de nutrientes, así como el apoyo en el manejo de plagas y enfermedades. Indudablemente, la postura de la agricultura sustentable requiere de la participación de diversos actores sociales, buscando fomentar la colaboración e intercambio de saberes y conocimientos, promoviendo el cuidado ambiental y las prácticas responsables y socialmente justas.

La transición hacia una agricultura sustentable fundamentada en los principios agroecológicos no es considerada como algo deseable, sino como algo emergente y necesario para hacer frente a las problemáticas contextualizadas de la región sur del Estado de México, principalmente al abastecimiento de alimentos para la población. Este enfoque puede ser útil para encontrar el punto de equilibrio entre la satisfacción de las necesidades alimentarias y la gestión responsable de los recursos naturales, contribuyendo en la continuidad de los procesos ecológicos y el desarrollo humano de las comunidades de la RSEM.

Bibliografía

Abbona, E. A., y Santiago, S. J. (2014). Manejo de nutrientes en los agroecosistemas. En Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (pp. 211-234). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata [EDULP]. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1

Aché, D. B. (2010). La síntesis en geografía. *Terra*, *26*(40), 71-98. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72116276004

Acosta, A. G. A. (2017). *La seguridad alimentaria en México y su problemática en el contexto del desarrollo*. Instituto de Investigaciones Estratégicas de la Armada de México. https://cesnav.uninav.edu.mx/cesnav/ININVESTAM/docs/docs_analisis/da_02-17.pdf

Aguilar, R. M., y Contreras, S. C. (2009). La geografía ambiental: orígenes, ámbitos de estudio y alcances. En Chavéz, T. M., González S. O., y Ventura, P. M. C. (Eds.), *Geografía humana y ciencias sociales. Una relación reexaminada* (pp. 261-296). Colegio de Michoacán. https://www.researchgate.net/publication/312280826_La_geografia_ambiental_origenes_ambito_de_estudio_y_alcances

Aldababseh, A., Temimi, M., Maghelal, P., Branch, O., y Wulfmeyer, V. (2018). Multi-Criteria Evaluation of Irrigated Agriculture Suitability to Achieve Food Security in an Arid Environment. *Sustainability*, *10*(3), 803. https://doi.org/10.3390/su10030803

Aloo, B. N., Tripathi, V., Makumba, B. A., y Mbega, E. R. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1002448. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002448

Altieri M. A (1999a). Agricultura tradicional. En. Altieri M. A. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 103-136). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Altieri M. A (1999b). Cultivos de cobertura y utilización de Mulch. En. Altieri M. A. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 203-215). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Altieri M. A (1999c). Diseño de agroecosistemas sustentables. En. Altieri M. A. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 87-102). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Altieri M. A (1999d). Hacia una agricultura sustentable. En. Altieri M. A. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 306-315). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Altieri M. A (1999e). Manejo integrado de plagas. En. Altieri M. A. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 247-259). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Altieri, M. A. (2002). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En Altieri, M. A, (Ed.), *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable* (pp. 27-34). Ediciones Científicas Americanas.

Altieri, M., y Nicholls, C. (2000). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Teoria_agricultura_sustentable.pdf

Andrade, M. E., De Niz, L., E. M., Benítez, M., M. Á., Olguín, L. J. L., Guevara, G. R. D., Meza, R. D., y Villalvazo, L. V. M. (2019). Identificación de áreas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la Cuenca de Autlán, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central,* (62), 1-32. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25632019000100001

Arango, M. X. A., y Cuevas, P. V. A. (2014) *Método de análisis estructural: matriz de impactos cruzados multiplicación aplicada a una clasificación* (MICMAC). https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25569w/Metodo%20de%20analisis%20estructural.pdf

Araque, R. A. (2022, 20 octubre). Tipos de sistemas de riego: ventajas y desventajas de cada uno. *Gestión Agroambiental*. https://gestionagroambiental.com/tipos-de-sistemas-de-riego-2/

Arcade, J., Godet, M., Meunier, F., y Roubelat, F. (2004). *Análisis estructural con el método MICMAC, y estrategia de los actores con el método MACTOR*. Millennium Project del American Council for the United Nations University. https://www.academia.edu/10818557/AN%C3%81LISIS_ESTRUCTURAL_con_el_m%C3%A9todo_MICMAC_y_ESTRATEGIA_DE_LOS_ACTORES_con_el_m%C3%A9todo_MACTOR

Armenta, B. A. D., García, G. C., Camacho, B. J. R., Apodaca, S. M. Á., Gerardo, M. L., y Nava, P. E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, *6*(1), 51-56. https://www.redalyc.org/pdf/461/46112896007.pdf

Asnawi, R., Arifin, B., Zakaria, W. A., Banuwa, I. S., y Abidin, Z. (2020). Analysis of key variables for rice farming sustainability in the downstream of Sekampung watershed: an application of MICMAC method. *Plant Archives, 20*(2), 7895-7904. https://plantarchives.org/20-2/7895-7904%20(6473).pdf

Barati, A. A., Azadi, H., Dehghani Pour, M., Lebailly, P., y Qafori, M. (2019). Determining Key Agricultural Strategic Factors Using AHP-MICMAC. *Sustainability, 11*(14), 3947. https://doi.org/10.3390/su11143947

Bizzozero, F. (2006). *Tecnologías apropiadas. Biofertilizantes. Nutriendo cultivos sanos*. Centro Uruguayo de Tecnologías Apropiadas [CEUTA]. https://www.ciaorganico.net/documypublic/822_Biofertilizantes-_cultivos_sanos.pdf

Bocco, G., y Urquijo, P. S. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y sociedad*, *25*(56), 75-102. https://www.redalyc.org/pdf/102/10225596001.pdf

Bocco, G., y Urquijo, P. S. (2010). La geografía ambiental como ciencia social. En Lindón, A., y Hiernaux, D. (Dirs.), *Los giros de la geografía humana. Desafíos y horizontes* (pp. 259-270). Anthropos. https://www.academia.edu/54936135/Los_giros_de_la_geograf%C3%ADa_humana_desaf%C3%ADos_y_horizontes_directores_Alicia_Lind%C3%B3n_y_Daniel_Hiernaux_Barcelona_Anthropos_y_UAM_Iztapalapa_ISBN_978_84_7658_993_9

Briassoulis, H. (2020). *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches* (2ª ed.). WVU Research Repository, 2020.

Camacho, S. J. M., Juan, P. J. I., Pineda, J. N. B., Cadena, V. E. G., Bravo, P. L. C., y Sánchez, L. M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y bosques*, *21*(1), 93-112. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100008

Campos, V. M. M., Monroy, G. J. F., Campos, A. J., y Cadena, V. E. (2013). Geografía y análisis espacial hacia la ciudad del conocimiento. Evaluación multicriterio y sig idrisi en la zonificación del uso de suelo urbano del crcytab en Almoloya de Juárez, México. En Campos, V., Monroy, G., y Pineda, J. (Coords.), *Estudios geográficos con técnicas de evaluación multicriterio* (pp.19-64). AM Editores.

Cardozo, A., El Mujtar, V., Álvarez, V. y Sisón C. (2021). *Producto 5. Manual para la elaboración de biofertilizante a partir de desechos agropecuarios*. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria [FONTAGRO]. https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16680_-_Producto_5.pdf

Carrillo, S. S. M., Puente, R. J., Montes, R. S., y Cruz, O. R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, (129), e1932. Epub 21 de noviembre de 2022.https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932

Carton de Grammont, H. (2009). La desagrarización del campo mexicano. *Convergencia*, *16*(50), 13-55. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352009000200002

Ceballos, S. A. P., y López. B. J. (2010). Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio-SIG. *Terra Latinoamericana*, *28*(2), 109-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000200002&lng=es&tlng=es.

Ceballos, S. A., y López, B. J. (2002). Toma de decisiones en planeación territorial: evaluación multicriterio en la identificación de áreas adecuadas para cultivos en el DDR Toluca. *Quivera Revista de Estudios Territoriales, 4*(7), 29-48. https://quivera.uaemex.mx/article/view/10751

Ceccon, E. (2008). La Revolución Verde: tragedia en dos actos. *Ciencias, 1*(91), 21-29. https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf

Celemín, J. P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: un análisis compartativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), 3*(6), 47-63. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/17466/CONICET_Digital_Nro.11456.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. (2023, 16 de octubre). *La agricultura sustentable: una herramienta para reducir la pobreza rural*. CIMMYT. https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-agricultura-sustentable-una-herramienta-para-reducir-la-pobreza-rural/

Chilón C. E. (2017). Revolución Verde Agricultura y suelos, aportes y controversias. *Apthapi, 3*(3), 844–859. https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/195

Clark University. (20 de noviembre 2024). *Land Change Modeler. Clark Center for Geospatial Analytics.* https://www.clarku.edu/centers/geospatial-analytics/terrset-liberagis-features/land-change-modeler/

Cleary, D. (2003). Breve panorama de los sistemas agrícolas. En Cleary, D., *Breve estudio bibliográfico y comparativo de enfoques centrados en las personas, programa de apoyo a los Modos de Vida Sostenibles (LSP), serie de documentos de trabajo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO].* https://www.fao.org/4/ad682s/ad682s00.htm#Contents

Colegio de Postgraduados. (2025). PE LPI 2: Plan Estratégico de la Línea Prioritaria de Investigación en *Agroecosistemas Sustentables.* https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/LPI/lpi-2/PE%20LPI%202.pdf

Collins, T., y Wischnewski, W. (2022). Degradación crónica de las tierras: Las Naciones Unidas ofrecen serias advertencias y remedios prácticos en su *informe Perspectiva Global de la Tierra 2*. United Nations Convention to Combat Desertification. https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/Spanish.pdf

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2021). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado, año agrícola 2020-2021.* Comisión Nacional del Agua. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EADTT-2020-2021.pdf

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2020). *Manual de conservación de suelos*. Comisión Nacional Forestal. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310manual%20de%20conservacion%20de%20suelos%20.pdf

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2022, 30 de diciembre). *Se reduce en 26% la tasa anual de deforestación*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conafor/prensa/se-reduce-en-26-la-tasa-anual-de-deforestacion

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2020, 18 de febrero). Monitoreo de la cobertura de suelo. *Biodiversidad mexicana*. https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo

Companioni, G. B., Domínguez, A. G., y García, V. R. (2019). Trichoderma: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Biotecnología Vegetal, 19*(4), 237-248. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000400237&lng=es&tlng=es.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT]. (2022). Manos a la obra: como aplicar las prácticas MEIA policultivos anuales. *Manejo Ecológico Integral de Arvenses en México*, (15). https://secihti.mx/wp-content/uploads/publicaciones_conacyt/boletines_tematicos/MEIA_15_Policultivo_anua.pdf

Cotler, H., Corona, J. A., y Galeana, P. J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, (101). https://doi.org/10.14350/rig.59976

Cuadra, D. E. (2013). Teoría de la geografía: reflexiones en torno a la identidad de la disciplina. *Perspectiva geográfica, 18*(2), 325-346. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5626933

Cuadra, D. E. (2014). Los enfoques de la geografía en su evolución como ciencia. *Geográfica digital, 11*(21), 1-22. https://doi.org/10.30972/geo.11212186

Cuenca, G, C. A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., y Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia, 32*(1), 23-29. Recuperado en 03 de mayo de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100006&lng=es&tlng=es.

Curiel, R. (2013). MasAgro por la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola sustentable de México. *Revista Claridades Agropecuarias*, 237, 9-18.

Da Silva, C. J., y Cardozo, O. D. (2015). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). GeoFocus. I*nternational Review of Geographical Information Science and Technology*, (16), 23-40. https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/445

de Gortari Raviela, R. (2020). De la Revolución Verde a la agricultura sustentable en México. *Nueva antropología, 33*(92), 66-86. https://revistas.inah.gob.mx/index.php/nuevaantropologia/article/view/15995

Desarrollo Agropecuario Integral Camino Real [DAIRC]. (2022, 8 de agosto). *Qué son los abonos verdes y los cultivos de cobertura*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-son-los-abonos-verdes-y-los-cultivos-de-cobertura/

Díaz, N., Guerrero, A. A., y Fajardo, E. J. (2023). Un enfoque de SIG-AHP para determinar la sustentabilidad productiva para el Páramo de Santurbán, Colombia. *Luna Azul*, (57), 122-147. 10.17151/luaz.2023.57.8

Domínguez, B. J. (2000). *Breve introducción a la cartografía ya los sistemas de información geográfica (SIG).* Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [Ciemat]. Ministerio de Ciencia y Tecnología. https://www.researchgate.net/publication/237467702_Breve_Introduccion_a_la_Cartografia_y_a_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG

Donald, P. F., y Evans, A. D. (2006). Habitat connectivity and matrix restoration: the wider implications of agri-environment schemes. *Journal of applied ecology, 43*(2), 209-218. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01146.x

Eastman, J. R. (2024). *TerrSet-LiberaGIS manual*. Clark University. https://s45055.pcdn.co/centers/geospatial-analytics/www-content/blogs.dir/7/files/sites/354/2024/11/Terrset-liberaGIS-Manual.pdf

EOS Data Analytics. (2023, 5 de marzo). *Degradación del suelo: un desafío creciente para la humanidad*. EOS. https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/

Falconí, P. J. S. (2013). *Guía Técnica. Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de Kiwicha*. Agrobanco. https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/021-a-kiwicha_MIPE_.pdf

Farrell, J. G., y Altieri M. A (1999). Sistemas agroforestales. En. Altieri M. A. (Ed.), Agroecología. *Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 229-243). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Flores, C. C., y Sarandón, S. J. (2014). Manejo de la biodiversidad en agroecosistemas. En Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (pp. 342-373). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata [EDULP]. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1

Flores, X. R., & Torres, R. J. M. (2000). Cambio de uso del suelo entre los sectores forestal, agrícola y pecuario. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 25*(87), 5-24. https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/926

Fox Demo Farms Network. (2023, 19 de abril). *Permanent Soil Cover: Cover Crops*. University of Wisconsin-Madison Division of Extension. https://fyi.extension.wisc.edu/foxdemofarms/conservation-agriculture/permanent-soil-cover-cover-crops/

Fuentes, A. L., y Soto, M. C. (1993). Agricultura sustentable en México. Ería: *Revista cuatrimestral de geografía*, (30), 21-30. https://reunido.uniovi.es/index.php/RCG/article/view/1133/1052

Galicia, L., García, R. A., Gómez, L., y Ramírez, M. I. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia, 58*(4), 50-59. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-anteriores/82-vol-58-num-4-octubre-diciembre-2007/comunicaciones-libres/135-cambio-de-uso-del-suelo-y-degradacion-ambiental

Galvis, B. E., Cote, L. E., y Parra, P. E. (2024). *Identificación conflictos de usos de la cobertura del suelo del área rural del municipio Palmira Valle del Cauca partiendo del uso de Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD]. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/62164/egalvisb.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, E., y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO), (1998). *Climas* [Archivo de datos vectoriales]. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html

García, Z. (2006). *Agricultura, expansión del comercio y equidad de género*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. https://www.fao.org/4/a0493s/a0493s00.htm#Contents

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (Eds). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea-Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. https://data.europa.eu/doi/10.2788/37334

Gerritsen, P. R., Castillo, C. X. C., y Álvarez, G. N. S. (2012). Algunas consideraciones sobre la transición a la agricultura sustentable en el occidente de México. *Agroecología, 7*(2), 85-100. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182871

Giri, C. P. (Ed.). (2012). *Remote sensing of land use and land cover: principles and applications*. CRC press.

Gliessman, S. R., Guadarrama, Z., C., Mendez, V. E., Trujillo, L., Bacon, C., y Cohen, R. (2006). *Agroecología: un enfoque sustentable de la agricultura ecológica ¿Qué es la agroecología?* https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/5.%20Agroecolog%C3%ADa.%20Un%20enfoque%20sustentable%20de%20la%20agricultura%20ecol%C3%B3gica%20(%20Stephen%20Gliessman%20et%20al.).pdf

Godet, M., Monti, R., y Meunier, F. (2003). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Centro Lindavista. México. http://es.scribd.com/doc/134321467/Caja-de-Herramientas-Planeacion-Estrategica

Godet, M., y Durance, P. (2007). *Prospectiva Estratégica: problemas y métodos*. (2ª ed.). https://archivo.cepal.org/pdfs/GuiaProspectiva/Godet2007.pdf

Gómez D. M., y Barredo, J. (2005). *Sistemas de información geografía y evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. (2ª ed.). Ra Ma.

González, F. E y De León I. (2019). Conceptos epistemológicos de la geografía: sus saberes y métodos para la enseñanza e investigación. *Revista Saberes APUDEP, 2*(1), 47-58. https://portal.amelica.org/ameli/journal/223/2231137004/2231137004.pdf

González, G. G. (2012, 30 de julio). *Mulch (acolchado, mantillo)*. Permacultura.org.mx www.permacultura.org.mx/reporte/mulch-acolchado-mantillo/

Grageda, C. O. A., Díaz, F. A., Peña, C. J. J., y Vera, N. J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3*(6), 1261-1274. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015

Guamán, P., Basante, C., y Mármol, J. L. (2023). Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos: Advantages of the application of vegetation cover in agroecological crops. LATAM *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 4*(2), 6037-6043. https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1032

Guevara R., M. L., y Montalvo V., R. (2015). Cambio de uso de suelo y vegetación derivados de la dotación de infraestructura: Sierra norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia, 7*(13), 314-336. https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n13/v7n13a17.pdf

Houben, S., Brinks, H., Salomons, J., de Cara, M., Thorsted, M. D., Michel, V., Molendijk, L., y Schlathoelter, M. (2020). *Rotación de cultivos: Información práctica. Best4Soil.* https://orgprints.org/id/eprint/43540/7/ES_ROTACIO%CC%81N%20DE%20CULTIVOS_%20INFORMACIO%CC%81N%20PRA%CC%81CTICA.pdf

Humacata, L. (2019). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista cartográfica*, (98), 239-257. Epub 14 de marzo de 2022. https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.149

Iglesias, M. L. (1995). *El estiércol y las practicas agrarias respetuosas con el medio ambiente.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras Agrarias.https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf

Infante, A., y San Martín, K. (2003). Rotación de cultivos en una agricultura de secano. *Chile agrícola*, (21). https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/45b910e1-c24e-469b-b2c4-f925e90a949f/content

Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México [IGECEM]. (2019). *Geoformas*, 2019 [Archivo de datos vectoriales]. https://acvisor.edomex.gob.mx/AtlasCibernetico/portal/visorAtlas.do

Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático del Estado de México [IEECC]. (2022). *La importancia de los estudios de aptitud agrícola como herramientas de adaptación al cambio climático en el Estado de México*. Gobierno del Estado de México. https://ieecc.edomex.gob.mx/sites/ieecc.edomex.gob.mx/files/files/Pol%C3%ADticas%20P%C3%BAblicas/La%20importancia%20de%20estudios%20de%20aptitud%20agr%C3%ADcola%20como%20herramientas%20de%20adaptaci%C3%B3n%20al%20CC.pdf

Instituto Nacional de Antropología e Historia. (s.f.). *El maíz. Mexicana*. https://mexicana.cultura.gob.mx/es/repositorio/x2acnp2f9p-5

Instituto Nacional de Desarrollo Social (INDESOL). (2015, 29 de abril). *Degradados, 64% de los suelos en México*. https://www.gob.mx/indesol/prensa/degradados-64-de-los-suelos-en-mexico

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (1981). *6 Regiones fisiográficas. Síntesis geográfica del Estado de México*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220594/702825220594_4.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (1998). *Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación: vectorial: escala 1:250,000* (Publicación única). https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825222932/702825222932.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2001a). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos*. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas [Archivo de datos vectoriales]. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2001b). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos.* Continuo Nacional serie I. Subprovincias fisiográficas [Archivo de datos vectoriales]. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2005). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000*, serie III (continuo nacional) [Archivo de datos vectoriales]. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250ks3gw

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2013). *Continuo de Elevaciones Mexicano* [Archivo ráster]. https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2013). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000*, serie IV (continuo nacional) [Archivo de datos vectoriales]. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s5ugw

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000*, serie VII (continuo nacional) [Archivo de datos vectoriales]. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023). *Cuentas nacionales de México 2022: resultados oportunos del censo agropecuario 2022*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_ResOpt/CA_ResOpt2022.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024). *Marco Geoestadístico 2024* [Archivo de datos vectoriales]. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551132173

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s.f.). *Definición, aplicación de la geografía y representaciones de la tierra*. Dirección de capacitación. https://www.inegi.org.mx/contenidos/inegi/spc/doc/INTERNET/1-GeografiaDeMexico/manual_def_apli_geo_repr_tierra-vs__.pdf

Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias [INIFAP] y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (1995). *Edafología* [Archivo de datos vectoriales]. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/eda251mgw.html

Jaime, E., Larín, R., y Garea, E. (2011). Hacia métodos de análisis de datos espaciales raster en el nivel semántico. *Computación y Sistemas, 15*(1), 91-106. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-55462011000300009

Jiang, H., y Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science, 14*(2), 173-184. https://doi.org/10.1080/136588100240903

Jiménez, M. M. J., González, G. M. J, Escalona, M. M., Valdez, L. J. R., y Aguirre, S. C. A. (2011). Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17*(3), 389-406. Recuperado en 14 de mayo de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000300009&lng=es&tlng=es.

Juan P. J. I. (2013). *Los huertos familiares en una provincia del subtrópico mexicano*. análisis espacial, económico y sociocultural. https://www.eumed.net/libros-gratis/2013/1251/1251.pdf

Juan, P. J. I. (2021). *Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México*. Fundamentos teóricos y metodológicos. AM Editores. http://hdl.handle.net/20.500.11799/109937

Labrador, M. J., y Altieri, M. A. (1995). *Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras Agrarias. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_06-07.pdf

Lambin, E. F., Geist, H. J., y Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources, 28*(1), 205-241. https://www.researchgate.net/publication/228597446_Dynamics_of_Land-use_and_land-cover_change_in_tropical_regions

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... y Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change, 11*(4), 261-269. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3

Lambin, E. F., y Geist, H. J. (Eds.). (2008). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer Science & Business Media.

Lanz, B., Dietz, S., y Swanson, T. (2018). The expansion of modern agriculture and global biodiversity decline: an integrated assessment. *Ecological Economics*, 144, 260-277. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.018

Lanzelotti, S., y Buzai, G. (2017). Agricultura, ambiente y sociedad en Yocavil: análisis espacial de evaluación multicriterio con clasificaciones *Fuzzy*. *Mundo de Antes*, 11, 129-147. https://doi.org/10.59516/mda.v11.54

Liebman M. (1999). Sistemas de policultivos. En. Altieri M. A. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 191-202). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Linares, G. L., Valera, M. A., y Millán, E. (2022). Cadenas de Markov en el análisis del cambio de uso del suelo en Ixtapaluca, México. *Avances en Ciencias e Ingeniería, 13*(1), 25-34. https://www.executivebs.org/publishing.cl/aci/2022/Vol13/Nro1/3-ACI1391-21%20full.pdf

López, B. L. (1994). Degradación del suelo ¿Fatalidad climática o mala gestión humana? Hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo. *Papeles de geografía*, (20), 49-64. https://revistas.um.es/geografia/article/view/44371

López, T., y Monterroso, R. A. I. (2024). Intensidad en los cambios de uso de suelo en México (2001-2018). I*nvestigaciones Geográficas*, (115). https://doi.org/10.14350/rig.60878

Lugo, H. J., y Córdova, C. (1992). Regionalización geomorfológica de la república mexicana. *Investigaciones geográficas*, (25), 25-63. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46111992000200002&lng=es&tlng=.

Magdoff, F. (1999). Calidad y manejo del suelo. En. Altieri M. A. (Ed.), Agroecología. *Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 291-304). Nordan–Comunidad. https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Malczewski, J. (2006). GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science, 20*(7), 703-726. https://doi.org/10.1080/13658810600661508

Manzano S. L., y Pineda J. N. y Gómez A. M. (2019) Método de evaluación multicriterio 9.1 aplicación a la gestión sostenible del agua en la cuenca del río nenetzingo, México. En Buzai, G., y Santana, M. (Compiladores), *Métodos cuantitativos en Geografía Humana* (pp. 193-208) Instituto De Investigaciones Geográficas (INIGEO). https://www.inigeo.unlu.edu.ar/?q=node/24

Marasas, M. E., Blandi, M. L., Dubrovsky, N., y Fernández, V. (2014). Transición agroecológica de sistemas convencionales de producción a sistemas de base ecológica. Características, criterios y estrategias. En Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (pp. 411–436) Editorial de la Universidad Nacional de La Plata [EDULP]. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1

María, R. A. (2007). *El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal* [Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado]. Colegio de Postgraduados.

Martínez, C., A. L., y Huerta, S. K. K. (2018). La revolución verde. *Revista Iberoamericana de bioeconomía Y Cambio climático, 4*(8), 1040–1052. https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6717

Melgarejo, V., y Bautista, S. (2019). Agroecología: de agroecosistemas a agroecosistemas sostenibles. *Revista de Tecnología, 18*(2), 51-64. https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/4088

Mena, F. C., Gajardo, V. J., y Ormazábal, R. Y. (2006). Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá, 14*(1), 81-89. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-13372006000100009

Meyer, W. B., y Turner, B. L. (1992). Human population growth and global land-use/cover change. *Annual Review of Ecology and Systematics, 23*(1), 39-61. 10.1146/annurev.es.23.110192.000351

Molero, M. M., Grindla, M. A., y Asensio, R. J. J. (2007). Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. *GeoFocus*, 7, 120-147. https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/114

Mónaco, C. (2014). Principios de manejo ecológico de enfermedades de cultivos. En Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (pp.314–341) Editorial de la Universidad Nacional de La Plata [EDULP]. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1

Murray, T. G. N., Mendoza, P. A., Martínez, S. M., y Sánchez, G. K. (2024). Cambio climático y el agro mexicano: desafíos alimentarios. *Revista Digital Universitaria, 25*(4). http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.4.5

Nguyen, T. T. N., Tran, H. C., Ho, T. M. H., Burny, P., y Lebailly, P. (2019). Dynamics of farming systems under the context of coastal zone development: The case of Xuan Thuy National Park, Vietnam. *Agriculture, 9*(7), 138. https://www.mdpi.com/2077-0472/9/7/138#B37-agriculture-09-00138

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015a). *Agricultura mundial: hacia los años 2015-2030*. https://www.fao.org/4/y3557s/y3557s00.htm#TopOfPage

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015b) *Status of the world's soil resources main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7f60b088-de3e-4e08-b88e-b26e37b5b18e/content

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Let's stop soil erosion to ensure a food-secure future*. FAO. https://www.fao.org/newsroom/story/Let-s-StopSoilErosion-to-ensure-a-food-secure-future/en

Paleologos y Flores, C. C. (2014). Principios para el manejo ecológico de plagas. En Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (pp. 260 – 285)- Editorial de la Universidad Nacional de La Plata [EDULP]. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1

Palomeque de la Cruz, M. Á., Ruiz Acosta, S. D. C., Ramos Reyes, R., Magaña Alejandro, M. A., y Galindo Alcántara, A. (2021). Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12*(4), 655-669. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2622

Pandey, B., y Seto, K. C. (2015). Urbanization and agricultural land loss in India: Comparing satellite estimates with census data. *Journal of environmental management,* 148, 53-66. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.014

Pichardo, G. B. (2006). La Revolución Verde en México. *Agrária* (São Paulo. Online), (4), 40-68. https://core.ac.uk/download/pdf/268328398.pdf

Pineda, J. N. B., Bosque, S. J., Delgado, G. M., Antonio, N. X., y Balderas, M. A. (2013). Geografía y análisis espacial hacia la ciudad del conocimiento. Evaluación multicriterio y sig idrisi en la zonificación del uso de suelo urbano del crcytab en Almoloya de Juárez, México. En Campos, V., Monroy, G., y Pineda, J. (Coords.), *Estudios geográficos con técnicas de evaluación multicriterio* (pp. 109-174). AM Editores.

Pineda, J. N. B., Bosque, S. J., Gómez, D. M., y Plata, R. W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (69), 33-52.

Pineda, J. N. B., y Santana, C. G. (2019). Cambios en la cobertura y uso del suelo en el Estado de México, en el período 2002-2014. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), 11*(15), 72-90. https://www.researchgate.net/publication/349830997_CAMBIOS_EN_LA_COBERTURA_Y_USO_DEL_SUELO_EN_EL_ESTADO_DE_MEXICO_EN_EL_PERÍODO_2002-2014

Piscitelli M. (2015, 15 de julio). *Degradación de suelos*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. https://www.unicen.edu.ar/content/degradaci%C3%B3n-de-suelos

Pontius, Jr. R. G., Shusas, E., y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, ecosystems & environment, 101*(2-3), 251-268. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016788090300327X

Poveda, J., y Monte, E. (2019). Trichoderma: investigación básica y aplicada en la agricultura. *SEM@FORO*, (8). https://www.semicrobiologia.org/wp-content/uploads/2021/04/16-Fung_USAL.pdf

Prado, G. J. (2013). *Manual de lombricompostaje de pulpa del café para los cafeticultores de la región Otomi-Tepehua de Hidalgo*. Instituto Nacional de Desarrollo Social. http://www.indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Lombricultura%20y%20Abonos/Manual%20de%20lombricompostaje.pdf

Procuraduría Agraria. (2020, 28 de enero). *La política agraria del gobierno de México tiene como eje central elevar el nivel de vida y bienestar de las familias campesinas*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/pa/prensa/la-politica-agraria-del-gobierno-de-mexico-tiene-como-eje-central-elevar-el-nivel-de-vida-y-bienestar-de-las-familias-campesinas?idiom=es

Procuraduría Federal del Consumidor. (2021, 12 de agosto). *Biofertilizantes. Ayudan en el proceso natural de nutrición y regeneran el suelo de tu huerto*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es

Quintero, P. D., y López, M. S. (2010). Análisis estructural: un apoyo para el modelado con dinámica de sistemas. *Revista Avances en Sistemas e Informática, 7*(3), 153-161. https://www.redalyc.org/pdf/1331/133117498018.pdf

Ramírez, J. J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13*(3), 553-565. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854

Ramírez, L. A., Désirée, B. T., y Velasco, M. M. (2013). Factores de adopción y abandono del sistema de agricultura de conservación en los valles altos de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo, 10*(2), 195-214. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722013000200004

Ramírez, M. E., Limas, E. A., Ortiz, P. R., y Díaz, A. R. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de geografía*, (53-54), 77-88. https://revistas.um.es/geografia/article/view/143451

Ramos, R. R., Palomeque, C. M. Á., Megía, V. H. J., y Landeros, P. D. (2021). Land use change model in Carmen-Pajonal-Machona lagoon system, México. *Terra Latinoamericana*, 39. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.587

Ramos, R. R., Palomeque, C. M. Á., Núñez, J. C., y Sánchez, H. R. (2019). Análisis geomático espacial del cambio de uso del suelo en Huimanguillo, Tabasco (2000-2010-2030). *Revista mexicana de ciencias forestales, 10*(53), 118-139. https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.555

Rawson, H., y Gómez, M. (2001). *Trigo regado. Manejo del cultivo*. Organización de las Naciones Unidas y la Alimentación [FAO]. https://www.fao.org/4/x8234s/x8234s0c.htm#bm12.1

Reboratti, C. (2011). Geografía y ambiente. En Bocco, G., Urquijo, P. S., y Vieyra A. (Coords.), *Geografía y ambiente en América Latina* (pp. 21-44). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=

PlvqD71ypMcC&oi=fnd&pg=PA21&dq=Ambiente+y+geograf%C3%ADa&ots=w71TDCLrJf&sig=mDzbauWr_BHMo8-z8LrAvK1z9kw#v=onepage&q=Ambiente%20y%20geograf%C3%ADa&f=true

Representación Agricultura del Estado de México. (2023, 7 de septiembre). *Producción de aguacate en la entidad mexiquense*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/produccion-de-aguacate-en-la-entidad-mexiquense

Representación Agricultura del Estado de México. (2024, 15 de agosto). E*l Edoméx es pionero a nivel nacional al ser la única entidad federativa en implementar la primera estrategia en beneficio del aguacate.* Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/el-edomex-es-pionero-a-nivel-nacional-al-ser-la-unica-entidad-federativa-en-implementar-la-primera-estrategia-en-beneficio-para-aguacateros#:~:text=El%20Estado%20de%20M%C3%A9xico%20es,Fuente%20(SIAP%202023).

Ríos. P. E., González, M. I. D., y Cotler, H. (Coords.). (2015). *Suelos, bases para su manejo y conservación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable [CECADESU]. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002090-1.pdf

Ríos Asociación Nacional del Café Guatemala [Anacafé]. (2023). *Guía para la producción de lombricompost con subproductos de café y lombriz Eisenia Foetida*. Centro de Investigaciones en Café [Cedicafé] - Asociación Nacional del Café Guatemala [Anacafé]. https://www.anacafe.org/uploads/file/56fbddb9b6db40c182e9886b85f5583c/Guia-produccion-lombricompost.pdf

Rodríguez V. D. (2010). Territorio y territorialidad. Nueva categoría de análisis y desarrollo didáctico de la Geografía. *Uni-pluriversidad, 10*(3), 90-100. https://revistas.udea.edu.co/index.php/unip/article/view/9582

Rodríguez, M. I., Reséndiz, R. C. A., Salgado, L. F. J., y Hernández, C. D. (2024). La importancia del agua en la agricultura. XAHNI *Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 6, 2*(3), 36-40. https://doi.org/10.29057/xahni.v2i3.13001

Rojas G. A. (2014). *Determinación de zonas óptimas para el cultivo de productos agrícolas en el Estado de México, utilizando Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica* [Reporte final de grado] Universidad Autónoma del Estado de México.

Román, P., Martínez, M. M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago Chile. https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf

Romero, P. A., Hernández, J. M., & Espinosa, H. J. M. (2024). Pérdida de superficie agrícola en los distritos de riego del Estado de México y patrones de crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*, (115). https://doi.org/10.14350/rig.60863

Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M., y R.A. Martínez P. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos.* (3ª ed). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP] y Campo Experimental Centro Altos de Jalisco [CIRPAC]. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf

Ruiz, M. M. (2011). *Taller de elaboración de lombricomposta: porque tener lombrices nos beneficia a todos*. Universidad Iberoamericana, A.C. https://ibero.mx/web/filesd/publicaciones/taller-de-lombricomposta.pdf

Ruiz, R. O. (2006). Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia, 31*(2), 140-145. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000200011&lng=es&tlng=es.

Ruthenberg, H. (1971). *Farming systems in the tropics*. https://scispace.com/pdf/farming-systems-in-the-tropics-1h92tu860y.pdf

Saaty, T. (1994) *How to make a decision: the analytic hierarchy process*. University of Pittsburgh.

Saaty, T., y Vargas, L. (2022). *The Analytic Hierarchy Process.* (2nd ed.). Springer. https://www.researchgate.net/publication/362349026_The_Analytic_Hierarchy_Process

Sánchez Cruz, Y., y Amorós Núñez, M. (2012). Gestión del agua urbana mediante análisis espacial en los SIG. *Ingeniería hidráulica y Ambiental, 33*(3), 58-71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000300005

Sans, F. X. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas, 16*(1). https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/137

Santos, P. (1997). El planeamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los sig, raster. Espacio, Tiempo y Forma, serie VI, *Geografía*, (10), 129-151. https://doi.org/10.5944/etfvi.10.1997.2547

Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (2014). La agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable. En Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (pp. 42 – 69)- Editorial de la Universidad Nacional de La Plata [EDULP]. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2016, 3 de mayo). *La solarización del suelo como técnica para el control de plagas*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/es/articulos/la-solarizacion-del-suelo-como-tecnica-para-el-control-de-plagas

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2019, 28 de junio). *La importancia del frijol en México*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/

articulos/la-importancia-del-frijol-en-mexico

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2021a). Estrategia de Acompañamiento Técnico. *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos*. *9. Composta*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737324/9_Composta.pdf

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2021b). Estrategia de Acompañamiento Técnico. *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. 14. Humus de lombriz*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737318/14_Humus_de_lombriz.pdf

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2021c). Estrategia de Acompañamiento Técnico. *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. 10. Elaboración de extractos vegetales*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737322/10_Extractos_vegetales.pdf

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2022, 28 de julio). *Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2023a, 30 de septiembre). *Biofertilizantes, nutrición integral y respeto al medio ambiente*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/biofertilizantes-nutricion-integral-y-respeto-al-medio-ambiente?idiom=es

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2023b, 24 de octubre). *Cultivando el futuro: Agricultura sostenible y sustentable*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable?idiom=es

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2024a). *Cuidemos los suelos agropecuarios*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cuidemos-los-suelos-agropecuarios

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2024b, 31 de diciembre). *Programas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2025*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programas-de-la-secretaria-de-agricultura-y-desarrollo-rural-2025

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017). *Potencial del aguacate en México: Planeación agrícola nacional 2017–2030*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (s.f.). *5. Elaboración de composta*. https://www.ciaorganico.net/documypublic/513_librosagronomicos.blogspot.com-Elaboraci%C3%B3n_de_composta.pdf

Secretaria de Fomento Agropecuario. (2011). *Estudio bibliográfico sobre labranza mínima, cero y de conservación. Resultados y Experiencias*. Secretaria de Fomen-

to Agropecuario. https://www.nacionmulticultural.unam.mx/empresasindigenas/docs/1848.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y la Dirección de Geomática. (2004). *Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000* [Archivo vectorial] http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/degra250kgw.html

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2008). Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008. *Compendio de estadísticas ambientales*. Gobierno Federal, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2003, septiembre). *Compendio de estadísticas ambientales 2002*. https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/Presentacion/index.htm

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2018). *Informe sobre el estado del medio ambiente en México 2018*. Gobierno de México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2014). *Degradación de los suelos en México. El medio ambiente en México, 2013- 2014*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2002). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/pdf/informe_2002.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2005). Cierre de la producción agrícola 2005. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [Excel]. Gobierno de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2013). Cierre de la producción agrícola 2013. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [Excel]. Gobierno de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2019). *Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448930/Reporte_de_Aptitud_agroclim_tica_de_M_xico_del_frijol_PV_2019.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2021). Cierre de la producción agrícola 2021. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [Excel]. Gobierno de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2022). Cierre de la producción agrícola 2022. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [Excel]. Gobierno de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). Cierre de la producción agrícola 2023. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [Excel]. Gobierno de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Somarriba, R. R. J., y Guzmán, G. F. (2004). *Guía sobre lombricultura*. Universidad Nacional Agraria. https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf

Sotelo, R. E. D., Cruz, B. G. M., González, H. A., y Moreno, S. F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7*(2), 401-412. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200401

Tello Marquina, J. C. (2013). La agricultura como sistema. *Idesia (Arica), 31*(1), 3-4. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292013000100001

TerrSet liberaGIS (2024). *TerrSet Help System (V. 20) [Manual de ayuda]*. Clark Labs.

Torres, F., y Rojas, A. (2018). Suelo agrícola en México: retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. Realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía, 9*(3), 137-155. https://rde.inegi.org.mx/index.php/2019/01/25/suelo-agricola-en-mexico-retrospeccion-prospectiva-la-seguridad-alimentaria/

Torres, T. F. (2014). Seguridad alimentaria: una explicación sobre prevalencia de los desequilibrios en México. *Estudios agrarios, 20*(57), 71-98. https://www.pa.gob.mx/publica/rev_57/analisis/seguridad%20Felipe%20torres.pdf

University of Minnesota Extension. (2019). *Soil organic matter in cropping systems*. https://extension.umn.edu/soil-management-and-health/soil-organic-matter-cropping-systems

Vargas, U. G. (2012). Espacio y territorio en el análisis geográfico. *Reflexiones, 91*(1), 313-326. https://www.redalyc.org/pdf/729/72923937025.pdf

Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., y Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, (62), 21-37. https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf

Velázquez, G. A., y Ramos, A. M. P. (2015). *Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas*. LIMA, PERU, Perú ProHass, 495-499

Vilaboa, A. J. (2009). *El concepto de agroecosistema y su aplicación en la ganadería bovina*. https://www.colpos.mx/wb_pdf/Veracruz/Agroecosistemas/lectura/1.pdf

Villegas V. A., Platas, R. D., Gallardo, L. F., y López, R. G. (2020). Análisis estructural MicMac para determinar las variables estratégicas de la agroindustria azucarera en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11*(6), 1325-1335.

Villegas, M. D. (2021). Determinación del uso potencial del suelo a partir de la modelación geoespacial de variables agroecológicas y forestales de un área de protección ambiental ubicada en la Región Centro-Sur de México. *Acta universitaria*, 31. 2022. https://doi.org/10.15174/au.2021.3049

Yohannes, H., y Soromessa, T. (2018). Land suitability assessment for major crops by using GIS-based multi-criteria approach in Andit Tid watershed, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture, 4*(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1470481

Cambios de uso del suelo en la región sur del Estado de México. aptitud agrícola y transición hacia una agricultura sustentable. Tomo 4
de Ernesto Medrano Aramís,
Irma Eugenia García López,
María del Carmen Magallanes Méndez y
José Isabel Juan Pérez
se terminó de imprimir
el 20 de agosto de 2025.

Los cambios de uso del suelo son procesos dinámicos asociados con las actividades económicas que realizan las personas, en especial, las vinculadas con el establecimiento de cultivos de maíz *(Zea mayz)* y frijol *(Phaseolus vulgaris)* para satisfacer las necesidades alimenticias de la población y abastecer a los mercados regionales y nacionales. Sin embargo, a medida que ocurren transformaciones en el territorio y afectaciones en los recursos naturales básicos de la agricultura, también se aplican nuevos modos de producción, uso de equipo y maquinaria, insumos, así como métodos y técnicas agrícolas. La interacción de los procesos ha desencadenado múltiples impactos en la agricultura, trayendo consigo, desafíos para la seguridad y soberanía alimentaria en todas las regiones del Planeta Tierra.

Este libro contiene información acerca de los cambios de uso del suelo en la Región Sur del Estado de México (RSEM), haciendo énfasis en la agricultura, los recursos y los componentes que intervienen en los procesos y actividades.

Se incluyen tablas, cuadros, gráficas y mapas que ponen de manifiesto la evolución de las ocupaciones del suelo y las dinámicas agrícolas que han estado presentes en el periodo de 2005 a 2021, enfatizando que, de continuar, los escenarios acelerados de cambio de uso del suelo, habrá afectaciones en la producción de alimentos para la población de la RSEM, por lo que, es urgente aplicar estrategias y políticas que fomenten la transición hacia nuevos modelos agrícolas que sean más productivos, limpios y sustentables.

ISBN: 978-607-26949-1-0

9 786072 694910

Sociedad Hijos de Calimaya A.C.

Comisión de Fomento de las Actividades de las Organizaciones de la Sociedad Civil

COMECyT Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación