

Capítulo 5. Agronomía y su relación con la conservación del ambiente



ANA ISABEL SUÁREZ GUERRERO*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.427.05>

Resumen

Este capítulo aborda el estudio de la sanidad biológica de los ecosistemas en los que se producen bienes y servicios a fin de preservar el equilibrio y potencial para preservar la vida y, en la medida de lo posible, la producción agrícola. Aborda los estudios agroecológicos y sus potencialidades e impactos en la preservación del ambiente. Destaca también la importancia de la consideración de temas ambientales en la formación profesional del ingeniero agrónomo.

Introducción: la agricultura depende de la naturaleza

El acceso actual a cualquier fruta u hortaliza durante todo el año ha generado en las personas la falsa sensación de que podemos prescindir de la naturaleza. Los avances tecnológicos y nuestra capacidad para manipularlos son tan grandiosos que a las personas comunes les resulta difícil imaginar que, en realidad, los recursos provenientes de la naturaleza pueden ser limitados, o agotarse (Mendoza Gavilanez et al., 2024).

Es notable, por ejemplo, la percepción de la mayoría de las personas de que es posible, en un futuro cercano, la colonización de la luna y otros planetas. La dificultad reside solamente en resolver cuestiones tecnológicas

* Doctora en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Docente en la Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0864-2230>; correo electrónico: asuarez@uv.mx

para llegar y “adaptarse” a la mezcla de gases que prevalece en ellos. Muy pocos se plantean la situación de que durante el trayecto y para su supervivencia tendrían que generar sus propios alimentos y encontrar los medios para aprovechar sus desechos (entre muchísimas otras consideraciones). Este mito ha sido alimentado por la propaganda y las numerosas películas y textos “futuristas” que se aceptan sin mayor cuestionamiento, pues presumen de tener una base “científica” (Martin Mantiñán, 2022).

No ha sido suficientemente claro que los procesos naturales son fundamentales para generar los recursos alimenticios de las poblaciones humanas presentes y futuras. Prácticamente, se desconocen los mecanismos que hacen posible el aprovechamiento y conservación de los servicios que proporcionan los sistemas naturales (Mohamed-Katerere, 2013). Por lo que el manejo de estos procesos requiere de la consideración de todos sus elementos integralmente, como el suelo, las rocas, la atmósfera, el agua y los organismos vivos.

No obstante, los seres vivos y su ambiente físico-químico conforman una unidad inseparable a la que hemos denominado ecosistemas; no es posible concebir a la humanidad sin su matriz ecosistémica (Soto Coloballes, 2022).

Palabras clave: *ecología, ambiente, conservación, agrosistemas.*

Ecosistemas, base natural en que se realiza la agricultura

Todos los sistemas de producción de alimentos y de numerosos productos de utilidad para la humanidad se obtienen de la modificación, en mayor o menor grado, de la naturaleza. Esta se presenta como una unidad relativamente intangible en que se encuentran los recursos naturales, por lo que no es de extrañar la falta de familiaridad que las personas tienen sobre los procesos que en ella operan, su fragilidad y su carácter finito (de Camino y Müller, 1993).

La integración de los componentes bióticos y abióticos de la naturaleza es sumamente compleja y de difícil comprensión, salvo por pequeños conjuntos de elementos que se enfocan en los detalles, y no en una concepción integral del conjunto (Di Salvo, 2009).

El concepto de ecosistema ha dado mucha claridad en la comprensión de procesos emergentes del todo, como la estabilidad, la resiliencia, resistencia, deterioro, capacidad de recuperación, entre otros (Begon et al., 1996).

La visión ecosistémica resulta de la aplicación de la teoría de sistemas, que aborda el análisis de entidades multivariadas (como la naturaleza), y reconoce procesos de mayor generalidad e influencia en sus elementos constitutivos. Esta visión tiene el mérito de trabajar con versiones simplificadas de la realidad en las que se pueden destacar los elementos y las variables de mayor impacto en los sistemas totales (Galán et al., 2009).

En efecto, los patrones de obtención y transferencia de energía y nutrientes ofrecen una base sólida desde la cual el funcionamiento y estructura de la naturaleza son más evidentes y tangibles.

A partir de este enfoque pueden distinguirse numerosas variantes a lo largo del planeta con distintas potencialidades para la producción de satisfactores tangibles, como los alimentos y materiales para la construcción, e intangibles, como el control del clima, de la erosión, de la calidad y cantidad del agua y del aire, del impacto de huracanes, del procesamiento de desechos y de la conservación de la vida misma, entre muchos otros.

Variedad de ecosistemas

La matriz físico-química en que han evolucionado los ecosistemas varía en el planeta, y, por ende, la distribución y abundancia de las especies que sobreviven en ella. Uno de los factores de mayor influencia es la intensidad de la radiación solar, que depende básicamente de la latitud. Así, las zonas tropicales reciben mayor intensidad lumínica que las zonas templadas, lo cual se traduce en ecosistemas con mayor productividad.

El régimen de lluvias y humedad atmosférica, en general, obedecen también a la latitud; sin embargo, son afectadas por factores como la distancia a cuerpos de agua y la orografía, por lo que la disponibilidad de agua es sumamente variable en el planeta. En términos generales, los lugares más húmedos tienden a albergar sistemas de mayor productividad (Díaz-Mesa et al., 2024).

En esta matriz compleja han evolucionado los seres vivos, los cuales, a su vez, impactan la supervivencia y desarrollo de otras especies.

Integridad de ecosistemas

El funcionamiento de los ecosistemas ha sido vulnerado por la presencia de los seres humanos, quienes en un principio, y particularmente cuando las poblaciones eran pequeñas, extraían algunos satisfactores de los mismos, como frutos, leña, etc. Al ir creciendo las poblaciones los satisfactores no fueron suficientes y la búsqueda de los mismos se extendió a áreas mayores (Grande del Brío, 1985).

El advenimiento de la domesticación de algunas especies, así como su cultivo, ha favorecido que algunas personas se fueran desentendiendo de la producción para concentrarse en núcleos más grandes de la población demandante de recursos; lo que ha conducido a la modificación cada vez mayor y más extensa de los ecosistemas (Casas et al., 1997).

La mayor parte de la población actual desconoce los procesos que determinan la vocación desigual de los terrenos y la factibilidad de producción de numerosos cultivos.

Cada ecosistema responde de forma distinta a la intervención humana y pueden ocurrir que algunos resulten verdaderamente frágiles y sean muy susceptibles a las alteraciones.

Agroecosistemas

Los ecosistemas modificados para la producción de alimentos y satisfactores reciben la denominación de *agroecosistemas*; independientemente de que el destino de la producción sea para la autosubsistencia de los productores o para la producción intensificada (Tonolli, 2019).

El enfoque agroecológico implica la posibilidad de reconocer los procesos ecológicos involucrados en la producción con el fin de detectar cuellos de botella o situaciones problemáticas que pueden ser corregidas (Altieri, 1999). Por ejemplo, la fuente de energía de los sistemas de autoconsumo básicamente proviene del sol y del trabajo humano y animal; los intensivos dependen igualmente de las fuentes de energía señaladas, además de la proveniente de otros insumos generados en sitios distantes, como la maquinaria agrícola, los agroquímicos, la irrigación, etc., que son impulsados mayormente por energía proveniente de los combustibles fósiles, como petróleo o carbón (Romero, 2020).

La aplicación de los principios ecológicos a las modalidades de los sistemas de producción permite distinguir los impactos ambientales de distintas fuentes y la posibilidad de repararlos (Ayala Reyes, 2024). Ejemplo de ello es la alta inversión energética y económica que representa la aplicación de nutrientes externos, que puede ser sustituida por el procesamiento de los residuos de la producción. El fruto del café, que se desecha para obtener el grano, al compostarse, puede generar un fertilizante natural que, además, puede ser producido localmente, y libre del consumo de petróleo.

En términos generales, se puede decir que a mayor transformación de los ecosistemas se requiere de la aplicación de mayor cantidad de energía para mantener la producción.

Agricultura de subsistencia

Se realiza en agroecosistemas en que el destino de la producción es para el autoconsumo de los productores, quienes generalmente procuran generar productos variados que abastezcan sus necesidades a lo largo del año. Con frecuencia se trata del establecimiento de cultivos mixtos mezclados e integrados que aprovechan diferencialmente los recursos de la parcela. Así, algunos crecen a la sombra de otros y obtienen del suelos nutrientes a diferentes tiempos para complementar la dieta de los productores (Altieri, 2009). Por ejemplo, el cultivo simultáneo de gramíneas (maíz, trigo, arroz, cereales) con leguminosas (frijol, haba, soya, entre otras) proporciona una dieta completa de los aminoácidos necesarios. Las gramíneas son una fuente importante de carbohidratos, y las leguminosas, de proteínas. La materia orgánica que proveniente de las leguminosas es rica en aminoácidos, y al descomponerse, provee de nitrógeno para la producción del maíz.

El 60 % de la tierra cultivable del planeta es para la autosubsistencia, y estos agroecosistemas suelen reflejar consideraciones ecológicas de su entorno en su diseño ancestral (Cox y Atkins, 1978), lo que explica su perdurabilidad.

El pastoreo de animales (cabras, borregos, caballos, etc.) en pastizales naturales, áridos o semiáridos, se corresponde con la escasa productividad

agrícola potencial de los terrenos y genera alimentos ricos en proteínas a través de leche, carne y sangre de los animales, que resultan muy nutritivas para las personas. Una vez que se agotan las plantas comestibles del sitio, el ganado es trasladado a otro terreno, por lo que requiere de amplias extensiones de tierra (Angel-Lozano et al., 2023).

Los sistemas de agricultura nómada, o de *roza, tumba y quema*, consisten en la roza de pequeños árboles y arbustos, el derribo de árboles grandes y la posterior quema del material vegetal, que prepara el terreno para la siembra y hace asequibles a numerosos y variados nutrientes que pueden aprovechar la mezcla de cultivos para su desarrollo. En México, se han establecido milpas (policultivo de maíz, frijol, calabaza, chiles, hortalizas, etc.) (Moreno-Calles et al., 2013) en zonas boscosas templadas y tropicales. La productividad del cultivo depende más del capital de nutrientes contenidos en la materia vegetal del bosque derribado y quemado, que del suelo. Un inconveniente es que requiere también de amplias superficies para la rotación de terrenos, puesto que los nutrientes se agotan rápidamente y emergen grandes volúmenes de plantas oportunistas que entorpecen el aprovechamiento continuo en la misma parcela, por lo que ésta es abandonada, se deja descansar y se inicia el proceso en un terreno distante con muchos años de descanso o barbecho (Batllori, 2023).

Algunos agroecosistemas de subsistencia pueden llevarse a cabo en terreno pequeños, como las chinampas del valle de México. Estas consisten en el establecimiento de parcelas en la orilla de lagos, en el agua. Residen en la construcción de porciones de tierra cultivable alargadas, apuntaladas por troncos y árboles que toleran crecer en terrenos inundados, donde se arrojan lodos del fondo del lago, y que resultan considerablemente más altas que el nivel del agua (al menos un metro). Los terrenos suelen ser pequeños, con frecuencia, menores de 2 000 m². En ellos se cultiva milpa y se puede establecer una vivienda, e incluso se crían aves de corral y, ocasionalmente, una vaca. La parcela mantiene la humedad por capilaridad y los nutrientes provienen del escurrimiento de tierras más altas y de los desechos de los animales (González Carmona y Torres Valladares, 2014). Una chinampa de 2 000 m² puede producir alimentos para el mantenimiento de toda una familia, complementando la dieta con

peces, tortugas, moscos y algas del lago. El inconveniente es que solo pueden establecerse a orillas de lagos dulceacuícolas.

Todos estos sistemas requieren de circunstancias locales que condicionan su aplicación a mayor escala, y se caracterizan por la generación de policultivos con productividad limitada para el abastecimiento de pocas personas (Diamond, 1997).

Otro denominador común de estos agroecosistemas es que empatan la producción de alimentos con las condiciones del ambiente. Esto constituye una orientación sumamente aleccionadora para el diseño de agroecosistemas en transición a la sustentabilidad.

Agricultura intensiva tipo Revolución Verde

La necesidad de generar grandes volúmenes de alimentos para las personas que no se dedican a la producción y que, con frecuencia, viven en ciudades ha favorecido los esfuerzos para incrementar los rendimientos por superficie y el aumento de superficies para este tipo de modelo tecnológico a costa de ecosistemas naturales (de Gortari, 2020).

Incremento de la productividad de los cultivos

En los últimos 100 años se han introducido aceleradamente numerosas innovaciones encaminadas a aumentar la producción y los rendimientos de los cultivos. Estas han sido aplicadas en varios ámbitos, desde variaciones en las prácticas agrícolas, introducción de sustancias químicas nutritivas y para el combate de plagas y enfermedades, uso de maquinaria agrícola y obras de irrigación, y hasta modificaciones en el material genético de los cultivos (de Gortari, 2020).

Ciertamente, la aplicación de estas prácticas ha sido exitosa en numerosos sitios, generalmente planos; sin embargo, algunas de estas innovaciones no son aplicables a todo tipo de terrenos. El cultivo en laderas resulta especialmente delicado, en especial por el riesgo de erosión de los suelos y su inaccesibilidad. En México, el porcentaje de tierras planas cultivables constituye cerca del 15 %,

y las laderas ocurren en cerca del 70 % (Bartra y Otero, 1988). El resto de los terrenos puede no ser cultivable por la escasez de agua.

Por otro lado, el impacto de este modelo de agricultura se ha evidenciado en variadas formas de deterioro ambiental, que, frecuentemente, comprometen la capacidad de la tierra para seguir produciendo.

Rasgos ecológicos de la agricultura intensificada

Modificación de prácticas agrícolas

Entre las primeras innovaciones se cuenta la reducción drástica de la diversidad de cultivos. Los terrenos se orientan a la producción de una sola especie (en monocultivos) en grandes extensiones de tierra con densidades de siembra mucho mayores que en los policultivos.

Con frecuencia, los residuos de materia orgánica de la producción no son aprovechados en el sitio, lo que resulta en suelos más pobres, además de que constituyen una fuente de contaminación orgánica en tierras aledañas.

La falta del retorno de los residuos de la producción al propio terreno tiende a empobrecer el suelo y, por tanto, menoscabar su fertilidad natural (Reyes-Palomino y Cano Ccoa, 2022).

Aplicación de insumos externos

Al disminuir la actividad de los procesos de descomposición, llevados a cabo por la biota del suelo en presencia de materia orgánica, los suelos dejan de almacenar nutrientes. Para volver a establecer cultivos en ellos es necesario reponer este capital natural, mediante la aplicación de fertilizantes y sustancias nutritivas externas.

Por otro lado, el acortamiento de la distancia entre plantas, al aumentar la densidad de siembra, aumenta el riesgo de contagio de enfermedades y la proliferación de plagas, las cuales no encuentran obstáculos para su desarrollo (Gil y Vivar Arenas, 2015).

Como respuesta, los productores aplican sustancias nocivas, o francamente venenosas, para mantener las plagas y enfermedades “controladas”. Rara vez estas poblaciones son completamente exterminadas y desarrollan resistencia a los productos aplicados, por lo que se hace necesaria la aplicación de mayores dosis o de sustancias más nocivas aún no solo para los organismos indeseados, sino también para la biota del suelo, polinizadores y depredadores naturales, para los agricultores y para los consumidores (Chávez, 2019).

La mayoría de los agroquímicos son sintéticos, generados en laboratorio; son costosos y dependen en forma indirecta de combustibles fósiles para su producción.

Introducción de maquinaria agrícola

En terrenos propicios (planos y extensos) la maquinaria ha facilitado la labranza, esto es, el movimiento de grandes volúmenes de tierra haciendo asequibles nutrientes encontrados a mayores profundidades que, de por sí, son mucho más escasos que en la superficie. Además de que pueden desmenuzar terrones, con la pérdida de la estructura del suelo, que lo hace más propenso a la erosión. Estas prácticas favorecen el desarrollo de las raíces de las plantas y la aireación del suelo, lo que mejora las condiciones de crecimiento de los cultivos. Existe una numerosa gama de máquinas que pueden intervenir en la producción, aumentando los rendimientos, los costos y la dependencia energética de combustibles fósiles (Maser Cerutti, 1990).

México se ubica en el décimo segundo lugar en producción mundial de cultivos agrícolas en el mundo, lo que, según Caballero García et al. (2025) se debe, entre varios otros factores, a los cambios tecnológicos derivados de la mecanización agrícola durante las últimas décadas.

Modificaciones biológicas

Desde el tiempo en que las especies fueron domesticadas han sufrido un proceso de selección de los mejores ejemplares (a juicio del productor) y con la expectativa de que su progenie se les parezca. Por miles de años se han modelado los materiales genéticos, y en nuestros días se hace de manera más acelerada y controlada.

Algunas modificaciones se limitan a la selección de los mejores individuos y otras, de forma experimental, producen híbridos entre variedades que a veces muestran mayor vigor y resistencia (Huerta Sobalvarro et al., 2018).

Actualmente, la experimentación se ha llevado más lejos, y se han logrado introducir genes de otras especies para buscar que el individuo presente atributos sobresalientes en crecimiento, resistencia a sequía y algunos plaguicidas, entre otras. El riesgo es que se trabaja con los materiales originales y se pueden afectar los genomas de plantas no incluidas en los experimentos.

Un riesgo adicional de trabajar con algunos pocos materiales genéticos y generalizar su uso es que se puede presentar una reducción de su variabilidad genética e, incluso, su viabilidad como especie (Kato-Yamakake, 2004).

Impacto ambiental de la agricultura

El análisis del impacto de la agricultura a nivel global puede apreciarse en los límites planetarios establecidos por Rockström et al. (2009), en los que la humanidad podría operar con seguridad. La transgresión de los límites de alguno de los 9 factores clave podría tener un efecto catastrófico si se llega a algún umbral que provoque cambios ambientales a gran escala. Entre los 9 factores reconocidos hay seis relacionados con la agricultura. Tres han sobrepasado ya los límites críticos: pérdida de la diversidad, interferencia con ciclo de nitrógeno, limitada a la capacidad de fijación de N_2 , y cambio climático. El resto, por más que su efecto es notable, se conservan dentro de los límites: combustibles fósiles, ciclo del fósforo y su pérdida en profundidades marinas, cambio de uso del suelo, desperdicio del uso global del agua dulce y la contaminación química (Gómez-Lee, 2019).

Un resultado inevitable de la actividad agrícola en el mundo es el deterioro ambiental que genera. Todos los agroecosistemas afectan el ambiente; sin embargo, no todos impactan de la misma manera, por lo que debe distinguirse de cada uno su gravedad, magnitud, extensión y perdurabilidad.

Son pocos los agroecosistemas que no requieren un cambio de uso del suelo. De hecho, con frecuencia, en el ecosistema original se introducen individuos de las especies de cultivo que interesan, manteniendo atributos de cobertura, integridad del suelo y diversidad, casi sin afectar. Ejemplo de

ello son los cafetales en el bosque mesófilo, cacao y vainilla en bosques tropicales húmedos, ganado en fragmentos de vegetación natural, entre otros (Moreno Calles et al., 2016).

El cambio de uso de suelo orientado exclusivamente a la producción agrícola interrumpe las dinámicas de la biodiversidad; lo que puede derivar en pérdida de especies. Se afectan los flujos naturales de nutrientes y de agua, provocando escasez; por ejemplo, la extracción de la biomasa completa de los cultivos (como la cebolla) deja el suelo al descubierto, desprovisto de materia orgánica y propenso a la erosión (Guerrero, 2010).

Al retirarse la vegetación natural, el descontrol del régimen climático favorece el calentamiento local, lo que contribuye al efecto invernadero, sumado al que se almacena a escala de mayor generalidad por el exceso en la liberación de CO₂ a la atmósfera.

Entre numerosísimos impactos de la agricultura intensiva se destaca la contaminación del aire, suelo, agua o planta; ya sea por la aplicación directa de agrotóxicos, que, por su síntesis (deliberadamente perdurable), se mantiene por lapsos variables. Los desechos plásticos derivados del acolchado y de los invernaderos averiados constituyen una fuente contaminante de muy difícil degradación y, por tanto, solo se acumula en basureros (Reyes-Palomino y Cano Ccoa, 2022).

La aplicación intensiva del riego ha conducido a la alcalinización, saturación y salinización del suelo, y a una reducción considerable del nivel de los acuíferos.

En suma, los agroecosistemas intensificados tipo Revolución Verde tienden a provocar un deterioro ambiental, con frecuencia irreversible, que, incluso, compromete la viabilidad de la producción a largo plazo (Aparicio et al., 2014).

“Buenas prácticas agrícolas” y rasgos culturales

Son ya tan conocidos los efectos de la agricultura intensificada que es posible detectar cuellos de botella en situaciones particulares que pueden ser atendidas en el diseño de futuros agroecosistemas.

Numerosos autores han documentado una serie de medidas encaminadas a encuadrarlas con lo que predomina en los sistemas naturales, en

los que se incorporan interacciones ecológicas y se imprimen rasgos culturales de los productores (Altieri, 2016; Gliessman, 2022; Argueta y Toledo, 2023; González et al., 2017). Uno de los atributos de mayor influencia es la de aumentar la complejidad del agroecosistema; ejemplo de ello es la biodiversidad. Los cultivos intensivos producen un sola o pocas especies de interés, mientras que los ecosistemas, y muchos sistemas de autosuficiencia, mantienen la coexistencia de numerosas especies complementarias entre sí: en la producción de sombra, captura selectiva de nutrientes, ocupación de espacios, etc.

Por otro lado, la incorporación de rasgos culturales y las interacciones ecológicas pueden evitar la aplicación de sustancias químicas tóxicas para toda la biota, aprovechando los arreglos de sistemas mixtos.

Algunas plantas actúan como repelentes naturales o atraen organismos beneficiosos, reduciendo la necesidad de químicos. Entre estos están los polinizadores, depredadores, dispersores y la biota del suelo, cuya actividad airea el suelo y permite la circulación del agua, participa en la degradación de la materia orgánica y la subsecuente liberación de nutrientes disponibles para las plantas.

Conclusión sobre la relevancia del tema en la formación del ingeniero agrónomo

A la luz del análisis ecológico de algunos agroecosistemas contrastantes, tanto de subsistencia, como intensivos, las evidencias sugieren que los primeros, pese a que se cultivan extensamente en el mundo, no tienen la capacidad de abastecimiento de alimentos para una población cada vez más grande; y que los segundos, en términos generales, sí han podido satisfacer la demanda de alimentos y otros satisfactores.

En las últimas décadas se han destacado, por un lado, el conjunto de saberes, resultado de prácticas agrícolas aplicadas desde hace décadas, rodeadas de tradiciones, costumbres, observaciones y estrategias para la subsistencia de los productores. La mayoría de los saberes no debe ser desdeñada por la introducción de nuevas prácticas, sino que debe considerarse en el diseño de nuevas formas de producción.

Por el otro lado, los agroecosistemas intensificados tipo Revolución Verde, han puesto de manifiesto su incapacidad para sostenerse a partir solo de entradas de energía y nutrientes naturales. Demandan numerosos insumos externos para combatir la resistencia de plagas, la contaminación y pérdida de la fertilidad del suelo y la escasez de polinizadores, que han provocado impactos, con frecuencia, irreversibles.

La formación del ingeniero agrónomo requiere reconocer que la agricultura depende de la naturaleza, de su integridad y resiliencia para una producción de alimentos perdurable, libre de sustancias tóxicas, suficiente, redituable y justa en la distribución de los beneficios para quienes participan en la producción.

Esta meta puede perseguirse en el diseño mediante la articulación de los procesos productivos con los ecológicos, que ocurren a varias escalas. Se deben considerar elementos del análisis ecológico de los agroecosistemas, prevenir impactos y fracasos y alcanzar niveles de producción suficientes para abasto de alimentos y satisfactores para la población.

Referencias

- Altieri, M. A. (2009). Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. *Ecología Política*, (38), 25-35.
- Altieri, M. A. (2016). Impactos de la agroecología en algunos países latinoamericanos: Una aproximación histórica. *LEISA Revista de Agroecología*, 32(3), 5-8.
- Angel Lozano, G. D., Escalona Aguilar, M. Á., Baca del Moral, J., y Cuevas Reyes, V. (2023). Principios y prácticas agroecológicas para la transición hacia una ganadería bovina sostenible: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(3), 696-724. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6287>
- Aparicio, V. C., Barbacone, A., y Costa, J. L. (2014). Efecto de la calidad del agua para riego complementario sobre algunas propiedades químicas edáficas. *Ciencia del Suelo*, 32(1), 94-104.
- Argueta, Q., y Toledo, V. M. (2023). La modernización agroindustrial y el surgimiento de la agroecología en México (1920-1960). *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC)*, 13(3), 76-106. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2023v13i3.p76-106>
- Ayala Reyes, C. D. (2024). *Agroecología y energía: Relaciones y posibilidades constituyendo una zona de reserva campesina* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/88130>

- Bartra, R., y Otero, G. (1988). Crisis agraria y diferenciación social en México. *Revista Mexicana de Sociología*, 50(1), 13-49. <https://doi.org/10.2307/3540502>
- Batlloori, S. A. B. (2023). La práctica biocultural de la milpa maya y los derechos humanos en Yucatán. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos*, 34(2), 1-28. <https://doi.org/10.15359/rldh.34-2.7>
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., y Zárate, S. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Botanical Sciences*, (61), 31-47. <https://doi.org/10.17129/botsci.1537>
- Chávez, V. (2019). *Consecuencias de las prácticas agrícolas intensivas en la conservación de las aves de pastizal en América del Norte: problemática y soluciones* [Tesis de maestría]. El Colegio de la Frontera Sur. <https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/2711>
- De Camino, R., y Müller, S. (1993). *Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: Bases para establecer indicadores* (1.ª ed.). IICA.
- De Gortari, R. de G. (2020). De la revolución verde a la agricultura sustentable en México. *Nueva Antropología*, 33(92), 66-86.
- Di Salvo, A. D. (2009). Estudio de los ecosistemas desde la perspectiva de la complejidad. *Multiciencias*, 9(3), 242-248.
- Díaz Mesa, M., Hernández, E., Agudelo, D. M., Villegas, N. E., Agudelo, G. A., Herazo, S. E., Berrouet, L., Lozano, L. M., Espinosa, N., Puerta, Y. T., Vélez, F. D. J., Aguirre, N. J., Quijano Abril, M. A., Rojas Villa, J. M., Cardona, D., Salazar, D., y Wills, Á. (2024). Caracterización fisicoquímica de la zona de transición acuático terrestre de un humedal tropical. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(2), 181-210. <https://doi.org/10.22490/21456453.6681>
- Galán, C., Balvanera, P., y Castellarini, F. (2009). *Políticas públicas hacia la sustentabilidad*. Universidad Nacional Autónoma de México / Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. <https://doi.org/10.22201/iies.0000003e.2009>
- Gil, J., y Vivar Arenas, J. (2015). La modernización agrícola en México y sus repercusiones en espacios rurales. *Antropologías del Sur*, 2(3), 51-67.
- Gliessman, S. (2022). How do knowledge systems shape agroecology transitions? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(8), 1115-1117. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2108213>
- Gómez Lee, M. I. (2019). Agenda 2030 de desarrollo sostenible: Comunidad epistémica de los límites planetarios y cambio climático. *Opera*, (24), 69-93. <https://doi.org/10.18601/16578651.n24.05>
- González, C. G., Alonso Fernández, C., y Cauwelaert, E. M. V. (2017). Modos de producción agrícola. *Biodiversitas*, (132), 2-6.
- González Carmona, E., y Torres Valladares, C. I. (2014). La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el Valle de México: Caso Xochimilco. *Revista Mexicana de Agronegocios*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.173283>
- Grande del Brio, R. (1985). *El neolítico: La mutación ecológica*. Universidad de Salamanca. <https://gredos.usal.es/handle/10366/71367>
- Guerrero, Y. (2010). *Efecto del tiempo de uso del suelo sobre la macrofauna del cultivo de*

- cebolla* Allium fistulosum L. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Nariño. <http://si-red.udenar.edu.co/id/eprint/11163>
- Huerta Sobalvarro, K. K., Ayda Lina, M. C., y García, C. (2018). La revolución verde. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.347454>
- Kato Yamakake, T. A. (2004). Variedades transgénicas y el maíz nativo en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 1(2), 101-109.
- Martin Mantiñán, L. (2022). El antropoceno, la producción de alimentos y las nuevas subjetividades antropocénicas en América Latina. *Naturaleza y Sociedad: Desafíos Medioambientales*, (3), 1-19. <https://doi.org/10.53010/nys3.01>
- Mendoza Gavilanez, J. L., Buitrago Ricaurte, D. H., Navas Bayona, W. I., y Suriaga Sánchez, M. A. (2024). El agotamiento de los recursos naturales y su efecto en el medio ambiente. *MQR Investigar*, 8(4), 1611-1626. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.8.4.2024.1611-1626>
- Mohamed Katerere, J. y Smith, M. (2013). La función de los ecosistemas en la seguridad alimentaria. *Revista Unasylva* 241, 64(2), 14-22.
- Moreno Calles, A. I., Casas Fernández, A., Toledo, V. M., y Vallejo Ramos, M. (eds.). (2016). *Etnoagroforestería en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno Calles, A. I., Toledo, V. M., y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398.
- Reyes Palomino, S. E., y Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64.
- Romero, C. P. B. (2020). *Procesos metabólicos que sustentan los elementos biofísicos de agroecosistemas hortícolas*. Universidad Internacional de Andalucía. <https://dspace.unia.es/server/api/core/bitstreams/2a0e01c7-5cac-43c4-b333-ef583a80bf04/content>
- Soto Coloballes, N. V. (2022). La ciencia, la universidad y la crisis ambiental en el siglo XXI. *Revista de la Educación Superior*, 51(203), 1-14. <https://doi.org/10.36857/resu.2022.203.2215>
- Tonolli, A. J. (2019). Propuesta metodológica para la obtención de indicadores de sustentabilidad de agroecosistemas desde un enfoque multidimensional y sistémico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*.